ВІДНОВЛЮВАНА ЕНЕРГЕТИКА ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ У XXI СТОЛІТТІ

**Матеріали XXII міжнародної
науково-практичної конференції**

Київ 2021

**МАТЕРІАЛИ XXII МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ
КОНФЕРЕНЦІЇ**

ВІДНОВЛЮВАНА ЕНЕРГЕТИКА ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ У XXI СТОЛІТТІ

DOI: <https://doi.org/10.36296/renewable.conf.20-21.05.2021>

**Politechnika
Warszawska**

ДЕРЖЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

CISOLAR 2021

**XXII МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ
ПРИСВЯЧЕНА 30-РІЧЧЮ НЕЗАЛЕЖНОСТІ УКРАЇНИ**

20-21 ТРАВНЯ 2021, КИЇВ

УДК 620.91
В 42

В 42 Рекомендовано до друку Вченою радою Інституту відновлюваної енергетики Національної академії наук України (Протокол №11 від 11.05.2021р.)

ISBN 978-966-999-130-0
УДК 620.91

Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті: матеріали XXII міжнародної науково-практичної конференції (Київ, 20-21 травня 2021р.).— К.: Інтерсервіс, 2021.— 1104 с.

У збірнику викладено матеріали доповідей учасників конференції, присвяченої розвитку відновлюваної енергетики з метою подальшого використання відновлюваних джерел енергії для отримання додаткових обсягів теплової та електричної енергії з метою реалізації заходів з енергозбереження та енергоефективності в суспільстві.

Матеріали рекомендовано для науковців, викладачів, фахівців підприємств, аспірантів та студентів які займаються вирішенням проблем енергозбереження та енергоефективності в суспільстві.

Відповідальні за випуск:

Директор Інституту відновлюваної енергетики НАНУ,
член-кореспондент НАНУ, д.т.н., професор

Кудря С.О.

Заступник директора з наукових питань
Інституту відновлюваної енергетики НАНУ,
член-кореспондент НАНУ, д.т.н., професор

Резцов В.Ф.

Вчений секретар Інституту відновлюваної
енергетики НАНУ, к.т.н.

Суржик Т.В.

Матеріали друкуються в авторській редакції. При цитуванні посилання на джерело обов'язкове. Редакція не несе відповідальності за достовірність інформації, надану авторами.

ISBN 978-966-999-130-0

©Колектив авторів, 2021
©Інститут відновлюваної енергетики НАНУ,
укладання, оформлення 2021

ОРГАНІЗАТОРИ

- Інститут відновлюваної енергетики НАН України
- КПІ ім. Ігоря Сікорського
- Мала академія наук України
- Представництво Польської академії наук в м. Києві
- Варшавська політехніка
- Громадська спілка «Енергетична асоціація «Українська воднева рада»
- Міжгалузевий науково-технічний центр вітроенергетики ІВЕ НАН України
- Кафедра ЮНЕСКО «Вища технічна освіта, прикладний системний аналіз та інформатика» при КПІ ім. Ігоря Сікорського та ННК «Інститут прикладного системного аналізу»

ЗА ПІДТРИМКИ

- Національної академії наук України
- Громадської спілки «Енергетична асоціація «Українська воднева рада»
- HydrogenEurope
- ТОВ «Емеральд Палас Груп»
- Представництва Польської академії наук в м. Києві
- Наукової ради з проблеми «Наукові основи електроенергетики»
- Факультету електроенерготехніки та автоматики, кафедри відновлюваних джерел енергії КПІ ім. Ігоря Сікорського
- ВМГО «Зелена енергетика майбутнього»
- EUROSOLAR-Україна
- Українсько-Польського Центру КПІ ім. Ігоря Сікорського
- Асоціації машинобудування і вітроенергетики
- Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України
- Науково-технічної спілки енергетиків та електротехніків України

- Проекту ЮНІДО/ГЕФ «Глобальна інноваційна програма екологічно чистих технологій для малих та середніх підприємств України»

- Асоціації промислових ВЕС України

СПОНСОР КОНФЕРЕНЦІЇ

- Громадська спілка «Енергетична асоціація «Українська воднева рада»

ІНФОРМАЦІЙНА ПІДТРИМКА

- Науково-прикладний журнал «Відновлювана енергетика» ve.org.ua

- Міжнародний науковий журнал «Альтернативна енергетика і екологія»

- Енергетичний портал ENERGY.UA

- Сайт конференції КПІ ім. Ігоря Сікорського: www.konf.ive.kpi.ua

- Сайт ІБЕ НАН України: www.ive.org.ua

- Сайт кафедри ВДЕ КПІ ім. Ігоря Сікорського: www.vde.kpi.ua

РЕДАКЦІЙНА РАДА

Кудря С.О., д.т.н., чл.-кор. НАНУ

Резцов В.Ф., д.т.н., чл.-кор. НАНУ

Суржик Т.В., к.т.н.

Рєпкін О.О.

Кузнецов М.П., д.т.н.

Васько П.Ф., д.т.н.

Морозов Ю.П., д.т.н.

Головко В.М., д.т.н.

Будько В.І., д.т.н.

Клюс В.П., к.т.н.

Клюс С.В., к.т.н.

Яценко Л.В., н.с.

Думка редакційної ради може не співпадати з поглядами авторів матеріалів. Редакція не несе відповідальності за інформацію, надану авторами.

ЗМІСТ

ПРИВІТАННЯ ПРЕЗИДЕНТА НАН УКРАЇНИ А. ЗАГОРОДНЬОГО	36
ПРИВІТАННЯ РЕКТОРА КПІ ІМ. ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО М. ЗГУРОВСЬКОГО	38
ПРИВІТАННЯ ПОЧЕСНОГО ДИРЕКТОРА ІВЕ НАН УКРАЇНИ Н. МХІТАРЯНА	41
ПРИВІТАННЯ ПРЕЗИДЕНТА МАН УКРАЇНИ С. ДОВГОГО	42
ПРИВІТАННЯ ДИРЕКТОРА ІНСТИТУТУ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ НАН УКРАЇНИ С. КУДРІ	44

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ

ПАРАМЕТРИЧНИЙ МЕТОД НОРМУВАННЯ ЯК ІНСТРУМЕНТ ВПРОВАДЖЕННЯ НОВИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ПРИПРОЕКТУВАННІ ІНТЕГРОВАНИХ СИСТЕМ ВДЕ- ГЕНЕРАЦІЇ ТА КІНЦЕВОГО СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГІЇ	46

Н.М. Фіалко, М.П. Тимченко

FACILITY MANAGEMENT PERSPECTIVE ON REFURBISHMENT OF HERITAGE BUILDING: LIFE CYCLE ANALYSIS OF PROTECTED BUILDING IN NEDRE BAKKLANDET 47	51

Bintang Noor Prabowo, Alenka Temeljotov-Salaj

ДИНАМІЧНИЙ ТАРИФ НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЮ – ОСНОВА ФУНКЦІОНУВАННЯ MICROGRID СИСТЕМ	55

В.В. Козирський, В.Я. Бунько, Т.О. Козирська, С.В. Яцела

ВИКОРИСТАННЯ МІКРОСИНХРОФАЗОРІВ ДЛЯ СИМЕТРУВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯ ФІДЕРІВ РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖ	60

*О.С. Яндульський, Г.О. Труніна, А.Б. Нестерко,
Д.В. Настенко*

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕПЛОЛОКАЛІЗАЦІЙНИХ СИСТЕМ ДЛЯ МОБІЛЬНИХ ШПИТАЛІВ	64

*А.Є. Денисова, Г.В. Лужанська, О.С. Жайворон,
Я.В. Соломенцева*

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ В КОНТЕКСТІ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ПРОЦЕСІВ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ДЕРЖАВИ	69

О.О. Демешок

КОРОТКОСТРОКОВЕ ПРОГНОЗУВАННЯ НАВАНТАЖЕНЬ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ З ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ	73

Є.І. Бардик, Я.С. Коваль

ЩОДО ПРОПОЗИЦІЇ КОРИГУВАННЯ МЕТОДІВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ БУДІВЕЛЬ	79

В.І. Дешко, І.Ю. Білоус, М.І. Осадча

ЗАСТОСУВАННЯ ПРИНЦИПІВ SMARTGRID У СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗАЛІЗНИЦЬ	83

О.В. Остапчук, В.Г. Кузнецов

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ЯК СКЛАДОВА ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕКОНОМІКИ РЕГІОНУ	87

В.В. Ратинський

ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ МОДЕЛІ DEA ДЛЯ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ПІДПРИЄМСТВ – ВИРОБНИКІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ	91

Г.О. Пудичева

PATENT ACTIVITY IN GREEN ECONOMY OF UKRAINE	95
<i>V. Gryga, Yu. Ryzhkova</i>	
ІНВЕСТИЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ НАЦІОНАЛЬНОЇ ЕКОНОМІКИ	100
<i>Г.І. Грицаєнко, І.М. Грицаєнко</i>	
ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОНОМІЧНО ДОЦІЛЬНОЇ ТЕПЛОВОЇ ПОТУЖНОСТІ КОНСТРУКЦІЙ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ УСТАНОВОК СИСТЕМ АКУМУЛЯЦІЙНОГО ОПАЛЕННЯ	105
<i>О.В. Лусак</i>	
ВПРОВАДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КОМЕРЦІЙНОГО ОБЛІКУ ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ ЯК ЗАХІД ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ	109
<i>І.П. Радько, В.А. Наливайко, О.В. Окушко</i>	
ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ НОВОГО БЕЗПЕЧНОГО КОНФАЙНМЕНТА ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ АЕС	113
<i>П.Г. Круковський, М.О. Метель, Д.І. Скляренко, Е.В. Дядюшко, С.О. Кондратенко</i>	
ПАРАМЕТРИЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ МАГІСТРАЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ПРИСТРОЯМИ КЕРОВАНОЇ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ	118
<i>В.В. Кучанський</i>	
ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ЛЮДИНИ ЯК ОСНОВА БУТТЯ, ПІЗНАННЯ, ВИХОВАННЯ ТА СПОЖИВАННЯ ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ	122
<i>Ю.І. Фордзюн, О.А. Андрєєва</i>	
ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ ТУНЕЛЬНОЇ ВЕНТИЛЯЦІЇ КП «КИЇВСЬКИЙ МЕТРОПОЛІТЕН»	128
<i>А.І. Дейнеко, В.С. Олійник, Д.І. Скляренко, Є.В. Дядюшко</i>	

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ МЕРЕЖЕВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ LORAWAN В ІНФРАСТРУКТУРІ СУЧАСНОГО МІСТА	132

В. Шельпяков

ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ «РОЗУМНИЙ БУДИНОК» ЯК ІНВЕСТИЦІЙ В ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ НАЦІОНАЛЬНОЇ ЕКОНОМІКИ НА НАНОРІВНІ	136

М.І. Грицаєнко, Г.І. Грицаєнко

ВИКОРИСТАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ТА ПОБУТОВИХ СПОЖИВАЧІВ-РЕГУЛЯТОРІВ У МЕРЕЖАХ З ВІДНОВЛЮВАНОЮ ГЕНЕРАЦІЄЮ	141

Т.Л. Кацадзе, О.М. Панєнко, О.М. Янковська

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ РЕМОНТУ МАСЛЯНИХ ВИМИКАЧІВ ВМП-10	145

А.О. Жарікова, А.Б. Чебанов

ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ. КОМБІНОВАНІ СИСТЕМИ І СИСТЕМИ АКУМУЛЮВАННЯ ЕНЕРГІЇ ВДЕ

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ КРАЇН ЦЕНТРАЛЬНОЇ ТА ПІВДЕННО-СХІДНОЇ ЄВРОПИ (CESEC)	150

*С.О. Кудря, І.В. Іванченко, К.В. Петренко, О.О. Кармазін,
В.А. Точений*

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ У ВІДНОВЛЮВАНІЙ ЕНЕРГЕТИЦІ НА ОСНОВІ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ. АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ	162

Б.І. Басок, М.П. Новіцька, С.М. Гончарук

MODERN CHP TECHNOLOGIES FOR DOMESTIC APPLICATIONS FOR COOPERATION WITH RENEWABLE ENERGY	166

Dariusz Mikielewicz, Jan Wajs, Jarosław Mikielewicz

IMPROVING ENERGY EFFICIENCY FOR DATA CENTRE COOLING	170

Artur Rusowicz

AQUACULTURE AS AN ECOSYSTEM - AQUAPONICS WITH MEMBRANE BIO REACTOR	174

Dr. Ditmar Schmidt

МОЖЛИВОСТІ АКУМУЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В КОМБІНОВАНІЙ ЕНЕРГОСИСТЕМІ	181

М.П. Кузнєцов

ВИМОГИ ДО РОБОТИ ВІТРОВИХ ТА СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ В АВАРІЙНИХ УМОВАХ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ	186

*О.С. Яндульський, Г.О. Труніна, А.Б. Нестерко,
Д.Л. Лавренова*

ОЦІНЮВАННЯ ВІДПОВІДНОСТІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАСОБІВ ОБЛІКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ТА ЙОГО ВІДОБРАЖЕННЯ У НОРМАТИВНІЙ ДОКУМЕНТАЦІЇ	190

О.М. Величко, В.В. Гаман, С.М. Курсін

ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІЇ ПЕРЕТВОРЕННЯ ЄМНІСНИХ СЕНСОРІВ ДЛЯ ПОТУЖНИХ ГЕНЕРАТОРІВ ЗАСОБАМИ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ	199

*Є.О. Зайцев, В.О. Березниченко, А.С. Левицький,
О.Є. Підчій, І.В. Логвиненко*

ТЕМАТИКА ЕНЕРГЕТИКИ У НОВІЙ ПРОГРАМІ «ГОРИЗОНТ ЄВРОПА»	203

С.М. Шукаєв, О.К. Сулема

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ ЛІНІЙНОГО ПРОГРАМУВАННЯ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ РОЗВИТКУ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ЕНЕРГОСИСТЕМ З ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ	208

В.А. Баженов

**СТРУКТУРНИЙ СИНТЕЗ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ
ДЛЯ АВТОНОМНИХ ОБ'ЄКТІВ ВІДНОВЛЮВАЛЬНОЇ
ЕНЕРГЕТИКИ НА ОСНОВІ СИНЕРГЕТИЧНОГО ПІДХОДУ** 212

*В.С. Смірнов, О.В. Самков, П.В. Новіков, Н.В. Беленок,
Ю.С. Городній*

**ENERGY SERVICES AS A BASE TOOL TO SUPPORT
THE LOW-CARBON TRANSITION** 217

O. Novoseltsev, O. Kovalko, M. Yevtukhova

**БАЛАНСУВАННЯ ПОТУЖНОСТІ ТА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В
ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНІЙ СИСТЕМІ З ВІДНОВЛЮВАНИМИ
ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ** 221

П.Д. Лежнюк, В.О. Комар, О.А. Ковальчук, О.О. Рубаненко

**ВІДНОВЛЮВАНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ В РОЗРАХУНКАХ
УСТАЛЕНИХ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ** 225

П.Д. Лежнюк, О.О. Рубаненко

**MODELING OF SWITCHING EQUIPMENT FOR EVALUATION
OF SERVICE LIFE AND RISK OF ACCIDENTS IN THE
ELECTRIC POWER SYSTEM** 229

E. Bardyk, O. Bondarenko

**ПОРІВНЯННЯ ПРАВИЛ ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТ,
ПОВ'ЯЗАНИХ З УРЕГУЛЮВАННЯМ НЕБАЛАНСІВ
ВИРОБНИКІВ ІЗ ВДЕ В УКРАЇНІ** 233

Д.А. Дьомін, О.Ю. Гасєвський

**ПРО ЕФЕКТИВНІСТЬ ЕКОНОМІЧНИХ МОДЕЛЕЙ РОЗВИТКУ
ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ** 240

A. Kumaev

**ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ СПІЛЬНОЇ РОБОТИ
ГІДРОАКУМУЛЮВАЛЬНОЇ ТА ВІТРОЕЛЕКТРО СТАНЦІЇ У
СКЛАДІ АВТОНОМНОЇ ЕЛЕКТРОСИСТЕМИ** 246

А.П. Вербовий, С.Т. Пазич

ЗАСТОСУВАННЯ НАКОПИЧУВАЧІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В ЛОКАЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ	250
<i>М.П. Болотний</i>	
УПРАВЛІННЯ РИЗИКОМ ПОРУШЕННЯ СТІЙКОСТІ ВУЗЛА НАВАНТАЖЕННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ГЕНЕТИЧНОГО АЛГОРИТМА	254
<i>М.В. Костерев, Р.В. Вожаков</i>	
ОЦІНКА ПОКАЗНИКІВ БАЛАНСОВОЇ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ З ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ	258
<i>Ю.П. Матєєнко, Р.В. Вожаков</i>	
РОЗУМНІ МІКРОЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ В СТРАТЕГІЇ РОЗВИТКУ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ	262
<i>Ю.В. Немченко</i>	
ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ІННОВАЦІЙ ДЛЯ ПІДПРИЄМСТВ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ	266
<i>В.В. Демченко, Л.А. Макаренко</i>	
ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ РЕЖИМОМ РОБОТИ КОМБІНОВАНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ З ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ	270
<i>А.І. Котиш, В.В. Зінзура, В.П. Солдатенко</i>	
МОДЕЛЮВАННЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ПЕРЕХОДУ УКРАЇНИ НА 100 % ВДЕ ДО 2070 РОКУ	274
<i>Є.С. Гончаров, Бенменні Мухуб</i>	
МОЖЛИВОСТІ ФІНАНСУВАННЯ ПРОЄКТІВ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ	279
<i>Г.С. Трипольська</i>	

НЕТРАДИЦІЙНИЙ ПІДХІД ДО НЕТРАДИЦІЙНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ	283
<i>Ю.М. Лаєрич, С.В. Плаксін, Л.М. Погоріла, А.Ю. Підчасов</i>	
РОЗРОБЛЕННЯ МОДЕЛІ БАЛАНСУВАННЯ ПРОЦЕСІВ ГЕНЕРАЦІЇ ТА СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ДЛЯ ГІБРИДНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ	287
<i>О.В. Лисенко</i>	
СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ЗЕЛЕНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ	291
<i>Д.В. Вільчинська</i>	
ОСОБЛИВОСТІ ЛАСТІВСЬКОГО ЕНЕРГОВУЗЛА У СКЛАДІ ГЕС, ГАЕС, ВЕС І СЕС В КАРПАТСЬКОМУ РЕГІОНІ УКРАЇНИ	295
<i>Ю.О. Ландау, В.В. Ромашко, П.С. Дядченко</i>	
МОБІЛЬНИЙ ТЕПЛОВИЙ АКУМУЛЯТОР	298
<i>В.Г. Демченко, А.В. Коник</i>	
КАДРОВЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПІВДЕННОГО РЕГІОНУ ФАХІВЦЯМИ З РЕСУРСООЩАДНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ	303
<i>Л.М. Маркіна, О.Ю. Савіна, С.Ю. Ушкац, Н.Ю. Жолобенко</i>	
ЗБРОДЖУВАЛЬНА ЄМНІСТЬ З РЕГУЛЬОВАНИМ ТЕПЛОВИМ АКУМУЛЯТОРОМ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДУ	307
<i>В.Я. Жарков, С.О. Кудря, О.Г. Гриб, О.М. Довгалюк, О.П. Лазуренко, П.Д. Лежнюк, С.О.Тимчук, Н.П. Загорко, Л.С. Червінський, А.І. Панченко, К.О. Самойчук, В.О. Хромишев</i>	
РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ З ВИКОРИСТАННЯМ ХВИЛЬОВИХ МЕТОДІВ	313
<i>А.О. Тимохіна, А.В. Литвиненко</i>	

**ОПТИМАЛЬНА ІНТЕГРАЦІЯ КОМПЛЕКСНИХ СИСТЕМ НА
БАЗІ ВДЕ ДО ЛОКАЛЬНОЇ ЕНЕРГОСИСТЕМИ** 317

О.А. Мельник

**МЕТОДИКА ФОРМУВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОЇ
КОМПЕТЕНТНОСТІ В МАЙБУТНІХ БУДІВЕЛЬНИКІВ** 320

Н. Кулаласєва

**ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИЙ БУДИНОК ІЗ БІОГАЗОВОЮ
УСТАНОВКОЮ НА ОСНОВІ КОНЦЕПЦІЇ «SMART GRID»** 325

М. Лазорко

ВОДНЕВА ЕНЕРГЕТИКА

**ВАРТІСТЬ ВИРОБНИЦТВА ВОДНЮ ЗА ДОПОМОГОЮ
ЕЛЕКТРОЛІЗУ** 329

*С.О. Кудря, І.В. Іванченко, К.В. Петренко, О.О. Кармазін,
А.О. Антон, О.О. Рєпкін*

**АНАЛІЗ ПЕРСПЕКТИВ УКРАЇНСЬКОГО ЕКСПОРТУ
ЗЕЛЕНОГО ВОДНЮ ДО НІМЕЧЧИНИ** 335

Ю.В. Тащєєв

**EFFECT OF PREPARATION PROCEDURES AND
HYDROLYSIS PARAMETERS ON THE HYDROLYSIS
PERFORMANCE OF MgH_2 - $MgCl_2$ NANOCOMPOSITES** 339

D.S. Korablov, O.V. Bezdorozhev, Yu.M. Solonin

**СЦЕНАРІЇ ШИРОКОГО ВИКОРИСТАННЯ «ЗЕЛЕНОГО»
ВОДНЮ** 342

В.А. Хілько

**ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПІДЗЕМНОГО
ЗБЕРІГАННЯ МЕТАНУ І ВОДНЮ В ПОРИСТИХ ПЛАСТАХ** 347

О.В. Бачеріков, Ю.П. Морозов

PROSPECTS FOR DEVELOPMENT OF HYDROGEN BUSES NETWORK IN POLAND BY 2025	351
<i>K. Bijoś</i>	
ВОДЕНЬ – ОСНОВА ВУГЛЕЦЕВОНЕЙТРАЛЬНОЇ ЕКОНОМІКИ ЄС	356
<i>I.I. Дороніна</i>	
ПЕРСПЕКТИВИ ВИРОБНИЦТВА ЕКОЛОГІЧНО ЧИСТОГО ВОДНЮ НА АЕС УКРАЇНИ	360
<i>М.М. Уланов</i>	
РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМ ВИРОБНИЦТВА ВОДНЮ З КОНВЕРСІЄЮ БІОМЕТАНУ ТА ТВЕРДОЇ ВІДНОВЛЮВАНОЇ СИРОВИНИ ДЛЯ РОБОТИ ЕЛЕКТРОХІМІЧНИХ ГЕНЕРАТОРІВ НА ПАЛИВНИХ ЕЛЕМЕНТАХ З ПРОТОНОБМІННОЮ МЕМБРАНОЮ	364
<i>О.М. Дудник</i>	
ВПЛИВ УМОВ СТВОРЕННЯ КАТАЛІТИЧНОГО ШАРУ В МЕМБРАННО-ЕЛЕКТРОДНОМУ БЛОЦІ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПАЛИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ	368
<i>Ю.К. Пірський, Ф.Д. Манілевич, Т.М. Панчишин, Я.В. Колосовський</i>	
АДАПТАЦІЯ ЕЛЕКТРОЛІЗЕРА ВИСОКОГО ТИСКУ ДО УМОВ СПІЛЬНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ З ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ	372
<i>В.В. Соловей, М.М. Зіпунніков, А.А. Шевченко, А.Л. Котенко, І.О. Воробйова</i>	
ALUMINUM BASED COMPOSITES FOR EFFICIENT HYDROGEN GENERATION BY HYDROLYSIS PROCESS	376
<i>F. Manilevich, Yu. Pirskey, A. Kutsyi, V. Berezovets, V. Yartys</i>	

**ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ГЕНЕРАЦІЇ
«ЗЕЛЕНОГО» ВОДНЮ МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОЛІЗУ** 380

Г.Л. Карпчук, В.І. Будько

**СТВОРЕННЯ ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ НА
ОСНОВІ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ
ДЛЯ АВТОНОМНОГО ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
ПРИВАТНИХ СПОЖИВАЧІВ** 385

Н.А. Чорна

**НАПРЯМИ ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ МІСЬКОГО
ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ** 390

Л.В. Яценко, Л.Я. Шинкаренко, М.А. Ткаленко, Т.С. Кудря

**ВИКОРИСТАННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО ВОДНЕВОГО ПАЛИВА
ЯК ЕЛЕМЕНТ ПРОТИДІЇ ЗМІНИ КЛІМАТУ** 397

Г.Г. Дідківська, З.В. Маслюкова

**АНАЛІЗ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ ПРИВАТНОГО
ГОСПОДАРСТВА НА ОСНОВІ “ЗЕЛЕНОГО” ВОДНЮ** 400

В.В. Перфецький, М.О. Гребенюк

**SNW-АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ АКУМУЛЮВАННЯ
ВОДНЮ ЯК МОТОРНОГО ПАЛИВА** 403

С.В. Бойченко, Н.Г. Калмикова

СОНЯЧНА ЕНЕРГЕТИКА

**АНТИДОТ ПРОТИ РАДИКАЛЬНИХ РІШЕНЬ ВІДНОСНО
РОЗВИТКУ СЕС ДОМОГОСПОДАРСТВ** 410

І.А. Чижевська

**ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В ПРИВАТНОМУ
СЕКТОРІ УКРАЇНИ** 415

С. Матях, Т. Суржик, В. Рєзцов

ОСНОВНІ ВІДМІННОСТІ КОСМІЧНИХ ТА НАЗЕМНИХ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ (ФЕП)	421
<i>Д.І. Федченко</i>	
ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТИПІВ СОНЯЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ДЛЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ МОДУЛІВ	425
<i>В.І. Шевчук, Н.В. Марченко, В.О. Пундєв</i>	
ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ АВТОНОМНОЙ ФЭУ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СООТНОШЕНИЯ ИНСОЛЯЦИИ, ПРОФИЛЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ И ВЕЛИЧИНЫ ОПТИМАЛЬНОЙ ЁМКОСТИ НАКОПИТЕЛЯ	430
<i>С.В. Плаксин, И.В. Тимченко, Ю.В. Шкиль</i>	
ПРОБЛЕМИ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОГОДИННОГО ГРАФІКА ГЕНЕРУВАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИМИ СТАНЦІЯМИ	435
<i>П.Д. Лежнюк, В.О. Комар, О.А. Ковальчук, Ю.В. Семенюк</i>	
НЕСТАБІЛЬНІСТЬ НЕГАРАНТОВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ З УРАХУВАННЯМ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ОБЛАДНАННЯ	439
<i>П.Д. Лежнюк, О.О. Рубаненко</i>	
ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ СЕС ДЛЯ БАЛАНСУВАННЯ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ	444
<i>О.Б. Бурикін, Ю.В. Малогулко, А.В. Ситник</i>	
ОЦІНКА ОПТИМАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ ОБЛАДНАННЯ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ ПО ОБЛАСТЯХ УКРАЇНИ	449
<i>І.М. Буратинський</i>	
ОСОБЛИВОСТІ ТЕРМІЧНОГО РЕЖИМУ ОДНОСТОРОННІХ СОНЯЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ	453
<i>В.В. Височин, В.Р. Нікульшин</i>	

ЕФЕКТИВНІСТЬ ПІДВИЩЕННЯ ПОТУЖНОСТІ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОГО МОДУЛЯ ПЛОСКИМ ДЗЕРКАЛЬНИМ КОНЦЕНТРАТОРОМ	459
<i>С.В. Коробка, І.Г. Стукалець, Р.Є. Кригуль, М.І. Бабич</i>	
ОБГРУНТУВАННЯ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЧНОГО БАЛАНСУВАННЯ КОГЕНЕРАЦІЙНИМИ СЕС	467
<i>А.В. Жарков, В.Я. Жарков, С.О. Тимчук</i>	
РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ У ВУЗЛІ ПІДКЛЮЧЕННЯ ФЕС З ВИКОРИСТАННЯМ ФУНКЦІЙ СМАРТ-ІНВЕРТОРА. ВРАХУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОЗПОДІЛЬЧОЇ МЕРЕЖІ	472
<i>О.Ю. Гаєвський, Г.М. Гаєвська</i>	
TESTING OF SOLAR COLLECTOR BASE MODEL FOR PV/T SYSTEM	478
<i>К.О. Minakova, R.V. Zaitsev</i>	
ВИКОРИСТАННЯ ДИНАМІЧНОЇ КОМУТАЦІЇ ФОТОЕЛЕМЕНТІВ	482
<i>Д.В. Бондаренко</i>	
MODELING THE PARAMETERS OF A COMBINED SYSTEM BASED ON A "PHOTOVOLTAIC THERMAL CONVERTER- THERMOELECTRIC BATTERY" USING CONCENTRATED SOLAR RADIATION	487
<i>I.A. Yuldoshev, S.K. Shoguchkarov, A.I. Bobokulov, A.R. Kudratov, M. Atoeva</i>	
ЗАСТОСУВАННЯ КОНЦЕНТРАТОРІВ СОНЯЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ В ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМАХ	496
<i>А.В. Трофименко</i>	
INFLUENCE OF TEMPERATURE ON PHOTORESISTORS OBTAINED ON THE BASIS OF COMPENSATED SILICON	502
<i>Sh. Makhkamov, Sh.A. Makhmudov, A.A. Sulaimonov, A.K. Rafikov</i>	

ДОСЛІДНА ЕКСПЛУАТАЦІЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ КОМІРКИ ПОТУЖНІСТЮ 1 кВт	510
<i>B.O. Boytex</i>	
CRITERIA FOR SELECTION OF CRYSTAL HYDRATES FOR COMPOSITE ADSORBENTS WITH HIGH ENERGY STORAGE DENSITY	514
<i>Y.O. Serhiienko, K.M. Sukhyy, E.A. Belyanovskaya, E.V. Kolomiyets</i>	
АНАЛІЗ ЧАСУ РОБОТИ СЕС НА ПОНАДНОРМОВІЙ НАПРУЗІ	518
<i>A.B. Сагара, B.I. Будько</i>	
ХМАРНЕ РІШЕННЯ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ АВТОНОМНОЇ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ	523
<i>П.В. Новіков</i>	
FORMATION OF FERROELECTRIC DOMAIN STRUCTURE FOR SOLAR CELLS	528
<i>O. Mazur, L. Stefanovich</i>	
DIGITAL MODELLING OF INFLUENCE OF TEMPERATURE ON PHOTO-ELECTRIC PROCESSES IN SILICON SOLAR CELLS	532
<i>R. Aliev, J. Ziyoytdinov, J. Gulomov, M. Abduvohidov, B. Urmanov</i>	
РЕЖИМИ РОБОТИ АВТОНОМНОЇ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ ЗАРЯДЖАННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ	537
<i>О.Ю. Гаєвський, А.А. Шевченко</i>	
ОСОБЛИВОСТІ РОЗВИТКУ СИСТЕМ СОНЯЧНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ В УКРАЇНІ	542
<i>Т. Коваленко, В. Каряка</i>	

**МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ ТЕПЛООБМІНУ МІЖ
СОНЯЧНИМИ ПАНЕЛЯМИ ТА НАВКОЛИШНІМ
СЕРЕДОВИЩЕМ** 546

М.М. Бордаков

**АПРОКСИМАЦІЯ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ
НАНОРІДИН ЯК ПЕРСПЕКТИВНИХ ТЕПЛОНОСІЇВ ДЛЯ
СОНЯЧНИХ ТЕРМОДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ** 552

Л.І. Книш

**ВПЛИВ КУТА НАХИЛУ СОНЯЧНИХ КОЛЕКТОРІВ НА
ВИРОБНИЦТВО ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ** 556

В.В. Дубровська, В.І. Шкляр, Д.Г. Ганжа

**АВТОНОМНА ГІБРИДНА ТЕРМОФОТОЕНЕРГЕТИЧНА
УСТАНОВКА З ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЮ СИСТЕМОЮ ВІДБОРУ
ПОТУЖНОСТІ** 561

Р.В. Зайцев, М.В. Кіріченко, К.О. Мінакова

**ОПАЛЮВАЛЬНА ЗДАТНІСТЬ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ
ВІКОН З ЕЛЕКТРОПІДІГРІВОМ** 565

Д.А. Смольченко, Є.В. Дядюшко, Г.П. Круковський

ЕКОЛОГІЧНА ТЕРМОРЕНОВАЦІЯ СТІН КОТЕДЖІВ 568

Ю.Б. Дудикевич, П.В. Новосад

**АНАЛІЗ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ
РОБОТИ СОНЯЧНОЇ СУШАРКИ** 574

А.В. Трофименко, В.В. Трофименко

**РОЗРАХУНОК ПОЛОЖЕННЯ СОНЯЧНОЇ ПЛЯМИ НА
РОБОЧІЙ ПОВЕРХНІ СОНЯЧНОЇ ТЕРМОДИНАМІЧНОЇ
УСТАНОВКИ** 581

В.М. Головка, Д.С. Дєлєв

INFLUENCE OF WIND LOAD ON DYNAMIC CHARACTERISTICS OF ELECTROMECHANICAL SPS TRACKING SYSTEMS 585

A.M. Penjiyev, S.G. Nazarov

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ СФЕРИЧНОГО СОНЯЧНОГО КОЛЕКТОРА 588

Ю.М. Мацевитий, Я.М. Буштець

ЕЛЕКТРОДИ НА ОСНОВІ НАНОКОМПОЗИТУ $\text{BiVO}_4/\text{WO}_3$ ДЛЯ ФОТОЕЛЕКТРОХІМІЧНОЇ СИСТЕМИ З ОТРИМАННЯМ ВОДНЮ 592

С.С. Фоманюк, В.О. Смілик, І.А. Русецький, М.О. Данилов, Г.Я. Колбасов

ПРОБЛЕМИ ТА ШЛЯХИ ВИРІШЕННЯ БАЛАНСУВАННЯ ВДЕ 597

Б.Є. Ісай

INVESTIGATION OF PROTON CONDUCTIVITY OF THE ORGANIC-INORGANIC MEMBRANES FOR FUEL CELLS 600

М.М. Zhyhailo, I. Yu. Yevchuk

АКТИВНИЙ ЕНЕРГОНЕЗАЛЕЖНИЙ БУДИНОК 603

Н.О. Пасічник

TYPES OF CHARGING STATIONS FOR CHARGING ELECTRIC VEHICLES 606

A. Tereshenko

ВІТРОЕНЕРГЕТИКА

ВІТРОВА ЕНЕРГЕТИКА УКРАЇНИ: ПОДАЛЬШИЙ РОЗВИТОК СЕКТОРА НА РИНКОВИХ УМОВАХ 609

А.Є. Конеченков, К.О. Книш

**ВІТРОВА ЕНЕРГЕТИКА ЯК ВАЖЛИВИЙ ФАКТОР ПРОТИДІЇ
ЗМІНАМ КЛІМАТУ ЗЕМЛІ** 616

В.П. Каян, О.Г. Лебідь

**ОЦІНКА ВАРТІСНИХ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ ПРОМИСЛОВИХ
ВЕС УКРАЇНИ** 621

В.С. Подгуренко, В. Е. Терехов

**ВЭГ С АКЦИАЛЬНЫМ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ НА
НЕОДИМОВИХ МАГНИТАХ ДЛЯ ПРИУСАДЕБНЫХ ВЭУ** 625

А.В. Жарков, В.Я. Жарков, С.А. Тимчук, В.А. Дворников

**РОЗРОБКА ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНИХ
МОДЕЛЕЙ ВІДЦЕНТРОВИХ РЕГУЛЯТОРІВ ДЛЯ
ВІТРОУСТАНОВОК** 629

В.П. Коханєвич, М.О. Шихайлов, Н.В. Марченко

**МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ
ГЕНЕРАТОРА БЕЗМУЛЬТИПЛІКАТОРНОЇ АВТОНОМНОЇ
ВІТРОЕЛЕКТРОУСТАНОВКИ** 633

В.М. Головки, І.Я. Коваленко

**АСИНХРОННИЙ ГЕНЕРАТОР З ЕЛЕКТРОННИМ
РЕГУЛЯТОРОМ НАВАНТАЖЕННЯ ПРИ РОБОТІ З
НЕСИМЕТРИЧНИМ АКТИВНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ** 637

М.В. Пушкар, К.О. Михальов, М.П. Рибак

**ДОСВІД РОЗРОБКИ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ СИНХРОННОГО
ЕЛЕКТРИЧНОГО ГЕНЕРАТОРА ЗІ ЗБУДЖЕННЯМ ВІД
ПОСТІЙНИХ МАГНІТІВ ДЛЯ ВІТРОУСТАНОВОК
ПОТУЖНІСТЮ 20 кВт** 641

*Ю.М. Перминов, В.П. Коханєвич, Н.В. Марченко,
С.Ю. Перминова*

**РОБОТА СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА ЗІ ЗБУДЖЕННЯМ
ВІД ПОСТІЙНИХ МАГНІТІВ НА МЕРЕЖУ У ВІТРОУСТАНОВЦІ** 645

*Ю.М. Перминов, Л.П. Волков, Є.Г. Монахов,
С. Ю. Перминова*

**ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЯДЕР ЛІНІЙНИХ АР
ТА АРМА-ПРОЦЕСІВ ЯК ДІАГНОСТИЧНИХ ОЗНАК
ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ОБЕРТОВИХ ВУЗЛІВ ГЕНЕРАТОРІВ
ВІТРОУСТАНОВОК** 650

Ю.І. Гижко, О.М. Глазкова, В. М. Зварич, М.В. Мислович

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ГІДРОДИНАМІКИ
ДЛЯ ВЕРТИКАЛЬНО-ОСЬОВОЇ ВІТРОЕЛЕКТРОУСТАВНОВКИ З
КОНЦЕНТРАТОРОМ ВІТРОВИХ ПОТОКІВ** 654

В.Г. Горобець, М.Ю. Масюк

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗАПУСКУ РОТОРА ДАР'Є 658

Л.С. Серілко, О.С. Стадник, З.К. Сасюк, Д.Л. Серілко

**РАССМОТРЕНИЕ ДВУМЕРНОЙ МОДЕЛИ РОТОРА
САВОНИУСА С ПОМОЩЬЮ ПАКЕТА COMSOL
MULTIPHYSICS** 662

*А.К. Тулепбергенов, Д.Е. Туралина, А. Баккожа,
А.С. Тохтарова*

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ВЕТРОВОЙ
ТУРБИНЫ ДАРЬЕ С ПОМОЩЬЮ COMSOL MULTIPHYSICS** 665

*А.К. Тулепбергенов, Д.Е. Туралина, А.К. Ершина,
А.А. Амангельди*

**PROCEDURE FOR DEVELOPING A TURBOMECHANISM
PRODUCTIVITY ESTIMATOR BASED ON A NEURAL
NETWORK DURING THE POWER SUPPLY OF NON-
TRADITIONAL ENERGY SOURCES** 667

S. Burian, N. Pechenik, H. Zemlianukhina

**КОНТРОЛЬ СТАНУ ІЗОЛЯЦІЇ ОБМОТОК
ВІТРОГЕНЕРАТОРІВ** 671

В.В. Чумак, О.В. Вишневський

ГІДРОЕНЕРГЕТИКА

ON THE DEVELOPMENT OF UKRAINE'S SMALL HYDROPOWER IN THE CONTEXT OF CLIMATE CHANGE	675

D.V. Stefanyshyn, Yu.S. Vlasiuk

ENABLERS AND BARRIERS FOR SMALL HYDROPOWER DEVELOPMENT IN UKRAINE	679

D.V. Stefanyshyn, A.G. Petrosian

МОДЕЛЮВАННЯ МОДУЛЯ ПОПЛАВКОВОЇ МІНІЕЛЕКТРОУСТАНОВКИ	683

B.C. Іванов, М.С. Тригуб, А.Ф. Дяденчук

ПРЕЗЕНТАЦІЯ ПРОЄКТУ ПРИСТРІЙ І ТЕХНОЛОГІЯ «ТРУБО- ГВИНТОВИЙ РОТОР» (ТГР) «PIPE-SCREW ROTOR» (PSR) ЯК НОВОГО ТИПУ ПОВІТРЯ-ГІДРО-ТУРБИНИ ТА СПОСОБУ ДИНАМІЧНОЇ КОНЦЕНТРАЦІЇ ПОТОКУ Й ОРГАНІЗОВАНОГО ВИХОРОУТВОРЕННЯ	687

О.К. Денисов, Р. Васильчук, О. Корнилов, О. Трифонов

ПІЛОТНИЙ ПРОЄКТ МАЛОЇ ГЕС НА СТІЧНИХ ВОДАХ МІСЬКИХ ОЧИСНИХ СПОРУД НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ	690

А.О. Бриль, П.Ф. Васько, А.В. Мороз

ОСНОВНІ НОРМАТИВНІ ДОКУМЕНТИ ЩОДО РЕГЛАМЕНТАЦІЇ ЗАСТОСУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ, РЕСУРСІВ ТА ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД МАЛОЇ ГІДРОЕНЕРГЕТИКИ	695

А.П. Вербовий

ЗАСТОСУВАННЯ ДВОВИМІРНИХ СПЛАЙН-ФУНКЦІЙ ДЛЯ АПРОКСИМАЦІЇ УНІВЕРСАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГІДРОТУРБІН	700

П.Ф. Васько

ЕЛЕКТРОПРИВОД НАСОСНОЇ УСТАНОВКИ З МЕХАНІЧНИМ РЕГУЛЮВАННЯМ ГІДРОМУФТОЮ 704

О.О. Закладний, В.В. Прокопенко, Т.В. Гребенюк

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМАХ ОПРІСНЕННЯ ВОДИ 708

П.Ф. Васько, С.Т. Пазич, Б.А. Кромпляс

HYBRID EXCITED SYNCHRONOUS MACHINE FOR MICROHYDROPOWER UNIT 712

M. Ostroverkhov, V. Chumack, E. Monakhov

РОЗРАХУНОК ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПОВОРотно-ЛОПАТЕВОЇ ГІДРОТУРБИНИ ПРИ ЗМІННИХ ВИТРАТАХ ВОДИ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ ЧАСТКОВИХ ГІДРОМЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК 717

Р.Ю. Семененко, В.І. Міхалін

РОЗРАХУНОК ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ГІДРОТУРБИНИ КАПЛАН ЗА УНІВЕРСАЛЬНОЮ ГІДРОМЕХАНІЧНОЮ ХАРАКТЕРИСТИКОЮ 721

В.І. Міхалін, Р.Ю. Семененко

ГЕОТЕРМАЛЬНА ЕНЕРГЕТИКА

ТЕХНОЛОГІЧНІ СХЕМИ ГЕОТЕС НА ГЕОТЕРМАЛЬНИХ РОДОВИЩАХ З АНОМАЛЬНО ВИСОКИМ ПЛАСТОВИМ ТИСКОМ 726

Ю.П. Морозов, С.В. Дубовський

ПІДВИЩЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ГЕОТЕРМАЛЬНОГО ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ АДСОРБЦІЙНОГО ТИПУ 730

Ю.П. Морозов, Д.М. Чалаєв, В.Г. Олійніченко

**ВИКОРИСТАННЯ ГЕОТЕРМАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ
ОТРИМАННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ ВОДНЮ** 735

Ю.П. Морозов, Н.В. Ніколаєвська

**ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ
НИЗЬКОЕНТАЛЬПІЙНИХ ПІДЗЕМНИХ ВОД НАДР УКРАЇНИ** 739

А.А. Барило

**ГЕОТЕРМІЧНІ УМОВИ І ДЕГАЗАЦІЯ ЗЕМНОЇ КОРИ
ЗАКАРПАТСЬКОГО ПРОГИНУ** 744

Р.І. Кутас

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМОВОЛОГІСНИХ ПАРАМЕТРІВ
ПОВІТРЯ В СИСТЕМІ ГЕОТЕРМАЛЬНОЇ ВЕНТИЛЯЦІЇ** 748

Б.І. Басок, О.М. Недбайло, М.В. Ткаченко, І.К. Божко

**АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ГЕОТЕС В
УКРАЇНІ** 753

І.В. Нечай, К.В. Кириленко

**ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ СЕЗОННИХ ҐРУНТОВИХ
АКУМУЛЯТОРІВ СОНЯЧНОЇ ТЕПЛОТИ** 761

К.В. Кириленко, В.М. Кириленко

**АНАЛІЗ ВИДІВ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ
НИЗЬКОПОТЕНЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ** 765

М.В. Морозов

**СПОСІБ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОХІМІЧНИХ
АКУМУЛЯТОРІВ І ВІТРОСОНЯЧНИХ УСТАНОВОК у
ГЕОТЕРМАЛЬНІЙ ЕНЕРГЕТИЦІ** 769

*В.Ю. Скосар, С.В. Бурилов, О.С. Ворошилов,
С.В. Комаров*

**ДОЦІЛЬНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ У
СИСТЕМІ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ЖИТЛОВОЇ БУДІВЛІ** 773

В.В. Дубровська, В.І. Шкляр, А.Ю. Рязанцев

**ЗАСТОСУВАННЯ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИХ ГЕНЕРАТОРІВ ДЛЯ
ПЕРЕТВОРЕННЯ ГЕОТЕРМАЛЬНОЇ ЕНЕРГІЇ ЗАНЕДБАНИХ
ГАЗОВИХ ТА НАФТОВИХ СВЕРДЛОВИН** 778

Ю.М. Лобунець

**ГЕОЛОГІЧНА СКЛАДОВА В АНАЛІЗІ ГЕОТЕРМІЧНОГО
ПОТЕНЦІАЛУ ШАХТНИХ ВОД ЛЬВІВСЬКО-ВОЛИНСЬКОГО
ВУГІЛЬНОГО БАСЕЙНУ НА ПРИКЛАДІ
ТРАНСГРАНИЧНОГО РАЙОНУ УКРАЇНИ ТА ПОЛЬЩІ** 784

О.А. Панова, В.О. Привалов

**ВИЗНАЧЕННЯ НОРМОВАНОЇ ВАРТОСТІ ЦЕНТРАЛЬНОГО
ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ЗА РАХУНОК СЕЗОННОГО
АКУМУЛЮВАННЯ** 788

О.В. Лусак

БІОЕНЕРГЕТИКА

**THERMAL DESTRUCTION OF COMPONENTS OF COMPOSITE
FUEL FROM PLANT BIOMASS** 792

V. Mykhailyk, T. Korinchevska

КЛАСИФІКАЦІЯ СПОСОБІВ ПІРОЛІЗУ БІОМАСИ 795

В.П. Ключ, С.В. Ключ

**ЗМІНА ТЕМПЕРАТУРИ ОДИНИЧНИХ ДЕРЕВНИХ ТА
СОЛОМ'ЯНИХ ГРАНУЛ ПІД ЧАС ГОРІННЯ** 799

М.М. Жоемір, Н.О. Маслоva

**ВИКОРИСТАННЯ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОЇ ТЕПЛОТИ,
УТИЛІЗОВАНОЇ З ПРОДУКТІВ ЗГОРАННЯ БІОМАСИ** 803

М.М. Жоемір

**ВИКОРИСТАННЯ ГАЗОВИХ ВИКИДІВ ДЛЯ ВИРОЩУВАННЯ
МІКРОВОДОРОСТЕЙ В ПРОЦЕСІ ВИРОБНИЦТВА
БІОПАЛИВА** 807

Н.Б. Голуб, А.А. Вдовиченко

**ТЕХНОЛОГІЯ ОДЕРЖАННЯ ВОДНЮ ІЗ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ВІДХОДІВ** 810

Н.Б. Голуб, Д.І. Драпой, К.О. Щурська

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОДУКТИВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК
БІОПАЛИВНОЇ СИРОВИНИ БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ
ТРАВ'ЯНИСТИХ ТА ДЕРЕВНИХ КУЛЬТУР** 814

*Б.І. Басок, Б.В. Давиденко, Л.М. Кужель, С.М. Гончарук,
О.М. Лисенко, В.П. Приємченко*

**ВИЗНАЧЕННЯ МЕТАНОВОГО ПОТЕНЦІАЛУ ОРГАНІЧНИХ
СУБСТРАТІВ** 819

Г.О. Четверик, Н.О. Маслова

**АНАЕРОБНА ФЕРМЕНТАЦІЯ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ
ВІДХОДІВ ЯК АЛЬТЕРНАТИВА ІСНУЮЧИМ МЕТОДАМ ЇХ
УТИЛІЗАЦІЇ** 823

З.В. Маслюкова

**ВИКОРИСТАННЯ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ ЯК
ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИРОВИНИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ** 826

З.В. Маслюкова, Г.О. Четверик

**КРИТИЧНИЙ АНАЛІЗ ЗАКОНОПРОЕКТУ ЩОДО
ОБОВ'ЯЗКОВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ РІДКОГО БІОПАЛИВА
В ГАЛУЗІ ТРАНСПОРТУ** 831

М.І. Кобець

**ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС ПРОЦЕСУ ПАРОПОВІТРЯНОЇ
ГАЗИФІКАЦІЇ БІОМАСИ** 837

Г.А. Голуб, Н.М. Цивенкова, В.В. Чуба, С.В. Ключ

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСУ ЗАКРИТОЇ КАМЕРИ ФЕРМЕНТАЦІЇ З ВИРОБНИЦТВА КОМПОСТУ	842
<i>Н.М. Цивенкова, М.Б. Терещук</i>	
МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ВИХОДУ БІОГАЗУ	847
<i>Г.А. Голуб, О.А. Яременко</i>	
ВПЛИВ ІОНІВ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ НА ВИХІД БІОГАЗУ	851
<i>Н.Б. Голуб, А.В. Шинкарчук, О.А. Козловець</i>	
РОЗРОБКА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО СПОСОБУ ДИНАМІЧНОГО ПЛАВЛЕННЯ СУМІШЕЙ ВУГЛЕВОДНІВ	855
<i>А.А. Долінський, Т.Л. Грабова, Д.В. Посунько, Р.Е. Базєєв</i>	
ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СУШІННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР	860
<i>Ю.Ф. Снежкін, В.М. Пазюк, Ж.О. Петрова</i>	
АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ ВИКОРИСТАННЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ТА АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ	865
<i>О.М. Сукманюк, С.М. Кухарець</i>	
ВПЛИВ ТЕРМІЧНОЇ АКТИВАЦІЇ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ НА ТЕРМІЧНЕ РОЗКЛАДАННЯ ПАЛИВНИХ ГРАНУЛ	873
<i>Т.В. Корінчевська, В.А. Михайлик</i>	
ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ САМОЗАЙМАННЯ ТВЕРДОГО ПАЛИВА	877
<i>В.М. Чмель, І.П. Новікова</i>	
РОЗРОБКА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ВІДХОДІВ БІОМАСИ НА ПРИКЛАДІ ТРИСКИ ПАЛИВНОЇ	882
<i>А.В. Ляшенко</i>	

ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОЄМНОСТІ ТЕПЛОТЕХНОЛОГІЙ У ВИРОБНИЦТВІ СУШЕНИХ ПРОДУКТІВ	885
<i>Ю.Ф. Снежкін, Р.О. Шапар, О.В. Гусарова</i>	
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНА ТЕХНОЛОГІЯ СУШКИ ВИСОКОВОЛОГИХ ТЕРМОЛАБІЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ, СУМІСНИХ З ОДНОЧАСНИМ ДИСПЕРГУВАННЯМ У РОТОРНИХ АПАРАТАХ	890
<i>А.В. Ляшенко</i>	
ГРАНУЛЮВАННЯ ТРИКОМПОНЕНТНИХ КОМПОЗИЦІЙ ІЗ ЗАСТАРІЛИХ МУЛОВИХ ОСАДІВ, ТОРФУ ТА БІОМАСИ	893
<i>Ж.О. Петрова, Ю.П. Новікова</i>	
ЕНЕРГІЯ БІОМАСИ ЯК СКЛАДОВА «ЗЕЛЕНОГО» ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПЕРЕХОДУ УКРАЇНИ	897
<i>Т.А. Желєзна, А.І. Баштовий</i>	
ВПЛИВ ЗАСТОСУВАННЯ БІОЧАРУ ЯК ОРГАНІЧНОГО МЕЛІОРАНТУ НА ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ҐРУНТІВ ТА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ	901
<i>Г.Г. Дідківська, З.В. Маслюкова, Є.Г. Новицька</i>	
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ГАЗИФІКАЦІЇ ТВЕРДИХ ВІДХОДІВ АГРОПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ	905
<i>В.М. Чмель, І.П. Новікова</i>	
НАКОПИЧЕННЯ БУТАНОЛУ ШТАМАМИ-ПРОДУЦЕНТАМИ НА ВІДХОДАХ ЛІГНОЦЕЛЮЛОЗНОЇ СИРОВИНИ	910
<i>О.О. Тігунова, В.В. Братішко, Г.С. Андріяш, С.М. Шульга</i>	
ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ ЗБЕРІГАННЯ НА НАКОПИЧЕННЯ БУТАНОЛУ ЛІОФІЛІЗОВАНИМ ШТАМОМ-ПРОДУЦЕНТОМ	913
<i>О.О. Тігунова, Д.Б. Рахметов, Г.С. Андріяш, С.М. Шульга</i>	

**НАКОПИЧЕННЯ БУТАНОЛУ ШТАМАМИ-ПРОДУЦЕНТАМИ
БУТАНОЛУ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ЯБЛУЧНИХ ВИЧАВОК** 916

О.О. Тігунова, Г.С. Андріяш, С.М. Шульга

**БАГАСА ЦУКРОВОГО СОРГО ЯК СИРОВИНА ДЛЯ
ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ** 920

*Н.А. Савицька, Т.С. Іванова, Г.І. Кулічкова, О.І. Володько,
С.П. Циганков*

**ОЧИЩЕННЯ БІОГАЗУ ВІД СІРКОВОДНЮ ХІНГІДРОНИМ
МЕТОДОМ** 924

А.В. Слюзар

**ВИКОРИСТАННЯ БІОТЕХНОЛОГІЇ РОСЛИННО-МІКРОБНИХ
ПАЛИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ДЛЯ ОТРИМАННЯ БІОЕЛЕКТРИКИ** 928

І.Б. Русин

**ВПЛИВ СКЛАДУ ПЕЛЕТ НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ
ХАРАКТЕРИСТИКИ ПАРОГЕНЕРАТОРА ДЕ-10-14** 932

І.Г. Бутенко, О.В. Коломієць

**НЕОБХІДНІСТЬ ПЕРЕОСМИСЛЕННЯ БАЗОВОГО ЗАКОНУ
УКРАЇНИ «ПРО АЛЬТЕРНАТИВНІ ВИДИ ПАЛИВА»** 936

М.І. Кобець

**ПОТЕНЦІАЛ І ЗАГРОЗИ ВИКОРИСТАННЯ БІОПАЛИВ ЯК
РІДКИХ МОТОРНИХ ПАЛИВ** 939

О.Є. Кофанов, О.В. Кофанова

МОЛОДІЖНА СЕКЦІЯ

**ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТА ПРИЗНАЧЕННЯ
МОБІЛЬНОЇ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ «СОНЯХ»** 943

І.Д. Осокін

ЗАЛЕЖНІСТЬ ЕФЕКТИВНОСТІ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОГО МОДУЛЯ ВІД ВІБРАЦІЇ	948
<i>М.М. Бережнюк</i>	
ФАСАДНЕ РОЗМІЩЕННЯ ФОТОМОДУЛІВ ЯК ІНЖЕНЕРНЕ РІШЕННЯ	950
<i>І.С. Удод</i>	
БАЗА ОБЛІКУ ЗЕМЕЛЬ, НЕПРИДАТНИХ ДО ГОСПОДАРЮВАННЯ	953
<i>В. Скрипчук</i>	
ВИКОРИСТАННЯ АКУМУЛЯТОРА ТЕПЛОТИ НА ОСНОВІ РЕЧОВИН З ФАЗОВИМ ПЕРЕХОДОМ ДЛЯ ПІДТРИМАННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ В ТЕПЛИЦІ	956
<i>О.В. Юраш</i>	
АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ВСТАНОВЛЕННЯ ВІТРОЕЛЕКТРИЧНИХ УСТАНОВОК НА КИЇВСЬКОМУ ВОДОСХОВИЩІ	960
<i>Я.О. Курмашов</i>	
ПОТЕНЦІАЛ РОЗВИТКУ БІОЕНЕРГЕТИКИ НА ТЕРИТОРІЇ ДНІПРОПЕТРОВСЬКОЇ ОБЛАСТІ	964
<i>В.В. Заїка</i>	
ПІД СОНЯЧНИМ ДАХОМ	967
<i>І. Порфиленко, Є. Завгородня, О. Храменкова</i>	
ЕКОФІТНЕС: НЕТРАДИЦІЙНІ МЕТОДИ ПЕРЕРОБКИ ВІДХОДІВ НАФТОВОГО ПОХОДЖЕННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕНЕРГІЇ, ДОБУТОЇ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ТРЕНАЖЕРІВ	970
<i>О. Барабаш, Д. Грещенко, С. Грещенко</i>	
СОНЯЧНІ БАТАРЕЇ ЯК АЛЬТЕРНАТИВНЕ ДЖЕРЕЛО ЕНЕРГІЇ	976
<i>О.В. Білоус, Т.В. Желтуха</i>	

ОСОБЛИВОСТІ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ ТА РОБОТИ СОНЯЧНОЇ ПАНЕЛІ	981
<i>О.О. Богацька</i>	
ГІДРАВЛІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАСОСНИХ СТАНЦІЙ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ	984
<i>В.П. Бузовський, Г.М. Вовкодав, В.Є. Неделку</i>	
АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ ТА ПЕРСПЕКТИВ РОЗВИТКУ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ ДНІПРОПЕТРОВЩИНИ ТА МІСТА ЖОВТІ ВОДИ	988
<i>В.Д. Козель</i>	
ВИКОРИСТАННЯ СМІТТЄВОГО ГАЗУ ЯК ДЖЕРЕЛА ВИДОБУТКУ ВОДНЮ ДЛЯ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ	995
<i>І.Є. Микитенко</i>	
ЗБЕРЕЖЕМО ЕНЕРГІЮ – ЗБЕРЕЖЕМО УКРАЇНУ!	998
<i>Л.Д. Сасько</i>	
ПЕРСПЕКТИВИ ОТРИМАННЯ БІОПАЛИВА З ФІТОМАСИ МІСКАНТУСУ ГІГАНТСЬКОГО	1002
<i>Н.С. Сергієнко, Н.Ю. Лєднєва, С.В. Дігтяр</i>	
ДОСЛІДЖЕННЯ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ПЕВНИХ ОБЛАСТЕЙ УКРАЇНИ ТА ДНІПРОПЕТРОВЩИНИ ЗА ТРИ РОКИ	1007
<i>А.В. Тараненко</i>	
АЛЬТЕРНАТИВНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ. ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В ПОБУТІ	1011
<i>І.Д. Остропицький</i>	
ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ НА РОБОЧОМУ МІСЦІ	1016
<i>І. Овчаров</i>	

**МАЙБУТНЄ ЗА ВІТРОЕНЕРГЕТИКОЮ. ДОСЛІДЖЕННЯ
ПРОДУКТИВНОСТІ ВВЕДЕННЯ У ВИКОРИСТАННЯ
АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ НА ПРИКЛАДІ
ВІТРОВОЇ ЕНЕРГІЇ** **1020**

М.В. Щербакова

**ПОНИЖЕННЯ ВИСОТИ СТЕЛІ В БУДИНКУ, ЯК ОДИН ІЗ
СПОСОБІВ ЕНЕОГОЗБЕРЕЖЕННЯ В ПОБУТІ** **1023**

В.О. Крячок

**ТЕХНОЛОГІЯ ВИКОРИСТАННЯ ФОЛЬГИ В ПОБУТІ ЯК
СПОСІБ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ** **1026**

І.Ю. Шкута

**КОМПЛЕКСНЕ ВИКОРИСТАННЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ
ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ
ФЕРМЕРСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА** **1030**

К.С. Казимір, М.О. Будько

**ПЕРСПЕКТИВИ ВИГОТОВЛЕННЯ СЕНДВІЧ-ПАНЕЛЕЙ З
ПРОДУКТІВ ПЕРЕРОБКИ ТЕКСТИЛЮ** **1034**

Я.М. Мартиненко, В.В. Паришкура

САМООРІЄНТОВНА СОНЯЧНА ПАНЕЛЬ **1037**

М.В. Крикун, О.Є. Рензевич

**ПОКРАЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ СОНЯЧНОЇ
ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ СПРЯМУВАННЯ
МОДУЛІВ НА СХІД-ЗАХІД ТА ОПТИМАЛЬНОГО
ПЕРЕВАНТАЖЕННЯ ІНВЕРТОРА** **1041**

Ю.В. Мартинова

**РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВТРАТ БУДИНКУ ТА ОПТИМАЛЬНИЙ
ВИБІР ІЗОЛЮВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ** **1047**

О.С. Хруль, Г.Ф. Андрущенко

ПРЕСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВОДНЕВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ **1052**

Ю.Ю. Штефура

СОНЯЧНА ЕНЕРГЕТИКА	1060
<i>Ю.О. Гринь</i>	
СОНЯЧНА ЕНЕРГІЯ ЯК ДЖЕРЕЛО ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ	1063
<i>М.С. Привалова, Д.О. Сорокотяга</i>	
ДЕЯКІ ПРАКТИЧНІ ПІДХОДИ ДО ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ	1068
<i>М.С. Капітан, Л.М. Мироненко</i>	
СОНЯЧНА ЕНЕРГЕТИКА	1072
<i>О.В. Григоренко</i>	
МАТЕМАТИКА У СОНЯЧНІЙ ЕНЕРГЕТИЦІ	1075
<i>С.В. Легенчук, Н.В. Кравчук</i>	
АЛЬТЕРНАТИВНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ ВИКОРИСТАННЯ В УКРАЇНІ	1082
<i>Д. Вернигора</i>	
УКРАЇНСЬКА ЕНЕРГЕТИЧНА СТРАТЕГІЯ РОЗВИТКУ ВІТРЯНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ: ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ	1089
<i>О.Б. Письменна, В.І. Іваненко</i>	
АЛЬТЕРНАТИВНА ЕНЕРГЕТИКА В УКРАЇНІ: МОЖЛИВОСТІ ДЛЯ ІНВЕСТИТОРІВ ТА ВИРОБНИКІВ	1094
<i>Л.Л. Смотриковський</i>	
ЕНЕРГОАКУМУЛЯТОР ДЛЯ ОФІСУ	1098
<i>Н.О. Криворучко, С.О. Криворучко, В.В. Гончаров</i>	
ВИКОРИСТАННЯ ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ У ГОТЕЛЬНОМУ БІЗНЕСІ	1101
<i>В.В. Москівець, Є.П. Клітна</i>	

ШАНОВНІ УЧАСНИКИ КОНФЕРЕНЦІЇ! ШАНОВНІ КОЛЕГИ!

Вітаю учасників та організаторів XXII Міжнародної науково-практичної онлайн конференції "Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті".

Актуальність конференції пов'язана з особливим значенням, якого набуло питання використання енергії відновлюваних джерел у світовій енергетиці та енергетиці України. На даний час це один із пріоритетів розвитку енергетики та ключових напрямів підвищення рівня енергетичної і екологічної безпеки держав у всьому світі.

Разом із світовою спільнотою Україна взяла на себе зобов'язання щодо зменшення глобальних викидів парникових газів аби протидіяти глобальному потеплінню на планеті. Уряд України заявив про намір нашої держави долучитися до Європейського зеленого курсу щодо переходу до кліматично нейтральної Європи. Це потребує трансформації всього економічного укладу країни в напрямі розвитку низьковуглецевих технологій.

Вітчизняна наука робить значний внесок у розвиток відновлюваної енергетики. Використання результатів наукових досліджень науковців Академії в цій сфері сприяє ефективному розв'язанню завдань щодо збільшення частки відновлюваних джерел енергії в загальному енергоспоживанні нашої держави.

Я певен, що обмін досвідом, науковими ідеями та творчими планами сприятиме підвищенню рівня

наукових досліджень та практичних напрацювань в цій галузі.

Бажаю вам плідної праці, втілення творчих задумів, позитивних вражень від роботи конференції та міцного здоров'я.

Президент Національної
академії наук України
академік НАН України

А. Загородній

ШАНОВНІ УЧАСНИКИ КОНФЕРЕНЦІЇ! ШАНОВНІ КОЛЕГИ!

Щиро вітаю учасників XXII міжнародної науково-практичної конференції "Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті".

Для світової спільноти відновлювані джерела енергії стають все більш значимі, а їх застосування позитивно впливає не тільки на вирішення питання енергозабезпечення, але й покращення екології навколишнього середовища.

Використання енергії відновлюваних джерел є пріоритетним напрямком енергетики України, що зумовлено необхідністю підвищення рівня енергетичної і екологічної безпеки. Відновлювана енергетика дозволяє ефективно вирішувати проблеми різних видів традиційної енергетики – обмеженість енергоресурсів, залежність від їх постачальників, навантаження на навколишнє середовище і пов'язані з цим високі витрати.

Київські політехніки з гордістю пам'ятають та пишаються тим, що саме в Київському політехнічному інституті під керівництвом ректора, члена-кореспондента АН України Денисенка Григорія Івановича розпочалися в 1979 році наукові дослідження з використання відновлюваних джерел енергії. Це був перший важливий крок до її розвитку відновлюваної енергетики на теренах колишньому СРСР. Колектив ентузіастів пройшов шлях від теоретичних досліджень, науково-дослідних і конструкторських розробок до створення демонстраційних зразків устаткування в галузі вітроенергетики, сонячної електро- та теплоенергетики, малої гідроенергетики, біоенергетики, акумулювання енергії. Перевірка ефективності наукових розробок і відпрацювання робочих режимів проводилася на науково-дослідному полігоні Київського політехнічного інституту "Десна".

З часом стало зрозуміло, що ефективне вирішення проблем науково-технологічного забезпечення та розвитку

відновлюваної енергетики України потребує створення єдиної інфраструктури на базі науки, освіти, законодавства та промисловості.

З огляду на це, для розширення сфери освіти в галузі відновлюваної енергетики у Національному технічному університеті України "КПІ ім. Ігоря Сікорського" у 2002 році було створено кафедру Відновлюваних джерел енергії, яка займається підготовкою кваліфікованих фахівців за всіма напрямками відновлюваної енергетики. На базі кафедри діє наукова школа «Комплексного використання відновлюваних джерел енергії» науковим керівником якої є витдатний вчений, багаторічний завідувач кафедри ВДЕ, а нині її науковий керівник Кудря Степан Олександрович.

З метою посилення роботи з підготовки кадрів і здійснення спільної науково-освітньої діяльності в галузі відновлюваної енергетики КПІ ім. Ігоря Сікорського та Інституту відновлюваної енергетики Національної академії наук України (ІВЕ НАН України) у 2016 році на базі кафедри відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) факультету електроенерготехніки та автоматики створили науково-освітнє об'єднання "Спільна кафедра відновлюваної енергетики".

Основним завданням Спільної кафедри є інтеграція та координація зусиль із створення ефективної науково-освітньої системи, здатної надавати якісні освітні послуги та створення необхідних умов для реалізації учасниками освітнього процесу їх здібностей і базових знань. Важливим завданням є забезпечення органічного поєднання в освітньому процесі освітньої, наукової та інноваційної діяльності.

Сьогодні спорідненими підрозділами НАН України та КПІ ім. Ігоря Сікорського проводиться активна спільна міжнародна робота для реалізації перспективних проектів, організація конференцій, круглих столів тощо.

Починаючи з 2017 року ІВЕ НАН України спільно з кафедрою Відновлюваних джерел енергії КПІ ім. Ігоря Сікорського та Малою академією наук України залучає

учнівську молодь до наукової і науково-технічної діяльності. На засіданні молодіжної секції конференції свої доповіді можуть зробити не тільки студенти та аспіранти, а й школярі Малої академії наук України. За цей період було проведено цілу низку спільних заходів.

Обмін набутим досвідом, результатами досліджень, науковими ідеями та творчими планами учасників конференції сприятимуть підвищенню рівня наукових досліджень в галузі відновлюваної енергетики та підвищенню професійного рівня освіти фахівців.

Бажаю всім учасникам конференції плідної роботи для подальшого впровадження творчих задумів та нових наукових та інноваційних проектів.

Ректор

КПІ ім. Ігоря Сікорського

A handwritten signature in dark ink, consisting of several fluid, overlapping strokes that form a stylized representation of the name M. Zгуровський.

М. Згуровський

ШАНОВНІ УЧАСНИКИ КОНФЕРЕНЦІЇ! ШАНОВНІ КОЛЕГИ!

Щиро вітаю та бажаю міцного здоров'я і творчих успіхів учасникам XXII Міжнародної науково-практичної конференції "Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті".

Успіхи вітчизняної науки представлені у наукових розробках нової техніки та технологій відновлюваної енергетики, використаних при виконанні вітчизняних і міжнародних проєктів та зобов'язань. Значною є роль науковців у створенні законодавчо-правової та сертифікаційної бази відновлюваної енергетики України.

У подальшому важливим є удосконалення режимів експлуатації обладнання на основі ВДЕ; створення та застосування комбінованих систем із використання різних видів ВДЕ і різних видів акумуляторів енергії, у тому числі водню; вирішення проблеми їх сумісності з Об'єднаною енергетичною системою. Висока якість робіт повинна забезпечуватись застосуванням сучасних методів дослідження, у тому числі методів моделювання та сучасних програмних комплексів.

Особливо перспективними для подальшого розвитку відновлюваної енергетики є спільні інвестиційні проєкти щодо створення пілотних та демонстраційних об'єктів для розширення міжнародного співробітництва з розробок, впровадження та трансферу нової техніки і технологій.

Для виходу вітчизняної відновлюваної енергетики та енергоефективності на більш високий якісний та кількісний рівень необхідна інтенсифікація науково-дослідних робіт, направлених на декарбонізацію енергетики. Бажаю успіхів у подальшій науковій діяльності на благо нашої держави.

Почесний директор ІВЕ НАН України,
д.т.н., чл.-кор. НАНУ

Н. Мхітарян

ШАНОВНІ УЧАСНИКИ КОНФЕРЕНЦІЇ! ШАНОВНІ КОЛЕГИ!

За останні 150 років людство стало неймовірно залежним від викопного палива. Воно живить усе – від настільних ламп до найбільших заводів. Як і будь-яка залежність, ця – у перспективі згубна. Парникові гази, які з'являються через спалення копалин, забруднення морів та океанів, зміна ландшафту, війни за нафтові родовища – все це наслідки того, що ми йдемо шляхом найменшого спротиву, добуваючи енергію старими методами.

Ми використовуємо дедалі більше енергії. За даними Міжнародного енергетичного агентства, з 2010 по 2018 роки темпи збільшення споживання електроенергії зросли вдвічі. Щороку ми додаємо кілька тисяч терават-годин. Країни, особливо в Азійсько-Тихоокеанському регіоні, стрімко розвиваються, тому їм потрібно щораз більше енергії.

Найбільше зараз використовують вугілля й нафти: з них людство отримує більше ніж половину всієї енергії. Відновлювані джерела на зразок води, вітру чи сонця – поки що крапля в океані. В Україні вони покривають лише 3,34% усієї енергії.

Однак поколінню, яке зараз навчається в школі, вже скоро доведеться боротися з наслідками нашого легковажного користування викопними джерелами енергії. Ймовірно, корисні копалини вичерпаються до 2060 року. Але зміни клімату, спричинені їх використанням, будуть незворотними.

Тому до конференції «Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті» ми вже п'ятий рік поспіль залучаємо школярів – учнів 9-11 класів, членів Малої академії наук.

Разом зі студентами вони генерують нові ідеї щодо альтернативної енергетики і її впровадження в Україні. А підприємці, які беруть участь у конференції, можуть взяти

найкращі напрацювання на озброєння і допомогти втілити їх у життя.

Винахідливість і прагнення до змін – таким завжди був дух конференції. Це простір нетворкінгу та ефективних інновацій, який відкриває новий світ для школярів і не тільки. Щороку до конференції долучається близько 200 людей – школярів, студентів, науковців та бізнесменів. Тож якщо в учнів є хороший задум, не варто чекати – час діяти вже сьогодні.

Зусилля, які докладають наші учасники разом із природоохоронними організаціями й установами, вже мають свої результати. За останні два роки кількість електроенергії, яку виробляють із сонячного випромінювання, збільшилася майже вдвічі.

Однак дуже важливо сприяти цьому на рівні держави. Саме тому на конференції вже не перший рік обговорюють, як централізовано впроваджувати енергетичні інновації, спонукати населення користуватися відновлювальною енергією та які джерела найефективніше використовувати в Україні.

Відновлювальні ресурси, зокрема сонце, вітер та вода – тією чи іншою мірою доступні усім країнам. Наше завдання – навчитися правильно ними розпоряджатися, щоб побудувати краще майбутнє для наступних поколінь. І я вірю, що нам це вдасться!

Президент
МАН України

С. Довгий

ШАНОВНІ УЧАСНИКИ КОНФЕРЕНЦІЇ! ШАНОВНІ КОЛЕГИ!

Від організаторів конференції, співробітників Інституту відновлюваної енергетики НАН України та від себе особисто вітаю всіх учасників XXII Міжнародної науково-практичної конференції "Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті".

У сучасних умовах загострення енергетичних і екологічних проблем та проблем, пов'язаних із зміною клімату, зросла роль міжнародних зобов'язань України у формуванні нової енергетичної політики – виконання вимог Кіотського протоколу, угоди 2015 року в рамках ООН про життя заходів щодо запобігання зміни клімату, Паризької кліматичної угоди, долучення нашої держави до Європейського зеленого курсу щодо переходу до кліматично нейтральної Європи до 2050 року тощо.

Стратегія низьковуглецевого розвитку України до 2050 року, схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України у 2017 році, передбачає скорочення викидів і збільшення поглинання парникових газів, впровадження екологічно безпечного виробництва із застосуванням «зелених» технологій у всіх секторах економіки.

Незважаючи на складний для нашої країни час, Україна продовжує йти шляхом інтенсивного освоєння енергії відновлюваних джерел, а подальша активна підтримка розвитку відновлюваної енергетики науковою спільнотою та державною владою дозволить Україні істотно змінити стан у сфері енергозабезпечення.

Результатом багаторічної роботи вітчизняних вчених над створенням фундаментальної і прикладної науки, законодавчої та сертифікаційної бази відновлюваної енергетики для виходу української науки і промисловості на світовий рівень є суттєве збільшення обсягів освоєння енергії відновлюваних джерел, що спостерігається в останні роки в Україні. На кінець 2020 року Україна виконала цілі, поставлені щодо досягнення сумарної 11-відсоткової частки енергії відновлюваних джерел у

загальному енергоспоживанні країни, найбільш розвиненими є сонячна та вітрова електроенергетика.

Виконання фундаментальних і прикладних наукових досліджень ІВЕ НАН України направлені на підвищення техніко-економічної ефективності, надійності та стабільності систем енергопостачання на основі відновлюваних джерел. Безпечна експлуатація електроенергетичних систем при значних обсягах освоєння енергії ВДЕ потребуватиме встановлення ефективних акумулюючих потужностей, у тому числі на основі водню. Європейська нова зелена Угода представляє унікальну можливість для України створити та розвивати галузь водневої енергетики, яка потенційно може зробити Україну енергетично незалежною з експортно орієнтованою економікою. Передумовою цього є наявність в Україні другого в Європі потенціалу енергії відновлюваних джерел.

Особливу подяку хочу виразити керівництву НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», польським колегам та представникам Української Водневої Ради за всебічну підтримку при проведенні конференції.

Запрошую Вас до активної співпраці, бажаю колегам плідної роботи з об'єднання міжнародного досвіду, а також впровадження в життя власних наукових здобутків для подальшого розвитку відновлюваної енергетики.

Директор Інституту
відновлюваної енергетики
НАН України, д.т.н.,
чл.-кор. НАНУ, професор

С. Кудря

УДК621.311:681.5+536.24

**ПАРАМЕТРИЧНИЙ МЕТОД НОРМУВАННЯ ЯК ІНСТРУМЕНТ
ВПРОВАДЖЕННЯ НОВИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ПРИ
ПРОЕКТУВАННІ ІНТЕГРОВАНИХ СИСТЕМ
ВДЕ-ГЕНЕРАЦІЇ ТА
КІНЦЕВОГО СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГІЇ**

Н.М. Фіалко, М.П. Тимченко

*Інститут технічної теплофізики НАН України,
вул. Желябова, 2а, Київ-57, 03057, Україна,
тел. (044)456-91-71, (044)453-28-53
e-mail: nmfialko@ukr.net, tnp_books@ukr.net*

Наведено параметричний (performance-based, взамін традиційного розпорядчого) метод нормування та встановлені його перспективи при проектуванні інтегрованих систем ВДЕ-генерації та кінцевого споживання енергії.

Ключові слова: *Глобальне потепління, енергетичний перехід, параметричний метод, ВДЕ-генерація, кінцевий споживач.*

**PERFORMANCE-BASED STANDARDIZATION METHOD
AS THE IMPLEMENTATION INSTRUMENT FOR NEW
TECHNICAL SOLUTIONS FOR DESIGN OF INTEGRATED
RES-GENERATION AND
FINAL ENERGY CONSUMER'S SYSTEMS**

N.M. Fialko, M.P. Tymchenko

Institute of engineering thermophysics of NAS of Ukraine

Performance-based standardization method as the implementation instrument for new technical solutions for design of integrated RES-generation and final energy consumer's systems.

Keywords: Global warming, energy transition, performance-based, method, RES-generation, end user.

ORCID: 0000-0003-0116-7673, 0000-0003-4426-713X.

Виміри CO_2 в атмосфері були започатковані К. Девідом Кілінгом в Інституті океанографії Скриппса. Відповідні дані враховують корекцію середнього сезонного циклу. Останній визначається як ковзна середня семи сусідніх сезонних циклів із центром на відповідні поточні місяці. На рисунку наведений графік повних записів прямих вимірювань¹ вмісту діоксиду вуглецю в атмосфері, що були виміряні в обсерваторії Мауна-Лоа, Гаваї з травня 1958 р. і до квітня 2021 р. включно [1].

Рис. Концентрація CO_2 в атмосфері Землі з 1957 до початку 2021 рр. за спостереженнями обсерваторії Мауна-Лоа, Гавайї. Джерело: [1].

Із року в рік фіксується черговий рекорд вмісту CO_2 в атмосфері. Для порівняння: за останні 800 тисяч років і до

¹ Дані подаються як мольна частка сухого повітря, що визначається як кількість молекул вуглекислого газу, поділене на кількість усіх молекул у повітрі, включаючи сам CO_2 , після видалення водяної пари. Мольна частка виражається у частинах на мільйон (ppm). Приклад: 0,000400 виражається як 400 ppm.

початку індустріальної епохи (1850) рівень вуглекислого газу в атмосфері Землі не перевищував 280 ppm. Крива Кілінга майже однозначно корелює, по-перше, з розвитком енергетики, видобутком і споживанням викопних вуглецевмісних видів палив (вугілля, нафти, природного газу); по-друге, із зростанням середньоземної температури (розвитком з 1960-х років феномену потеплення клімату, замість його похолодання) і її наближенням до критичного значення, за яким відбудуться незворотні негативні для людини зміни в біосфері. Частина суспільства чекає на час, коли низьковуглецеві ПЕР будуть проголошені єдиним джерелом енергії.

Але для цього світовій економіці у цілому, ряді її галузей, особливо в енергетиці, будівництві (як енергетичному, так і громадському) необхідно у короткі строки розробити і реалізувати нові енергоефективні підходи щодо генерації, розподілу і споживання енергії. Не останнє місце у переліку актуальних проблем цього завдання належить новому порядку нормування, яке інтенсивно розробляється у світі і зокрема в ЄС. У свій час Україна підписала Угоду про Асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським союзом, європейським співтовариством з атомної енергії та їхніми державами-членами — з іншої сторони. Україна зобов'язалася адаптувати своє законодавство до законодавства ЄС. Одним із важливих зобов'язань було покращення якості технічних регламентів, зокрема імплементація у національне законодавство, Регламенту (ЄС) № 305/2011 Євро-Парламенту та Ради від 9 березня 2011 року.

На сьогодні констатується (викладається за [2]), що Національна система технічного регулювання побудована за аналогом моделі, що діяла в ЄС до 2011 року. Вона є анахронічною, створює додаткові технічні бар'єри, потребує суттєвого удосконалення. Одним із засобів покращення ситуації є терміновий перехід до параметричного способу формування нормативних та регламентних вимог до проектів ВДЕ-генерації, систем кінцевих споживачів енергії, їх інтеграції. Параметричний метод сприятиме реалізації базових

принципів Світової організації торгівлі та виконанню зобов'язань визначених Угодою про асоціацію, підвищенню інвестиційної привабливості ринку України. Для глобального перетворення слід прискорити імплементацію в Україні Регламенту (ЄС) № 305/2011.

Перші кроки до еволюції системи регулювання в Україні зроблені з прийняттям змін до Закону України «Про будівельні норми». Саме параметричний (англійською - performance-based) метод формування нормативних вимог у будівництві при створенні енергетичних об'єктів і систем визнаний одним з найбільш прогресивних і перспективних методів нормування.

Приклад. Нехай параметрична норма при забезпеченні потреб енергії житлового об'єкту встановлює вимогу, щоб об'єкт споживав енергію, одержану зі зниженням на 30 % характеристичним показником викидів CO₂. При цьому проектувальнику надається правосамостійного обрання відповідного технічного рішення. Раніше, приписувана (розпорядча) норма складалася з докладного опису засобів і методів, можливо, їх варіантів, які, на думку розробника приписуваної (розпорядчої) норми, могли забезпечити досягнення поставленої мети, тобто необхідне зниження викидів CO₂. Проектувальник навіть міг не інформуватися, який саме показник і яка його кількісна величина мали бути досягнуті. Зараз навпаки – параметрична норма встановлює вимогу і значення її характеристичного показника. І тільки вибір засобів і методів, можливо, їх варіантів надається проектувальнику.

На відміну від традиційного приписуваного (розпорядчого) методу, параметричний метод дозволить забезпечити використання альтернативних енергоефективних рішень в практиці проектування як систем електрогенерації на базі ВДЕ, такі споживання енергії у кінцевих споживачів.

Висновок. Параметричний метод нормування є одним із ключових інструментів вирішення проблем глобального енергетичного переходу (Energiewende), впрова-

дження альтернативних технічних рішень в практику проектування інтегрованих систем ВДЕ-генерації та кінцевого споживання енергії. Він відповідає вимогам вітчизняного законодавства, міжнародним нормам та правилам.

Література:

1. Trends in Atmospheric Carbon Dioxide (2021).
<https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/mlo.html>
2. Барзилович Д., Лагунова І., Бардасова І. та інші (2020). Зелена книга: системний перегляд ефективності державного регулювання параметричне нормування у будівництві. К.: Офіс ефективного регулювання. Червень-2020 –92 с.
3. Тарасюк В.Г., Белоконь О.Л. (2018). Параметричний метод нормування у будівництві. Наука та будівництво, 18(4), 13-17.

UDC 620.91

**FACILITY MANAGEMENT PERSPECTIVE ON
REFURBISHMENT
OF HERITAGE BUILDING: LIFE CYCLE ANALYSIS OF
PROTECTED BUILDING IN NEDRE BAKKLANDET 47**

Bintang Noor Prabowo¹, Alenka Temeljotov-Salaj²

Norwegian University of Science and Technology (NTNU)

(bintang.n.prabowo@ntnu.no)

(alenka.temeljotov-salaj@ntnu.no)

Refurbishing historic buildings to achieve EU standard emission levels as for newly built ones is challenging. Most of the heritage buildings are made within regulation restrictions that hinder them from reaching such emission reduction levels without compromising their cultural heritage value. A full life cycle analysis perspective then needs to be put into this context so that zero carbon emission could be obtained by the protected building from the "early phase" of the construction. The study is conducted by making a life cycle analysis assessment of the Bakklandet Children's Asylum (Nedre Bakklandet 47A).

Keywords: *refurbishment, LCA, heritage, building, Bakklandet.*

ORCID: ¹0000-0002-7115-7115, ²0000-0002-4139-5278.

BRIEF REPORT

Through Paris Agreements in 2016, specific requirements have been set for how nations are to achieve international targets for emission reduction. All new buildings will be produced as a low-energy building within a few years to achieve the national goals. Norway has committed itself to reduce its emissions by 40% in 2030 and becoming a low-emission society by 2050 (Directorate for Public Administration and ICT, 2018, in Flyen et al. (2019)). The focus is also on reducing emissions from existing buildings (Eriksen et al., 2009; Almås

et al., 2011) and refurbished them to reach the same emission levels as new buildings stock is assumed. Large numbers of the heritage-protected buildings are built with solutions that will not meet the required emission reduction levels, even with extensive and very ambitious refurbishment.

Protected heritage buildings are essential for historical continuity and quality of life in society. Many existing historic buildings form a necessary framework for people's everyday life. SINTEF report in 2018, as mentioned by Flyen (2019), referred to the fact that buildings worthy of protection represent environmental, social, and economic values that affect identity, well-being, and self-image and contribute to strengthening self-worth and self-image. A unique case of conservation and life cycle analysis can also be found in Bakklandet, Trondheim's old wooden town. Despite its long history as one of the city's early settlements, as Liu (2018) explained, this part of the city faces a severe challenge from the municipality as a policymaker. The intriguing story regarding Trondheim dates back to the 1960s. At this time, there was general consensus that the wooden neighbourhood in the city needed to be restored, including the Bakklandet, so that they could be replaced by new buildings that were better suited, both economically and functionally, to the demands of the urban population of Norway (Liu and Feng, 2018).

As part of this process to a low-emission world, existing and heritage buildings in Norway need to be adapted to satisfy extremely stringent environmental and energy efficiency criteria (Berg and Fuglseth, 2018). As explained by Berg and Fuglseth (2018), a rising number of reports have indicated that preserving and renovating historic buildings may make a positive contribution to climate change mitigation. These can be accomplished by making the historic building more energy efficient and taking into account the avoided pollution it represents, since it has already been built.

This study seeks to understand and identify the life cycle analysis perspective of heritage building refurbishment in Bakklandet area, with Nedre Bakklandet 47A as a sample of the

study case. A full life cycle analysis perspective was put into this context so that zero carbon emission could be obtained from the protected building from the "cradle to grave" of the construction.

According to the comparison from the study conducted in 2010 by SINTEF (in Selvig (2011)) on Nedre Bakklandet 33, it is concluded that in general, refurbishment of Nedre Bakklandet 47A gives a reduction in emissions of 30-40 percent; a lower emission factor for electricity according to the function of *"2-degree target"* which requires an average emission for 60 years (2020-2080) of 146 g CO₂ eq./kWh. This number is still within the maximum standard of emissions from electricity according to the function "EU reference," on average of 269 g CO₂ eq / kWh in the 60 years (2010-2070).

The review of the measures and the measures' calculated effect shows that it is also possible for a protected heritage building to achieve such low-energy needs. In terms of energy efficiency measures of Nedre Bakklandet 47A, the operational phase alone is not enough to achieve the same level of low greenhouse gas emissions from a low-energy class II building; thus, an aggressive refurbishment needed to be conducted and going to have likely resulted in a conflict with the conservation objective. In practice, most radical changes are not permitted to be implemented to preserve the cultural heritage value. A full life cycle analysis perspective then be put into the context so that zero carbon emission could be obtained by the protected building from the "early phase" of the construction will not be calculated. This point of view gives a heritage building an advantage in the total carbon print produced, compared to the newly constructed building, even when it met the low-energy building.

Existing materials in the protected building do not have greenhouse gas emissions. The discharge has already undergone a depreciation during its initial life span, and by extending the life of the building (beyond 60 years), the need for new materials is reduced. When implementing the measures, the "new material" is only accounted for "replaced or added materials" for the building refurbishment. These "new materials"

are calculated for emissions according to the same methodology as for new buildings. However, it still has lower energy efficiency during the operational phase. Previous studies (Selvig, 2007 and 2010) indicated that when choosing more greenhouse gas-friendly materials, it is possible to reduce emissions by more than 50 percent compared to the "current practice."

There will be near zero raw material and transport needed to preserve the heritage building in the production stage. Even during the construction stage, only specific material needed to be repaired or replaced will contribute to the carbon print, compared to 100% of the newly built building. However, it is designed to be a low emission building. Another exciting part is that a protected building will also be considered to have a longer life span if the maintenance is performed correctly. It will also contribute to a low (or zero/ near zero) carbon emission since there will be no demolition and no (or near zero) transport of waste, waste processing, and disposal.

References:

1. Almås, A.-J. et al. (2011) 'An approach to impact assessments of buildings in a changing climate', Building Research & Information. Taylor & Francis, 39(3), pp. 227–238.
2. Berg, F. and Fuglseth, M. (2018) 'Life cycle assessment and historic buildings: energy-efficiency refurbishment versus new construction in Norway', Journal of Architectural Conservation. Taylor & Francis, 24(2), pp. 152–167.
3. Eriksen, S. et al. (2009) 'Weakening adaptive capacity? Effects of organizational and institutional change on the housing sector in Norway', Climate and development. Taylor & Francis, 1(2), pp. 111–129.
4. Flyen, C., Flyen, A. C. and Fufa, S. M. (2019) 'Miljøvurdering ved oppgradering av verneverdig bebyggelse', SINTEF Fag. SINTEF akademisk forlag.
5. Liu, C. and Feng, Y. (2018) 'The Study on Urban Development in Capital of Culture in China: A Case of Jingdezhen', in 2018 3rd International Conference on Smart City and Systems Engineering (ICSCSE). IEEE, pp. 801–804.

УДК 621.311

ДИНАМІЧНИЙ ТАРИФ НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЮ – ОСНОВА ФУНКЦІОНУВАННЯ MICROGRID СИСТЕМ

В.В. Козирський¹, д-р техн. наук, професор,
В.Я. Бунько², канд. техн. наук, доцент, **Т.О. Козирська³**,
аспірант,

С.В. Яцела⁴, викладач,

^{1,2,3}Національний університет біоресурсів і
природокористування України,

⁴Прилуцький агротехнічний коледж

Перспективною концепцією розвитку систем енергозабезпечення людства вважається напрям технологій Smart Grid, а для віддалених територій, наприклад сільських регіонів, – створення систем MicroGrid. Введення поняття динамічний тариф поточної вартості електроенергії на вводі споживача обумовить зниження втрат електроенергії на її транспортування, що суттєво вплине на вартість спожитої електроенергії споживачами.

Ключові слова: Smart Grid, MicroGrid, динамічний тариф, сонячна електростанція.

DYNAMIC TARIFF FOR ELECTRICITY – THE BASIS OF MICROGRID SYSTEMS FUNCTIONING

V.V. Kozyrskyi¹, Ph.D., professor, **V.Ya. Bunko²**, Ph.D.,
associate professor, **T.O. Kozyrska³**, graduate student,
S.V. Yatsela⁴, teacher,

^{1,2,3}National University of Life and Environmental Sciences of
Ukraine,

⁴Pryluky Agrotechnical College

A promising concept for the development of human energy supply systems is the direction of Smart Grid

technology, and for remote areas, such as rural areas - the creation of MicroGrid systems. The introduction of the concept of dynamic tariff of the current cost of electricity at the input of the consumer will reduce electricity losses for its transportation, which will significantly affect the cost of electricity consumed by consumers.

Keywords: *Smart Grid, MicroGrid, dynamic tariff, solar power plant.*

ORCID: 0000-0001-6780-9750.

Розвиток цивілізації, зростання вимог до енергозабезпечення, технічний прогрес, створення інтелектуальних технологій, подальші негативні зміни в екології, вичерпність традиційних енергоресурсів формують нові підходи до способів енергозабезпечення як побуту, так і виробництва.

Найбільш перспективною концепцією розвитку систем енергозабезпечення людства вважається напрям технологій Smart Grid, а для віддалених територій, наприклад сільських регіонів, – створення систем MicroGrid. У світі уже здійснено ряд пілотних проєктів подібних систем.

Однак дана концепція створює низку наукових, технічних і економічних задач, які потребують вирішення для забезпечення успішного функціонування систем MicroGrid.

Система MicroGrid – локальна електроенергетична система, яка складається з двох або більше однорідних або різнорідних джерел електроенергії, засобів акумуляування енергії, елементів транспортування, розподілення електроенергії та комутації, споживачів електроенергії, систем отримання, передачі й аналізу інформації. Система розглядається як єдиний інтегрований та контрольований блок підсистем «генерації–акумуляування–транспортування–розподілення–споживання» електроенергії з інтелектуальною системою керування. Система MicroGrid може працювати автономно і як

інтегрована підсистема в централізованій електроенергетичній системі.

Якщо власником СЕС є ОТГ (об'єднана територіальна громада), то виробництво електроенергії, її транспортування і продаж виходять із поля юрисдикції державного регулювання. В цих умовах постає задача формування тарифів для споживачів. Оскільки електроенергія є товаром, а вартість її генерації і транспортування по мережах змінюється у часі, доцільно розглянути новий принцип – формування тарифу для кожного споживача в динаміці (протягом відрізка часу t , коли складові тарифу в часі є незмінними). Даний тариф може мати назву «динамічний».

Динамічний тариф (ДТ) – це інтегральний показник поточної вартості електроенергії на вводі споживача, який формується на основі реальної собівартості електроенергії з джерел в системі MicroGrid (див. рис. 1), вартості втрат електроенергії при транспортуванні, податків, планованого прибутку та ряду функціональних коефіцієнтів, що обумовлюють управління балансом генерації і споживання електроенергії, вплив споживачів і системи MicroGrid на якість електроенергії.

Схема на рис.1 демонструє основні елементи системи MicroGrid: споживачі – різноманітні об'єкти ОТГ (комунально-побутової і виробничої сфер); СЕС – сонячні електростанції (можуть бути з накопичувачами електроенергії); реклоузери – комутаційні апарати з автоматикою і дистанційним керуванням; центр керування системою MicroGrid.

У процесі функціонування системи MicroGrid протягом доби змінюється електричне навантаження споживачів і в міру зміни навантажень у вузлах схеми (рис. 1) буде відбуватись кероване вмикання частини реклоузерів, і вимикання іншої частини – конфігурація схеми буде оптимізуватись за критерієм мінімальних сумарних втрат потужності у системі MicroGrid. Отже, схема транспортування електроенергії від СЕС може змінюватись,

і споживач протягом доби може отримувати електроенергію від різних джерел.

Функціонал визначення динамічного тарифу на вводити споживача електроенергії:

$$T_D(C_i, K_i) = (T_1(C_1) + T_2(C_2) + T_3(C_3) + T_4(C_4) - T_5(C_5)) \cdot K_1(S) \cdot K_2(I_1) \cdot K_3(I_2),$$

де складові тарифу на електроенергію: $T_1(C_1)$ – залежність тарифу для конкретного споживача від собівартості виробленої електроенергії; $T_2(C_2)$ – залежність тарифу від вартості втрат електроенергії на транспортування; $T_3(C_3)$ – залежність тарифу від величини податків; $T_4(C_4)$ – складова, що визначається планованим прибутком системи MicroGrid; $T_5(C_5)$ – складова, що визначається продажем електроенергії до централізованої системи електропостачання за «зеленим тарифом»; $K_1(S)$ – коефіцієнт, що враховує управління балансом генерації і споживання електроенергії; $K_2(I_1)$ – коефіцієнт, що враховує негативний вплив споживача на якість електроенергії; $K_3(I_2)$ – коефіцієнт, що враховує негативний вплив системи MicroGrid на якість електроенергії.

Рис. 1. Приклад схеми електричної мережі у системі MicroGrid

Висновки.

1. Найперспективнішою концепцією розвитку систем енергозабезпечення людства вважається напрям технологій SmartGrid, а для віддалених територій, наприклад сільських регіонів, – створення систем MicroGrid.

2. Сучасні технічні засоби дозволяють створити систему онлайн обліку вартості електроенергії на вводі до споживача (в реальному часі), що потребує вирішення ряду економічних задач.

3. Введення поняття динамічний тариф – інтегрального показника поточної вартості електроенергії на вводі споживача обумовить зниження втрат електроенергії на її транспортування, що суттєво вплине на вартість спожитої електроенергії споживачами.

УДК 621.316

ВИКОРИСТАННЯ МІКРОСИНХРОФАЗОРІВ ДЛЯ СИМЕТРУВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯ ФІДЕРІВ РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖ

**О.С. Яндульський¹, Г.О. Труніна², А.Б. Нестерко³,
Д.В. Настенко⁴**

*Національний технічний університет України «Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

У роботі пропонується новий підхід до симетрування навантаження фідерів розподільних мереж, фази яких сильно незбалансовані або неправильно марковані. Підхід ґрунтується на дані високоточних фазових вимірювальних приладів (мікросинхрофазорів) для розподільних мереж.

Ключові слова: синхронізовані вимірювання режимних параметрів, відновлювані джерела енергії, розподільна електрична мережа, симетрування навантаження, маркування фаз, несиметрія фаз, втрати електричної енергії, трифазні електричні мережі.

LOAD BALANCING IN DISTRIBUTION NETWORKS WITH MICRO-SYNCHROPHASORS

**O. Yandulsky¹, G. Trunina², A. Nesterko³,
D. Nastenکو⁴**

*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv
polytechnic institute"*

The paper proposes a new method of load balancing for distribution networks, in which the phases can be very unbalanced or incorrectly marked. The approach is based on the data of high-precision phase measuring instruments (microsynchrophasors) for distribution networks.

Keywords: synchronized measurements, renewable energy sources, distribution network, load balancing, phase

marking, asymmetry of phases, losses of electric energy, three-phase electric networks.

ORCID: ¹0000-0002-0362-7947, ²0000-0002-4044-4955,
³0000-0001-7488-4214.

Оператори електромереж часто мають обмежену або ненадійну інформацію про маркування фаз підключених навантажень. Крім того, в розподільних мережах часто відбуваються неконтрольовані, пов'язані з технічним обслуговуванням, зміни в маркуванні фаз. Через брак інформації АСУТП електричних мереж не можуть правильно розподілити нові навантаження, що призводить до нерівномірного завантаження фаз.

Автори співпрацюють у розробці передової технології моніторингу розподільних мереж – мікросинхрофазоров, або μ PMU, що здатні забезпечити високу точність синхронізованих за часом вимірювань величин, приєднаних до мережі навантажень [1]. Для симетрування навантажень використовуються дані μ PMU, а саме вимірювання навантаження, виконані в різних місцях фідера. Це дозволяє динамічно визначати оптимальну конфігурацію фаз мережі та вирішити задачі оптимізації топології, зменшення втрат потужності та підвищення якості електропостачання в реальному часі [2].

Запропонований підхід заснований на розв'язанні задачі лінійного програмування. Критерієм оптимізації є мінімум за сумою норм вектора пофазних навантажень фідера за визначений період часу (1), а керованою змінною виступає матриця конфігурації фаз в точках приєднання навантаження (2). В загальному випадку матриці X_i та

X^{opt} залежать від часу.

$$J = \min_{X_i \in \{X_i^\alpha, X_i^\beta, X_i^\gamma\}} \left(\sum_{i=1}^n \|L^k(X_i)\| \right), X^{opt} = \arg J \quad (1)$$

$$L^k = \sum_{i=1}^n X_i l_i^k, l_i = \begin{bmatrix} l_i^a \\ l_i^b \\ l_i^c \end{bmatrix}, l_i^a = [l_i^{a,t1} l_i^{a,t2} \dots l_i^{a,tp}] \quad (2)$$

де L^k – вектор пофазних навантажень фідера в час k , al_i – потужність навантаження в точці приєднання i .

Матриця конфігурації фаз в точках приєднання навантаження має вигляд (3).

$$X_i = \begin{bmatrix} x_i^\alpha & x_i^\beta & x_i^\gamma \\ x_i^\gamma & x_i^\alpha & x_i^\beta \\ x_i^\beta & x_i^\gamma & x_i^\alpha \end{bmatrix}, x_i^\alpha + x_i^\beta + x_i^\gamma = 1 \quad (3)$$

Кожен елемент матриці X_i визначає конфігурацію трифазного підключення навантаження де x_i^α означає чергування фаз ABC, а x_i^β – BCA відповідно.

Результати симетрування навантаження наведено на рис. 1. Аналіз отриманих даних показав, що використання запропонованого підходу для досліджуваного фідера дозволяє зменшити коефіцієнт несиметрії з 1,05 до 1,002.

Рис. 1. Навантаження фаз до (а) та після (б) симетрування

Література:

1. Pinte B., Quinlan M., Reinhard K. Low voltage micro-phasor measurement unit (μ PMU). 2015 IEEE Power and Energy Conference at Illinois (PECI). IEEE, 2015. p. 1–4.
2. Яндульський О.С., Труніна Г.О., Нестерко А.Б. Координоване регулювання напруги в розподільній електричній мережі з джерелами розосередженого генерування. Вісник Приазовського державного технічного університету, серія: Технічні науки: збірник наукових праць. – 2017. – № 35. – С. 177–184.

УДК 658.26

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕПЛОЛОКАЛІЗАЦІЙНИХ СИСТЕМ ДЛЯ МОБІЛЬНИХ ШПИТАЛІВ

А.Є. Денисова¹, д-р техн. наук, проф.,
Г.В. Лужанська², канд. техн. наук, доц.,
О.С. Жайворон³, аспірант,
Я.В. Соломенцева⁴, аспірант

Одеський національний політехнічний університет,
65044, Одеса, просп. Шевченка, 1,

¹tel: +38(093)703-48-25, e-mail: 1dentf@opu.ua,

²tel: +38(067)488-05-71, e-mail: 2luzhanska@opu.ua,

³tel: +38(097)855-98-81, e-mail: 3jaivoron.oksana@gmail.com,

⁴tel: +38(067)512-13-20, e-mail: 4solomenceva73@gmail.com

Проведено дослідження роботи системи теплолокалізації у відкритих зовнішніх отворах для мобільних шпиталів і будівель, переобладнаних для цієї мети, у зв'язку зі світовою пандемією COVID-19. Розроблена конструкція дасть змогу значно поліпшити параметри мікроклімату мобільних шпиталів, знижуючи витрати теплової енергії на систему теплозабезпечення.

Ключові слова: система теплолокалізації, мобільні шпиталі, плоский повітряний потік.

ENERGY EFFICIENCY OF HEAT LOCALIZATION SYSTEMS IN HOSPITALS

A.E. Denysova¹, **G.V. Luzhanska²**, **O.S. Zhaivoron³**,
Y.V. Solomentseva⁴

Research of operation modes of the thermal localization system for mobile hospitals and buildings re-equipped to hospitals, because of global COVID-19 pandemic. Developed construction can significantly improve the parameters of

microclimate for mobile hospitals due to reduction of costs of thermal energy for the heating system.

Keywords: *thermal localization system, mobile hospitals, flat air jet.*

ORCID: ¹0000-0002-3906-3960, ²0000-0002-3784-5926,
³0000-0001-6750-2388, ⁴0000-0003-4314-7953.

В період кризи, яка виникла внаслідок світової пандемії, викликаній COVID-19, актуальними питаннями є розробка і впровадження енергоощадних технологій при створенні мобільних шпиталів та перепрофілюванні будівель і споруд у лікарні, що є особливо важливим у холодний період року.

Згідно з нормативними документами Міністерства охорони здоров'я України параметри мікроклімату внутрішніх приміщень для розміщення хворих жорстко регламентуються. Багато будинків, які не були призначені для таких цілей, необхідно терміново пристосовувати до шпиталів, з урахуванням цих вимог.

При розгортанні мобільних шпиталів в осінньо-зимовий сезон існує загроза проникнення значних мас холодного повітря всередину крізь зовнішні отвори, що, може негативно позначитися на стані здоров'ї ослаблених хворобою людей і медичного персоналу.

Перешкоджання проникненню холодних повітряних мас в опалювальні приміщення мобільних шпиталів шляхом застосування системи теплолокалізації, яку встановлюють у відкритих зовнішніх отворах, дасть змогу зберегти необхідні параметри внутрішнього мікроклімату.

Підтримка нормованих умов у приміщеннях мобільних шпиталів досягається за рахунок формування плаского неізотермічного струменя, що витікає з щілинного отвору повітророзподільного короба повітряно-теплової завіси. Внаслідок цього створюється потужна протидія на шляху проникнення зовнішнього повітря, що досягається

шляхом взаємодії струменя теплого повітря, направлено перпендикулярно до поверхні відкритого отвору.

Для підвищення ефективності роботи теплолокалізуючої системи необхідно модернізувати конструкцію щілинного повітророзподільного отвору повітряно-теплової завіси. Для цього запропоновано перекрити цей отвір по вертикалі в перемежованому порядку, що приведе до зменшення живого перетину для входу повітря, зниження кількості необхідного повітря та значного скорочення витрати теплоти на систему теплопостачання [1]. В результаті плаский неізотермічний повітряний потік, що витікає зі щілинного повітророзподільного отвору, розбивається на численні пласкі неізотермічні струмені, які зливаються в сформований потік на певній відстані, попереджаючи проникання холодного повітря в приміщення.

Швидкість повітряного струменя на початковій ділянці витоку визначається за формулою [2]:

$$\bar{V} = \frac{V}{V_0} = (1 - \bar{y}^{1.5})^2, \quad (1)$$

де V_0 – початкова швидкість витоку повітряного потоку, швидкість на початку струменя; V – швидкість в точці, віддаленій від осі струменя на відстані y

$$y = y' - \frac{y_n + y_k}{2}, \quad (2)$$

y' – поточна координата по вертикалі, м; y_n – початкова координата витоку струменя (вниз щілини), м; y_k – кінцева координата витоку струменя (вгору щілини), м.

Гранична початкова швидкість витоку повітряного потоку з теплолокалізуючої завіси становить 25 м/с.

Результати дослідження взаємодії повітряних струменів запропонованого способу системи теплолокалізації мобільних шпиталів представлені на рис. 1.

Щілинні отвори повітророзподільного коробу повітряно-теплової завіси, що перекриваються по вертикалі, утворюють плоскі неізотермічні струмені, представлені вздовж осі Y . При цьому струмені поширюються в одному напрямку та витікають зі щілин однакових розмірів з однакою швидкістю. Сформовані струмені мають бути відокремлені один від одного відстанню, яка дорівнює висоті щілини. Відстань від місця витікання цих струменів у напрямі відкритого зовнішнього отвору представлена вздовж осі S . Вздовж осі V_{oc} представлена швидкість плоского неізотермічного струменя залежно від відстані від місця витікання по горизонталі і відповідно від відстані по вертикалі в профільних перетинах потоку.

Рис. 1. Взаємодія повітряних потоків системи теплолокалізації

В результаті злиття і взаємодії повітряних струменів повітряно-теплової завіси утворюється сформований неізотермічний плаский потік, який повністю перекриває відкритий зовнішній отвір, тим самим підвищуючи ефективність роботи теплолокалізуючої установки, зменшуючи споживання теплової енергії, та удосконалює роботу систем теплопостачання мобільних шпиталів.

Теоретично обґрунтовано й експериментально підтверджено, що відстань, на якій відбувається злиття пласких неізотермічних струменів, що витікають з повітророзподільного щілинного отвору, формуючи результуючий повітряний потік на відносній відстані, – 2,2 від щілинного отвору. Це забезпечує підвищення ефективної роботи повітряно-теплової завіси при енергоощадних цілях при теплозабезпеченні мобільних шпиталів.

Література:

1. Денисова А.Є., Лужанська Г.В., Іванова Л.В., Жайворон О.С., Бодюл О.С. Вдосконалення систем теплолокалізації на засадах енергозбереження // Вісник національного технічного університету «ХПІ», №6 (1360). – 2020. – С. 3–11. <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/50450>
2. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. Пер. с нем. – М.: Наука, 1974. – 711 с. 3.
3. Денисова А.Є., Лужанська Г.В., Баласанян Г.А., Дорошенко Ж.Ф., Жайворон О.С., Чефтелов І.О. Вдосконалення системи мікроклімату будівель та споруд різного призначення // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVIII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2020, 28-30 жовтня 2020 р.: у 5 ч. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». – С. 192. http://science.kpi.kharkov.ua/wp-content/uploads/2020/10/Tezi_chastina_2_2020.pdf

УДК 330.342

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ В КОНТЕКСТІ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ПРОЦЕСІВ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ДЕРЖАВИ

О.О. Демешок

*Державна установа «Інститут економіки
природокористування та сталого розвитку
НАН України»,*

*бульв. Тараса Шевченка, 60, м. Київ, 01032, Україна
тел.: +38(063)461-35-25, e-mail: josefine@ukr.net*

Визначено, що використовуваний в межах системи управління забезпеченням енергоефективності прикладний інструментарій належним чином не інтегровано до явищ, які відбуваються енергетичному та теплоенергетичному секторі держави.

Ключові слова: *виробничо-економічна система, енергетичні ресурси, енергоспоживання.*

ENSURING ENERGY EFFICIENCY IN THE CONTEXT OF INTENSIFICATION OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT PROCESSES

It is determined that the applied tools used within the energy efficiency management system are not properly integrated into the phenomena occurring in the energy and heat sector of the state.

Keywords: *production and economic system, energy resources, energy consumption.*

ORCID: 0000-0002-6297-3241.

Слід визнати, що при реалізації будь-яких функцій із управління розвитком виробничо-економічної

системи можуть виникати дві протилежні за своєю суттю тенденції [1,2]:

1. Тенденція щодо зменшення витрат енергетичних ресурсів, праці й капіталу при забезпеченні деякого розумного рівня кінцевого споживання;

2. Тенденція, яка візуалізується за результатами визнання панівною ідеєю забезпечення сталого розвитку, – тобто ідеологію економічного зростання – тобто, само нарощення – при цьому, виникає й інша динаміка, а саме – до збільшення обсягу і кількості різновидів її кінцевого споживання, включно пов'язаних зі збільшенням споживання енергії.

Слід також визнати, що друга тенденція найсуттєвіше проявляється в суспільствах західного типу для найбагатшої й мобільнішої його частини. А для суспільства, що постійно змінюється, характерним є зростання обсягів енергоспоживання в усіх соціальних аспектах та видах економічної діяльності.

У цьому контексті, можна стверджувати таке: деякі енергоощадні технології спочатку доступні для елітарного споживання, а тоді стають масовими, дешевшають і захоплюють велику частку ринку відповідного типу соціально-економічних послуг. Проте поряд із цим саме технологіям управління забезпеченням енергоефективності функціонування будь-яких складних систем необхідно привернути увагу. При цьому нагальним є їхнє удосконалення та перманентне уточнення інструментарію задля ініціювання стійкої динаміки як виробничо-економічних, так і економічних систем у цілому до сталого розвитку.

Зауважимо, що на даному етапі розвитку реального сектора економіки держави саме зростання обсягів енергоспоживання не може само собою зупинитися, а отже, і в кількісному нарощуванні кінцевого споживання енергії. Тож основне, що вимагається від суб'єктів управління, – це, з одного боку, раціональність енергоспоживання або інших ресурсів, а з іншого –

мінімізація екологічного збитку, а також можливість постачання ресурсів на світові ринки на тривалу перспективу. Оскільки національні економіки, що розвиваються, прагнуть збільшити споживання енергоресурсів у рамках зростання національних економік і формування більшого прошарку забезпечених людей, для них найважливіші економічні аспекти енергоспоживання, а екологічні зазвичай другорядні.

Отже, можна визнати що політика енергоефективності має включати такі процедури і методи, що допомагають змінити поведінку користувачів шляхом поліпшення розуміння необхідності енергоефективних технологій, а також спрямовувати діяльність певної сфери до сталого розвитку.

Політика нарощення рівня енергоефективності, враховуючи необхідність контролювання витрат та ідентифікації результативності реалізації заходів, повинна передбачати таке: розширення й зростання технологічного й технічного потенціалів енергоефективності управлінських рішень (зокрема шляхом впровадження досліджень і розробок); створення пільгових цін задля спонукання споживачів і забезпечення балансу інвестиційних витрат у сфері генерування, виробництва і споживання енергії; узагальнення на рівні споживача необхідності оптимізації обсягів споживання і виробництва електроенергії за «правильними» цінами; зменшення інформаційних витрат та повернення до старих нормативів і стандартів у разі неправильного вирішення проблеми.

Зазначимо, що нагальною є потреба у визначенні центру локалізації зусиль щодо синхронної інтенсифікації процесів як сталого розвитку, так і підвищення енергоефективності функціонування національного господарства. Певним чином підсумовуючи результати розробок, стверджуємо, що таким видом економічної діяльності є промислова та комунальна теплоенергетика – стратегічний потенціал яких та інвестиційні можливості є

достатніми для виконання ролі генератора загальноекономічного прискорення в державі.

Література:

1. Економічна безпека промисловості: цільовий функціонал та технології управління: Монографія. / *Микитенко В.В., Демешок О.О.* / За наук. редакцією д-ра екон. наук, проф. Микитенко В.В. – Київ, ДУ «Інститут економіки природокористування та сталого розвитку НАН України», МНТУ ім. акад. Юрія Бугая МОНмолодьспорту України, 2012. – 650 с.

2. Динаміка стратегічних пріоритетів в енергетичній сфері як фактор кореляції інвестиційної політики у промисловості України [текст] / *В. І. Барканов* // Економіка промисловості України: [зб. наук. пр./ред. кол. Л.В. Дейнеко та ін.]. – К.: РВПС України НАН України, 2007 – С. 79–97.

УДК 621.311

**КОРОТКОСТРОКОВЕ ПРОГНОЗУВАННЯ НАВАНТАЖЕНЬ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ З ВИКОРИСТАННЯМ
ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ**

Є.І. Бардик¹, Я.С. Коваль²

*Національний технічний університет України «Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
кафедра відновлюваних джерел енергії,
просп. Перемоги, 37, Київ, 03056, Україна, тел./факс:
+38(050)188-17-31,
e-mail: bardik1953@gmail.com*

*У статті розглянуто питання використання й
порівняння методів прогнозування вузлових навантажень
електроенергетичних систем.*

Ключові слова: *прогнозування, навантаження,
електроенергетична система, штучні нейронні мережі
, вітрогенерація, режимна надійність.*

**SHORT-TERM FORECASTING LOADS OF ELECTRIC
POWER SYSTEMS WITH THE USE OF ARTIFICIAL
NEURAL NETWORKS**

E.I. Bardik, Y.S. Koval

*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv
Polytechnic Institute", Department of Renewable Energy
Sources, Peremogy, 37, Kyiv 03056, Ukraine,
tel./fax: +38(050)188-17-31, e-mail: bardik1953@gmail.com*

*The article considers the use and comparison of methods
for forecasting nodal loads of power systems.*

Keywords: *forecasting, load, electric power system,
artificial neural networks, wind generation, mode reliability.*

ORCID:¹0000-0002-5776-1500, ²0000-0001-8022-5821.

Прогнозування навантажень є важливою задачею диспетчерського керування ЕЕС і допомагає оперативно-диспетчерському персоналу приймати важливі рішення, включаючи рішення щодо планування виробництва електроенергії, отримання навантаження та розвитку інфраструктури, планування ремонтного обслуговування і оптимізації режимів [1]. Прогнозування навантаження також важливе для оцінювання контрактів та різних складних фінансових продуктів щодо енергетичного ціноутворення, пропонованих ринком. Особливо загострюється дана проблема в зв'язку з лібералізацією ринку електроенергії [2].

Короткострокове прогнозування навантаження ЕЕС може допомогти оцінити потоки потужності елементів системи та прийняти превентивні рішення, які можуть запобігти перевантаженню. Своєчасна реалізація таких рішень приводить до підвищення надійності мережі та зменшення частоти відмов обладнання та відключення обладнання. Особливо важливого значення також набувають питання оцінки режимної надійності, експлуатаційних ризиків підсистем ЕЕС з високою часткою вітрогенерації при випадкових відмовах окремих елементів [3]. Експлуатаційні ризики системи визначаються імовірністю цих подій і залежать від технічного стану обладнання, погодних умов та інших факторів. Крім того, вони пов'язані з необхідністю забезпечення балансу потужності в ЕЕС і суттєво залежать від рівня генерації вітроенергетичних установок (ВЕГ) і рівня навантаження у вузлах системи, які мають імовірнісну природу [4]. Оперативний персонал повинен знати і враховувати всі можливі експлуатаційні ризики в прогнозований період від декількох хвилин до декількох діб наперед.

Тому важливою задачею є визначення прогнозованих значень активної та реактивної потужностей вузлів ЕЕС, зокрема з ВЕУ, оскільки недостовірний прогноз потужностей

і навантажень в умовах відмов окремих елементів можуть призвести до небалансу між генерацією і споживанням, неприпустимому відхиленню режимних параметрів, каскадному розвитку аварій зі значними збитками [5].

Наразі існує низка математичних моделей прогнозування вузлового навантаження ЕЕС [6]. На сьогоднішній день найперспективнішим є використання математичних моделей прогнозування на основі штучних нейронних мереж (ШНН) з елементами нечіткої логіки, оскільки це не потребує побудови моделі об'єкта [7]. Для тестування різних математичних моделей прогнозування навантаження як вхідні дані використані фактичні (ретроспективні) усереднені за 60 хв значення вузлових навантажень, отриманих на інтервалі один місяць з оперативно-вимірювального комплексу енергосистеми НЕК УКРЕНЕРГО, що містить 56 вузлів з яких 17 є вузлами навантаження.

Було вибрано такі методи короткострокового прогнозування: ARIMA (Auto Regressive Integrated Moving Average – модель авторегресії та інтегрованого ковзного середнього), метод групового урахування аргументів (МГУА), декомпозиційний метод (ARMAX). Як критерій оптимізації використовується середньоквадратична помилка моделі на навчальній вибірці. Алгоритм ґрунтується в послідовному наближенні заданих початкових значень параметрів до бажаного локального оптимуму.

Тестування методів за результатами внутрішньодобового і вузлового сумарного навантажень на прикладі вузла підсистеми ЕЕС наведено в табл. 1, 2 і на рис. 1.

Рис.1. Результати прогнозування потужності навантаження різними методами на добу вперед для розподільчого пункту підсистеми ЕЕС

Таблиця 1. Результат прогнозу погодинного навантаження ПС Київська на добу вперед

Година	Навантаження	МГУА	ARIMA	DECOMP
0	192,1732635	213,5666861	204,9583859	202,6177351
1	166,0818634	175,5202234	179,8339456	176,2792842
2	149,0207672	155,8019505	162,2040416	159,4034328
3	145,0766754	147,9626577	150,668268	152,3447159
4	139,8962708	142,1903827	145,1372225	145,7676424
5	138,5181732	137,924916	147,2008158	148,3364624
6	144,2679749	142,6430487	155,7482294	152,7308076
7	180,7674713	173,4131226	178,1236805	172,7932601
8	207,7369995	197,0864481	204,2774499	207,9262613
9	226,1304169	219,2985594	220,3318477	230,0490684
10	230,4554138	233,4737699	230,5468937	244,0700853
11	231,7387085	239,8369787	231,169283	253,8974381
12	227,3659058	231,646513	226,1546408	250,7806239
13	226,1296997	234,2962911	221,334563	249,5830617
14	228,3161011	237,5440154	223,2320866	248,797027
15	233,0695953	241,2317994	222,969341	251,0348746
16	228,0310059	234,4714742	226,0535086	250,9097139
17	230,1222992	239,8139635	225,1095307	257,7773763
18	223,895813	229,2730021	225,0209741	257,7575388
19	230,0270081	221,1918313	227,2822425	260,1508473
20	231,3108063	221,7421764	228,1605021	261,8725822
21	236,2546082	229,5884378	240,4426105	261,1363235
22	251,3695984	257,7922101	250,3995328	285,385963
23	225,7987061	228,1301864	238,0644666	260,5991868

Таблиця 2. Похибки за результатами прогнозування різними методами

Середня Похибка	МГУА	ARIMA	DECOMP
MAPE	2,475 %	5,818 %	7,104 %
RMSPE	3,316 %	7,795 %	9,362 %

Порівняльний аналіз отриманих середніх абсолютних похибок у відсотках (MAPE) показав, що найбільшу точність має метод МГУА (2,475 %), а при застосуванні методів ARIMA і декомпозиційного методу абсолютні похибки у

відсотках становлять (5,818 %) і (7,104 %) відповідно. Отримані результати свідчать про те, що метод МГУА дає змогу виконувати хороші прогнози з найменшими похибками та слугувати для короткострокового прогнозування навантаження вузлів підсистем ЕЕС.

Література:

1. Ways and results of improving methods for forecasting power consumption. A.V. Belan, V.I. Gordeev, A.V. Demura, I.I. Nadtok. – Industrial Energy, 1993, No. 9-10.
2. Fan, S., Methaprayoon, K., & Lee, W.J. (2009). Multiregion load forecasting for system with large geographical area. IEEE Transactions on Industry Applications, 45 (4), 1452–1459.
3. Меламед М.А. Современные методы анализа и прогнозирования режимов электропотребления в электроэнергетических системах 1988. – Т. 4. – С. 4–11.
4. Chen, P., Chen, Z., & Bak-Jensen, B. (2008). Probabilistic load flow: a review. Third International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies. pp. 1586–1591.
5. Fan, S., Methaprayoon, K., & Lee, W.J. (2009). Multiregion load forecasting for system with large geographical area. IEEE Transactions on Industry Applications, 45 (4), 1452–1459.
6. Energy consumption forecasting: modern approaches and an example of research. L.A. Bolshov, M.F. Kanevsky, E.A. Savelyeva, etc. – Izv. Academy of Sciences. Energy, 2004, No. 6.
7. Makridakis S., Wheelwright S., Hyndman R. Forecasting: methods and applications. – N. Y.: John Wiley & Sons, 1998.

УДК 620.9

ЩОДО ПРОПОЗИЦІЇ КОРИГУВАННЯ МЕТОДІВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ БУДІВЕЛЬ

В.І. Дешко¹, І.Ю. Білоус², М.І. Осадча³

КПІ ім. Ігоря Сікорського,

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту

тел.: ²+38(050)65-00-479, e-mail: bilouys_inna@ukr.net

У роботі представлено пропозиції коригування використання графіку теплового навантаження та математичного моделювання для визначення енергоспоживання будівель для умов прогнозування.

Ключові слова: *споживання теплової енергії, графік теплового навантаження, динамічні моделі, сонячні теплонадходження.*

PROPOSAL REGARDING ADJUSTMENT OF METHODS FOR DETERMINATION ENERGY CONSUMED BY BUILDINGS

V. Deshko, I. Blous, M. Osadcha

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute,

Institute of Energy Saving and Energy Management

The paper contains proposals for adjustment of the heat load graph usage and mathematical modeling to determine the energy consumption of buildings for forecasting conditions.

Keywords: *heat energy consumption, heat load schedule, dynamic models, solar heat input.*

ORCID: ¹0000-0002-8218-3933, ²0000-0001-9304-5432,
³0000-0002-0872-8376.

Питання енергоефективності будівель актуальне як на стадії будівництва, так і на стадії експлуатації. Більшість

будівель, що експлуатуються в Україні, належать до масової забудови ХХ століття. Зазвичай для розрахунку енергоспоживання теплової енергії районів міст донині використовується графік теплового навантаження [1]. Для побудови графіку теплового навантаження достатньо знати тривалість стояння температури протягом опалювального періоду, а також теплове навантаження будівлі. Теплове навантаження зазначається в енергетичному паспорті будівлі та включає в собі трансмісійну (втрати тепла через оболонку будівлі) та вентиляційну складову втрат теплоти за розрахункової температури (умов проектування). Ефективне використання теплової енергії передбачає доцільність враховувати крім тепловтрат також додаткові теплонадходження, серед яких сонячні теплонадходження в зону будівлі. Сонячна активність не має кореляційного зв'язку зі зміною зовнішньої температури, тому для врахування даної складової при побудові графіку теплового навантаження авторами запропоновано використати погодинні дані типового року з міжнародного погодного файлу IWEC для міста Києва [2]. На основі статистичного аналізу визначено середню величину сонячних надходжень на вертикальні та горизонтальні поверхні для розглянутого інтервалу зовнішніх температур $-16...+8^{\circ}\text{C}$ із кроком 2°C . Такий підхід при врахуванні сонячних теплонадходжень у зону будівлі при різних значеннях температури зовнішнього повітря дозволив не тільки внести корекцію на сонячні теплонадходження до графіку теплового навантаження, але й урахувати як збільшення впливу сонячної радіації на величину енергоспоживання в період міжсезоння (особливо в березні-квітні), так і зниження сонячної активності в холодний період року (грудень-січень).

Практика передових країн показує, що для підвищення точності розрахунку використовують динамічне математичне моделювання, в основі якого лежить зменшення часових інтервалів розрахунку, врахування теплоаккумуляційних властивостей огорожень, мінливості кліматичних умов та експлуатаційно-поведінкових факторів

мешканців [3]. Динамічний підхід до аналізу наведено в європейському стандарті EN ISO 13790, який введений в Україні з 2013 року [3, 4], з використанням моделі 5R1C. Широкого застосування в Україні даний метод не набув, тому що потребує програмного забезпечення, є досить складним і потребує великої кількості інформації для використання його на рівні управління системами теплозабезпечення постачальними організаціями.

Авторами здійснено динамічне енергетичне моделювання типової 5-поверхової житлової будівлі 1961 року побудови. В будівлі проведено часткову заміну вікон на двокамерні енергоощадні склопакети, інші огорожувальні конструкції відповідають вимогам будівництва часів зведення (низький рівень теплозахисних властивостей). Погодинні кліматичні дані для міста Києва використані з міжнародного погодного файлу IWEC для типового року.

Отримані результати динамічного моделювання енергетичних характеристик будівлі та аналізу мінливості погодних факторів протягом опалювального періоду (міждобові та міжсезонні коливання) дозволяють розвивати існуючі методи визначення енергоспоживання, такі як графік тривалості навантаження. На прикладі розглянутого житлового будинку типової масової забудови встановлено, що споживання теплової енергії на потреби опалення при врахуванні сонячної енергії, яка надходить в зону будівлі, можна скоротити на 10 % для орієнтації вікон Пн-Пд та на 8 % – для орієнтації Зх-Сх. Використання корегування графіка теплового навантаження на сонячні теплонадходження показує зменшення опалення на 2 % для орієнтації вікон Пн-Пд та на 3 % – для орієнтації Зх-Сх. Урахування сонячних теплонадходжень дозволить більш зважено використовувати теплову енергію будівлі, яка затрачається на потреби опалення та уникати перетопів у періоди міжсезоння (весна, осінь).

Література:

1. Deshko V., Shevchenko O., Shovkaliyik M. Approach to the energy evaluation of the social facilities of ukraine at the time of the energy-efficiency measures implementation. Journal of New Technologies in Environmental Science (JNTES). 2019. No. 2. Pp. 55–75.
2. International Weather for Energy Calculations: https://energyplus.net/weather-location/europe_wmo_region_6/UKR.
3. Deshko V.I., Bilous I.Yu. Mathematical models for determination of specific energy need for heating and cooling of the administrative building. International Journal of Engineering & Technology. 2018. Vol. 7 (4.3). P. 325–330.
4. ДСТУ Б EN ISO 13790:2011. Енергоефективність будівель. Розрахунок енергоспоживання при опаленні та охолодженні (EN ISO 13790:2008, IDT). [На заміну ГОСТ 26629.85; чинний з 01.01.2013]. К. : НДІБК, 2011. 229 с.

УДК 621.316.1.05

ЗАСТОСУВАННЯ ПРИНЦИПІВ SMARTGRID У СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗАЛІЗНИЦЬ

О.В. Остапчук¹, В.Г. Кузнецов²

*КПІ ім. Ігоря Сікорського, пр. Перемоги, 37, м. Київ,
Україна, 03056, e-mail: O.Ostapchuk@kpi.ua,
Інститут відновлюваної енергетики НАН України,
вул. Гната Хоткевича, 20а, м. Київ, Україна, 02094,
Інститут залізничного транспорту,
вул. Хлопницького, 50, м. Варшава, Польща, 04-275, email:
vkuznetsov@ikolej.pl*

Розглянуто специфіку побудови системи тягового електропостачання в частині забезпечення електричною енергією систем сигналізації та автоблокування. Визначено причини виникнення аварійних режимів та наведені способи щодо їх уникнення

Ключові слова: *тягова підстанція, інтелектуальні мережі, системи автоблокування та сигналізації, інвертор напруги, однофазне замикання на землю, внутрішні перенапруги.*

APPLICATION OF SMART GRID PRINCIPLES IN RAILWAY POWER SUPPLY SYSTEM

O. Ostapchuk¹, V. Kuznetsov²

*Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 37, Peremohyave.,
Kyiv, Ukraine, 03056.
Institute for Renewable Energy, National Academy of Sciences
of Ukraine, 20a, Hnata Khodkevicha str., Kyiv, Ukraine, 02094.
Railway Research Institute, Chlopickiego 50
Warsaw, Poland, 04-275*

It's discussed the specifics of the construction of the traction power supply system in terms of power supply of

interlocking devices. The authors identified the causes of emergency modes and ways to avoid them.

Keywords: *traction substation, intelligent networks, interlocking devices, voltage inverter, single-phase earth fault, internal overvoltages.*

ORCID: ¹0000-0003-3397-2423, ²0000-0003-4165-1056.

Ефективність функціонування сучасних електрифікованих залізниць, значною мірою визначається рівнем надійності роботи їхніх системи електропостачання та ступенем автоматизації тягових підстанцій. Пристрої сигналізації та централізованого блокування (СЦБ) є однією з важливих ланок у структурі системи тягового електропостачання. Розвиток цих систем пов'язаний з застосуванням нових принципів, що базуються на основі технологій «інтелектуальних мереж» (Smartgrid) [1, 3, 4].

Сьогодні живлення пристроїв СЦБ забезпечується за допомогою повітряних ліній змінного струму напругою 6–10 кВ. Загальна довжина цих ліній в межах України складає десятки тисяч кілометрів, що призводить до значної кількості пошкоджень, особливо однофазних замикань на землю (ОЗЗ). Насамперед це пов'язане з процесом погіршення стану ізоляції або торкання проводів гілками дерев. У мережі з ізольованою нейтраллю (до якої належить лінія СЦБ) режим ОЗЗ не є аварійним, через те що супроводжується відносно незначною зміною значень фазних струмів. Проте має місце підвищення напруги непошкоджених фаз, що може швидко призвести до переходу ОЗЗ у небезпечніший вид аварії. Запровадження заходів, що направлені на збільшення аварійних струмів, не досягають бажаного результату через особливості мереж СЦБ. Хоча їх споживачі належать до першої категорії за надійністю та облаштовані джерелом резервного живлення, тривалість процесу перемикання з основного фідера на резервний досить значна, складає приблизно 0,4 с (рис. 1).

Рис. 1. Осцилограма напруги при перемиканні з основного фідера на резервний

У деяких випадках, що обумовлені наявністю масляних вимикачів, низьким ступенем автоматизації тощо, часовий інтервал перемикання може збільшуватися до 1,3 с [2]. Через те що основним споживачами СЦБ є різноманітні пристрої з імпульсними блоками живлення, виникає небезпека втрати інформації цими пристроями або їх повної відмови.

Застосування принципів Smartgrid при розгляді мереж такого типу дозволяє рекомендувати використання автономного інвертора, що ввімкнений послідовно і отримує живлення як від мережі, так і акумуляторної батареї. З урахуванням досить конкурентної ціни останніх розроблена схема матиме такий вигляд (рис. 2).

Рис. 2. Схема підключення лінії робочого живлення до інвертора з акумуляторною батареєю

Висновки: Запропонована система дозволяє зменшити наслідки аварійного режиму при ОЗЗ за рахунок мінімізації складових внутрішніх перенапруг.

Подяка: Результати отримані в рамках проєкту, що фінансується Міністерством освіти та науки України і Польським національним агентством академічних обмінів (проєкт PPN/BUA/2019/1/00016/U/00001).

Література:

1. Bialon, A., Kuznetsov, V., Hubskeyi, P., & Ostapchuk, O. (2020). Proposals for the Use of Renewable Energy Sources for Traffic Control Devices Power Supply. Transport Means 2020 - Proceedings of the 24th International Scientific Conference. Part I, 238–242.
2. Sychenko, V., Kuznetsov, V., Kosarev, Y., Beh, P., Sayenko, Y., Styslo, B., Pavlichenko, M., Vasilev, I., & Pulin, M. (2019). The concept of a hybrid traction power supply system. MATEC Web of Conferences, 294, 01014. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201929401014>
3. Стогній Б.С., Гребченко М.В., Максимчук В.Ф. Моніторинг стану ліній 10(6) кВ сигналізації, централізації та блокування електрифікованих залізниць. Технічна електродинаміка. 2016. № 1. С. 40–46.

УДК338.242

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ЯК СКЛАДОВА ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕКОНОМІКИ РЕГІОНУ

В.В. Ратинський

*канд. екон. наук, ст. викл. кафедри бухгалтерського
обліку та аудиту, Тернопільський національний
технічний університет ім. І. Пулюя,
тел.: +38(067)208-91-87, e-mail: ratvadim@gmail.com*

У статті розглянуто поняття енергоефективності, оскільки від стану енергетики залежить успішний розвиток економіки нашої країни. Особлива увага приділяється дослідженню енергоефективності у сфері виробництва та результатам, які наявні після реалізації відповідних заходів.

Ключові слова: *енергоефективність, енергоефективність у сфері виробництва, Енергетична стратегія України.*

ENERGY EFFICIENCY AS A COMPONENT OF THE REGIONAL ECONOMIC

V. Ratynskyi

*PhD in Economics, Senior Lecturer,
Department of Accounting and Audit
Ternopil I. Puluj National Technical University
Ternopil, Ukraine*

The concept of energy efficiency deals at the article as energy depends on the condition of the successful development of our country. Therese archin the field of energy production and the results that appear after the implementation of appropriate measures is given special attention.

Keywords: *energy efficiency, energy efficiency in production, the Energy Strategy of Ukraine*

ORCID: 0000-0001-9283-6371.

Останніми роками в Україні намагаються запустити ринкові механізми, які стимулювали б суспільство перейти на новий рівень ефективності використання ресурсів [1]. На жаль, через недосконалість молодого вітчизняного ринкової економіки і сформованого менталітету суспільства заходи щодо підвищення енергоефективності економіки найчастіше виявляються «віртуальними». Для успішного вирішення проблеми підвищення енергоефективності необхідно підходити до цієї проблеми системно, із застосуванням програмно-цільового підходу: розкрити сутність енергоефективності економіки регіону, розробити економіко-математичну модель, оцінити стан і перспективи розвитку системи, розробити комплекс заходів щодо поліпшення ситуації у сфері енергоефективності та енергозбереження в розрізі галузей народного господарства країни і регіонів з урахуванням особливостей виробництва і споживання енергоресурсів. Сучасне розуміння енергоефективності економіки пов'язане з традиційним сприйняттям категорії ефективності та спробою звести її до єдиного показника. Енергоефективність – це оцінка ефективності використання різних видів енергії у вигляді відношення отриманого ефекту на виході до витрат енергії на вході. Ефект може виражатися по-різному: у вигляді виробленого тепла, у вигляді надходження до споживачів електроенергії по каналах передачі, у вигляді доходів (прибутку) або обсягів виробництва і т. д. Отже, й підходи до оцінки енергоефективності економіки теж можуть розрізнятися. Ряд фахівців [2, 3] обмежується застосуванням показника енергоємності валового внутрішнього продукту. Однак підміна понять «підвищення енергоефективності» та «зниження енергоємності ВВП» може привести до помилок

при постановці цілей, виборі механізмів інструментів їх досягнення. Так, заходи щодо зниження енергоємності можуть звестися лише до зростання внутрішніх цін на паливно-енергетичні ресурси і встановлення низьких норм енергоспоживання з високими штрафами за їх перевищення. Тоді як низький рівень енергоспоживання сам собою не є показником ефективного розвитку економіки. В Україні, де рівень енергоспоживання на душу населення і так досить низький [3] (при тому, що у виробничій структурі переважають енергоємні галузі), це проблему не вирішує. Інший підхід – використання абсолютних, питомих і відносних показників споживання різних видів енергії. Це пов'язано з тим, що прихильники такого підходу ототожнюють енергоефективність з енергозбереженням. Найчастіше зустрічається змішаний підхід, при якому до переліку показників включаються все перераховане вище, а також енергоємність і електроємність галузей, окремих груп і видів продукції, а також паливно-енергетичний баланс. Насправді оцінка енергоефективності економіки регіону (підприємства) є набагато більш складним завданням, ніж оцінка енергоефективності обладнання (технології). Труднощі, пов'язані з осмисленням взаємозв'язків причин і наслідків й інтерпретацією застосовуваних дій, а також з вибором варіантів розвитку сценаріїв розв'язання завдання, виникають на всіх етапах його рішення. Розглядати енергоефективність слід як особливу, комплексну властивість економіки, що характеризує ефективність взаємодії виробників і споживачів благ в сенсі надання більших можливостей один одному для свого життєзабезпечення. Підвищення енергоефективності є умовою інтенсивного розвитку економіки. Її освоєння може обійтися в кілька разів дешевше, ніж нарощування виробництва енергоресурсів. Реалізувавши потенціал підвищення енергоефективності, можна зменшити обсяг використовуваних енергетичних ресурсів приблизно на 45 % [2] при збереженні відповідного корисного ефекту від їх використання. Висока

енергоефективність – це збереження ресурсів і праці, зростання можливостей, збереження конкурентоспроможності промисловості, поліпшення екологічної ситуації, в кінцевому підсумку – більш раціональне задоволення потреб суспільства.

Література:

1. Проект розпорядження Кабінету Міністрів України «Про Національний план дій з енергоефективності на період до 2030 року» від 10 грудня 2020 року. Електронний ресурс. Джерело: <http://mpe.kmu.gov.ua/>

2. Бобин, Д.В., Никитин В.В. "Повышение энергоэффективности как инструмент инновационного развития региона." //Инновационная экономика и промышленная политика региона (ЭКОПРОМ-2014) / Под ред. д-ра экон. наук, проф. А.В. Бабкина: Труды международной научно-практической конференции. 15–23 сентября 2014 г. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. – 597 с.

3. Єріна А. Динаміка енергоспоживання в Україні у контексті загальносвітових тенденцій / А. Єріна, О. Колодяжна // Наукові записки. Том 19. Економічні науки. – 2001. – С. 40–44

УДК 330.48 : 658.26

ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ МОДЕЛІ DEA ДЛЯ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ПІДПРИЄМСТВ – ВИРОБНИКІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Г.О. Пудичева

Одеський національний економічний університет, вул.
Преображенська, 8, м. Одеса, 65082, Україна,
тел.: +38(097)544-20-85, e-mail: pudychева@ukr.net

У роботі розглянуті особливості застосування моделі DEA для визначення порівняльної ефективності підприємств, що є виробниками електричної енергії.

Ключові слова: енергетична ефективність, метод DEA, аналіз середовища функціонування.

SPECIFICITIES OF DEA MODEL FOR ESTIMATION OF ENTERPRISES - PRODUCERS OF ELECTRICITY

H. Pudycheva¹

The article considers the specificities of DEA model application for the calculation of relative energy efficiency of the enterprises, which are the electricity producers.

Keywords: energy efficiency, DEA methodology, Data Envelopment Analysis.

ORCID: 0000-0002-9350-3509.

В управлінні енергетичними ланцюгами постачання визначення ефективності функціонування виробників енергії відіграє вирішальну роль. Для такої оцінки, на наш погляд, може бути застосований метод DEA (Data Envelopment Analysis), що дозволить отримати оцінку порівняльної ефективності підприємств, розраховану на основі сукупності входів і виходів. Ефективні управлінські

рішення в цьому разі полягають у спроможності менеджменту підприємств переробити «входи» у «виходи» якнайкраще в порівнянні з конкурентами.

DEA розглядає порівняльну ефективність індивідуальних «одиниць прийняття рішень» (decision-making units, DMU), таких як окремі підприємства. При цьому метод визначає набір найефективніших одиниць, емпірично ефективну межу, а потім вимірює ефективність одиниць як відстань між фактичними спостереженнями та даною межею [1]. Цей метод є непараметричним, тобто замість припущення існування функціонального взаємозв'язку між ресурсами на вході та продукцією на виході використовується система гнучких середньозважених показників, що мінімізує ризики суб'єктивної оцінки з боку аналітика, що проводить дослідження. За результатами застосування методу аналітик отримує оптимальне значення вхідних та вихідних показників, спираючись на які приймається рішення щодо збільшення або зменшення вхідних або вихідних показників з метою досягнення оптимального рівня ефективності. Отже, DEA є не лише методом оцінки, а й методом управління [2, с. 164].

Вперше використання моделі DEA було запропоновано у 1978 році в роботі А. Чарнса, В.В. Купера та Е. Родеса «Вимірювання ефективності одиниць прийняття рішень» [3]. За допомогою даної моделі було розраховано порівняльну ефективність одиниць прийняття рішень з постійною віддачею від масштабу. В 1984 році Р.Д. Банкер, А. Чарнс та В.В. Купер запропонували використовувати альтернативну модель зі змінною віддачею від масштабу [4]. Існує два варіанти, які належать до обох моделей, а саме: орієнтовані на вхід, в яких входи пропорційно знижуються, а виходи залишаються постійними та орієнтовані на вихід, у яких виходи пропорційно зростають, у той час як входи залишаються постійними.

У проведеному аналізі енергетичні господарства підприємств – виробників енергії були представлені як

системи, що перетворюють певні «входи» на «виходи». Входом у даному разі називається параметр, пов'язаний з певними витратами, а виходом – параметр, пов'язаний з результатами діяльності. Слід зазначити, що ефективність підприємств енергетичної сфери визначається сукупністю входів і виходів. Тобто будується модель з кількома входами та кількома виходами.

Метою роботи підприємств – виробників енергії є створення енергетичних послуг з певного набору ресурсів і забезпечення ними кінцевого споживача. Тому входами було визначено: матеріальні витрати; середньорічну вартість основних засобів та витрати на оплату праці. Перелічені входи відображають вартісний вираз ресурсів, які є необхідними для функціонування досліджуваних підприємств і для виробництва основної продукції та послуг. Виходами для підприємств було встановлено: валові викиди діоксиду вуглецю; обсяг відпущеної електроенергії та обсяг відпущеної теплової енергії. Перелічені виходи відображають основні результати роботи підприємств, причому деякі з них є стимуляторами (обсяги виробництва), а деякі – дестимуляторами (викиди). Останні в діяльності підприємств є небажаним результатом. Для їх включення в модель було застосоване монотонне перетворення функції небажаної змінної, а потім використано адаптовану змінну як вихід.

На підприємствах, що виробляють електричну енергію, особи, що ухвалюють рішення, загалом не можуть впливати на обсяги відпуску електроенергії та теплової енергії, оскільки вони здебільшого визначаються попитом. У той же час, раціонально комбінуючи ресурси (входи), можна скоротити їх витрати при здійсненні виробничого процесу. Саме тому в даному випадку, на наш погляд, варто використовувати підхід DEA, орієнтований на вхід (input-oriented). Крім того, варто вибрати модель з постійною віддачею від масштабу. Отже, для кожного проаналізованого підприємства у вибраній моделі DEA ваги

показників будуть установлені так, щоб максимізувати ефективність при встановлених обмеженнях.

Модель, побудована за цими ознаками, дозволила отримати оцінку ефективності підприємств з точки зору продуктивності їх роботи з урахуванням впливу на навколишнє середовище.

Література:

1. Borozan D. Technical And Total Factor Energy Efficiency Of European Regions: A Two-Stage Approach. *Energy*. 2018. Vol. 152. P. 521–532.

2. Нечаєва І.А., Проскуркіна Д.С. Метод аналізу середовища функціонування для оцінки ефективності роботи суб'єкта, який ухвалює рішення, та його переваги. *Економічний аналіз* : зб. наук. праць. 2013. Том 14, № 3. С. 162–167.

3. Charnes A., Cooper W.W., Rhodes E. Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*. 1978. Vol. 2, Is. 6. P. 429–444.

4 .Banker R.D., Charnes A., Cooper W.W. Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. *Management Science*. 1984. Vol. 30, No. 9. doi:10.1287/mnsc.30.9.1078

УДК 330.314:347.771

PATENT ACTIVITY IN GREEN ECONOMY OF UKRAINE*

V. Gryga¹, PhD, Yu. Ryzhkova²

*Institute for economics and forecasting of NAS of Ukraine,
Panasa Myrnoho Str., 26, Kyiv, 01011, Ukraine,
tel.: +38(096)253-79-23, e-mail: v.gryga@gmail.com*

Patent activity in Green economy sphere was analyzed based on data of the ESPACENET. The main aim of the paper is to test the hypothesis that RE development in Ukraine positively correlates with inventor's activity.

Keywords: *green economy, patents, Ukraine.*

ORCID: ¹0000-0003-0026-3591, ²0000-0001-7944-2247.

According to the expert opinion, Ukraine has a potential for developing green economy (GE). The most promising areas are renewable energy, energy efficiency and organic farming [1].

An important part of GE is renewable energy (RE). Notably, the growth of RE during last 4-5 years caused unbalances in electricity market of Ukraine in 2020. as it was sharp increase of installed RE capacities, in particular solar power plants. At the end of 2019, the generation capacities of RE installed over 6600 mW, of which over 80% came from solar energy (both corporate and households), 15% came from wind energy. It was almost 3 times higher compared to 2018. Nevertheless, the share of RE in electricity generation is rather small (about 4%, that is times more than in 2018).

---

* This paper was prepared within the Volkswagenstiftung grant for the research project "Institutions, Networks, Knowledge Transfer, and Innovations: A Comparison of the Development of the Green Economy in Ukraine, Russia, and Germany"

The core of the GE is based on the social and technological innovations, in particular in RE [2]. Innovation may come from different channels, e.g. from domestic inventors or import from abroad. Thus, in the paper we tried to test the hypothesis that RE development in Ukraine positively correlates with inventor's activity. If not, there are two alternatives. First is that tacit knowledge prevails in RE, second is that RE development in Ukraine is not based on domestically produced innovations.

For our study, we used the ESPACENET and we admit that some patents might not to be included in our dataset due to inaccurate transfer of patent data from Ukrainian patent office to the ESPACENET. The number of such patents can be neglected as it doesn't affect the general patterns in green economy knowledge transfer. Another issue to be tackle is validity of patents: most Ukrainian patents in ESPACENET are not valid.

Green patents are based on OECD classification of selected climate change adaptation technologies (according to Cooperative Patent Classification they are represented by Y02E subclass) [3].

Total number of green patents meeting the criteria was 720, of which 647 (or 90%) were issued by Ukrainian patent office. The shares of patents issued to applicants from Ukraine by WIPO and EPO were 5% and 1% respectively (37 and 5 patents). The share of Russia was 3% and USA only 1%. Patenting in other national jurisdictions is not very popular and is based rather on personal contacts.

The green patenting activity shows negative dynamic that contradicts to pace of economic development of green energy and organic production in Ukraine. Since 2010, the highest number of green patents was granted in 2010 (182), then it is gradually declining: 159 in 2011, 119 in 2012, 109 in 2013 etc.

Fig. 1. Number of green patents, by earliest priority
 Source: compiled by authors using ESPACENET data

In 2017–2019 the patenting was close to zero. It might be caused by two main reasons:

- Increase of patenting fees in 2019 [4];
- Economic crisis caused by the conflict and war at the Eastern Ukraine and Crimea.

The largest green sectors are represented by wind energy (270 patents), solar thermal energy (153) and hydroenergy (112). The PV energy, fuel from waste and agriculture accounts for 40-50 patents. Zero patents were identified in superconducting electric elements and geothermal energy. Surprisingly, only 5 patents were found in hydrogen which is promising fuel of future.

Table 1. Number of patents in green economy subsectors

Subsectors	CPC	# patents since 2010 (by earliest priority date)
Wind energy	Y02E10/70-766	270
Solar thermal energy	Y02E10/40-47	153
Hydroenergy	Y02E10/20-28	112
PV energy	Y02E10/50-58	52
Fuel from waste	Y02E50/30-346	50
Agriculture	Y02P60	42
Nuclear energy	Y02E30	32
Marine energy	Y02E10/30-38	30

Bio-organic fraction processing	Y02W30/40-47	13
Biofuels	Y02E50/10-18	12
Hydrogen	Y02E70 Y02E60/30+	5
Solar thermal-PV hybrids	Y02E10/60	5
Superconducting electric elements	Y02E40/60-69	0
Geothermal energy	Y02E10/10-18	0

Source: authors compilation based on ESPACENET

Unlike patent activity, publication activity of Ukrainian scholars has positive dynamic. According to the SJR 2019 in Renewable Energy, Sustainability and the environmental areas Ukraine ranked 46th among 203 countries of the world and ranked 5th among 23 Eastern Europe counties (compared to 69th and 12th in 2015) [5]. It means that results of scientific activity are not transformed into explicit knowledge that might limit their utilization in economy.

Despite rapid economic development of GE sectors, the patent activity of Ukrainian actors remains low and decreasing. Even in subsectors which are leaders in Ukraine, namely wind energy, solar energy, hydroenergy, the number of new patents of Ukrainian applicants is not growing.

The share of green patents was higher among individual applicants than legal entities. The most active were universities and research institutions of National Academy of Sciences of Ukraine.

Detailed analysis of patent actors (inventors and applicants) showed that network structure in GE was defragmented and dominated by radial centralized groups, established around the research institutions/universities. Commercial firms in Ukraine are not interesting in patenting. Probably, they prefer other ways of intellectual property protection and knowledge transfer. The interinstitutional partnerships in patenting are rather exceptional. International

cooperation is low and involves foreign partners as co-applicants.

Literature:

1. EaPGreen Report (2016) Report on Green Transformation in Ukraine. URL: http://www.green-economies-eap.org/resources/2016_GreenTransformation%20in%20Ukraine%20ENG.pdf.

2. Rennings K. (2000) Redefining innovation — eco-innovation research and the contribution from ecological economics, Ecological Economics, Volume 32, Issue 2, URL: [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(99\)00112-3](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00112-3).

3. OECD Patent search strategies for the identification of selected environment-related technologies (ENV-TECH). URL: <http://stats.oecd.org/wbos/fileview2.aspx?IDFile=0befc58e-d72f-4ff9-b27e-84e446240e34>

4. Кабмін збільшив вартість реєстрації ТМ і патентів // Європейська правда. 15 June 2019. URL: <https://www.epravda.com.ua/news/2019/06/15/648811/>

5. Scimago Journal & Country Rank. URL: <https://www.scimagojr.com/countryrank.php>

УДК 336.22:338.2

ІНВЕСТИЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ НАЦІОНАЛЬНОЇ ЕКОНОМІКИ

Г.І. Грицаєнко, І.М. Грицаєнко

*Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного,
просп. Б.Хмельницького, 18, м. Мелітополь, 72312,
Україна,
тел. (0619) 42-24-32,
e-mail: halyna.hrytsaienko@tsatu.edu.ua,
e-mail: igor.grytsayenko@tsatu.edu.ua*

Розглянуто інвестиційне забезпечення енергоефективності національної економіки з позицій системного аналізу. Досліджені ключові показники енергетики та інвестування в енергоефективність, а також особливості їхнього прояву на різних рівнях національної економіки.

Ключові слова: *інвестиції, енергоефективність, національна економіка, енергозбереження, енергоємність.*

INVESTMENT PROVISION OF ENERGY EFFICIENCY OF THE NATIONAL ECONOMY

H.I. Hrytsaienko, I.M. Hrytsaienko

Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

The investment support of energy efficiency of the national economy from the standpoint of system analysis is considered. The key indicators of energy and investment in energy efficiency, as well as the features of their manifestation at different levels of the national economy are studied.

Keywords: *investments, energy efficiency, national economy, energy saving, energy intensity.*

ORCID: 0000-0001-7168-2836, 0000-0001-6095-4023.

Створення безпечного та стійкого енергозабезпечення національної економіки потребує особливої уваги до питань енергоефективності, насамперед до інвестицій у цю сферу, що обумовлює актуальність обраної теми дослідження [1].

Україна впродовж тривалого часу була в єдиній енергосистемі республік СРСР. Нами було розглянуто енергоємність ВВП країн – колишніх республік СРСР – за 2018-й рік (рис. 1). Україна за енергоємністю ВВП¹, яка становить 0,175 тис. т умовного палива на 1 тис. міжнародних доларів, посідає 12-е місце серед 15 країн, випереджаючи лише Російську Федерацію (0,180 тис. т умовного палива на 1 тис. міжнародних доларів), Узбекистан (0,203 тис. т умовного палива на 1 тис. міжнародних доларів) і Туркменістан (0,833 тис. т умовного палива на 1 тис. міжнародних доларів).

Загальні викиди CO₂ на душу населення в Україні становлять 4,08 т CO₂ (рис. 2). За цим показником вона посідає 10-е місце, залишаючи за собою Білорусь (6,02 т CO₂), Російську Федерацію (10,98 т CO₂), Казахстан (11,71 т CO₂), Естонію (11,80 т CO₂) і Туркменістан (11,82 т CO₂).

---

¹витрати паливно-енергетичних ресурсів у нафтовому еквіваленті на одиницю валового внутрішнього продукту країни, розрахованого за паритетом купівельної спроможності.

**Рис. 1. Енергоємність ВВП у 2018 році,
 Ктоє/тис. міжнар. дол.**

Джерело: побудовано за даними [5].

**Рис. 2. Загальні викиди CO₂ на душу населення
 у 2018 році, т CO₂**

Джерело: побудовано за даними [5].

Безумовно, можна зробити загальний висновок про те, що в Україні порівняно з іншими країнами – колишніми республіками СРСР існують суттєві проблеми з енергоефективністю та енергоспоживанням, для вирішення яких потрібні інвестиції.

У світі загальні інвестиції в чисту енергію та енергоефективність у 2020 році порівняно з попереднім 2019-м зменшились на 68 млрд дол. США і становили 567,8 млрд дол. США. Наймасштабніші скорочення спостерігались у сферах відновлюваної енергії – на 29,6 млрд дол. США, або на 9,5 %, а також енергоефективності – відповідно на 30,0 млрд дол. США, або на 12,0 %. Тим часом питома вага інвестицій у чисту енергію та енергоефективність зросла на 3,8 в. п. і становила в 2020 році 37,3 %.

Попри загальносвітові тенденції зі скорочення інвестицій в енергоефективність, в Україні триває робота з реалізації інвестиційних проєктів з відновлюваної енергетики та енергоефективності. Так, станом на 1 грудня 2020 року в Україні розробляється 918 проєктів [4].

Для покращення енергоефективності в Україні необхідні суттєві інвестиції в збільшення внутрішнього видобутку нафти і газу, розвиток потенціалу відновлюваної енергії, активізацію заходів стосовно максимального збільшення ефективності використання та збереження енергії на всіх рівнях національної економіки [1]. На макrorівні (національна економіка в цілому) «...першочерговими завданнями є реальна боротьба з корупцією, судова реформа для захисту прав інвесторів у судах, валютне регулювання та реформа банківського сектора, ефективна та повномасштабна податкова реформа» [3, с. 89]. На нанорівні (індивід, сім'я) прикладом доцільних інвестицій в енергоефективність можна вважати впровадження системи «розумний будинок», яка покращує якість життя людини, й одночасно істотно скорочує споживання природних ресурсів та сприяє збереженню природного середовища [2].

Перспективами подальших досліджень є розробка економічного механізму залучення інвестицій в енергоефективність національної економіки.

Література:

1. Грицаєнко Г.І., Грицаєнко І.М. Системний аналіз інвестицій в енергоефективність національної економіки. Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. 2021. № 1. URL: <http://oj.tsatu.edu.ua/index.php/visnik/issue/view/15>.

2. Грицаєнко Г.І., Грицаєнко М.І. Інвестиції в енергоефективність «розумного будинку». Збірник наукових праць Таврійського державного агротехнологічного університету (економічні науки). 2021. №1. URL: <http://feb.tsatu.edu.ua/science/scientific-publications/>.

3. Грицаєнко Г.І., Грицаєнко М.І. Інвестиційна привабливість України. Agricultural and Resource Economics: International Scientific E-Journal. 2017. Вип. 3. № 1. С. 80–93.

4. Інвестиції. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України : веб сайт. URL: <https://saee.gov.ua/uk/business/investyscii> (дата звернення: 25.12.2020).

5. World Energy Investment. International Energy Agency : Web site. URL: <https://www.iea.org/> (date of application: 25.12.2020).

УДК 697.278

ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОНОМІЧНО ДОЦІЛЬНОЇ ТЕПЛОВОЇ ПОТУЖНОСТІ КОНСТРУКЦІЙ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ УСТАНОВОК СИСТЕМ АКУМУЛЯЦІЙНОГО ОПАЛЕННЯ

О.В. Лусак

*Інститут відновлюваної енергетики НАН України
вул. Гната Хоткевича, 20а, м. Київ, 02094,
тел./факс: +38(044)206-28-09, e-mail: geotherm@ukr.net*

Проаналізовано можливі шляхи зменшення потужності та розмірів експериментальних установок систем акумуляційного опалення. Отримані на експериментальній установці результати мають бути масштабовані для побудови повномасштабних установок більшої потужності та розмірів без втрати достовірності результатів, отриманих від експериментальних установок. Для акумуляційних систем опалення з проміжним теплоносієм параметри, що мають найбільший вплив на достовірність масштабування, є діапазон витрати проміжного теплоносія та об'єм теплоакумуляційного матеріалу.

Ключові слова: *акумулювання, електричне опалення.*

THE DETERMINATION OF ECONOMICALLY VIABLE HEAT OUTPUT OF A LAB-SCALED HEATING STORAGE SYSTEMS

O.V. Lysak

*Institute for Renewable Energy, 20a Hnat Khotkevych str.,
Kyiv, Ukraine, 02094, tel./fax: +38(044)206-28-09,
e-mail: geotherm@ukr.net*

The paper analyses the possible ways to reduce the heat output and size of storage heating experimental installations. It

is considered that the results, which are obtained on the lab-scaled heating storage systems, should be scaled to build full-size installations of greater capacity and size without losing the reliability of the results, which are obtained through experimental installations. For storage heating systems with an intermediate heat medium, the main parameters, which most affect the reliability of scaling, are the range of the intermediate heat medium flow rate and the volume of heat storage material.

Keywords: *heat storage, electric heating.*

ORCID: 0000-0002-4934-0685.

Сьогодні значну увагу приділяють розробці систем акумуляційного електроопалення. Це пов'язано з розвитком систем генерування енергії, продуктивність яких є змінною в часі, а саме відновлюваних джерел енергії, як-от вітрові та сонячні електростанції. Даний тип енергії є дешевим у використанні, але періоди її генерування не збігаються з періодами споживання, що й потребує створення систем акумулювання теплоти [1–4].

Існують різноманітні рішення щодо конструкцій акумуляційних систем опалення: за тривалістю (добові чи сезонні), типом теплоакумуляційного матеріалу тощо [5, 6]. Оскільки ця тема є актуальною, існує чимало пропозицій щодо тих чи інших рішень з удосконалення різноманітних акумуляційних систем опалення.

Для підтвердження ефективності запропонованих конструктивних рішень необхідно провести експериментальні дослідження. Проте в певних випадках розробка моделей в натуральну величину може виявитись досить витратною. Тому слід розглянути можливість пропорційного зменшення розмірів і потужності експериментальних установок [7] з метою зниження витрат коштів та полегшення контролю експерименту. Зазначимо, що цей метод не є універсальним та існують випадки, коли його застосування є недопустимим.

Основною характеристикою систем акумуляційного опалення є забезпечення необхідної тепловіддачі. Обмежимося оглядом тих систем теплопостачання, які використовують проміжний теплоносіє для передачі теплоти від систем акумулювання до споживача. За таких умов тепловіддача Q_T , Вт:

$$Q_T = c_{p(пт)} \cdot G \cdot \Delta T_{пт}, \text{ Вт}, \quad (1)$$

де $c_{p(пт)}$ – питома теплоємність проміжного теплоносія, кДж/(кг·К); G – масова витрата проміжного теплоносія, кг/с; $\Delta T_{пт}$ – перепад температури проміжного теплоносія, К.

Оскільки основним типом теплоносія є або повітря, або вода, а температурний режим прийнято підтримувати таким, щоб він відповідав запланованому, то зменшити можливо лише масову витрату проміжного теплоносія G , кг/с. Кількість акумульованої теплоти $E_{ак}$, Дж, визначатиметься як:

$$E_{ак} = c_{p(ак)} \cdot \rho \cdot G \cdot \Delta T_{ак}, \text{ Дж}, \quad (2)$$

де $c_{p(ак)}$ – питома теплоємність акумуляційного матеріалу, кДж/(кг·К); ρ – густина акумуляційного матеріалу, кг/м³; V – об'єм акумуляційного матеріалу, м³; $\Delta T_{ак}$ – перепад температури акумуляційного матеріалу, К.

Оскільки $E_{ак}$ є $f(Q_T)$, то відповідно зі зменшенням необхідної тепловіддачі, зменшиться й необхідна кількість акумульованої теплоти. Позаяк температурний режим та тип матеріалу є сталими, то відповідно зменшиться лише об'єм акумуляційного матеріалу V , м³.

Отже, при аналізі можливості масштабування конструкції експериментальної установки системи акумуляційного опалення необхідно встановити допустиму похибку, яку вноситиме у визначення тепловіддачі зменшення потужності та габаритів експериментальної

моделі установки відносно потужності та габаритів установки, що буде побудована на підставі отриманих даних.

Література:

1. Belanger, N. A Canadian Smart Grid in Transition: A Case Study of Heat for Less [Text] / N. Belanger. – University of Waterloo, Canada, 2014. – 113 p. – Available at: https://uwspace.uwaterloo.ca/bitstream/handle/10012/8481/Belanger_Nicholas.pdf?sequence=3&isAllowed=y
2. Sateriale, M. E. Modeling and analysis of masonry electro-thermal heating and storage for optimal integration with remote standalone wind-diesel systems [Text] / M. E. Sateriale. – Fairbanks, Alaska, 2013. – 187 p. – Available at: https://scholarworks.alaska.edu/bitstream/handle/11122/4476/Sateriale_uaf_0006N_10111.pdf?sequence=1
3. Burner, J. Potential analysis of the use of electric storage heaters for demand side management applications [Text] / J. Burner, T. Braun, M. Gaus, M. Michl, J. Franke // 2016 IEEE Smart Energy Grid Engineering (SEGE). – 2016. doi: 10.1109/sege.2016.7589539
4. Huebner, G. M. The reality of English living rooms – A comparison of internal temperatures against common model assumptions [Text] / G. M. Huebner, M. McMichael, D. Shipworth, M. Shipworth, M. Durand-Daubin, A. Summerfield // Energy and Buildings. – 2013. – Vol. 66. – P. 688–696. doi: 10.1016/j.enbuild.2013.07.025
5. Лисак, О.В. Аналіз системи центрального тепlopостачання за використання сезонного геотермального акумулювання в комбінації з системою виробництва та споживання водню [Текст] // Відновлювана енергетика. – № 3 (62). – С. 70–88. – doi: 10.36296/1819-8058.2020.3(62). 70–88
6. Малкін, Е.С. Теплоакumuлюючі електропечі. Термінологія і класифікація [Текст] / Е.С. Малкін, О.В. Лисак // Промислова електроенергетика та електротехніка (Промелектро). – 2014. – № 3. – С. 69–74.
7. Salimshirazi, A. Transient heat transfer in vertical ground heat exchangers. Doctoral Thesis, Ecole Polytechnique de Montreal, Canada. 2012. [Online document]. Url: https://publications.polymtl.ca/908/1/2012_AliSalimshirazi.pdf. Date of application: 07.09.2020

УДК 621.3:620.96

**ВПРОВАДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ
КОМЕРЦІЙНОГО ОБЛІКУ ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ ЯК
ЗАХІД ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ**

І.П. Радько¹, В.А. Наливайко², О.В. Окушко³

*Національний університет біоресурсів і
природокористування України, вул. Героїв Оборони, 15,
м. Київ, 03041, Україна, тел.: +38(067)495-66-18,
e-mail: oleks@ukr.net*

*У роботі наведено результати впровадження
автоматизованої системи комерційного обліку
енергетичних ресурсів з програмним забезпеченням
"ЕнергоЦентр" в НУБіП України.*

Ключові слова: енергоефективність,
енергозбереження, енергоресурси, електроенергія.

**PROVIDING AUTOMATED BY SYSTEMS OF COMMERCIAL
ENERGY RESOURCES YAK ZAKHID PIDVISCHENNYA
ENERGY EFFICIENCY**

I. Radko¹, V. Nalivaiko², A. Okushko³

*National University of Life and Environmental Sciences of
Ukraine, 15 Geroiv Oborony str., Kyiv, Ukraine, 03041*

*The robot has the results in the implementation of the
automated system and the commercial area of energy
resources with the software security "EnergoCentre" in the
NUBIP of Ukraine.*

Keywords: energy efficiency, energy conservation,
energy resources, electricity.

ORCID: ¹0000-0002-4235-3969, ²0000-0002-6297-9045,
³0000-0002-1894-5294.

Проблема підвищення рівня енергетичної ефективності не є новою для України загалом і для кожного суб'єкта господарювання зокрема.

Результати діяльності різних суб'єктів господарювання у сфері енергетичної ефективності не дають суттєвого результату. Вони й надалі залишаються надзвичайно енерговитратними, від чого страждає конкурентоздатність продукції, зменшуються можливості забезпечення енергетичної незалежності.

Розв'язання цієї проблеми значною мірою залежить від реалізації різних організаційно-технічних заходів підвищення енергоефективності на конкретних суб'єктах господарювання, зокрема й у закладах освіти.

За останнє десятиліття в НУБіП України було виконано достатньо великий об'єм робіт у цьому напрямі. Це і підвищення якості технічного обслуговування електротехнічного обладнання та його своєчасний ремонт, пошук сучасних методів і режимів експлуатації, розробка ефективних інструментів моніторингу й управління споживанням енергетичних ресурсів, а також пошук механізмів стимулювання заходів з підвищення енергоефективності й енергозбереження. Хоча це і дало значний результат, за ці роки було зекономлено близько 30–40 млн грн, на цьому робота не була закінчена.

Наступним заходом з підвищення енергоефективності, на основі розробленої Програми з енергозбереження до 2025 року, є впровадження автоматизованої системи комерційного обліку енергетичних ресурсів з програмним забезпеченням "ЕнергоЦентр". Першим кроком на цьому етапі є встановлення лічильників на електричну енергію, воду та тепло. Це дасть змогу проведення оперативного, тижневого та місячного контролю онлайн за споживанням енергоресурсів, віддаленого контролю за режимами роботи технологічного обладнання та взаємодії з системами керування та фінансовими програмами підприємства.

На рис. 1. Наведено добовий графік споживання електричної енергії в навчальному корпусі № 8. Аналізуючи графік можна оперативнo в режимі онлайн відслідковувати та оперативнo корегувати навантаження в корпусі. Це дасть змогу зменшити споживання електричної енергії і, як наслідок, скоротити загальне фінансове навантаження на НУБіП України щодо оплати комунальних послуг – не тільки плати за електричну енергію, а в подальшому і за інші енергоресурси.

Рис. 1. Добовий графік споживання електричної енергії

Література:

1. Арутюнян А.А. Основы энергосбережения / А.А. Арутюнян. – М.: Энергосервис. – 2007. – 600 с.
2. Іноземцев Г.Б. Методи енергозбереження в системах електропостачання: Навч. посібник / Г.Б. Іноземцев, В.В. Козирський, О.В. Окушко; за ред.. Іноземцева Г.Б. / К.: ЦП «Компринт». – 2016. – 222 с.
3. Методичні рекомендації оцінки економічної ефективності інвестицій в енергозберігаючі проекти на підприємствах житлово-комунального господарства //

Колегія державного комітету України з питань житлово-комунального господарства (Держжитлокомунгосп). – Наказ №218 від 14.12.2007 р.

4. Радько І. П. Методика та обладнання для проведення енергетичного аудиту: [Електронний ресурс] / І.П. Радько, В.А. Наливайко, О.В. Окушко, А. В. Міщенко, Є.О. Антипов // Енергетика та автоматика. – 2018. – № 1. – С. 123–134. – Режим доступу: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Energiya/article/viewFile/10596/9329>.

5. Радько І.П. Підвищення заходів з енергоефективності та енергозбереження у вищих навчальних закладах / І.П. Радько, В.А. Наливайко, О.В. Окушко, А.В. Міщенко, Є.О. Антипов // Науковий вісник НУБіП України. – 2018. – № 283. – С. 275–280.

УДК 697.92: 697.95

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ НОВОГО БЕЗПЕЧНОГО КОНФАЙНМЕНТА ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ АЕС

**П.Г. Круковський¹, М.О. Метель², Д.І. Скляренко³,
Е.В. Дядюшко⁴, С.О. Кондратенко⁵**

^{1,2,3,4}Інститут технічної теплофізики НАН України,
м. Київ, вул. Марії Капніст, 2а, 03057,

тел. +38(044)456-92-81, e-mail: kruk_2@ukr.net

⁵ДСП Чорнобильська АЕС, а/с 11, м. Славутич, Київська
область, Україна 07101, тел. +380(4593)43125,

e-mail: kondratenko@chnpp.gov.ua

Розглядаються можливості зниження енергоспоживання вентиляційного обладнання Нового безпечного конфайнмента ЧАЕС, як великого споживача електроенергії протягом 100-річного терміну експлуатації.

Ключові слова: Конфайнмент ЧАЕС, вентиляційне обладнання, енергоспоживання.

WAYS TO INCREASE THE ENERGY EFFICIENCY OF THE NEW SAFE CONFINEMENT OF THE CHERNOBYL NPP

**P.G. Krukovsky¹, M.A. Metel², D.I. Skliarenko³,
E.V. Dyadyushko⁴, S.A. Kondratenko⁵**

^{1,2,3,4}Institute of Technical Thermophysics of the National
Academy of Sciences of Ukraine, Kiev, st. Mary Kapnist, 2a,
Tel. +380 (044) 456-92-81, E-mail address: kruk_2@ukr.net

⁵SSE "Chornobyl NPP" P.O. Box 11, Slavutych,
Kyiv region 07101,

Tel. +380 (4593) 43125,

e-mail address: kondratenko@chnpp.gov.ua

The possibilities of reducing the energy consumption of the ventilation equipment of the ChNPP New Safe Confinement, as a large consumer of power energy over a 100-year service life, are considered.

Keywords: ChNPP confinement, ventilation equipment, energy consumption.

ORCID: ¹0000-0001-6726-0550, ²0000-0002-4279-3710,
³0000-0002-0431-2111, ⁴0000-0002-2601-4633.

Новий безпечний конфайнмент (НБК), побудований і встановлений в проєктне положення над об'єктом «Укриття» (ОУ) Чорнобильської АЕС (рис. 1), є захисною спорудою, призначеною для забезпечення захисту персоналу, населення та навколишнього середовища від впливу джерел ядерної та радіаційної небезпеки, пов'язаних з існуванням об'єкта «Укриття» та здійснення практичної діяльності з перетворення об'єкта «Укриття» в екологічно безпечну систему, в тому числі, для вилучення залишків ядерного палива та паливовмісних матеріалів, виконання робіт щодо поводження з РАВ та демонтажу/підсилення нестабільних конструкцій ОУ.

Ресурс несучих сталевих конструкцій (труби з вуглецевої сталі діаметром до 830 мм), що перебувають у кільцевому просторі (КП) між двома металевими обшивками з нержавіючої сталі (рис. 1), повинен бути забезпечений протягом 100-річного терміну служби НБК.

Рис. 1. Схема об'єкта «Укриття» та НБК в поперечному (а) і поздовжньому (б) перетинах. На рис. а: 1 – сталеві конструкції та кільцевий простір Арки НБК, 2 – зовнішня оболонка, 3 – внутрішня оболонка, 4 – об'єкт «Укриття» і зруйнований реактор, 5 – основний об'єм НБК, 6 – машзал

Для цього передбачається спеціальна система вентиляції й осушення повітря для підтримки необхідного режиму вологості в кільцевому просторі (не більше 40 %) в умовах зміни температури навколишнього повітря від -22 до $+31$ $^{\circ}\text{C}$, відносної вологості від 50 до 100 % і сили вітру від 0 до 25 м/с.

Система вентиляції й осушення повітря в кільцевому просторі НБК (**об'ємом близько 1 млн м^3**) складається з чотирьох осушувальних машин роторного типу продуктивністю $6,94 \text{ м}^3/\text{с}$ і потужністю 46,36 кВт на лінії осушення і 180,08 кВт – на лінії регенерації кожна (в штатному режимі три установки в роботі й одна установка в резерві), а також дев'яти рециркуляційних контурів, призначених для перемішування й вирівнювання концентрації вологи в кільцевому просторі й виключення утворення застійних зон: шість вентиляційних систем продуктивністю $13,9 \text{ м}^3/\text{с}$ по повітрю і потужністю 19,5 кВт кожна, три вентиляційні системи продуктивністю $16,7 \text{ м}^3/\text{с}$ по повітрю й потужністю 27,7 кВт (дві установки) і 40,9 кВт (одна установка).

В основному об'ємі НБК (*також об'ємом близько 1 млн м³*) встановлене своє енергоємне вентиляційне обладнання, призначене для підтримки розрядження (5–10 Па), необхідного для запобігання забруднення кільцевого простору і низького викиду радіоактивних аерозолів з основного об'єму в навколишнє середовище, минаючи фільтри витяжної вентиляції, через нещільність в місцях з'єднання конструкцій по периметру основної захисної споруди НБК, в процесі експлуатації при демонтажі конструкцій об'єкта «Укриття», поводження з ПВМ, а також в разі аварії, пов'язаної з обвалом нестабільних конструкцій ОУ.

Система вентиляції основного об'єму НБК (ОО) складається з чотирьох приточних вентиляційних систем, обладнаних калориферами для підігріву повітря, що нагнітається в основний об'єм повітря, загальною продуктивністю 22,7 м³/с і сумарною потужністю 23,7 кВт. (приточна система вентиляції ОО використовуватиметься тільки при роботах з демонтажу нестабільних конструкцій ОУ ПК-2) а також з п'яти витяжних вентиляторів (у штатному режимі 3 в роботі + 2 в резерві) з регульованою продуктивністю в штатному режимі 6,48 м³/с і потужністю 25,33 кВт.

Отже, для підтримки проектних критеріїв вологісного і гідравлічного стану НБК по максимуму має щомиті витрачатися 968,37 кВт протягом 100 років проектного терміну служби НБК, що змушує ЧАЕС розглядати шляхи підвищення енергоефективності режимів роботи технологічних систем НБК. Серед таких шляхів основним можна назвати шлях оптимального управління осушувальними й вентиляційними установками за заданими критеріями підтримки відносної вологості у всьому об'ємі кільцевого простору і критерієм відсутності викидів повітря з радіоактивним пилом з основного об'єму за межі НБК при довільних значеннях вологості

навколишнього середовища, напрямках і швидкостях вітру.

У кільцевому й основному об'ємах НБК немає достатньої кількості приладів вимірювання вологості, перепадів тиску і неорганізованих витрат повітря за межі НБК для оптимального управління всіма вентиляційними установками, тому шлях експериментального аналізу та управління установками поки неефективний.

У доповіді розглядається також шлях використання сучасних комп'ютерних технологій у вигляді CFD-моделей термогазодинамічного і вологісного стану НБК, що дозволяє отримувати тривимірні поля температур, вологості, тисків, радіаційних аерозолів і витрат повітря в цих об'ємах НБК, два приклади з яких показані на рис. 2.

Рис. 2. Розподіл вологості в різних перетинах кільцевого простору НБК (а) і місце виходу повітря з радіаційними аерозолями через східні протічки НБК

УДК 621.315.1

ПАРАМЕТРИЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ МАГІСТРАЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ПРИСТРОЯМИ КЕРОВАНОЇ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

В.В. Кучанський

*Інститут електродинаміки Національної академії наук
України, просп. Перемоги, 56, м. Київ, 03057, Україна
тел.: +38(050)3878942,
e-mail: kuchanskiyvladislav@gmail.com*

У роботі наведено підхід до вирішення проблеми оптимізації магістральних електричних мереж за критерієм мінімуму втрат активної потужності.

Ключові слова: концепція Smart Grid, статичний синхронний компенсатор, керований шунтовальний реактор, гнучкі лінії електропередавання, зарядна потужність, оптимізація режимів роботи.

PARAMETRIC OPTIMIZATION OF BULK ELECTRICAL NETWORKS BY CONTROLLED REACTIVE POWER COMPENSATION DEVICES

V.V. Kuchansky

*Institute of Electrodynamics of the National Academy of
Sciences of Ukraine, 56 Peremohy Ave., Kyiv, 03057, Ukraine*

The paper presents an approach to solving the problem of optimization of main electric networks by the criterion of minimum active power losses.

Keywords: Smart Grid concept, static synchronous compensator, controlled shunt reactor, flexible power lines, charging power, optimization of operating modes.

ORCID: 0000-0002-8648-7942.

Сучасна електроенергетична система України – це складна кібернетична система з великою кількістю елементів – які утворюють системи з багатоконтурними зворотними зв'язками, – що має більш складні властивості порівняно з її елементами. Одним із головних елементів електроенергетичної системи є лінії електропередавання надвисокої напруги (ЛЕП НВН), які є системоутворювальними для магістральних електричних мереж. Від надійності та ефективності експлуатації ЛЕП НВН залежить нормальне функціонування об'єднаної електроенергетичної системи. Для забезпечення ефективної експлуатації ЛЕП НВН необхідно провести оптимізацію режиму напруги та реактивної потужності.

Розвиток електричних мереж супроводжується зростанням втрат електричної енергії. Це обумовлено збільшенням середніх відстаней між джерелами і споживачами електроенергії, відставанням мережевого будівництва і недоліком в установці засобів компенсації реактивної потужності. Тому завдання зниження втрат потужності й енергії в електричних мережах з розвитком енергосистем зберігає свою актуальність.

Зниження втрат потужності й енергії в електричних мережах є важливою складовою загального комплексу енергоощадних заходів. Одним із засобів вирішення цього завдання є оптимізація параметрів режиму електричної мережі – управління потоками потужності, регулювання напруги в мережі, встановлення і регулювання пристроїв компенсації реактивної потужності та ін. [1–5].

Оптимізація режиму роботи ЛЕП НВН, яка розглядається як локальний об'єкт, за рахунок мінімізації втрат активної потужності в ній, повинна ґрунтуватись на розв'язанні задач оптимізації режиму напруги та реактивної потужності. Керування режимом роботи ЛЕП НВН полягає у правильному виборі складу пристроїв компенсації зарядної потужності з метою регулювання рівнів напруги та коефіцієнтів потужності на шинах кінцевих підстанцій. Слід зазначити, що оптимізація

режимів роботи ЛЕП НВН в даній постановці задачі виконується з огляду на деякі найсуттєвіші режимні параметри. Також слід зазначити, що в попередніх дослідженнях не розглядались питання, які пов'язані з урахуванням коронування проводів та його впливу на розподіл напруги та доцільність застосування глибокого регулювання напруги в лініях даного класу напруги.

Одним із заходів, що забезпечує зниження втрат електроенергії, є оптимізація режимів роботи ЛЕП НВН за напругою та реактивною потужністю. В даній постановці проблеми ЛЕП НВН розглядається ізольовано для трьох найбільш розповсюджених режимів: мінімальний, максимальний та експлуатаційний робочий режим передавання потужності. Вирази для визначення втрат активної потужності в лінії електропередавання містять складові втрат холостого ходу та короткого замикання.

Оптимального значення напруги на початку або в кінці лінії електропередавання практично неможливо досягти через неможливість підвищення робочої напруги гранично допустимого значення по умові роботи ізоляції обладнання та недостатній потужності й урегульованості парку встановлених компенсувальних пристроїв. Шляхом застосування сучасних пристроїв керованої компенсації зарядної потужності лінії електропередавання можна досягти більш глибокого регулювання реактивної потужності й напруги та, відповідно, мінімізації втрат активної потужності.

Література:

1. Кучанський В.В. Застосування концепції SMART GRID з метою збільшення пропускної здатності лінії електропередачі надвисокої напруги / В.В Кучанський, // Праці Інституту електродинаміки НАН України. –2020. – № 55. – С. 40–45.
2. Blinov, I.V., Zaitsev I.O., Kuchanskyy V.V. (2020). Problems, methods and means of monitoring power losses in overhead transmission lines. V.P. Babak, V. Isaienko, A.O.

Zaporozhets (ред.). Systems, Decision and Control in Energy I (p. 123–136). Springer.

3. Hunko V. Kuchanskyi, A. Nesterko, O. Rubanenko Modes of electrical systems and grids with renewable energy sources - LAMBERT Academic Publishing, 2019. P. 184. ISBN 978-613-9-88956-3

4. Hunko I.O. Kuchanskyy V.V., Nesterko A.B. Engineering sciences: development prospects in countries of Europe at the beginning of the third millennium: Collective monograph. Volume 2. Riga: Izdevniecība "Baltija Publishing", 2018. 492 p. ISBN 978-9934-571-63-3.

5. V. Kuchanskyy Application of Controlled Shunt Reactors for Suppression Abnormal Resonance Overvoltages in Assymetric Modes 2019 – IEEE 6th International Conference on Energy Smart Systems (ESS) – P. 122–125.

УДК 620.96

ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ЛЮДИНИ ЯК ОСНОВА БУТТЯ, ПІЗНАННЯ, ВИХОВАННЯ ТА СПОЖИВАННЯ ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ

Ю.І. Фордзюн¹, О.А. Андрєєва²

*Мукачівський державний університет, вул. Ужгородська,
26, м. Мукачево, 89600, Україна, тел.: +38(050)101-38-95,
e-mail: yurijford@gmail.com*

У роботі представлено базові основи енергозбереження людини в системі «людина–діяльність–середовище». Людина є найпітнішою істотою на землі та її метаболічна енергія становить 2426 Дж тепла на 1 г потовиділення. Надмірне пітніння людини потребує додаткових енергетичних витрат на вентилявання, рекуперацію та кондиціювання приміщень. Тому вивчення системних зв'язків людини щодо порушення енергозбереження в міждисциплінарному застосуванні може бути використане в освітній, просвітницькій та прикладних сферах енергозбереження та раціонального споживання.

Ключові слова: енергозбереження, потовиділення, комфорт, раціональне споживання.

HUMAN ENERGY SAVING AS THE BASIS OF BEING, KNOWLEDGE, EDUCATION AND CONSUMPTION OF NATURAL RESOURCES

Yu.I. Fordzyun¹, O.A. Andreeva²

*Mukachevo State University, 26 Uzhgorodska str.,
Mukachevo, Ukraine, 89600*

The article presents basic principles of human energy saving in the system "man-activity-environment". Man is the sweatiest creature on earth and his metabolic energy is 2426 J

of heat per 1 g of sweat. Excessive human sweating requires additional energy costs for ventilation, recuperation and air conditioning. Therefore, the study of human systemic relationships in relation to energy saving in interdisciplinary applications can be used in educational, educational and applied areas of energy saving and rational consumption.

Keywords: *energy saving, sweating, comfort, rational consumption.*

ORCID: ¹0000-0001-6709-9525, ²0000-0001-8374-2306.

Сьогодні енергоефективність та відновлювана енергетика стали пріоритетними через суттєве порушення рівноваги в системі «безпека життєдіяльності людини – антропогенна діяльність – навколишнє середовище». Нераціональне та згубне використання людиною природних ресурсів, особливо в енергетичній сфері, призвели до глобальних проблем: парникові гази, забруднення навколишнього середовища, глобальне потепління, зниження різноманітності та якості довкілля, проблематика питної води тощо...

Очевидною є складність та неоднозначність системних зв'язків щодо небезпек, передосторог та наслідків антропогенної діяльності суспільно-виробничої системи «людина – виробнича діяльність – навколишнє середовище». Досліджувана система має всі ознаки технічної системи (ТС) – сукупність елементів та зв'язків між ними, які утворюють цілісну структуру будь-якого об'єкта, що має певне призначення, властивості, ціль використання та корисні функції. Тому в енергетичній сфері будь-яку технічну систему ТС слід розглядати у невідповідності поведінки системи з її властивостями: безпекою, ефективністю та комфортністю використання (природокористування). З огляду вимог часу протиріччями ТС є також інтереси виробника та споживача. Навички критичного мислення в галузі енергетики будуть корисними

в освітньому процесі при розгляді еволюції енергетичних систем.

Вивчення, пізнання та вдосконалення даної системи з огляду теорії технічних систем, системного аналізу дозволить дати відповіді на багато питань, що виникають в галузі енергозабезпечення. Системний аналіз конкретної ТС сприятиме здоровому інтересу в навчальному процесі, формуватиме індивідуальний підхід у вирішенні виробничих та побутових питань, і, закономірно, сприятиме раціональному споживанню природних ресурсів, зокрема відновлюваних.

Центральним та значущим елементом ієрархічної структури ТС «людина – енергозабезпечення – навколишнє середовище» є людина. Вивчення системних зв'язків людини щодо енергозбереження в міждисциплінарному застосуванні може бути використане в освітній та просвітницькій сферах. Такий підхід сприятиме кращому формуванню культури сталого споживання, як на особистісному рівні, так і в суспільстві. Як наслідок, раціональне енергетичне споживання у відповідності з передовими досягненнями науково-технічного прогресу в даній сфері є запорукою енергетичної безпеки держави.

Нами напрацьований досвід товарознавчої оцінки волого-температурного комфорту одягу та взуття в процесі їхнього споживання [1], адже загальновідомо, що в дискомфортних умовах через надмірне потіння необхідні додаткові енергетичні витрати на вентильовання та кондиціювання приміщень тощо... Ця проблематика особливо актуальна в умовах глобального потепління, урбанізації, сидячого виду діяльності та непередбачуваної мобільності в закритих приміщеннях, що мають місце теплої пори року при температурі середовища вище 25 °С.

Тут доречно виділити такі системні зв'язки фізіологічного енергозабезпечення людини як ключової ланки ієрархічної структури системи «людина – енергозабезпечення – навколишнє середовище»:

1. Енергетичні витрати людини пропорційні кількості потовиділення людини, тому можуть бути прораховані за відповідною методикою. Випаровування поту є основним способом втрати тепла, як під час фізичних навантажень, так і емоційних. Коли піт на поверхні шкіри перетворюється на водяну пару, з тіла виводиться 2426 Дж тепла на 1 г випареного поту [2]. Тому людину (споживача) можна розглядати, як елемент системи і як окрему підсистему з відповідними нормами щодо енергозабезпечення.

2. Потовиділення як функція терморегуляції шкіри людини є одною з найдосконаліших, саме завдяки її еволюції розвивався мозок людини, внаслідок чого людина сформувалась як *Homo sapiens*. Це підтвердили антропологи Стенфордського університету [3]. Сучасна людина найпітливіша істота на землі, адже створена природою, щоб віддавати тепло, на відміну від тварин, які акумулюють тепло. Так, дискомфортні відчуття людини найбільш характерними є при температурі середовища вище 25 °C для ступні людини у взутті, адже босоніж вони не проявляються.

3. Волого-температурний дискомфорт всередині взуття (мікроклімат) знижує швидкість випаровування, зумовлюючи «марнотратну» секрецію поту, що виступає як подразник і очевидно може зумовлювати відповідні соматичні порушення фізіології людини та виділення вуглекислого газу з поту за рахунок роботи патогенних бактерій. Як наслідок, виділений вуглекислий газ також спричиняє дискомфортні умови [4] та посилює парникове навантаження на атмосферу.

4. Потовиділення – складний природний біологічний рефлекторний процес теплової регуляції людини. Базовою основою його є обмін поживних речовин людини – метаболізм. Інтенсивність потовиділення може суттєво змінюватись – може бути малопомітною, у вигляді пари, і рясною, у вигляді крапель. Секреція поту у вигляді пари та крапель здійснюється рефлекторно вивідними протоками – мікропорами екринових потових залоз, щільно розміщених на

шкірі. Продуктивність потовиділення залози визначається діаметром протоки, яка на поверхні шкіри відкривається порою діаметром 60–80 мкм [2]. Секреція поту й подальша його стимуляція (іннервація) за дискомфортних умов не дає результатів пропорційного охолодження, тобто, терморегуляція порушується, що потребує додаткових енергетичних витрат на кондиціювання та рекуперацію середовища.

5. Будь-яке взуття, одяг потрібно розглядати через призму негативного впливу на відчуття людини. При температурі середовища понад 25 °С та незначному фізичному навантаженні дискомфортні відчуття проявляються практично протягом перших трьох-п'яти хвилин. Саме волога, яка утворюється на шкірі ступні людини внаслідок роботи екринових потових залоз, і є тим головним подразником у підсистемі «пакет матеріалів – виріб – шкіра (стопа) людини», що визначає рівень волого-температурної комфортності певного взуття (одягу) за певних умов. Наші дослідження показують, що матеріали природного походження для одягу та взуття є найкомфортнішими при споживанні [5, 6]. Вони закономірно менш енерговитратні при виготовленні й експлуатації та не наносять шкоди навколишньому середовищу при утилізації.

Рациональне використання природних ресурсів, в тому числі відновлюваних, сприятиме формуванню у майбутнього споживача інтересу до якісної продукції з натуральних матеріалів і формуватиме концепцію енергоощадливого споживання.

Література:

1. Фордзюн Ю.І. Системний підхід до пізнання комфортності взуття на підставі аналізу фактичних відчуттів споживачем дискомфорту / Ю.І. Фордзюн, О.А. Андреева // Вісник КНУТД. – 2012. – № 3 (65). – С. 149–157.

2. Терморегулювання тіла [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

[https://psychology.wikia.org/wiki/Thermoregulation_\(body\)](https://psychology.wikia.org/wiki/Thermoregulation_(body))

3. Lieberman D.E. Human locomotion and heat loss: an evolutionary perspective // Comprehensive physiology. – 2015. – V. 5 (1). – p. 99–117. – Режим доступу:

https://www.researchgate.net/publication/270908958_Human_Locomotion_and_Heat_Loss_An_Evolutionary_Perspective.

4. Yasuhiro Shimazaki, Toshiki Matsutani, Yayoi Satsumoto Evaluation of thermal formation and air ventilation inside footwear during gait. The role of gait and fitting // Applied Ergonomics. – 2016. – V. 55, July, p. 234–240. Режим доступу: <https://www.researchgate.net/publication/284355632>

5. Фордзюн Ю.І., Козарь О.П., Шопя С.В., Пристая О.Д. Комфортність стопи людини, ретроспектива взуттєвого ремесла та гігієнічні властивості натуральних матеріалів // Науковий вісник Мукачівського державного університету. – 2008. – № 5. – С.103–108.

6. [Yuriy Fordzyun](#). Level of Comfort: Artificial and Natural Shoe Materials. A Comprehensive Assessment. / Fordzyun Yuriy, Andreyeva Olga, Maistrenko Lesia // Key Engineering Materials (journal) V. 559 (2013), p 25–30 Online available since 2013/Jun/27 at www.scientific.net (2013) Trans Tech Publications, Switzerland, doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.559.25

УДК 697.92: 697.95

**ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ
МЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ ТУНЕЛЬНОЇ ВЕНТИЛЯЦІЇ
КП «КИЇВСЬКИЙ МЕТРОПОЛІТЕН»**

***А.І. Дейнеко, В.С. Олійник, Д.І. Скляренко,
Є.В. Дядюшко***

*Інститут технічної теплофізики НАН України,
м. Київ, вул. Марії Капніст, 2а,
тел.: +380(044)456-92-81, e-mail: kruk_2@ukr.net*

Проведено дослідження та аналіз зміни параметрів мікроклімату діючих тунелів метрополітену з механічною системою тунельної вентиляції. За допомогою моделювання розроблено і впроваджено новий графік роботи тунельної вентиляції, завдяки чому досягнуто нормованих значень вологості тунельного повітря та щорічного зниження енергоспоживання системи вентиляції на 173 МВт·год.

Ключові слова: метрополітен, тунель, вентиляція, моделювання.

**INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF THE
MECHANICAL SYSTEM OF TUNNEL VENTILATION OF
THE ME "KYIV METROPOLITAN"**

A.I. Deineko, V.S. Oliinyk, D.I. Skliarenko, E.V. Diadiushko
Institute of Technical Thermophysics of the NAS

A study and analysis of changes in the microclimate parameters of existing subway tunnels with a mechanical tunnel ventilation system has been carried out. With the help of modeling, a new schedule for the operation of tunnel ventilation was developed and implemented, as a result of which normalized values of humidity of tunnel air were achieved and

an annual reduction in energy consumption of the ventilation system by 173 MWh.

Keywords: *subway, tunnel, ventilation, modeling.*

ORCID: 0000-0002-4279-3710, 0000-0002-3223-5280,
0000-0002-0431-2111, 0000-0002-2601-4633.

Розбудова міста Києва в мегаполіс приводить до зростання кількості населення, внаслідок чого постійно відбувається зростання величини пасажиропотоку комунального підприємства (КП) «Київський метрополітен», яка досягла максимального значення в 2019 році – 1,7 млн осіб/день (у 2020 році на 56 % менше), що суттєво відрізняється від проєктного значення. Зростання кількості пасажирів метрополітену своєю чергою призводить до перевищення параметрів мікроклімату тунельного повітря: температури, вологості, рівня CO₂, запиленості. Внаслідок високої вологості тунельного повітря значно пришвидшуються процеси руйнування оправи стінок тунелів, корозії дорогого обладнання системи електропостачання, розміщеного в тунелях, погіршення електричних властивостей ізоляційних матеріалів контактної рейси, що спричинює зростання грошових витрат з бюджету метрополітену на ремонти та заміну обладнання. Коротке замикання електрообладнання через високу вологість тунельного повітря може завдати найбільших збитків і стати причиною зупинки руху потягів на найближчих ділянках робочих колій.

Робота діючої реверсивної механічної системи тунельної вентиляції цілодобово впродовж календарного року з урахуванням «помпового ефекту» від руху потягів повинна забезпечувати параметри мікроклімату не вище нормованих значень, зокрема, для вологості – 75 %.

Завдяки аналізу експериментальних даних параметрів мікроклімату в період з квітня по жовтень з 2005 по 2018 рік встановлено, що в тунельному повітрі службових з'єднувальних гілок (СЗГ) між станціями

метрополітену (ст. м.) Кловська–Майдан Незалежності–Хрещатик рівень вологості вищий за нормований: лежить в межах 85–95 % та іноді сягає 100 % (явище туману).

Для розв'язання проблеми застосовувалися сучасні CFD (Computation Fluid Dynamic) технології моделювання, що для різноманітних об'єктів дозволяють здійснювати одночасний розрахунок фізичних процесів та дають можливість пошуку оптимальних режимів роботи вентиляційних установок для забезпечення потрібного значення вологості тунельного повітря.

Розроблена CFD модель термогазодинамічного та вологого станів тунелів СЗГ (рис. 1, 2) являє собою сукупність геометричної моделі та математичний опис фізичних процесів тепломасообміну двофазного середовища. Адекватність CFD моделі була забезпечена використанням експериментальних даних параметрів мікроклімату.

На основі верифікованої CFD моделі здійснено прогнозування зміни параметрів мікроклімату впродовж повного календарного року за умови реалізації розроблених рекомендацій з організації нового режиму роботи системи тунельної вентиляції СЗГ.

Рис.1. Геометрична модель СЗГ: а – вид на геометричну модель СЗГ із ст. м. Хрещатик; б – вигляд поперечного перерізу моделі тунелю з шаром землі товщиною 10 м навколо нього

Рис. 2. Фрагмент геометричної моделі роз'їзду СЗГ: а – фото роз'їзду між СЗГ-1 та СЗГ-2; б – вид на роз'їзд СЗГ з розрахунковою сіткою, в якому: 1 – напрямок до ст. м. «Хрещатик»; 2 – напрямок до ст. м. «Кловська», 3 – напрямок до ВШ

Отримані результати моделювання термогазодинамічного і вологісного режиму підтверджені експериментальним випробуванням у Київському метрополітені у 2018 році, а з 2019 року затверджені в новому графіку роботи тунельної вентиляції. В результаті роботи вентиляційних агрегатів за новими режимами вдалося досягти щорічного зниження енергоспоживання системи вентиляції СЗГ на 173 МВт·год. Розроблений підхід може бути поширений на всю систему вентиляції тунелів.

УДК 681.51

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ МЕРЕЖЕВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ LORAWAN В ІНФРАСТРУКТУРІ СУЧАСНОГО МІСТА

В. Шельпяков, спеціаліст II категорії,
*Глухівський агротехнічний інститут імені С.А. Ковпака
Сумського національного аграрного університету*

Наводиться інформація про застосування промислової мережі зв'язку LoRaWAN як енергоефективної альтернативи стандартам GSM/2G/3G/4G/5G зв'язку. Особливу увагу приділено опису архітектури, переваг мережі та сфер її застосування в концепції сучасного «Розумного міста».

Ключові слова. *Smart City, LoRaWAN, LoRa, датчики, Internet of Things, енергоефективність.*

ENERGY EFFICIENCY OF LORAWAN NETWORK TECHNOLOGY IN THE INFRASTRUCTURE OF MODERN CITY

V. Shelpiakov, specialist of II category,
*Hlukhiv Agrotechnical Institute named after S.A. Kovpak of
Sumy National Agrarian University*

Provides information on the use of the LoRaWAN industrial communication network as an energy-efficient alternative to GSM/2G/3G/4G/5G communication standards. Particular attention is paid to the description of architecture, the benefits of the network and its application in the concept of modern "Smart City".

Keywords. *Smart City, LoRaWAN, LoRa, sensors, Internet of Things, energy efficiency.*

ORCID: 0000-0002-5099-9380.

У сучасному світі основна маса мобільної техніки, портативних пристроїв, промислових технологій має можливість підключення до локальних та глобальних мереж. Виробники технічної продукції побутового та промислового вжитку намагаються перевести свої напрацювання до категорії SMART, яка в свою чергу інтегрується до концепції Розумного міста (Smart City).

Стандарти безпроводного зв'язку GSM та 3G уже не в змозі забезпечити надійне підключення величезної кількості сенсорів, забезпечивши при цьому тривалу роботу промислових датчиків та передачу даних на значні відстані.

11 листопада 2020 року Кабінет Міністрів України ухвалив розпорядження, яким затвердив план заходів щодо впровадження системи мобільного зв'язку п'ятого покоління (5G) впродовж наступних п'яти років (до 2025 року). Така технологія не є найенергоефективнішою та не надає можливості вибору побудови окремих приватних локальних мереж для малого та середнього бізнесу, який тримається на плаву за рахунок обслуговування окремих сфер Розумного міста.

Однією з найперспективніших промислових мережевих технологій сьогодення, яка найкраще вписується в концепцію Smart City, є технологія LoRaWAN.

LoRaWAN – це набір протоколів, що визначають фізичний і мережевий рівні передачі даних для малопотужних пристроїв з низьким енергоспоживанням, який працює на великих відстанях. Аббревіатура LoRa означає Long Range, тобто великі відстані передачі даних, а WAN (Wide Area Network) означає, що протокол описує ще й мережевий рівень.

Технологія розгортається до 10 і більше кілометрів радіусної території від центрального передавача до кінцевих пристроїв (датчиків) з ухилом до високої енергоефективності та рядом переваг:

- мережа розгортається в діапазоні частот, які не потребують ліцензування (433 MHz/868 MHz у Європі, 915 MHz в Америці та Австралії, 923 MHz в Азії);
- висока завадостійкість при адаптивній швидкості передачі даних;
- автономність кінцевих пристроїв (датчиків) в мережі LoRaWAN;
- висока ємність мережі (одна базова станція здатна обслуговувати теоретично кілька десятків тисяч кінцевих пристроїв, на практиці – декілька тисяч);
- дуже висока енергоефективність бездротових пристроїв мережі (термін служби акумуляторів датчиків може досягати десяти років; при використанні сонячних батарей як джерел живлення пристрій працюватиме до закінчення технічного ресурсу);
- легкість розгортання мережі (необхідна мінімальна інфраструктура для локальних мереж; у разі розширення мережі можна збільшити кількість шлюзів і регулювати швидкість передачі даних від 0,3 до 50 Кбіт/с.

Хоча стандарт LoRa був розроблений відносно недавно (2015 рік, США, компанія «Semtech»), він розпочав швидку «інтеграцію» в різні сфери життєдіяльності людини на всіх континентах планети, більшості розвинених країн (див. рис. 1), у тому числі і в Україні, підтримуючи все ще нову для нас концепцію IoT (Internet of Things – інтернет речей). Основними фірмами – реалізаторами технології LoRaWAN на ринку України є ELKO та ROMSAT.

Рис. 1. Сфери застосування LoRaWAN в інфраструктурі Розумного міста

Першими проектами реалізації LoRaWAN в Україні стали:

1. Місто Кропивницький. БАТ «Кіровоградгаз» розгорнуло мережу і встановило 143 датчики в районах приватної забудови задля контролю автоматичної фіксації показань лічильників та їх належного справного стану.

2. Місто Київ. ТРЦ «Арт Молл» розгорнув мережу для керування розумним освітленням на парковці та периметрі навколо будівель. За висновками аналітиків економія енергоспоживання від впровадження такого рішення склала близько 80 %.

Література:

1. Розпорядження Кабінету Міністрів України «Про затвердження плану заходів щодо впровадження в Україні системи рухомого (мобільного) зв'язку п'ятого покоління» від 11 листопада 2020 р. № 1409-р.

2. Грінгард Семюель. Інтернет речей. Перекладено за виданням: Greengard S. The Internet of Things / Samuel Greengard. – London: The MIT Press, 2015. – 232 p.

УДК 336.22:338.2

ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ «РОЗУМНИЙ БУДИНОК» ЯК ІНВЕСТИЦІЇ В ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ НАЦІОНАЛЬНОЇ ЕКОНОМІКИ НА НАНОРІВНІ

М.І. Грицаєнко, Г.І. Грицаєнко

*Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного,
просп. Б.Хмельницького, 18, м. Мелітополь, 72312,
Україна,
тел.: (0619) 42-24-32
e-mail: nick.grytsayenko@tsatu.edu.ua,
halyna.hrytsaienko@tsatu.edu.ua*

Розглянуто сутність поняття «розумний будинок», за результатами опитування мешканців двокімнатних квартир з теплою підлогою здійснено обґрунтування доцільності інвестицій в його енергоефективність. На основі дослідження визначені інші енергоефективні заходи, які сприятимуть підвищенню ефективності застосування системи «розумний будинок».

Ключові слова: *«розумний будинок», енергоефективність, інвестиції, житлове середовище, інформаційно-комунікаційні технології.*

INTRODUCTION OF THE "SMART HOUSE" SYSTEM AS AN INVESTMENT IN THE ENERGY EFFICIENCY OF THE NATIONAL ECONOMY AT THE NANORAL LEVEL

M.I. Hrytsaienko, H.I. Hrytsaienko

Dmytro Motorny Tavria State Agrotechnological University

The essence of the concept of "smart home" is considered, on the basis of a survey of residents of two-bedroom apartments with underfloor heating, a justification of investment in its energy efficiency. Based on the study, other

energy efficient measures have been identified that will help increase the efficiency of the smart home system.

Keywords: *"smart home", energy efficiency, investment, living environment, information and communication technologies.*

ORCID: 0000-0003-2507-771X, 0000-0001-7168-2836.

Останнім часом для багатьох урядів стратегічним пріоритетом стала концепція «зеленої економіки», яка передбачає покращення добробуту людей і створення соціальної справедливості при одночасному зниженні екологічних ризиків і дефіциту [4, с. 43]. На жаль, викиди CO₂ у 2018 році порівняно з 1990-м у цілому в світі збільшились на 63,4 % і становили 33513,3 Мт CO₂, або 4,42 т CO₂ на душу населення [6]; це прямо пов'язано з процесами виробництва та споживання енергії. Саме тому стратегічне значення для кожної країни мають інвестиції в енергетику та енергоефективність, що обумовлює актуальність обраної теми.

Енергоефективність національної економіки доцільно розглядати як складну ієрархічну систему, для нанорівня якої (індивід, сім'я) особливого значення набуває створення енергоефективного житла шляхом впровадження сучасного продукту діджиталізації, що працює на основі штучного інтелекту – «розумного будинку», який «... доцільно ... розглядати як складну ієрархічну систему елементів автоматизованого догляду за житловим приміщенням, яка сприяє підвищенню комфортності та енергоефективності» [2].

На рис. 1 наведена система «розумного будинку» в розрізі основних елементів – пристроїв та сенсорів.

Рис. 1. Елементи системи «розумний будинок»

Джерело: [2].

Для обґрунтування доцільності інвестицій у впровадження системи «розумного будинку» було опитано 17 осіб, які мешкають у місті Мелітополі у двокімнатних квартирах з індивідуальним опаленням та теплою підлогою. За пів року міжопалювального періоду очікувана економія від використання системи «розумний будинок» становитиме 2087,9 грн, опалювального періоду – відповідно 3836,62 грн. В цілому за рік очікувана економія може скласти до 5924,52 грн, при цьому період окупності системи «розумний будинок» Metafora становитиме 3,4 року [2].

Крім безпосередньої економії від раціонального споживання енергетичних ресурсів, система «розумний будинок» сприятиме зниженню витрат на обслуговування, збільшенню термінів служби устаткування, запобіганню виникнення аварійних ситуацій тощо.

Підвищенню ефективності використання системи «розумний будинок» сприятимуть інші заходи з енергоефективності, в тому числі заміна вікон,

теплоізоляція стін і даху, встановлення вітрогенераторів, автономних сонячних електростанцій, сонячних колекторів для нагріву води тощо. В Україні для населення та ОСББ з метою підтримки енергозбереження діє Урядова програма «тепліх кредитів», а також місцеві програми здешевлення «тепліх кредитів» [5].

Безумовно, вирішення проблем енергоефективності в Україні не повинно обмежуватися лише нанорівнем, тому необхідне залучення суттєвих інвестицій в збільшення внутрішнього видобутку нафти і газу, а також розвиток потенціалу відновлюваної енергії, активізація заходів стосовно максимального збільшення ефективності використання та збереження енергії на всіх рівнях національної економіки [1].

Зі свого боку активізація інвестиційної діяльності в будь-якій сфері вимагає наявності інвестиційної привабливості національної економіки, що «... потребує реальної боротьби з корупцією, судової реформи для захисту прав інвесторів у судах, валютного регулювання та розбудови банківського сектора, ефективної та повномасштабної податкової реформи» [3, с. 90].

Перспективами подальших досліджень є вивчення особливостей «розумного міста», а також ефективності інвестицій в його створення для забезпечення комфортних умов життя сучасної людини з будь-яким рівнем доходів.

Література:

1. Грицаєнко Г.І., Грицаєнко І.М. Системний аналіз інвестицій в енергоефективність національної економіки. Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. 2021. № 1. URL: <http://oj.tsatu.edu.ua/index.php/visnik/issue/view/15>.

2. Грицаєнко Г.І., Грицаєнко М.І. Інвестиції в енергоефективність «розумного будинку». Збірник наукових праць Таврійського державного агротехнологічного університету (економічні науки). 2021. № 1. URL: <http://feb.tsatu.edu.ua/science/scientific-publications/>.

3. Грицаєнко Г.І., Грицаєнко М.І. Інвестиційна привабливість України. *Agricultural and Resource Economics: International Scientific E-Journal*. 2017. Вип. 3. № 1. С. 80–93.

4. Грицаєнко М.І. Вплив соціального капіталу громади на «зелене» зростання країни. Зелена економіка та низьковуглецевий розвиток: міжнародний та національний вимір: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Київ, 4 грудня 2020 р.). Київ : Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, 2020. С. 43–46.

5. Інвестиції. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України : веб сайт. URL: <https://saee.gov.ua/uk/business/investyscii> (дата звернення: 25.12.2020).

6. World Energy Investment. International Energy Agency : Web site. URL: <https://www.iea.org/> (date of application: 25.12.2020).

УДК 621.311

ВИКОРИСТАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ТА ПОБУТОВИХ СПОЖИВАЧІВ-РЕГУЛЯТОРІВ У МЕРЕЖАХ З ВІДНОВЛЮВАНОЮ ГЕНЕРАЦІЄЮ

Т.Л. Кацадзе¹, О.М. Панченко², О.М. Янковська³
КПІ ім. Ігоря Сікорського, просп. Перемоги, 37, м. Київ,
03056, Україна, тел.: +38(097)440-76-34, e-mail:
teymuraz@ukr.net

У роботі наведено результати дослідження способів використання споживачів-регуляторів для вирівнювання графіків споживання електричної енергії.

Ключові слова: споживач-регулятор, електроенергетична система, графік навантаження.

USE OF INDUSTRIAL AND DOMESTIC CONTROLLABLE LOADS IN NETWORKS WITH RENEWABLE GENERATION

T. Katsadze¹, O. Panienko¹, O. Iankovska³
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 37, Prosp. Peremohy,
Kyiv, Ukraine, 03056, tel.: +38(097)440-76-34,
e-mail: teymuraz@ukr.net

The paper presents the results of a study of ways to use consumers-regulators to align the schedules of electricity consumption.

Keywords: controllable loads, power system, load schedule.

ORCID: ¹0000-0002-8365-0046, ²0000-0002-6093-6607,
³0000-0002-6093-6607.

Дефіцит маневреної потужності в ОЕС України, обумовлений значною часткою атомної та швидким розвитком відновлюваної генерації, становить близько

2500 МВт. На даний момент для регулювання балансу потужності в пікових зонах графіка навантаження в Україні крім ГЕС та ГАЕС застосовують блоки ТЕС. Такий режим ТЕС призводить до зростання собівартості виробництва електроенергії, погіршення роботи самих агрегатів, пов'язаних з процесами підготовки та спалювання палива [1].

Для розв'язання цих проблем доцільним буде залучення споживачів для зміщення піків та заповнення провалів споживання у певні години доби. У світовій практиці вже давно успішно застосовують подібні технології та заходи. Це так зване управління попитом (Demand Side Management – DSM або Demand Response – DR) – сукупність заходів, спрямованих на підвищення, зниження та перенесення навантажень споживачів та споживачів-регуляторів (Controllable loads) з одного часу доби на інший, що вирівнює графіки споживання протягом доби. Як споживачі-регулятори можуть виступати будь-які споживачі або групи споживачів електричної енергії, що мають помітний вплив на сумарне добове навантаження та можуть змінювати свою потужність відповідно до графіка навантаження. Зазвичай виділяють три типи споживачів-регуляторів [2]:

1. Побутові споживачі – побутові прилади, освітлення квартир, системи кондиціонування повітря в приміщеннях тощо.

2. Побутові й промислові споживачі – пристрої та установки, що здатні зберігати енергію у вигляді теплової, хімічної чи механічної енергії; потужні АКБ; установки, що пов'язані з зарядкою електромобілів; комплекси вироблення електроенергії, тепла й холоду.

3. Мікромережи та віртуальні електростанції (Virtual Power Plant – VPP) – інтеграції розподілених джерел генерації, накопичувачів електроенергії та споживачів, що керуються з єдиної системи.

Враховуючи поточний стан енергетики України, слід звернути увагу на другий тип споживачів-регуляторів, а

саме застосування пристроїв акумулювання енергії та використання зміни потужностей промислових підприємств. Зазвичай виділяють три групи промислових споживачів, котрі можна застосовувати як споживачі-регулятори [3].

1. Обладнання для виробництва, тривала зупинка якого не призведе до порушення технологічного процесу виробництва.

2. Обладнання, обладнане регульованими приводами, що дає змогу швидко змінювати потужність в певних межах.

3. Теплове промислове навантаження пов'язане з довготривалими технологічними процесами, зупинка яких призводить до збитків та порушення нормального функціонування обладнання.

Окрім регулювання промислових споживачів досить ефективним заходом регулювання графіків навантаження є застосування установок, котрі перетворюють електричну енергію і накопичують її у вигляді теплової, хімічної чи механічної енергії.

Зважаючи на те, що для України спостерігається тенденція до збільшення потужності побутових споживачів, застосування установок для охолодження та нагріву води призведе до заповнення провалів та зниження пікових зон добового графіка навантаження. Останні роки досить успішним є використання систем нагріву води в США, Швеції, Японії, Італії та інших країнах. Для України застосування теплопостачання в нічний час за рахунок використання електроенергії теж є досить перспективним напрямком.

Таким чином, для України досить перспективним напрямком є застосування споживачів-регуляторів, котрі зможуть вирівняти добові графіки навантаження. Цей захід дозволить вилучити деякі блоки ТЕС з режиму готовності до швидкого регулювання потужності, що в свою чергу призведе до економії засобів на виробництво електроенергії на позитивно вплине на роботу самих ТЕС. Україна володіє досить потужними промисловими

споживачами, значна частина яких здатна брати участь у регулюванні потужностей у певні години доби, тобто споживачі надаватимуть послуги енергосистемі з компенсації раптових небалансів споживання і генерації. Потужними споживачами-регуляторами можуть виступити й автоматизовані системи з електронагріву води, використання яких вночі вплине позитивно не тільки на режим роботи енергосистеми, але й на споживачів, що отримуватимуть тепло за нижчими цінами.

Література:

1. Бахмачук С.В. Керування графіком навантаження в електричних мережах споживачами-регуляторами // ScienceRise. – 2016. № 2/2. С. 50–57.
2. Jingshuang Shen. Controllable Load Management Approaches in Smart Grids // Energies. – 2015.
3. Michael Starke. Assessment of Industrial Load for Demand Response across U.S. Regions of the Western Interconnect. – 2013. 78 p.

УДК: 621.316.542.004.67

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ РЕМОНТУ МАСЛЯНИХ ВИМИКАЧІВ ВМП-10

А.О. Жарікова¹, А.Б. Чебанов²

*Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного,
вул. Б.Хмельницького 18, м. Мелітополь, 72315, Україна,
тел.: +38(097)787-98-58, e-mail: annalife91@gmail.com*

*Підвищення надійності роботи вимикачів ВМП-10
шляхом заміни та удосконалення робочих органів та
калібрування рухомої системи.*

Ключові слова: вимикач, контакти, важіль, вузол.

IMPROVING THE QUALITY OF REPAIR OF VMP-10 OIL SWITCHES

A. Zharikova¹, A. Chebanov²

*Tavria State Agrotechnological University,
str. B. Khmelnytskyoho 18, Melitopol, 72315, Ukraine,
tel.: +38 (097) 787-98-58, e-mail: annalife91@gmail.com*

*Improving the reliability of VMP-10 switches by replacing
and improving the working bodies and calibration of the mobile
system.*

Keywords: switch, contacts, lever, unit.

ORCID: ¹0000-0002-6114-2489, ² 0000-0002-8457-0574.

Досвід експлуатації вимикачів ВМП-10 виявив ряд
ненадійних вузлів, на перевірку і регулювання яких

необхідно звертати особливу увагу при ремонті вимикачів. У вимикачів ВМП-10 спостерігаються масові випадки ламання капронових напрямних колодок та зависання під час відключення рухомих контактів у проміжному положенні.

Мета статті – з'ясувати, що може бути найчастішою причиною неправильної роботи вимикача ВМП-10, та розглянути можливості усунення проблеми.

У деяких вимикачів ВМП-10 під час відключення спостерігаються випадки зависання рухомих контактів у проміжному положенні (рис. 1,) через те, що важіль 4 шарнірного механізму не заходить у ковпачок 2, а впирається в його основу [1].

Причиною неправильної роботи важеля механізму полюса є недопустиме відхилення від креслень при виготовленні пристрою, збірці і кріпленні вузлів полюса на заводах-виробниках. Внаслідок цього важіль при заході в ковпачок стикається з його поверхнею не всередині, а біля самої основи ковпачка.

Первісне зіткнення важеля повинно нормально відбуватися не ближче 10 мм від основи ковпачка. При більш близькому розташуванні місця початкового удару важіль може впертися в основу ковпачка і заклинити рухомі контакти. При зависанні рухомої системи вимикача через неправильну роботу механізму полюса рухливі контакти виходять з нерухомих всього на 10–15 мм. З таким невеликим ходом контактів вимикач не здатний відключати навіть невеликі за величиною струми короткого замикання. Тому під час ремонту вимикачів необхідно перевіряти роботу шарнірного механізму і виявляти полюси, в яких можливо зависання рухомих контактів.

**Рис. 1. Положення рухомої системи вимикача
ВМП -10 при зависанні:**

- 1 – ізоляційний циліндр; 2 – ковпачок;
3 – струмознімальні ролики; 4 – важіль;
5 – напрямна колодка; 6 – шарнірний механізм;
7 – напрямні стрижні; 8 – упори; 9 – рухливий контакт;
10 – неруховий контакт**

Для цього слід знімати ковпачки та перевіряти стан їх робочих (внутрішніх) поверхонь, а також перевіряти стан важелів у момент проходження їх через отвір у корпусі при повільному відключенні вимикача від руки. Важіль 4 при повільному русі через отвір у корпусі не повинен наближатися до його верхнього боку ближче, ніж на 6–8 мм. Інакше при нормальному відключенні через велику швидкість руху важеля і наявні люфти є небезпека удару важеля в основу ковпачка, задирок його поверхні й

подальшого заклинювання рухомих контактів. При виявленні неправильної роботи шарнірного механізму, а також задирок або вибоїн біля основи ковпачка і наклепки у важелі слід для попередження зависання рухомих контактів змінити несправний полюс вимикача [1].

Якщо під час перевірки роботи шарнірного механізму буде виявлений надмірно близький підхід важеля до стінки корпусу в момент його проходження через отвір, але за відсутності нерівності робочих поверхонь чи при незначній нерівності, слід періодично виводити з роботи вказаний вимикач і контролювати стан поверхонь ковпачка і важеля. При великій кількості комутаційних операцій з вимикачем зазначену періодичну перевірку слід робити не менше двох разів на рік [2]. Досвід експлуатації вимикачів ВМП-10 з приводом ПЕ-11, встановлених в осередках КРУ серії К-III-У, виявив ненадійність їх роботи при відключенні. Як показала перевірка декількох вимикачів ВМП-10, установлених в осередках КРУ серії К-III-У, утримують моменти у різних вимикачів можуть значно відрізнятися один від одного. Так, при цій перевірці мінімальне значення $M_{уд}$ дорівнювало 2,3 кг·м, а максимальне – 5,75 кг·м.

У разі відмови у відключенні вимикача ВМП-10, насамперед слід перевірити пружину механізму вільного розчеплення та замінити її, якщо вона не відповідає кресленням. Необхідно також перевірити й усунути тертя в механізмі вільного розчеплення та у всіх інших частинах приводу і в елементах з'єднання його з вимикачем [3].

В результаті дослідження встановлено, що найчастішою причиною неправильної роботи і виходу з ладу масляного вимикача ВМП-10 є пошкодження полюса. Усунути цю проблему можна за допомогою заміни

механізмів полюсів, зміни товщини прокладки підшипника; також треба слідкувати за відстанню між важелем і верхнім боком та за станом ковпачків.

Література:

1. Енергетика, обладнання, документація. Режим доступу: http://forca.ru/info/spravka/maslyanye-vyklyuchateli_5.html.
2. Федоров А.А. «Довідник з електропостачання та електрообладнання» / А.А. Федоров // у двох томах, М : Вища школа, 1987.
3. Соколов Б.А. «Монтаж електричних установок» / Б.А. Соколов, Н.Б.Соколова // М.: Энергоатомиздат, 1991. – 592 с.

УДК 621.311

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ КРАЇН ЦЕНТРАЛЬНОЇ ТА ПІВДЕННО- СХІДНОЇ ЄВРОПИ (CESEC)

**С.О. Кудря¹, І.В. Іванченко², К.В. Петренко³,
О.О. Кармазін⁴, В.А. Точений⁵.**

Інститут відновлюваної енергетики НАН України, Київ

У доповіді представлено уточнені оцінки прогнозу та сценарії розвитку відновлюваної енергетики країн Центральної та Південно-Східної Європи (CESEC) до 2030 року. За прогнозом IRENA, Україна може досягти загальної частки обсягів виробництва електроенергії з відновлюваних джерел енергії до 2030 року від 14 %, за базовим сценарієм, до 24 %, за оптимістичним сценарієм REmap.

Ключові слова: Енергетичне Співтовариство CESEC, декарбонізація, сценарії розвитку відновлюваної енергетики, вітроенергетика.

RENEWABLE POWER PROSPECTS FOR CENTRAL AND SOUTH-EASTERN EUROPE (CESEC)

**Kudria¹ S., Ivanchenko² I., Petrenko³ K., Karmazin⁴ O.,
Tochenyi⁵ V.**

Institute of Renewable Energy, NAS of Ukraine, Kyiv

The article presents revised forecasts and scenarios for the development of renewable energy in Central and South-Eastern Europe (CESEC) until 2030. According to the IRENA's forecast, Ukraine may achieve the total share of electricity generation from renewable energy sources by 2030 from 14% (according to the Reference Case) to 24% (according to the Optimistic REmap).

Keywords: *Energy Community, decarbonisation, renewable energy development scenarios, wind power.*

ORCID: ¹0000-0002-4798-6853, ²0000-0002-5083-4180,
³0000-0002-2322-9030, ⁴0000-0002-7628-6880,
⁵0000-0003-2811-7836.

Міжнародне агентство з відновлюваних джерел енергії (IRENA) на прохання Європейської Комісії розробило аналіз Дорожньої карти відновлюваної енергетики для країн Центральної та Південно-Східної Європи (CESEC) [1]. Це дослідження оцінює потенціал розгортання відновлюваної енергетики в регіоні CESEC до 2030 року та аналізує, як прискорене використання відновлюваних джерел енергії вплине на витрати на виробництво електроенергії, інвестиції та споживання викопного палива, викиди парникових газів, навколишнє середовище та здоров'я людей. Результати дослідження сприятимуть оптимізації процесів енергетичного та кліматичного планування в державах – членах Європейського Союзу (ЄС) та Енергетичного Співтовариства.

Ініціатива CESEC охоплює дев'ять країн – членів ЄС (Австрія, Болгарія, Хорватія, Греція, Угорщина, Італія, Румунія, Словаччина та Словенія) та вісім Договірних Сторін Енергетичного Співтовариства (Албанія, Боснія і Герцеговина, Косово, Чорногорія, Північна Македонія, Республіка Молдова, Сербія та Україна). На країни – члени ЄС припадає приблизно три чверті споживання енергії CESEC. Серед інших восьми країн на Україну припадає понад дві третини споживання енергії.

Регіон залишається сильно залежним від імпорту викопного палива (головним чином нафти та газу). Члени CESEC визнають необхідність ретельної модернізації в енергетичному секторі з численними активами зношених генерувальних потужностей на викопному паливі. У містах Південно-Східної Європи найвищий рівень забруднення

повітря в Європі через спалювання викопного палива, що є значною загрозою для здоров'я громадян.

Електроенергетична галузь України також потребує переходу до нових технологій, враховуючи ряд обставин: залежність від імпорту палива, зношений стан генерувальних потужностей, нерівномірність розподілу генерації та споживання енергії між регіонами, недостатню гнучкість енергосистеми, складні екологічні умови, що обмежують можливості розвитку енергетики [2].

Всі теплові електростанції (ТЕС) України перевищили свій 40-річний проєктний термін експлуатації, дев'ять ТЕС перевищили термін 50 років експлуатації – всі вони є фізично зношеними й морально застарілими, потребують реконструкції або заміни. Те саме стосується й атомних електростанцій (АЕС). Майже всі енергоблоки АЕС вичерпали проєктний термін експлуатації. Зокрема, з 15 енергоблоків АЕС на кінець 2020 року лише три перебувають у проєктному терміні: енергоблок № 4 Рівненської, № 6 Запорізької та № 2 Хмельницької АЕС [3]. Решті продовжено терміни експлуатації. Зношеність обладнання призводить до збільшення витрат палива, зменшення робочої потужності, зростання кількості аварій та погіршення екологічних показників.

Оптимальним шляхом виходу з цієї ситуації є прискорення розвитку відновлюваної енергетики.

Сучасний темп розвитку технологій у сфері відновлюваної енергетики та їх імплементація не лише підвищує енергоефективність виробництва і розширення енергетичної ресурсної бази, а й дозволяє отримати поряд з економічними перевагами суттєві екологічні вигоди, що полягають у декарбонізації національних економік, скороченні обсягів застосування викопних енергетичних ресурсів тощо. Швидкий перехід від споживання викопного палива, що є найсуттєвішим фактором змін клімату, до більш чистих, відновлюваних видів енергії сприяє досягненню узгоджених кліматичних цілей. Питання декарбонізації енергетичного сектора і скорочення викидів

вуглецевих речовин з метою запобігання подальшим змінам клімату є ключовим елементом у стратегіях розвитку енергетичних секторів країн світу.

В дослідженні IRENA розглядаються два сценарії розвитку відновлюваної енергетики (базовий та оптимістичний REmap). Спочатку аналізується очікуване розміщення відновлюваних джерел енергії в регіоні CESEC до 2030 року за базовим сценарієм, який передбачає реалізацію існуючих планів або продовження поточних тенденцій.

Потім розглядається оптимістичний сценарій розвитку відновлюваної енергетики REmap, що передбачає пришвидшене використання відновлюваних джерел енергії до 2030 року.

Ці варіанти, що базуються на відновлюваних джерелах енергії, можна порівняти із традиційними технологіями, зіставляючи приведену собівартість енергії (LCOE) для визначення витрат на заміщення.

Аналіз IRENA спрямований на визначення реалістичного та економічно вигідного сценарію для швидкого збільшення об'єктів, що працюють на відновлюваних джерелах енергії. Сценарій REmap IRENA узгоджує енергетичні, інвестиційні та політичні програми з ключовими цілями щодо клімату та стійкого розвитку, включаючи Паризьку угоду, Порядок денний ООН на 2030 рік та Цілі сталого розвитку. Проблеми, пов'язані з реалізацією кожного визначеного сценарію, різняться залежно від країни.

Пришвидшене використання відновлюваних джерел енергії до 2030 року за сценарієм REmap IRENA базується на ретельному дослідженні й оцінках потенціалу на рівні країн. Технічну доцільність впровадження опцій REmap в електроенергетичному секторі на регіональному та національному рівнях допомагає оцінити щогодинне моделювання диспетчеризації для всієї взаємопов'язаної європейської енергосистеми у 2030 році.

Внутрішні ринки відновлюваної енергії країн Центральної та Південно-Східної Європи відрізняються за рівнем розвитку та потенціалом відновлюваних джерел енергії. У 2015 році (рік, що обраний вихідним для аналізу IRENA, – останній рік, коли для всіх членів CESEC був доступний вичерпний набір вихідних даних) частка відновлюваних джерел енергії в енергетичному балансі варіювалася від 4 % в Україні до 40 % в Чорногорії.

Широкий спектр факторів впливає на реальний, економічно ефективний потенціал зростання частки відновлюваних джерел енергії в кожній країні регіону: технічний потенціал ВДЕ та очікувані витрати на реалізацію такого потенціалу; економічні та енергетичні умови країни; структура енергетичної системи та зношеність існуючих виробничих активів; база для нових розробок (особливо для великих проєктів, які можуть мати велике значення для невеликих країн).

Хоча умови для впровадження відновлюваних джерел енергії суттєво різняться в регіоні, IRENA прогнозує, що всі країни Центральної та Південно-Східної Європи можуть потенційно збільшити свої частки відновлюваної енергії порівняно з поточними прогнозами до 2030 року.

Очікується, що попит на енергію в регіоні CESEC до 2030 року в країнах – членах ЄС CESEC збільшиться приблизно на 5 % базового рівня 2015 року. Прогнози за базовим сценарієм до 2030 року ґрунтуються на інформації, доступній IRENA станом на вересень 2019 року. Для Договірних Сторін Енергетичного Співтовариства, згідно з існуючими прогнозами, це збільшення буде значно більшим – приблизно на 26 % вище споживання 2015 року.

За базовим сценарієм, частка відновлюваної енергії в країнах – членах ЄС CESEC, як очікується, буде демонструвати повільне зростання протягом десятиліття, збільшуючись із 16 % у 2015 році до приблизно 24 % у 2030-му. У восьми країнах – Договірних Сторонах Енергетичного Співтовариства CESEC частка відновлюваних джерел

енергії в енергетичному комплексі, як очікується, зросте з 10 % у 2015 році до приблизно 19 % у 2030-му

За даними оптимістичного сценарію REmap IRENA авторами побудовано карту прогнозованої частки відновлюваних джерел енергії в енергетичному балансі країн – членів Енергетичного Співтовариства CESEC (рис. 1).

За цим сценарієм можливе економічно ефективно збільшення частки відновлюваних джерел енергії до 2030 року для країн – членів ЄС CESEC до 34 %, а для восьми Договірних Сторін CESEC – до 30 %.

Рис. 1. Прогнозована частка обсягів виробництва електроенергії з відновлюваних джерел енергії в енергетичному балансі країн – членів Енергетичного Співтовариства CESEC до 2030 року за оптимістичним сценарієм REmap

За сценарієм REmap можливо досягти загальної частки обсягів виробництва електроенергії з відновлюваних джерел енергії до 2030 року від 23 % у Словаччині до 56 % у Боснії і Герцоговині, в Україні – 24 % (табл. 1).

Табл. 1. Частка обсягів виробництва електроенергії з відновлюваних джерел енергії в енергетичному балансі країн – членів Енергетичного Співтовариства CESEC за різними сценаріями

Країна	Частка обсягів виробництва електроенергії з відновлюваних джерел енергії в енергетичному балансі, %			
	2015	Базовий сценарій 2030	Оптимістичний сценарій REmap 2030	Додатковий потенціал порівняно з базовим сценарієм
Албанія	37	34	48	14
Австрія	31	37	55	18
Боснія і Герцеговина	39	47	56	9
Болгарія	19	27	41	14
Хорватія	29	23	43	20
Кіпр	8	18	26	8
Греція	16	27	35	8
Угорщина	10	15	27	12
Італія	16	25	31	6
Косово	19	16	33	17
Молдова	27	22	35	13
Чорногорія	40	44	52	8
Пн. Македонія	20	20	38	18
Румунія	25	29	39	10
Сербія	21	27	38	11
Словаччина	12	17	23	6

Країна	Частка обсягів виробництва електроенергії з відновлюваних джерел енергії в енергетичному балансі, %			
	2015	Базовий сценарій 2030	Оптимістичний сценарій REmap 2030	Додатковий потенціал порівняно з базовим сценарієм
Словенія	21	26	38	12
Україна	4	14	24	10

Додатковий виявлений потенціал за сценарієм REmap IRENA, порівняно з базовим сценарієм, коливається від 6 % у Словаччині до 20 % у Хорватії, в Україні – 10 %.

Більша частина нових генерувальних потужностей для обох сценаріїв припадає на сонячну та вітроенергетику (більше 60 % для обох сценаріїв). Вітроелектростанції, незважаючи на істотно нижчу встановлену потужність, за рахунок більш високого коефіцієнта використання встановленої потужності (КВВП) забезпечують приблизно таку саму річну генерацію електроенергії, як і сонячні електростанції.

За даними сценаріями IRENA, розвиток вітроенергетики відбуватиметься за рахунок наземних та офшорних вітроелектростанцій. У відділі вітроенергетики IBE НАН України також розраховано уточнені значення потенціалу оншорних та офшорних ВЕС в Україні [4, 5, 6, 7].

Профілі погодинної генерації ВЕС для кожної країни (крім Мальти, Республіки Молдова та України) було отримано з набору даних EMHIREs, розробленого Спільним дослідницьким центром Європейської комісії на основі даних Національного управління з питань аеронавтики та космосу (NASA) за кожну годину протягом 30 років [8]. Профілі набору даних EMHIREs базуються на статистичних даних існуючих ВЕС, а тому не враховують майбутній розвиток технологій. Тому було виконано перерахунок даних до КВВП вітроелектричних установок, передбачених на 2030 рік.

Для Республіки Молдова та України профілі погодинної генерації електроенергії ВЕС було отримано на підставі даних Staffell та Pfenninger [9] з подальшим перерахунком до КБВП, передбачених на 2030 рік, на основі потенціалу з бази даних ENSPRESO [10].

В табл. 2 та на рис. 2 представлено сценарії розвитку вітроенергетики країн – членів Енергетичного Співтовариства CESEC за даними IRENA [1].

Табл. 2. Встановлена потужність ВЕС країн – членів Енергетичного Співтовариства CESEC за різними сценаріями IRENA

Країна	Встановлена потужність ВЕС, МВт		
	2015	Базовий сценарій 2030	Оптимістичний сценарій REmap 2030
Австрія	2489	4235	7313
Болгарія	699	2134	2725
Греція	2091	5636	5636
Хорватія	418	727	1066
Угорщина	329	468	2566
Італія	9137	17500	17500
Румунія	3130	5293	5358
Сербія	10	1026	1796
Україна	514	5000	13400
Албанія	–	80	616
Боснія і Герцеговина	–	548	1033
Кіпр	158	250	336
Молдова	1	127	422
Чорногорія	–	190	190
Пн. Македонія	37	200	589
Словенія	5	187	807
Словаччина	4	350	560
Косово	1	150	369
Всього	19023	44101	62282

Рис. 2. Встановлена потужність ВЕС країн – членів Енергетичного Співтовариства CESEC за різними сценаріями IRENA

Таким чином, за прогнозом IRENA, Україна може досягти загальної частки обсягів виробництва електроенергії з відновлюваних джерел енергії до 2030 року від 14 % за базовим сценарієм до 24 % за оптимістичним сценарієм REmap. А встановлена потужність ВЕС до 2030 року може скласти від 5 ГВт за базовим сценарієм до 13,4 ГВт за оптимістичним сценарієм REmap.

Література:

1. IRENA (2020). Renewable energy prospects for Central and South-Eastern Europe Energy Connectivity (CESEC). International Renewable Energy Agency. Abu Dhabi. 96 p.
2. Тучинський Б.Г., Кудря С.О., Іванченко І.В., Іванчук В.Ю. Невідворотність переходу України до відновлюваної енергетики. Відновлювана енергетика. 2020. № 4. С. 6–21.
3. Звіт з оцінки відповідності (достатності) генеруючих потужностей. Укренерго. 2017. 117 с. [Електронний ресурс]. URL: <https://ua.energy/wp-content/uploads/2017/10/Zvit-z-otsinky-vidpovidnosti-dostatnosti-generuyuchykh-potuzhnostej.pdf>.
4. Кудря С.О., Тучинський Б.Г., Іванченко І.В. Аналітичний огляд оновлених оцінок щодо перспектив розвитку вітроенергетики. Відновлювана енергетика. 2019. № 3. С. 42–47. [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2019.3\(58\).42-47](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2019.3(58).42-47)
5. Кудря С.О., Мхітарян Н.М., Тучинський Б.Г., Рєпкін О.О., Іванченко І.В., Петренко К.В. Причини і результати перегляду оцінки потенціалу вітрових електростанцій України. Відновлювана енергетика. 2020. № 1. С. 6–16. [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2020.1\(60\).6-16](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2020.1(60).6-16)
6. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України / С.О. Кудря, В.Ф. Рєзцов, Т.В. Суржик, Б.Г. Тучинський, І.В. Іванченко та ін. / За ред. С.О. Кудрі. Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАН України. 2020. 82 с.
7. S. Kudria, I. Ivanchenko, B. Tuchynskyi, K. Petrenko, O. Karmazin, O. Riepin. Resource potential for wind-hydrogen power in Ukraine. International Journal of Hydrogen Energy. Volume 46. Issue 1. 1 January 2021. Pages 157–168. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.09.211>
8. Gonzalez Aparicio, I. et al. (2016). EMHIRE dataset Part I: Wind power generation. European Meteorological derived High-resolution RES generation time series for present and future scenarios. Joint Research Centre of the European

Commission. [Електронний ресурс]. URL:
<https://doi.org/10.2790/831549> .

9. Staffell, I. and S. Pfenninger (2016). Using bias-corrected reanalysis to simulate current and future wind power output. Energy. Vo. 114. pp. 1224–1239. [Електронний ресурс]. URL: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.08.068>.

10. Joint Research Centre (2019). ENSPRESO – an open data, EU-28 wide, transparent and coherent database of wind, solar and biomass energy potentials. [Електронний ресурс]. URL: <https://data.jrc.ec.europa.eu/collection/id-00138>.

УДК 692+644.1

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ У ВІДНОВЛЮВАНІЙ ЕНЕРГЕТИЦІ НА ОСНОВІ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ. АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ

Б.І. Басок¹, М.П. Новіцька², С.М. Гончарук³

*Інститут технічної теплофізики НАН України,
вул. Булаховського ,2, м. Київ, 03164, Україна,
тел.: +38(044)424-98-80, e-mail: mmarina@ukr.net ^{1,2,3}*

У роботі виконано огляд досліджень щодо використання штучних нейронних мереж у відновлюваній енергетиці. Наведено дослідження, наявні в сучасній науковій літературі, присвячені аналізу даних за допомогою штучних нейронних мереж.

Ключові слова: *штучні нейронні мережі, відновлювальна енергетика, інсоляція.*

AN ARTIFICIAL NEURAL NETWORK BASED PREDICTION IN RENEWABLE ENERGY. LITERATURE REVIEW

B. Basok¹, M. Novitska², S.M. Goncharuk³

*Institute of Engineering Thermophysics National Academy of
Science of Ukraine, 2 Bulakhovskoho str., Kyiv, Ukraine, 03164*

A literature review of prediction in renewable energetics based on an artificial neural network is represented in this article. The researches available in the scientific literature of an artificial neural network prediction in renewable energetics are given.

Keywords: *artificial neural network, renewable energy, insolation.*

ORCID: ¹0000-0002-8935-4248, ²0000-0003-2867-101X,
³0000-0002-5609-7337.

У зв'язку з проблемами глобального потепління [1] велика кількість країн у своїх енергетичних стратегіях намагаються збільшити кількість відновлюваних джерел енергії. Однак одним із найбільших ускладнень в роботі таких систем є їхня залежність від погодних умов. При експлуатації систем на основі відновлювальних джерел, таких як сонце та вітер, необхідне короткострокове прогнозування для вчасного включення в роботу балансувальних потужностей електричної системи.

Останнім часом крім традиційних методів моделювання для вирішення цих задач використовують штучні нейронні мережі. Штучні нейронні мережі успішно застосовують при прогнозуванні різних даних, зокрема у відновлюваній енергетиці.

Штучні нейронні мережі – це інструмент моделювання та прогнозування, відомий як альтернативний спосіб розв'язання складних та невизначених задач. Техніка моделювання з використанням штучної нейронної мережі пропонує рішення для розробки більш узагальненої моделі для прогнозування великих масивів різних експериментальних даних, наприклад, при використанні кліматичних та метеорологічних параметрів.

Моделювання реальних об'єктів навколишнього світу, зазвичай супроводжується значними труднощами, які виникають ще на етапі постановки задачі [2]. Методологія, що застосовується при використанні штучних нейронних мереж переважно складається з чотирьох основних кроків: моніторинг, моделювання, валідація та оцінка. Важливим етапом, на нашу думку, є моніторинг та отримання даних, що описують систему.

В науковій літературі можна зустріти статті, які використовують штучні нейронні мережі як інструмент для

прогнозування у відновлюваній енергетиці, наприклад для прогнозування сонячного випромінювання [3, 4], вітру [5] тощо.

Крім того, огляд робіт із використання штучних нейронних мереж у відновлюваній енергетиці наявних до 2000 року наведено в [6].

Висновки:

- Штучні нейронні мережі можна використовувати для прогнозування в задачах відновлювальної енергетики.
- Для налаштування таких систем на основі штучних нейронних мереж потрібні дані, що представляють опис реальної системи.
- Навчання й тестування розглянутих прикладів є достатньо задовільними, щоб передбачати показники, що враховують вплив погодних умов.
- Штучні нейронні мережі, як і всі інші методи наближення, мають відносні переваги та недоліки.

Література:

1. Басок Б.І., Базєєв Є.Т., Дубовський С.В. (2020). ПРО ПРОБЛЕМУ АДАПТАЦІЇ КОМУНАЛЬНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ ДО ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛІННЯ (ОГЛЯД). Теплофізика та Теплоенергетика, 42(2), 48–59. <https://doi.org/https://doi.org/10.31472/tpe.2.2020.5>
2. М.А. Новотарський, Б.Б. Нестеренко. Штучні нейронні мережі: обчислення // Праці Інституту математики НАН України. – Т50. – Київ: Ін-т математики НАН України, 2004. – 408 с.
3. Hameed, W.I.; Sawadi, B.A.; Al-Kamil, S.J.; Al-Radhi, M.S.; Al-Yasir, Y.I.A.; Saleh, A.L.; Abd-Alhameed, R.A. Prediction of Solar Irradiance Based on Artificial Neural Networks. *Inventions* **2019**, *4*, 45. <https://doi.org/10.3390/inventions4030045>

4. Fermín Rodríguez, Alice Fleetwood, Ainhoa Galarza, Luis Fontán, Predicting solar energy generation through artificial neural networks using weather forecasts for microgrid control, Renewable Energy, Volume 126, 2018. P. 855–864, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.03.070>.

5. Ümmühan Başaran Filik, Tansu Filik, Wind Speed Prediction Using Artificial Neural Networks Based on Multiple Local Measurements in Eskisehir, Energy Procedia, Volume 107, 2017. P. 264–269, <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.12.147>.

6. Soteris A. Kalogirou, Artificial neural networks in renewable energy systems applications: a review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 5, Issue 4, 2001 P. 373–401, [https://doi.org/10.1016/S1364-0321\(01\)00006-5](https://doi.org/10.1016/S1364-0321(01)00006-5)

UDC 620.91

MODERN CHP TECHNOLOGIES FOR DOMESTIC APPLICATIONS FOR COOPERATION WITH RENEWABLE ENERGY

Dariusz Mikielewicz¹, Jan Wajs², Jarosław Mikielewicz³

^{1,2}Gdansk University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering and Shipbuilding,

ul. Narutowicza 11/12, Gdansk, 80-233, Poland,

e-mail: dariusz.mikielewicz@pg.edu.pl, jan.wajs@pg.edu.pl

³Institute of Fluid-Flow Machinery, Polish Academy of Sciences

ul. Fiszer 14, 80-231 Gdansk, Poland

e-mail: jarekm@imp.gda.pl

Small-scale cogeneration is part of the distributed energy resource (DER) strategy, which promotes parallel and stand-alone electric generation units located close to the end user. Generation of electricity on a small domestic scale together with production of heat can be obtained through employing gas engine units, micro gas turbines, fuel cells with efficient electrolysis, Stirling engines or the ORC systems.

Keywords: organic Rankine cycle, renewable energy, perspective energy conversion systems.

ORCID: ¹0000-0001-8267-7194, ²0000-0002-3099-5972,
³0000-0001-9181-092X.

Introduction:

In recent years there is observed a clear tendency, both worldwide and in the countries of European Union (EU), to increase the importance of so called dispersed cogeneration, based on local energy sources and technologies utilizing both fossil fuels and renewable energy resources. Cogeneration, also known as combined heat and power (CHP), is an efficient, clean and reliable approach to the simultaneous production and utilization of electricity and heat from a single fuel source. The

principle of cogeneration is based on the recognition that conventional power generation, at its best, is ~ 40% efficient with up to 60% of the energy being lost as waste heat. By harnessing the waste heat from electricity production into useful means can result in higher system efficiencies for fuel utilization of up to 85% or more.

Small-scale cogeneration is part of the distributed energy resource (DER) strategy, which promotes parallel and stand-alone electric generation units located within the electrical distribution system close to the end user. More specifically, DER refers to the decentralized generation of electric power in small-to medium-sized facilities near sites of power demand, in contrast to large centralized electrical generating plants. This has the advantage of minimizing transmission and distribution losses when connected to a centralized grid and promotes increased reliability of supply to the end user in the event of power outages and supply discontinuities. Small-scale cogeneration systems can be operated in two different modes, namely either electricity-driven or heat-driven ones. In the first case, the unit is designed to comply with the electricity demand and the heat is used to contribute to water and central heating purposes. In this case, a supplemental peak boiler may be required to meet total heat demand. In the second case, the cogeneration unit is designed to meet the heat demand while electricity is either used internally or sold to a public grid.

Generation of electricity on a small domestic scale together with production of heat can be obtained through employing gas engine units, micro gas turbines, fuel cells with efficient electrolysis, Stirling engines or the ORC systems. Micro combined heat and power units (CHP) based on organic Rankine cycle (ORC) fit very well to that strategy and in recent years that technology has become a field of intense research. Unlike in the steam power cycle, where vapour of water is the working fluid, ORC use refrigerants, hydrocarbons, solvents or other organic substances. A prototype of such a novel installation of domestic gas boiler fitted with the ORC module has been developed by authors. In the light of the mentioned

above DER strategy for production of electricity the research into efficient production of electricity from low grade energy sources is important, as at the moment the available efficiencies resulting from conventional technologies of production are not satisfactory. Resources including geothermal, solar thermal and low-enthalpy heat fall into the category of not very perspective heat sources for the purposes of power generation. However, it can successfully supplement the heat addition to the thermodynamical cycle. Amongst the available options the idea of the organic Rankine cycle (ORC), power generating system using binary mixture as a working fluid or the tri-lateral cycles have attracted some attention. ORC technology has proven to be economical and reliable for using thermal sources as low as 80°C. In addition, there is a great potential for reducing energy consumption by recovering low-grade waste heat that would be otherwise rejected to the surroundings. It has been estimated that industrial low-grade waste heat accounts for more than 50 percent of heat generated.

Implementation of ORC proven to be amongst the attractive methods to achieve relatively high efficiency in converting the low-grade thermal energy to more useful forms of energy. One of the drawbacks in the application of ORC is the temperature matching to the heat source. A good temperature matching is important in minimizing the irreversibilities caused by heat transfer across the finite temperature difference. The ways of minimising that effect have been comprehensively addressed in. When using the ORC to produce electricity from a finite capacity heat source, the temperature mismatching often is inevitable because the source stream is single-phase and possesses a near linear temperature profile along the heat exchanger. That mismatching causes the pinch point to develop, destroys potential work or exergy, and reduces the effectiveness of heat exchangers. To minimize temperature mismatching, a number of possible solutions has been postulated, which are regarded as possible alternatives for utilization of low grade heat source. These can be summarized as follows: use of zeotropic mixtures

as working fluid, transferring heat to the cycle at pressures above the critical pressure, or finally the incorporation of Organic Flash Cycle (OFC) Additional option exists if trilateral flash cycle is used. Generalising, the new approaches to improving the energy conversion of low grade fluids include utilizing unconventional working fluids and innovative cycle configurations and designs.

The reference technology for converting waste heat to electricity is the subcritical single component ORC (SCORC), also sometimes regarded as the basic ORC.

Zeotropic mixtures exhibit a unique characteristic known as a "temperature glide," which results in a variation in temperature during isobaric phase change. Adequate selection of working fluid permits a better temperature match to the finite thermal source by avoiding isothermal phase change. Zeotropic working fluid's temperature glide is justifying the fact that the temperature profile of the thermal reservoir more closely follows that of the heat source. This reduces the irreversibilities in the heat addition process. Additionally, it can potentially improve the net power output and utilization efficiency.

Acknowledgments:

Results presented in the paper have been carried out within the statute activity of Faculty of Mechanical Engineering and Shipbuilding.

UDC 620.91

IMPROVING ENERGY EFFICIENCY FOR DATA CENTRE COOLING

Artur Rusowicz

*Warsaw University of Technology,
Faculty of Power and Aeronautical Engineering, 00-665 Warsaw,
Nowowiejska 21 Str., Poland*

Data centers are the backbone of the telecommunications industry. IT equipment consumes considerable amounts of energy, which is released in the form of heat. In order to dissipate the generated heat, it is necessary to use air-conditioning systems whose task is to maintain appropriate air conditions inside the server room. The study proposes and analyses 4 variants for the modernization of the cooling system in terms of energy consumption. The modernized object is a server room with a total heat load of 1358 kW. In the facility there are installed air-conditioning cabinets, dating from 2005, based on direct evaporation. In variants 1 and 3 it was decided to replace the existing air conditioning cabinets with newer models. In Option 3, the indoor air temperature was further increased. In variants 2 and 4, it was decided to replace the existing solution with a system based on chilled water and to use chillers with a free cooling function. In variant 4, as in variant 3, the air temperature in the server room was increased. The analysis carried out showed the greatest reduction in energy consumption for variant 4 (51.51%). In case of the remaining variants, the energy demand decreased by 11,11%; 19,76% and 34,60% respectively for variants 1, 2 and 3, respectively.

Keywords: data center, cooling, free cooling, energy efficiency

ORCID: 0000-0001-7949-6907.

The telecommunications industry is a vital part of the global economy and is part of almost every sector of society. In 2018, energy consumption for the data centre in the European Union was about 2.7% of the total EU energy consumption (76.8 TWh), and this is projected to increase to 3.2% (98.52 TWh) by 2030 [1]. Approximately 40% of this energy is for cooling systems, so improving the efficiency of cooling systems is important in terms of energy consumption. A key initiative in increasing the energy efficiency of systems is also the Climate Neutral Data Centre Pact, which calls for data centres in the European Union to become climate neutral by 2030. The cooling system of a server room and additional rooms were analysed. The facility is located in Warsaw [2]. The table 1 below provides a summary of the heat load in the rooms. The design air temperature inside the server room is 24°C and the relative humidity is maintained at 50%. The total nominal load of the facility is 1358.5 kW. The units in the premises operate 99.95% of the time in a year. In server room E there are 20 Himod 99UA precision air-conditioning units, each with a sensible cooling capacity of 88.4 kW. As the cabinets have two cooling circuits, 2 HCE58 air-cooled condensers are installed for each cabinet, which are located on the technical roof.

Table 1. Nominal load per room.

Room	Nominal loads, kW
Server room E	1130,0
LAN/WAN	54,4
UPS	124,0
UPS batteries	50,1

In the LAN/WAN room there are 4 HPM M34UA cabinets, each with an apparent power of 34.1 kW and HCE 24 air cooled condensers. In the UPS room there are 4 Himod 81UA units

with an apparent power of 76.5 kW and HCE 58 air cooled condensers. In the UPS battery room there are 6 HPM S17DA precision air conditioning cabinets, each with an apparent power of 16.4 kW and 1 HCE 24 air cooled condenser. In each room, except for the battery room, the air is pumped under the technical floor. The return air from the room is overhead. The UPS battery room has a positive displacement supply (air supply from the front at floor level).

Conclusion

The study analysed 4 options for modernising a data centre. The variants were analysed in terms of electricity demand for the cooling system. Variants 1 and 3 were based on direct evaporation air-cooled units, while variants 2 and 4 were based on a chiller with CRAH cabinets. A comparison of the variants is shown in Table 19.

Table 1 Efficiency comparison of the selected variants.

Variant	Variant 1	Variant 2	Variant 3	Variant 4
Annualelectricitysavings, kWh	435691	775019	1357096	2020589
Energy savings, %	11,11	19,76	34,60	51,51

Each of the proposed variants resulted in a reduction of the electricity demand of the data centre. The highest energy saving is obtained in the case of variant 4, which amounts to 51.51%. An important aspect in reducing the demand for electricity was to increase the air temperature in the room. This allowed the EER of the precision air conditioning cabinets to increase dramatically (by up to 37%), which contributes to an increase in energy saved from 11.11% to 34.6%. Another important aspect of the increased temperature is the higher power output of a single unit, leading to fewer units needed to meet the cooling power demand. Increasing the air temperature allows the chilled water temperature to increase. Increasing the temperature of the water leaving the chiller from 10°C to 20°C allows the number of hours with full free cooling available to be

almost tripled. The increased water temperature also increases the EER of the chiller, which also contributes to reduced energy consumption. Further possible elements of the analysis would be to conduct an economic analysis to analyse the options from a payback time perspective. It would also be possible to analyse, for example, cooling systems based on evaporative cooling.

Literature:

1. Montecvecchi, F., Stickler, T., Hintermann, R. iHinterholzer, S., 2020. Energyefficient Cloud Computing Technologies and Policies for an Eco-friendly Cloud Market. Final Study Record, Wiedeń <https://dx.doi.org/10.2759/3320>
2. Rusowicz, A., Grzebielec, A., Laskowski, R., Modification in cooling systems for high-performance data centers -A case study, RynekEnergii, 2017, 128(1), pp. 67–72

AQUAKULTUR ALS EIN ÖKOSYSTEM – AQUAPONIK MIT MEMBRANBIOREAKTOR

Dr. Ditmar Schmidt

Solarzentrum Mecklenburg-Vorpommern, Deutschland

AQUACULTURE AS AN ECOSYSTEM - AQUAPONICS WITH MEMBRANE BIO REACTOR

Dr. Ditmar Schmidt

Solarcenter Mecklenburg-Pomerania, Germany

Wietow 11, 23972 Lübow

Phon: +49 3841 33300

Mail: info@solarzentrum-mv.de

Internet: www.solarzentrum-mv.de

Together with the Ben Gurion University (Israel) and the company Busse GmbH (Leipzig), the Solar Initiative Mecklenburg-Vorpommern e.V. has developed a new system for sustainable aqua and hydroponics (aquaponics with biomembrane reactor). The developed aquaponic facility makes it possible to breed fish and plants independently of other resources. Wherever people live, they also produce wastewater. This water can serve as the basis for the production of food (fish and plants).

1. State of knowledge - aquaculture

Fish plays a special role in a healthy diet, especially because of its components: fats, omega-3 fatty acids (at least two fish meals per week), fish protein (amino acids), proteins (human needs at least 0.8 g / kg body weight), minerals. Compared to whole grains and vegetables in terms of

ingredients, fish ranks first or second in many areas. The increasing demand for fish as a food has led to the installation of aquaculture worldwide as catch quotas have been declining for many years. The deficit between demand and catch can only be covered by aquaculture facilities.

These aquacultures are characterized by:

- Breeding under controlled conditions

Examples of such systems are commercially operated trout or carp ponds. The fish produce feces, which are rich in nutrients for plants.

- If they are not disposed of, but instead fed into adjacent bodies of water, this can lead to eutrophication: the high supply of nutrients leads to a massive increase in algae, bacteria and plankton. The equilibrium of the water is out of joint.

- In the worst case, the body of water can "tip over", which leads to the death of all its inhabitants who are dependent on oxygen.

For controlled fish farming in aquaculture facilities, the factors of feed utilization and water demand are important. Here the fish comes first.

Sustainability		Milk	Fish (Aquaculture)	Eggs	Chicken	Pigs	Cattle
Feed conversion	kg feed/kg	0,7	1,5	3,8	2,3	5,9	12,7
Protein contained	%	3,5	18	13	20	14	15
water demand	l/kg	1000	300	3300	3900	4800	15500

Pond management has been practiced for centuries and, despite modern technology, still has risks and disadvantages. In order to ensure a sufficient oxygen content in the water of the ponds, large areas, considerable water exchange rates or lower stocking quantities are necessary. Far more important here is

the risk of disease. Even with constant monitoring, infections can occur, which can lead to damage or loss of the population. The stocks in extensive pond farms also grow quite unevenly due to the uneven distribution of feed. Weather influences such as heat, cold, flooding, drought and storms can contribute to slower growth, lead to the loss of parts of the stock or kill all fish.

Modern circulation technology tries to solve the problems of normal aquaculture in the open air through the use of pumps, mechanical and biological filters, oxygen supply as well as alarm and control systems. Antibiotics are very often used due to the high population density and the risk of disease. The fresh water use of up to 20% of the tank volume, which is also required in aquaculture systems, and the disposal of the waste water and sludge (residual feed, excrement) are additional problems. In particular, reheating the fresh water can lead to considerable additional costs.

In aquaponics one goes one step further and tries to copy the natural cycle by breeding fish and plants in parallel.

Aquaponics refers to a process that combines the techniques of rearing fish in aquaculture and the cultivation of useful plants in hydroponics. The fish and crops are grown in largely closed water and nutrient cycle systems. Automated management can be implemented. The basic idea of aquaponics is to use all waste materials from the aquaculture system, such as faeces and carbon dioxide from fish farming, as nutrients for vegetable production. Ideally, a closed system is created that works completely emission-free.

2. The new aquaponic unit with membrane bioreactor

The experience of Ben Gurion University (the only desert university in the world) with aquaponic systems to reduce fresh water requirements by using brackish water in combination with aeroponics (substrate-free plant cultivation, in which the roots are constantly wetted by an aerosol of fertilizer made from water and nutrients produced with the aid of ultrasonic atomizers) and the patented solutions of the company Busse GmbH (membrane bioreactors) for the purification of water in closed aquaculture systems form the prerequisites for a technological change for aquaponic systems. In the bioreactors, 100% of the purely biological hydrocarbon chains of the waste water (sludge) are absorbed, i.e. converted to carbon dioxide and water.

The results obtained in the field test show the advantage of membrane technology compared to the cleaning performance of previously used biofilters in standard aquaculture systems.

		Treatment efficiency (%)	MBR results		normal Biofilter		Efficiency
		MBR certificated	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	Biofilter
			Inlet	Outlet	Inlet	Outlet	%
COD	Chemical Oxygen Demand	96,8			43	6,00	86,05
BOD5	five-day biochemical oxygen demand	99,7	307	< 2	16	8,00	50,00
SS	suspended solids	99,5	389	2			
NH4	Ammonia	97,9	39	< 1	55,44	25,10	54,73
Ptot	total phosphorus	98,1			4,99	2,70	45,89
FC	faecalcoliforms	99,99			590	56,00	90,51

In the present pilot project, we are building a sustainable circular aquaculture system with decoupled hydroponics and operating it for information, demonstration and training. In addition to the functional components for innovative system components in aquaponic systems (bioreactor, fish water treatment with mixed water tank, industrial water treatment, drinking water module) and various hydroponic technologies, the quality assessment of the fish and plant products plays an important role.

Various types are available to demonstrate the variety of possibilities for effective hydroponics (partly based on NASA experience in the area of space shuttle programs in space). The hydroponics include the cultivation of vegetables, medicinal plants and useful plants. All currently known hydrotechnologies are used:

- Nutrient film technique
- Ebb and flow
- Aeronics (spray systems)
- Drip irrigation
- Airpot.

The decisive factors for the evaluation are the production quantities per unit of time (growth rates), product properties, energy use, light quality, feed quality and the quality of the end products. All of these factors are part of information and educational activities.

The project location is the Energy-Power-Greenhouse (EPG), a solar-powered multi-zone climate house (tundra, Africa, Europe). The EPG is characterized by:

- New type of film covering with 100% spectral light transmission (light spectrum inside = light spectrum outside)
- Creation of system-oriented approaches for the generation of electricity, heat, cold and optimized plant growth

through light separation (global radiation into direct and diffuse radiation

- efficient use of solar radiation to generate electricity, heat and cold with building-integrated long-term storage (Fresnel lenses with concentrator technology)
- Realization of three different regulated climate zones: Tundra, temperate Europe, tropics and the unregulated zone "greenhouse"
- Storage of winter cold and summer heat.

The energy supply (light, temperature, electrical energy) takes place via the building envelope of the EPG and via an additional 5 kWp photovoltaic system with a lithium iron phosphate storage system (12 kWh). The memory serves to maintain the essential basic function of the system in the event of a power failure.

УДК 621.311

МОЖЛИВОСТІ АКУМУЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В КОМБІНОВАНІЙ ЕНЕРГОСИСТЕМІ

М.П. Кузнєцов, д-р техн. наук
Інститут відновлюваної енергетики НАН України,
вул. Гната Хоткевича, 20а, м. Київ, 02094, Україна,
тел.: +38(044)206-28-09, e-mail: nik_ku@ukr.net

Предметом дослідження є збалансованість комбінованих енергосистем на основі сонячної та вітрової генерації завдяки використанню систем акумулювання електроенергії. На основі математичної моделі процесу балансування генерації та споживання розраховано обсяги накопичення та повторного використання електроенергії, запобігання втратам генерації та навантаження, та інших показників. Досліджено вплив параметрів акумулятора, таких як ємність, енергетична ефективність, швидкодія, на ці показники.

Ключові слова: комбінована енергосистема, відновлювані джерела енергії, акумулятор електроенергії, випадковий процес.

POSSIBILITIES OF ELECTRICITY STORAGE IN THE COMBINED POWER SYSTEM

M. Kuznietsov,
Institute of Renewable Energy, National Academy of Science
of Ukraine, 20a Hnata Khotkevicha str., Kyiv, Ukraine, 02094

The subject of the study is the balance of combined power systems based on solar and wind generation by the use of electricity storage systems. The volumes of electricity accumulation and reuse, generation and load losses, and other indicators are calculated with the mathematical model of the balancing between generation and consumption processes.

The influence of battery parameters, such as capacity, energy efficiency, speed, is investigated.

Keywords: *combined power system, renewable energy, electricity accumulator, random process.*

ORCID: 0000-0002-0497-7439.

Ефективне використання енергії в локальних енергосистемах на основі відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) істотно залежить від можливостей акумулювання енергії внаслідок проблем, обумовлених нерівномірним режимом генерації. Як свідчить аналіз, робота вітрових і сонячних ВДЕ демонструє деяку середню потужність та випадкову складову, які є функціями часу [1]. Середня потужність може бути достатньо прогнозованою на короткотривалу перспективу, принаймні середньодобові рівні можуть вважатися передбачуваним параметром. Баланс потужності, а саме відхилення від планового графіка навантаження, можна представити випадковим процесом і моделювати часовим рядом.

Традиційно в локальних енергосистемах невеликого обсягу як накопичувач енергії розглядають електрохімічні акумуляторні батареї (АКБ). Утилізація надлишкової енергії визначається як поточним рівнем зарядки акумулятора, так і допустимою швидкістю зарядки (потужністю), яка має перевищувати темп наростання потужності. Ідеалізована модель дозволяє розглядати потужність та ємність накопичувача як незалежні. Позначення для акумулятора може бути записано як kC , де C – ефективна ємність, $k=1/t$ – швидкодія. Відповідно запис $2C$ означає час зарядки/розряду 30 хв. Малі акумулятори звичайно розраховані на $1C$, свинцево-кислотні оцінюють як $0,2C$ (5 год.) чи $0,05C$ (20 год.).

Внаслідок обмеженої ємності та швидкодії АКБ не вся надлишкова енергія може бути збережена. Залежність втраченої енергії від ємності акумулятора близька до лінійної. Оскільки протягом доби енергія як накопичується,

так і витрачається, коливаючись навколо певного рівня, розглянемо загальну суму надходжень енергії, що включає кратні накопичення: $E_{total} = \sum_t^n (C_{t+1} - C_t > 0)$. Перевищення

E_{total} над середнім рівнем зарядки свідчить про кілька циклів зарядки/розряду. При добовій циклічності роботи АКБ помітною є деяка нелінійність для значень швидкодій акумулятора в межах $0,1 < k < 1,0$ (рис. 1). Істотним такий вплив стає вже при $k < 0,3$ (при місячній циклічності подібний ефект проявлявся для $k < 0,1$). Розглядалась енергосистема, що забезпечується ВЕС та СЕС одиничної потужності, визначеної у відносних одиницях (в. о.). Тоді показник енергії чи ємності визначається у в. о.-год.

Рис. 1. Накопичення енергії в АКБ, в. о.

Якщо накопичення енергії відбувається з певною ефективністю, яку можна оцінити коефіцієнтом корисної дії (ККД), то обсяг акумульованої енергії зменшиться пропорційно ККД. В реальності перетворення електричної енергії в іншу (хімічну, механічну тощо) та зворотне перетворювання можуть відбуватися з різною ефективністю, тому за ККД приймається підсумковий результат (після подвійного перетворення). Так, для

електрохімічних акумуляторів застосовують значення 75-90 % (свинцеві), 80-95 % (літієві), для ГАЕС – 70-80 %, водневого циклу «електролізер–паливний елемент» – на рівні 35-40 % [2] та ін. Розрахунки попереднього прикладу з поправками на ефективність акумулятора свідчать, що вплив ККД стає помітним за певних умов. При відсутності обмежень по ємності та швидкодії є практично лінійна залежність накопиченої енергії від ККД, а вже для $C \leq 1$ в. о.-год акумульована енергія більша, ніж очікувана. Значні обмеження за швидкістю ($k < 0,1$) практично нівелюють нелінійність впливу ККД, однак при певних значеннях параметрів реально накопичена енергія на 25-30 % перевищує очікувану для даного прикладу (рис. 2). Зображено відносне перевищення накопиченої енергії ΔE_{total} , порівняно з очікуваним для даного ККД.

Рис. 2. Відносне збільшення акумульованої енергії

Отже, запропонований підхід дає можливість оцінити мінливість вітрової та сонячної генерації та визначити можливості її компенсації завдяки акумулюванню енергії. Порівняння режимів генерації та споживання дає випадкову складову, відповідно до якої обираються характеристики

акумулятора електроенергії. Оцінка процесу накопичення та витрачання енергії включає врахування доступної ємності, швидкодії та енергетичної ефективності аккумулятора. Результатом є дані про обсяги збереженої енергії та залишковий небаланс потужності, за яким можна визначити індекси надійності енергосистеми.

Література:

1. Кузнєцов М.П., Мельник О.А., Смертюк В.М. Моделювання процесу акумулювання електроенергії в комбінованій енергосистемі // Відновлювана енергетика – 2020, № 4, С.22–30.
2. Overview of the Energy Storage Possibilities to Support the Electrical Power System. Research Paper . István Táczl ERRA Budapest, Hungary 2016. – 47 p.

УДК 621.316

ВИМОГИ ДО РОБОТИ ВІТРОВИХ ТА СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ В АВАРІЙНИХ УМОВАХ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

**О.С. Яндульський¹, Г.О. Труніна², А.Б. Нестерко³,
Д.Л. Лавренова⁴**

*Національний технічний університет України «Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

Проведено аналіз вимог до роботи вітрових та сонячних електростанцій у складі електричних мереж при виникненні аварійних ситуацій. Визначено часові діапазони, у яких допускається робота вітрових та сонячних електростанцій при виникненні коротких замикань в електричних мережах.

Ключові слова: *відновлювані джерела енергії, електрична мережа, вітрова електростанція, сонячна електростанція, аварійні умови.*

REQUIREMENTS FOR THE OPERATION OF WIND AND SOLAR POWER PLANTS UNDER EMERGENCY CONDITIONS IN ELECTRICAL NETWORKS

Yandulskyy O., Trunina H., Nesterko A., Lavrenova D.
*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv
polytechnic institute"*

The analysis of requirements to wind and solar power plants operation as a part of electric networks at emergence situations is carried out. The time ranges at which the operation of wind and solar power plants is allowed in the event of short circuits in electrical networks are determined.

Key words: *renewable energy sources, electrical network, wind power plant, solar power station, emergency conditions.*

ORCID: ¹0000-0002-0362-7947, ²0000-0002-4044-4955,
³0000-0001-7488-4214, ⁴0000-0002-9288-1030.

У наступні 10 років, незважаючи на змінний характер генерування, сумарна потужність сонячних (СЕС) та вітрових електростанцій (ВЕС) становитиме 25 % потужності ОЕС України [1]. Тенденція до використання таких джерел ґрунтується на необхідності підвищення надійності та якості енергопостачання при зменшенні забруднення навколишнього середовища й витрат на вироблення, передачу й розподіл електроенергії [2].

Для забезпечення надійної та безпечної роботи відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) у складі електричної мережі необхідно виконання вимог, що для різних країн мають свою специфіку. В Україні питання стосовно вимог до роботи ВДЕ у складі електричної мережі розроблені частково в документах [3, 4], згідно з якими ВДЕ повинні витримувати відхилення частоти і напруги в точці приєднання в робочих та аварійних умовах експлуатації. При цьому потужність генерування електростанції повинна зменшуватися на мінімально можливу величину. Також слід зазначити, що ВЕС та СЕС повинні бути спроектовані таким чином, щоб мати можливість генерувати реактивну потужність без відключення або зниження генерування активної потужності.

Аналіз вимог до ВЕС і СЕС у разі виникнення одно-, дво-, або трифазних коротких замикань в електричних мережах показав:

- при зниженні напруги до 90 % від номінального значення електростанція повинна залишатись підключеною до мережі й підтримувати нормальне генерування.

- при зниженні напруги до 20–89 % від номінального значення електростанція повинна залишатись підключеною до мережі протягом 0,5–1,5 с. Електростанція має забезпечувати підтримання рівня напруги шляхом генерування реактивної потужності.

- при зниженні напруги до 20–89 % від номінального значення протягом більш ніж 0,5–1,5 с дозволено відключення електростанції.

Якщо під час аварійної ситуації напруга повертається до нормального значення, наступне падіння напруги необхідно розглядати як нову аварійну ситуацію.

Автоматичне підключення ВЕС та СЕС може бути виконано не раніше, ніж через 3 хв після того, як напругу буде відновлено до робочої напруги, а частота буде в діапазоні від 47,00 до 50,20 Гц.

Аналіз вимог дозволив визначити часові діапазони, у яких допускається робота ВЕС та СЕС при виникненні коротких замикань в електричних мережах. Таким чином, ВЕС і СЕС та будь-які компенсаційні пристрої, що належать до електростанції, повинні залишатись підключеними до електричної мережі у разі виникнення аварійних ситуацій в електричних мережах відповідно до переліку, наведеному нижче:

- 1) Трифазне коротке замикання – коротке замикання тривалістю 1,5 с.
- 2) Двофазне коротке замикання (міжфазне або коротке замикання на землю) – коротке замикання тривалістю 1,5 с, за яким виникає нове замикання через 0,5–3 с, тривалістю 1,5 с.
- 3) Однофазне коротке замикання (для мереж з ізолюваною нейтраллю) – однофазне замикання тривалістю 1,5 с, за яким виникає нове замикання через 0,5–3 с, тривалістю в 1,5 с.

При цьому потужність ВЕС та СЕС має бути достатньою, щоб відповідати наведеним вимогам, якщо принаймні дві незалежні аварійні ситуації визначеного типу сталися протягом двох хвилин.

Література:

1. Кудря С.О. Стан та перспективи розвитку відновлюваної енергетики в Україні. *Вісник НАН України*. 2015. № 12. С. 19–26.

2. *Лежнюк П.Д., Ковальчук О.А., Нікіторович О.В., Кулик В.В.* Відновлювані джерела енергії в розподільних електричних мережах: монографія. *Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця*, 2014. 205 с.

3. Вимоги до вітрових та сонячних електростанцій при їхній роботі паралельно з Об'єднаною енергетичною системою України: проект / ДП «НЕК «Укренерго». URL: https://ua.energy/wp-content/uploads/2017/02/Vymogy-do-VES-ta-SES_2-red_08112017.pdf (дата звернення: 10.03.2021).

4. Правила приєднання когенераційних установок до електричних мереж: Постанова НКРЕ від 21 січ. 2006 р. № 47.

УДК 621.317.1

ОЦІНЮВАННЯ ВІДПОВІДНОСТІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАСОБІВ ОБЛІКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ТА ЙОГО ВІДОБРАЖЕННЯ У НОРМАТИВНІЙ ДОКУМЕНТАЦІЇ

О.М. Величко¹, д-р техн. наук, проф., директор Науково-виробничого інституту вимірювань електромагнітних величин і оцінки відповідності засобів вимірювальної техніки, Державне підприємство «Всеукраїнський державний науково-виробничий центр стандартизації, метрології, сертифікації та захисту прав споживачів» (ДП «УКРМЕТРТЕСТСТАНДАРТ»),
03143, м. Київ, вул. Метрологічна, 4,
тел./факс: +38(044)526-03-35,
e-mail: velychko@ukrcsm.kiev.ua

В.В. Гаман², начальник науково-виробничого відділу вимірювань радіоелектронних величин і іонізуючих випромінювань, ДП «УКРМЕТРТЕСТСТАНДАРТ» 03143,
м. Київ, вул. Метрологічна, 4,
тел./факс: +38(044)526-06-11,
e-mail: vgaman@ukrcsm.kiev.ua

С.М. Курсін³, канд. техн. наук, начальник науково-виробничої лабораторії вимірювань густини потоку енергії і параметрів антен і НВЧ трактів, ДП «УКРМЕТРТЕСТСТАНДАРТ», 03143, м. Київ,
вул. Метрологічна, 4, тел./факс: +38(050)133-58-25,
e-mail: kursin@gmail.com

У роботі розглянуті основні вимоги до оцінювання відповідності програмного забезпечення засобів обліку електроенергії. Проаналізовано нормативні документи в цій сфері. Доведена необхідність розробки нормативних документів зі спеціальними вимогами до програмного забезпечення засобів обліку електроенергії.

Ключові слова: оцінка відповідності, програмне забезпечення, засоби обліку електроенергії.

CONFORMITY ASSESSMENT OF ELECTRICITY METERS SOFTWARE AND ITS REFLECTION IN THE REGULATORY DOCUMENTATION

O. Velychko¹, *Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of Research and Production Institute for Measurement of Electromagnetic Quantities and Conformity Assessment of Measuring Equipment, State Enterprise «All-Ukrainian State Scientific and Production Centre for Standardization, Metrology, Certification and Protection of Consumer», (SE «UKRMETRTESTSTANDARD»), Metrolohichna str., 4, Kyiv, Ukraine, 03143,*

V. Gaman², *Head of Research and Production Department for Measurements of Radio electronic Quantities and Ionizing Radiation, SE «UKRMETRTESTSTANDARD» Metrolohichna str., 4, Kyiv, Ukraine, 03143,*

S. Kursin³, *PhD, Head of Research and Production Laboratory for measurements energy flux density and parameters of antennas and microwave paths, SE «UKRMETRTESTSTANDARD», Metrolohichna str., 4, Kyiv, Ukraine, 03143.*

The paper considers the main requirements for conformity assessment of electricity metering software. Regulatory documents in this area are analyzed. The necessity of development of normative documents with special requirements to the software of the means of the account of the electric power is proved.

Keywords: *conformity assessment, software, electricity metering devices.*

ORCID: ¹0000-0002-6564-4144, ²0000-0002-6656-9887, ³0000-0003-2147-6211.

Методи та засоби обліку виробленої, проданої та спожитої електроенергії треба впроваджувати незалежно від типів джерел енергії – від традиційних і до відновлюваних. Нормативними актами визначаються вимоги до автоматизації обліку. Так, на кожному підприємстві використовуються лічильники електроенергії з контролерами і програмним забезпеченням і також комп'ютеризовані системи для зчитування лічильників і автоматичної подачі інформації операторам системи розподілу електроенергії. Для того щоб виробник лічильників і таких систем здійснював їх продаж, вони повинні пройти оцінку на відповідність технічним регламентам, і в межах такої оцінки розглядається програмне забезпечення. Саме тому актуалізуються питання розробки процедур і методик оцінювання відповідності програмного забезпечення засобів обліку електроенергії, зокрема визначення нормативного регулювання.

Прийнятий у 2017 році Закон України «Про ринок електричної енергії України» визначив передумови структурних змін в електроенергетиці України, визначив підґрунтя для модернізації галузі, що передбачає, зокрема, впровадження автоматизації обліку електроенергії [1].

У Правилах роздрібного ринку електричної енергії зазначено, що продаж електричної енергії, виробленої генерувальною установкою (генерувальними установками) приватного домогосподарства, без засобів комерційного обліку не допускається [2]. Для комерційного обліку електроенергії використовуються сучасні лічильники, а також автоматичні системи комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ), встановлювати які зобов'язані підприємства відповідно до Закону України «Про ринок електричної енергії України» та Кодексу комерційного обліку [1]. Одним з основних завдань застосування АСКОЕ в умовах енергоринку є забезпечення достовірності даних комерційного обліку, яке має виконуватися у два етапи: метрологічне забезпечення АСКОЕ на всіх етапах їхнього

життєвого циклу та верифікація даних комерційного обліку під час застосування АСКОЕ. Однією з головних інституцій, яка здійснює роботи за даним напрямом метрології є державне підприємство «УКРМЕТРТЕСТСТАНДАРТ» – українське підприємство європейського рівня в галузі стандартизації, метрології та оцінки відповідності.

Згідно з Кодексом комерційного обліку електричної енергії основною метою установлення інтелектуальних лічильників та АСКОЕ є сприяння активній участі споживачів у регулюванні свого споживання та відповідне скорочення часу збору та обробки результатів вимірювання, отримання точної інформації для формування рахунків на основі фактичного енергоспоживання та фактичного часу споживання [3]. Відповідно до положень пункту 1.2 Правил, АСКОЕ – сукупність об'єднаних в єдину функціональну метрологічно атестовану систему локального устаткування збору і обробки даних засобів (засобу) обліку, каналів передачі інформації та пристроїв приймання, обробки, відображення та реєстрації інформації [2].

Відповідно до Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність» [4] та Закону України «Про технічні регламенти та оцінку відповідності» [5], для засобів вимірювальної техніки, які призначені для застосування у сфері законодавчо регульованої метрології, впроваджується процедура оцінки відповідності вимогам технічних регламентів. Лічильники електричної енергії та автоматизовані системи комерційного обліку можуть бути надані на ринку та/або введені в експлуатацію в разі, коли вони відповідають вимогам технічних регламентів:

– Технічний регламент законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, затверджений Постановою КМУ від 13 січня 2016 р. № 94 для автоматизованих систем контролю і обліку енергетичних і матеріальних ресурсів (електричної і теплової енергії, газу, води, нафтопродуктів тощо) для електромеханічних та електронних систем або

систем, що містять програмний продукт, а також лічильників активної (класи точності 0,5–2,0; 0,2S; 0,5S) та реактивної (класи точності 0,5–3,0) електроенергії [6].

– Технічний регламент засобів вимірювальної техніки, затверджений Постановою КМУ від 24 лютого 2016 № 163 для лічильників активної електричної енергії. Цей стандарт розроблений на основі Директиви 2014/32/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 26.02.2014 р. про гармонізацію законодавства держав-членів стосовно надання на ринку вимірювальних приладів [7].

Оскільки сучасні лічильники електроенергії є засобами вимірювальної техніки (ЗВТ) з вбудованим програмним забезпеченням, яке використовується для вимірювання, зберігання та передачі даних, а АСКОВЕ побудовані на базі універсальних комп'ютерів, актуальним питанням при оцінці відповідності таких приладів є оцінювання програмного забезпечення (ПЗ). Технічні регламенти при оцінці відповідності засобів вимірювальної техніки висувають такі суттєві вимоги, що прямо чи опосередковано стосуються програмного забезпечення: придатність до застосування; захист від несанкціонованого втручання; ідентифікація.

Наказом Мінекономіки затверджено перелік стандартів, що надають презумпцію відповідності вимогам технічного регламенту [8]. Вимоги до програмного забезпечення зазначені в таких стандартах: ДСТУ 7363. Програмне забезпечення засобів вимірювальної техніки. Загальні технічні вимоги [9]; ДСТУ OIML D 31. Загальні вимоги до засобів вимірювальної техніки з програмним керуванням [10]. Зауважимо, що вимоги до програмного забезпечення, зазначені в цих стандартах мають загальний характер і не враховують особливості ЗВТ комерційного обліку електроенергії. Наприклад, в ДСТУ 7363 висуваються такі вимоги: вимоги до структури ПЗ; вимоги до захисту ПЗ, загальні питання щодо оцінки ПЗ, зміст

супровідної технічної документації, рекомендації щодо випробування ПЗ.

В ДСТУ OIML D 31 вимоги поділені на загальні та вимоги до конкретних конфігурацій ПЗ. До загальних вимог належать: ідентифікація програмного забезпечення; коректність алгоритмів і функцій; захист програмного забезпечення; запобігання неправильному використанню; захист від шахрайства; підтримка апаратних функцій; підтримка виявлення несправностей; підтримка функції захисту працездатності приладу. До вимог для конкретних конфігурацій належать: визначення і поділ значущих частин і визначення інтерфейсів між частинами; поділ електронних пристроїв і компонувальних блоків; поділ програмного забезпечення на частини; спільна індикація; збереження даних; передача через системи зв'язку; сумісність операційних систем і апаратного забезпечення, портативність; відповідність пристрою затвердженому типу; технічне обслуговування та реконфігурація; простежуваність оновлення. ДСТУ OIML D 31 не поширюється на технічні вимоги до конкретних вимірювальних приладів з програмним управлінням; ці вимоги мають бути вказані у відповідних національних нормативних документах та рекомендаціях.

Такі особливі вимоги до програмного забезпечення зазначені в Концепції побудови автоматизованих систем обліку електроенергії в умовах енергоринку, затвердженої Міністерством палива та енергетики України в 2000 році [11]. Зокрема, програмні й апаратні засоби повинні забезпечувати: перевірку достовірності (верифікацію) даних з формуванням ознак якості даних; передачу даних з ознакою якості, часу й дати, яким вони відповідають; підтримку роботи з не менш, ніж двома незалежними інформаційними каналами; гнучке конфігурування і настройку користувачем своїх функцій; індикацію нештатних ситуацій; часову синхронізацію з устаткуванням на об'єктах обліку; ідентифікацію і збереження з фіксацією дати і часу виникнення всіх подій, пов'язаних з нештатними

змiнами зовнiшнього i внутрiшнього середовища програмних i апаратних засобiв; використання iнформацiйної бази даних. Зазначений документ регламентує вимоги до каналiв i протоколiв зв'язку мiж лiчильниками та АСКОЕ. Проте особливi вимоги до програмного забезпечення лiчильникiв електричної енергiї не зазначенi.

Таким чином, на нацiональному рiвнi не затверджено нормативного документа, який визначав би особливi вимоги до програмного забезпечення лiчильникiв електричної енергiї та який застосовувався б при оцiнцi вiдповiдностi.

Проте iснує європейська Рекомендацiя WELMEC 7.2 [12], орієнтована на об'єкти регулювання Директиви MID [13], яка гармонiзована в Україні як вiдповiдний технiчний регламент та встановлює як загальнi вимоги до ЗВТ з ПЗ, так i спецiальнi вимоги до лiчильникiв води, лiчильникiв та перетворювачiв об'єму газу, лiчильникiв активної електричної енергiї, лiчильникiв кiлькостi теплоти, систем для безперервного та динамiчного вимiрювання об'єму рiдин, крiм води, автоматичних ваг, таксометрiв.

Вiдповiдно до наведених положень в ДП «УКРМЕТРТЕСТСТАНДАРТ» проводиться оцiнювання вiдповiдностi програмного забезпечення на основi власних розроблених методик випробувань програмного забезпечення при оцiнцi вiдповiдностi. Отже, враховуючи вищезазначене, доцiльним є врахування вимог та методiв оцiнки Рекомендацiї WELMEC 7.2 виробниками вiдповiдних ЗВТ та органами з оцiнки вiдповiдностi. Зауважимо також на необхідностi розробки нацiонального нормативного документа з урахуванням вимог рекомендацiї WELMEC 7.2.

Література:

1. Закон України «Про ринок електричної енергії України» від 13.04.2017 № **2019-VIII**. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19#Text>(дата звернення: 10.03.2021).

2. Правила роздрібного ринку електричної енергії, затверджені Постановою НКРЕКП 14.03.2018 № 312. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0312874-18#Text> (дата звернення: 10.03.2021).

3. Кодекс комерційного обліку електричної енергії, затверджений Постановою НКРЕКП 14.03.2018 № 311. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0311874-18#Text>(дата звернення: 10.03.2021).

4. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» від 05.06.2014 р. № 1314-VII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1314-18#Text> (дата звернення: 10.03.2021)

5. Закон України «Про технічні регламенти та оцінку відповідності» від 15.01.2015 р. № 124-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/124-19#n100>(дата звернення: 10.03.2021).

6. Технічний регламент законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, затверджений Постановою КМУ від 13 січня 2016 р. № 94. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/94-2016-%D0%BF#Text>(дата звернення: 10.03.2021).

7. Технічний регламент засобів вимірювальної техніки, затверджений Постановою КМУ від 24 лютого 2016 р. № 163. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/163-2016-%D0%BF#Text> (дата звернення: 10.03.2021).

8. Перелік національних стандартів для цілей застосування Технічного регламенту законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 13.01.2016 № 94, затверджений Наказом Міністерства

розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України від 28.12.2020 № 2775 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/file/text/86/f502148n12.pdf> (дата звернення: 10.03.2021).

9. ДСТУ 7363:2013. Програмне забезпечення засобів вимірювальної техніки. Загальні технічні вимоги. Київ: Мінекономрозвитку України, 2013. 11 с.

10. ДСТУ OIML D 31:2018 (OIML D 31:2008, IDT). Загальні вимоги до засобів вимірювальної техніки з програмним керуванням, 2018.

11. Концепція побудови автоматизованих систем обліку електроенергії в умовах енергоринку, затверджена Наказом Мінпаливенерго, НКРЕ, Держкоменергозбереження, Держстандарту, Держбуду, Держпромполітики від 04.2000 N 32/28/28/276/75/54. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0032558-00#Text> (дата звернення: 10.03.2021).

12. WELMEC 7.2 2019 Software Guide (Measuring Instruments Directive 2014/32/EU1), WELMEC European cooperation in legal metrology. URL: https://www.welmec.org/welmec/documents/guides/7.2/WELM_EC_Guide_7.2_Software_Guide_2019.pdf (дата звернення: 10.03.2021).

13. Directive 2014/32/EU of the European Parliament and of the Council. URL: <https://www.legislation.gov.uk/eudr/2014/32/contents> (дата звернення: 10.03.2021).

УДК 681.786

ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІЇ ПЕРЕТВОРЕННЯ ЄМНІСНИХ СЕНСОРІВ ДЛЯ ПОТУЖНИХ ГЕНЕРАТОРІВ ЗАСОБАМИ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

**Є.О. Зайцев¹, д-р техн. наук, В.О. Березниченко², асп.,
А.С. Левицький³, д-р техн. наук, О.Є. Підчібій⁴,
І.В. Логвиненко⁵, інж.**

*^{1,2,3,4}Інститут електродинаміки НАН України,
просп. Перемоги, 56, 03057, Київ, Україна*

*⁵Український гідрометеорологічний інститут
ДСНС України та НАН України,
просп. Науки, 37, Київ, 03028 Україна*

У доповіді представлені результати використання засобів комп'ютерного моделювання для дослідження характеристик ємнісних сенсорів з метою їх оптимізації.

Ключові слова: ємнісний сенсор, модель.

STUDY OF CAPACITY SENSOR RESPONSE FUNCTIONS FOR POWERFUL GENERATORS BY COMPUTER SIMULATION

**Ie.O. Zaitsev¹, V.O. Bereznychenko², A.S. Levytskyi³,
O.E. Pidchibii⁴, I.V. Logvinenko⁵**

*^{1,2,3,4}The Institute of Electrodynamics of the NAS of Ukraine
56 Peremohy Ave., 03680, Kyiv, Ukraine,*

*⁵Ukrainian Hydrometeorological Institute
SES of Ukraine and NAS of Ukraine,
37 Nauky Ave., Kyiv, 03028 Ukraine*

In the report presents the results of using computer simulation tools to study the characteristics of capacitive sensors in order to optimize them.

Keywords: *hydraulic unit, capacitive sensor, model.*

ORCID: ¹0000-0003-3303-471X, ²0000-0002-9961-1703,
³0000-0002-0146-9498, ⁴0000-0002-8304-5393.

У доповіді розглядається можливість дослідження ємнісних сенсорів засобами комп'ютерного моделювання для оптимізації їх технічних характеристик.

Як свідчить практика експлуатації, ємнісні сенсори контролю параметрів генераторів мають значні переваги завдяки тому, що на їхні метрологічні характеристики не впливають хімічний склад, намагніченість та температура поверхні валу, але впливають їхні конструктивні параметри.

Тому метою даних тез є створення та дослідження моделі ємнісного сенсора засобами комп'ютерного моделювання.

Ціль роботи досягається шляхом використання засобів комп'ютерного моделювання числових методів, заснованих на методі скінченних елементів. Моделювання виконувалось на прикладі ємнісного сенсора повітряного зазору між ротором і статором у декілька етапів.

Етап 1. Створення фізичної моделі. Для реалізації моделі використовується вузол Geometry, а сенсора складається із плоских геометричних фігур: високопотенціального електрода 1 та низькопотенціального 2 шириною $b_1=b_2=b$, охоронного електрода 3 шириною s та діелектричної підкладки 4 товщиною Th_{Diel} . Електроди 1–3 відокремлені один від одного тонкими міжелектродними зазорами шириною h , яка залежить від технології виготовлення. Металева заземлена частина 5, що імітує полюс ротора без врахування істинних габаритних розмірів, перебуває на відстані D від площини електродів. Конструктивна схема сенсора представлена на рис. 1.

Етап 2. Визначення граничних умов моделі. Властивості матеріалів для всіх фізичних областей моделі задаються в модулі Materials. Для конкретної моделі використовувалися такі матеріали: мідь як основний матеріал

електродів 1–3, повітря для областей між електродами та заземленою поверхнею полюса ротора, та FR4 як діелектрик 4.

Електричні властивості створених елементів моделі задаються у вузлі Electrostatics шляхом задання значень початкових потенціалів відповідних електродів.

Рис. 1. Модель емнісного сенсора повітряного зазору між ротором і статором

Етап 3. Дискретизація моделі шляхом розбиття сіткою на комірки. Побудова скінченно-елементної сітки здійснюється в дереві моделі у вузлі Mesh, де виконується триангуляція вибраних областей для подальших розрахунків.

Етап 4. Подальша обробка. Далі для проведення попередніх досліджень розподілення потенціалів зарядів в електричному полі сенсора використовується вузол Study.

Етап 5. Отримання результатів. Після виконання обчислень моделі у вузлі Results будуються графік розподілу електричного потенціалу та контурний графік потенціальних ліній сенсора (рис. 2). Результати розрахунку функції перетворення сенсора залежно від відстані до заземленої поверхні знаходяться розділ Results – Global Evaluation.

Рис. 2. Контурний графік потенціальних ліній сенсора

Висновки: Отримані результати свідчать про те, що розроблена модель може бути використана для визначення функції перетворення сенсорів та дослідження їхніх інших метрологічних характеристик, наприклад визначення впливу паразитних ємностей на функцію перетворення сенсора.

Література:

1. Левицький А.С., Федоренко Г.М., Грубой О.П. Контроль стану потужних гідро- та турбогенераторів за допомогою ємнісних вимірювачів параметрів механічних дефектів. Київ: Ін-т електродинаміки НАН України, 2011. 242 с.
2. Джежора А.А. Электроемкостные преобразователи и методы их расчета: монография. Минск : Белорусская наука, 2008. 305 с.
3. Юссель Ю.Я. Розрахунок електричної ємності / Ю.Я. Юссель, Е.С. Качанов, М.Г. Струнковой. Л.: Енергія, 1960. 240 с.

УДК 339.96 : 620.91

**ТЕМАТИКА ЕНЕРГЕТИКИ
У НОВІЙ ПРОГРАМІ «ГОРИЗОНТ ЄВРОПА»**

С.М. Шукасєв¹, О.К. Сулема²

КПІ ім. Ігоря Сікорського, просп. Перемоги, 37, м. Київ,
03056, Україна, тел.: +38(044)204-80-19,
e-mail: s.shukayev@kpi.ua

У роботі проаналізовано нову Програму Європейського Союзу «Горизонт Європа» і розглянуто основні тенденції європейських досліджень у галузі енергетики на період 2021–2027 рр.

Ключові слова: Горизонт Європа, енергетика, міждисциплінарність.

ENERGY IN THE NEW PROGRAMME “HORIZON EUROPE”

S. Shukayev¹, O. Sulema²

*Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 37 Prospekt
Peremohy, Kyiv, Ukraine, 03056*

The article presents the analysis of the new Programme of the European Union “Horizon Europe” and considers major tendencies of European researches in the energy field for 2021-2027.

Keywords: Horizon Europe, energy, interdisciplinary.

ORCID: ¹0000-0002-8195-6041, ²0000-0001-6450-0993.

2 лютого 2021 року відбулась інаугураційна конференція, на якій було офіційно проголошено старт дев'ятої рамкової програми Європейського Союзу з досліджень та інновацій «Горизонт Європа» [1]. Європейська Комісія називає нову програму найамбітнішою

серед усіх рамкових програм, адже її бюджет складає 95,5 млрд євро, а серед цілей заявлене максимальне залучення науковців та дослідників з усього світу.

Робоча програма «Горизонт Європа» вибудовується на досягненнях і успіхах восьмої рамкової програми та вводить нові інноваційні інструменти, як-от Європейська Інноваційна Рада, дослідницькі Місії та Партнерства. Європейська Комісія акцентує увагу на тому, що нова програма спрямована на передові дослідження, які водночас мають дати поштовх фундаментальній науці.

Нова Програма складається з трьох великих розділів (рис. 1): «Передова наука», «Глобальні виклики та європейська індустріальна конкурентоздатність» та «Інноваційна Європа». Тематика відновлюваної енергетики, яка посідає чинне місце серед цілей Європейського Союзу, у новій рамковій програмі увійшла до складу другого розділу як тематичний кластер «Клімат, енергетика та транспорт», що підкреслює загальний курс програми «Горизонт Європа» – підтримка виконання положень Паризької угоди та цілей сталого розвитку, відповідно до яких було вибудоване стратегічне бачення Європейської Комісії «Чиста планета для всіх» [2].

Цей кластер фокусується на досягненні шести очікуваних впливів, кожен з яких відповідним чином відбивається в оголошених конкурсах. Галузь енергетики має безпосередній стосунок до трьох напрямів, визначених експертами Європейської Комісії:

Рис. 1. Місце енергетики у структурі нової Програми

- 1) напрям міждисциплінарних рішень для кліматичного переходу:* чистий та сталий перехід галузей енергетики й транспорту до кліматичної нейтральності за сприяння інноваційних міждисциплінарних рішень;
- 2) напрям сталих, безпечних та конкурентоздатних поставок енергії:* ефективніше, чистіше, стійкіше, безпечніше та конкурентоздатніше постачання енергії завдяки новим рішенням для інтелектуальних мереж та енергетичних систем, що базуються на продуктивніших рішеннях у галузі відновлюваної енергетики;
- 3) напрям ефективного, сталого та інклюзивного використання енергії:* стале й ефективне використання доступної для всіх енергії, яка забезпечується завдяки чистій енергетичній системі.

Розглянемо кожний із напрямів докладніше [3].

Перший напрям фокусується на міждисциплінарних тематичних галузях, що можуть посприяти розробленню ключових рішень для клімату, енергетики й транспорту. Зокрема, йдеться про такі тематичні сфери: акумуляторні батареї, водень, проривні технології на ранніх етапах, розвинення міст. Серед основних впливів, на які очікується

в результаті, експерти називають доступну та чисту енергію. Цього планується досягти завдяки створенню європейської дослідницько-інноваційної екосистеми у галузі акумуляторних батарей, що дозволить впровадити транспортні засоби з нульовими викидами.

Другий напрям спрямований на забезпечення постачання сталої, безпечної та конкурентоздатної енергії. Зокрема, йдеться про дослідницько-інноваційні дії у галузі відновлюваної енергетики, які забезпечать модернізацію енергетичних мереж для підтримки інтеграції енергетичних систем, включаючи поступову електрифікацію ключових секторів: будівництво, транспорт, промисловість – та впровадження кліматично нейтральних носіїв енергії, як-от чистий водень. Ключовими елементами таких систем експерти вбачають інноваційні рішення для зберігання енергії, зокрема хімічне, механічне, електричне й термічне зберігання, а дії в межах цього напрямку мають сприяти їхній технологічній готовності до промислового та побутового застосування.

Серед запланованих конкурсів варто звернути увагу на такі тематики:

- HORIZON-CL5-2021-D3-01-02: Сталий розвиток та освітні аспекти відновлюваної енергетики й технологій відновлюваного палива
- HORIZON-CL5-2021-D3-02-02: Наступне покоління технологій відновлюваної енергії
- HORIZON-CL5-2021-D3-02-05: Енергія вітру в природному та суспільному середовищі
- HORIZON-CL5-2021-D3-02-06: Нові підходи до концентрованої сонячної енергії (CSP)
- HORIZON-CL5-2021-D3-02-15: Рішення для стійкішої геотермальної енергії

Третій напрям сфокусовано на підвищенні ефективності використання енергетики в галузях будівництва та промисловості. Зокрема, дії за цим напрямом будуть спрямовані на підтримку промислових

об'єктів під час енергетичного переходу та управління енергією з відновлювальних джерел у промисловій галузі.

Серед основних пріоритетів програми «Горизонт Європа» у галузі енергетики можна також виділити міждисциплінарний підхід до проведення досліджень та посилення партнерства із суміжними галузями, що має підтримати перехід до чистої та безпечної енергії в усіх ключових секторах промислової діяльності.

Нова програма, так само як й попередні рамкові програми ЄС, сфокусована на розвиток міжнародного співробітництва, а тому перед українськими вченими тепер постають нові горизонти – це «Горизонт Європа».

Література:

1. Launch of Horizon Europe [Електронний ресурс].

Режим доступу :

<https://perin.pt/wp-content/uploads/2021/02/Launch-Horizon-Europe.pdf>.

2. A Clean Planet for all [Електронний ресурс]. Режим доступу:

https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/2_dgcli_ma_rungemetzger.pdf.

3. Cluster 5 “Climate, Energy and Mobility” [Електронний ресурс]. Режим доступу :

<https://ec.europa.eu/transparency/regexpert/index.cfm?do=groupDetail.groupMeetingDoc&docid=49068>.

УДК 621.311.1

**ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ ЛІНІЙНОГО
ПРОГРАМУВАННЯ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ РОЗВИТКУ
ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ЕНЕРГОСИСТЕМ З
ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ**

В.А. Баженов

*Національний технічний Університет України
„Київський політехнічний інститут імені Ігоря
Сікорського”, просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна,
тел.: +38(044)204-48-16, e-mail: v_bazenov@ukr.net*

*У роботі розглянуті питання використання
симплекс-методу, який забезпечує ефективне
розв'язання поставленої задачі для оптимізації розвитку
електричних мереж сучасних енергосистем з
відновлюваними джерелами енергії.*

Ключові слова: *електрична мережа,
енергосистема, оптимізація розвитку, елементи мережі.*

**USE OF LINEAR PROGRAMMING METHODS FOR
OPTIMIZATION OF ELECTRICAL NETWORKS OF POWER
SUPPLIES DEVELOPMENT WITH RENEWABLE SOURCES**

V. Bazhenov

*National Technical University of Ukraine
"The Kiev Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky", 37,
Peremogy avenue, Kyiv, Ukraine, 03056*

*The paper considers the use of simplex method, which
provides an effective solution to the problem of optimization of
the development of electrical networks of modern power
systems with renewable energy sources.*

Keywords: *electric network, power system, optimization
of development, network elements.*

ORCID: 0000-0003-1622-5207.

Один з можливих шляхів вирішення загальної задачі оптимізації розвитку електричних мереж енергосистем – її спрощення і приведення до відомих задач обчислювальної математики, для вирішення яких можуть бути застосовані стандартні математичні методи й алгоритми. При використанні методів лінійного програмування задача оптимізації розвитку електричних мереж повинна бути сформульована як задача відшукування мінімуму лінійної форми

$$Z_i = \sum_{i=1}^I C_i P_i$$

за наявності лінійної системи обмежень типу рівностей, що здебільшого відповідають рівнянням першого закону Кірхгофа, записаним для всіх вузлів мережі, крім балансувальних

$$f_j(P_1, P_2, \dots, P_i, \dots, P_I) = 0, \quad j = 1, 2, \dots, J$$

і обмежень вигляду

$$P_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, I$$

У лінійній формі C_i – вартість передачі одиниці потужності по i -й гілці.

При використанні методів лінійного програмування негладкі безперервні функції оптимальних витрат у лінії і трансформаторні підстанції мережі повинні бути апроксимовані прямими лініями, що проходять через початок координат. Для апроксимації може бути використаний метод найменших квадратів, що дозволяє на основі таблиці значень функції

$$(x_i, y_i) (i = 1, 2, \dots, N)$$

визначити багаточлен ступеня $M < N$.

$$y(x) = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \dots + a_K x^K + \dots + a_M x^M, \quad$$

що досить близько описує дану функцію. Метод найменших квадратів дозволяє вибрати такий багаточлен, що мінімізує функцію

$$\sum_{i=1}^N (y_i - y(x_i))^2 = f(a_0, a_1, \dots, a_M)$$

Напрямки потоків потужності в гілках схеми заздалегідь не відомі. Тому при використанні симплекс-методу для забезпечення виконання умови позитивності змінних, так само, як і при записі лінійної моделі оптимізації структури генерувальних потужностей для позначення навантаження ділянки, вводять дві змінні, що відповідають протилежним напрямкам потоків потужності. Після закінчення оптимізації одна з них дорівнює нулю, а інша досягає оптимального значення.

Задача оптимізації розвитку являє собою задачу лінійного програмування і може бути розв'язана за допомогою симплекс-методу.

Алгоритм симплекс-методу поділяють на два етапи – знаходження опорного плану, тобто плану, що належить одній з вершин багатогранника обмежень, та знаходження оптимального плану. Для пошуку як опорного, так і оптимального планів організують багатокроковий обчислювальний процес, на кожному кроці якого здійснюють заміну однієї змінної базису вигляду x_j позабазисною змінною вигляду y_j .

Процес пошуку починаємо з точки початку координат, у якому всі змінні базису дорівнюють нулю. Уведення змінної в базис означає, що на наступному кроці їй буде привласнено нульове значення. При цьому змінна, що вилучається з базису, набуває зазвичай ненульового значення.

При цьому процес вибору оптимальної конфігурації електричної мережі організують у такий спосіб. Складають вихідну розрахункову схему мережі, до якої входять існуючі й намічувані до спорудження елементи. Для даної мережі формують задачу лінійного програмування і за

допомогою симплекс-методу знаходять оптимальний план. Оптимальну мережу визначають у результаті аналізу потокорозподілу, що забезпечує максимум лінійної форми. При цьому зі схеми виключають гілки, потужність яких дорівнює нулю.

Неминуча погрішність лінійної апроксимації може привести до істотного зсуву мінімуму лінійної функції щодо мінімуму дійсної функції витрат, змінює вартісну оцінку варіантів розвитку мережі. Тому галуззю застосування методів лінійного програмування при оптимізації розвитку електричних мереж є рішення допоміжних задач, що виникають при використанні більш загальних оптимізаційних методів.

Література:

1. Баженов В.А. Моделирование электрической сети при оптимизации развития энергосистем / Техническая электродинамика. Тематический выпуск. Проблемы современной электротехники. Часть 5. К.: Ин-т электродинамики НАН Украины. – 2006, – с. 9–12.

2. Кузнецов В.Г. Оптимизация режимов электрических сетей / В.Г. Кузнецов, Ю.И. Тугай, В.А. Баженов. – К.: Наук. думка, 1992. – 216 с.

УДК 620.91

**СТРУКТУРНИЙ СИНТЕЗ СИСТЕМ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ДЛЯ АВТОНОМНИХ ОБ'ЄКТІВ
ВІДНОВЛЮВАЛЬНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ НА ОСНОВІ
СИНЕРГЕТИЧНОГО ПІДХОДУ**

***В.С. Смірнов¹, О.В. Самков, П.В. Новіков,
Н.В. Беленок², Ю.С. Городній***

*Національний Технічний Університет України «Київський
Політехнічний Інститут ім. І. Сікорського», пр-т.
Перемоги 37, м. Київ, 03056, Україна, тел.: +38(067)467-
41-48, e-mail: nv_kpi@ukr.net*

У роботі розглянуті питання підвищення енергоефективності систем електропостачання автономних об'єктів на основі відновлюваних джерел енергії.

***Ключові слова:** автономна енергія, інваріантні перетворювачі, синергетичний підхід.*

**STRUCTURAL SYNTHESIS OF POWER SUPPLY SYSTEMS
FOR AUTONOMOUS RENEWABLE ENERGY FACILITIES
BASED ON A SYNERGETIC APPROACH**

***V. Smirnov¹, O. Samkov², P. Novikov³, N. Belenok,
Y. Horodnii***

*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv
Polytechnic Institute", 37 Prosp. Peremohy, Kyiv,
Ukraine, 03056*

The paper covers the issues of increasing the energy efficiency of electric power supply systems of autonomous facilities based on renewable energy sources

***Keywords:** autonomous energy, invariant converters, synergetic approach.*

ORCID: ¹0000-0002-3840-7813, ²0000-0003-4242-5536.

Сучасні системи електропостачання (СЕП) автономних об'єктів на основі відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) є нелінійними та багатозв'язковими системами, в яких мають місце складні перехідні процеси та можливо виникнення критичних і хаотичних режимів.

Ефективне керування такими динамічними мікросистеми є складним і не завжди адекватним для існуючих методів автоматичного керування. Традиційні алгоритми керування СЕП показали свою ефективність та використовуються донині. Але їх використання у зв'язку з підвищеною вимогливістю до СЕП (стійкість, надійність, розширення функціональних можливостей) та логіка науково-технічного прогресу потребують пошуку нових шляхів удосконалення процесів керування локальними об'єктами та їх групами. Тому одним з можливих напрямків вирішення цієї проблеми є зниження рівня складності реалізації програмно-апаратного забезпечення за рахунок підвищення його «інтелектуальності» [1,2]. Введення елементів інтелекту в САК дає змогу приймати керуючі рішення на основі спочатку закладених і накопичених формалізованих знань про доцільне функціонування системи за того чи іншого стану об'єктів керування (ОК). Найбільш доцільним варіантом вирішення зазначених проблем, з урахуванням особливостей процесів в СЕП, є застосування принципів синергетики, яка ідентифікує процеси самоорганізації і колективної, когерентної поведінки в нелінійних динамічних системах різної природи, а також принципи і методи синергетичної теорії управління, що базується на концепції спрямованої самоорганізації і динамічної декомпозиції багатовимірних систем [4]. Сенс і зміст синергетики в тому, що у відкритих системах, що обмінюються із зовнішнім середовищем енергією, речовиною, інформацією, виникають процеси стихійної самоорганізації, тобто відбуваються процеси

зародження з фізичного хаосу деяких стійких упорядкованих структур зі зміненими властивостями систем [2]. У синергетичному підході, на відміну від загальносистемного (кібернетичного), вивчаються і застосовуються конкретні принципи і механізми самоструктуризації природних і технічних систем. Інакше кажучи, синергетика концентрує свою увагу на кооперативних, когерентних і самоузгоджених процесах, що виникають в складних нелінійних системах. Синергетичний підхід прагне виявити макроскопічні властивості того чи іншого процесу. Зазначений підхід не виділяє поведінку окремо взятого апарату, об'єкта. Для нього найбільш важливим є кількість окремих компонентів, що входять в загальну систему. І тут кількість - це параметр порядку, який керує поведінкою кожного компонента системи. Все засноване на принципі «ієрархії підпорядкування». У цьому випадку будь-яка складна система може бути представлена в сукупності динамічних підсистем [3, 4].

Функціональна діяльність СЕП, змінюючи середовище існування, спричиняє необхідність пристосування до нових умов. Цей режим вимагає, щоб система і енергосередовище виступали як нова цілісна система. Таким чином, системоутворюючі відносини вимагають сполучення системи та умов її існування.

Це дозволяє сформулювати наступний системний принцип - самоспряження системи і середовища існування! Для ефективного застосування ідей синергетики в управлінні потрібен новий, важливий етап в переході від непередбачуваної поведінки системи за алгоритмом дисипативної структури до направленого руху вздовж бажаних різноманіть-аттракторів (точок динамічної стійкості), до яких починають підлаштовуватись всі інші параметри динамічної системи. Це вже спосіб спрямованої самоорганізації складних динамічних систем. При цьому підході аттрактор визначає сутність процесу, що відбувається. І основне завдання системи регулювання - це

зробити аттрактор збіжним в деякій безпечній області контрольованих параметрів системи [1, 2].

На сучасному етапі розвитку СЕП особливе значення надається не тільки питанням поліпшення їх масоенергетичних показників, але й підвищенню якості вихідної електроенергії, поліпшенню динамічних характеристик при досягненні багатофункціональності, інваріантності та робастності [5].

Розгляд структурної організації СЕП дає змогу сформулювати достатні умови структурної інваріантності СЕП, причому умовою фізичної реалізованості структурно-інваріантної СЕП є сепаратна організація силового тракту відповідно до принципу «модуляція-демодуляція». Виконання умов дає змогу зробити висновок про можливість ліквідації некерованих ланок силового тракту СЕП, що піддаються дії як координатних, так і параметричних впливів, в тому числі усунення будь-яких енергетичних фільтрів, а також про суміщення функцій формування, регулювання вихідного сигналу та компенсації координатно-параметричних збурень в єдиному функціональному вузлу.

Реалізація цього положення у сукупності з відомими традиційними принципами інваріантності дає можливість говорити про клас структурно-інваріантних СЕП. Структурна інваріантність дає змогу надати СЕП властивість багатофункціональності, тобто можливості формування будь-якого заданого вихідного сигналу при довільній формі вхідної напруги. Відсутність фільтруючих ланок у структурі СЕП дає змогу знизити порядок системи диференціальних рівнянь, що описують математичну модель перетворювального тракту. Це дає змогу усунути протиріччя між умовами інваріантності та стійкості, тобто надати системі властивості робастності при забезпеченні необхідної точності. Таким чином, будемо називати структуру перетворювальної системи, яка розглядається, такою, що має властивість структурної інваріантності, якщо

в неї включено пристрій, наприклад, адаптації, що переналагоджує параметри системи або навіть її структуру для підтримання відповідних умов двократною інваріантності. Звідси можна зробити таке твердження. Твердження. При дотриманні умов стійкості та двократною структурної інваріантності перетворювальна система, є адаптивною структурно-інваріантною за координатною по відношенню до вхідних координатних та параметричних впливів. Отже, можемо розглядати теорію інваріантності як засіб досягнення та складову частину наукової парадигми загальної синергетичної концепції.

Таким чином, розробка та впровадження розглянутих напрямків синергетичних методів управління в СЕП дозволяє:

- 1) керувати динамічними процесами в СЕП більш оптимально, ніж традиційні автоматичні регулятори;
- 2) забезпечити адекватні процеси регулювання і управління при неповній інформації про вектори станів;
- 3) синтезувати нелінійні системи управління, інваріантні до аварійних і ненормальних режимів.

Література:

1. Пригожин И., Стенгерс И., Порядок из хаоса: Пер. с англ.- М.: Эдиториал УРСС, 2001-312с.
2. Хакен Г. Синергетика: Пер. с англ.-М.: Мир, 1980-404с.
3. Кроновер Р. Фракталы из хаоса в динамических системах. Основы теории: Пер. з англ.- М.: Постмаркет, 200.-352с.
4. Интеллектуальные системы автоматического управления /Под ред. И.М. Маркова, В.М.Лохина,-М.: Физматлит.2001-576с.
5. Алиев РА. Принцип инвариантности и его применение для проектирования промышленных систем управления-М..Энергоатомиздат, 1985-158с.

УДК 339.944:620.621.31:621.311:697.34

ENERGY SERVICES AS A BASE TOOL TO SUPPORT THE LOW-CARBON TRANSITION

O. Novoseltsev¹, O. Kovalko², M. Yevtukhova³

¹ Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine,
2a, Maria Kapnist St., Kyiv, 03057, Ukraine,
tel.: +38(067)607-16-84, e-mail: anovos@i.com.ua;

² Naftogaz of Ukraine, 6, Bogdana Khmelnytskogo St., Kyiv,
01601, Ukraine, tel.: +38(050)441-67-34,
e-mail: omkovalko@gmail.com;

³ National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv
Polytechnic Institute", 37, Prosp. Peremohy, Kyiv, 03056,
Ukraine, tel.: +38(068)959-67-36,
e-mail: urevnamaria5@gmail.com

The article presents the results of researching the processes of structure organizing the energy services market as a system tool aimed at improving energy efficiency, attracting renewable energy sources and reducing CO₂ emissions. To do this, the methods of large systems analysis, conceptual logic and black box are used for determining the directions of development and construction of the model of the market structural organization.

Keywords: energy efficiency, renewable energy sources, energy services.

ЕНЕРГЕТИЧНІ ПОСЛУГИ ЯК БАЗОВИЙ ІНСТРУМЕНТ ПІДТРИМКИ НИЗКОВУГЛЕЦЕВОГО ПЕРЕХОДУ

О.В. Новосельцев¹, О.М. Ковалко², М.Ю. Евтухова³

¹ Інститут технічної теплофізики НАН України,
вул. Марії Капніст, 2а, м. Київ, 03057, Україна,
тел.: +38(067)607-16-84, e-mail: anovos@i.com.ua;

² Нафтогаз України, вул. Богдана Хмельницького, 6,

Київ, 01601, Україна, тел.: +38(050)441-67-34,
e-mail: omkovaiko@gmail.com;

³ Національний технічний університет України «Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна,
тел.: +38(068)959-67-36, e-mail: urevnamaria5@gmail.com

ORCID: ¹0000-0002-4132-8438, ²0000-0001-9272-6789,
³0000-0002-4294-4179.

У статті представлені результати дослідження процесів структурної організації ринку енергосервісних послуг як системного інструменту, спрямованого на підвищення енергоефективності, залучення відновлюваних джерел енергії та зменшення викидів CO₂. Для цього використовуються методи системного аналізу в енергетиці, концептуальної логіки та чорного ящика, спрямовані на визначення напрямів розвитку та побудови моделі структурної організації ринку.

Ключові слова: енергоефективність, відновлювані джерела енергії, енергосервісні послуги.

Pollution and emissions from the burning of fossil fuels are largely responsible for the dramatic changes in the global ecosystem that increasingly affect socio-economic behavior and human health. This indicates an urgent need to develop a new methodological framework for the large-scale implementation of energy efficiency (EE) and renewable energy sources (RES).

Area of application of energy services (ESs) and their main providers – energy service companies (ESCOs) covers all major sectors of the global economy, primarily, energy, industry, transport, housing and communal sectors, agriculture etc. This is due to “the physical benefit, utility or good derived from a combination of energy with energy efficient technology and/or with action, which may include the operations,

maintenance and control necessary to deliver the service, which leads to verifiable and measurable or estimable energy efficiency improvement and/or primary energy savings”.

Structure model of the ESs market participants and their interactions is presented in Fig. 1.

Fig. 1. Structure model of the ESs market organization

Among the main participants of the ESs market are representatives of state and local governments and regulators, financial institution (investors), international EE and RES funds, providers of EE and RES equipment and materials, suppliers of primary and secondary energy resources.

Flowchart of the stages of ESs implementation is presented in Fig. 2.

Fig. 2. Structural components of ESs implementation

More details on the transition to a low-carbon economy based on energy services can be found in [1, 2].

References:

1. Deshko V.I., Kovalko O.M., Novoseltsev O.V., Yevtukhova M.Y. (2020). Energy Services Market: Conceptual Framework and Mechanism of Forming. International Journal of Civil, Mechanical and Energy Science, Vol-6, Issue-6, 48–55. ISSN: 2455-5304, <https://dx.doi.org/10.22161/ijcmes.66.4>.
2. Eutukhova T., Kovalko O., Novoseltsev O., Woodroof E. (2020). Energy Services: A Proposed Framework to Improve Results. Energy Engineering, Vol.117, No.3, 99–110, www.doi:10.32604/EE.2020.010864.

УДК 621.311

**БАЛАНСУВАННЯ ПОТУЖНОСТІ ТА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В
ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНІЙ СИСТЕМІ З
ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ**

***П.Д. Лежнюк¹, В.О. Комар², О.А. Ковальчук,
О.О. Рубаненко³***

*Вінницький національний технічний університет,
Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021
тел.: +38(067)705-61-38, e-mail: lezhpd@gmail.com*

Показано вплив потужності відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) на балансування режимів електроенергетичних систем (ЕЕС). Розглянуто засоби балансування режимів ЕЕС з ВДЕ та їх ефективність.

Ключові слова: *відновлювані джерела енергії, електроенергетична система, баланс потужності та електроенергії.*

**BALANCE OF POWER AND ELECTRICITY IN THE
ELECTRIC POWER SYSTEM WITH RENEWABLE ENERGY
SOURCES**

***P.D. Lezhniuk¹, V.O. Komar², O.A. Kovalchuk,
O.O. Rubanenko³***

Vinnitsa National Technical University

The influence of renewable energy sources (RES) on the balancing of power systems is shown. Means of balancing the regimes of electric power systems (EPS) with RES and their efficiency are considered.

Key words: *renewable energy sources, electric power system, balance of power and electricity.*

ORCID: ¹0000-0002-9366-3553, ²0000-0003-4969-8553,
³0000-0002-2660-182X.

На сьогодні спостерігається неузгодженість дій щодо розбудови відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) і підготовки електричних мереж енергосистеми до транспортування та розподілу електроенергії, де генерується електроенергія ВДЕ. Спостерігається парадоксальна ситуація – чим інтенсивніше розбудовуються ВДЕ і збільшується їх потужність, тим більше проблем в електроенергетиці, як технічних, так і фінансових. Чомусь не зверталось уваги на те, що одночасно з розвитком ВДЕ потрібно було відповідно модернізувати електричні мережі й передбачити методи та засоби компенсації нестабільності генерування ВДЕ, зокрема ФЕС, в будівництво яких інвестувалося найбільше. У гонитві за кількістю мало що робилося для покращання енергоефективності електропостачання завдяки розбудові ВДЕ. Стан зі втратами електроенергії і її якістю в електричних мережах в результаті не покращився, а часом навпаки, зате виникли суттєві складнощі з балансовою надійністю. На сьогодні це не тільки технічні проблеми, коли не розвивається інфраструктура, яка б відповідала частці ВДЕ в балансі потужності енергосистем України, а є проблеми розрахунків з інвесторами за вироблену електроенергію.

ВДЕ стають, а точніше вже є, невід'ємним елементом електроенергетичних систем (ЕЕС). Очевидно, що вони мають оптимально інтегруватися в електричні мережі, нарощуючи потужність генерування та покращуючи техніко-економічні показники електричних мереж, надто розподільних.

Серед особливостей ВДЕ в ЕЕС є їх вплив на режимну та балансову надійність. Оскільки ВЕС і ФЕС як елементи забезпечення балансової надійності характеризуються нестабільністю генерування, то в ЕЕС

обов'язковим має бути резервування. Це може бути резерв від наявних джерел гарантованого генерування, насамперед блоків теплової генерації з регульовальним діапазоном 30–50 %, а також індивідуальні або групові накопичувачі електроенергії (гідроакumuлювальні станції, хімічне акумулювання, водневі технології, біогазові технології та інші способи). Ефективними також можуть бути організаційні та технічні заходи з узгодження графіків електроспоживання і генерування ВДЕ, включно і обмеження на вироблену ними електроенергію. В разі необхідності оператор систем передачі може обмежити генерування ВДЕ, компенсуючи вартість недовиробленої ВДЕ електроенергії.

Оптимальним видається комплексний підхід, коли для компенсації нестабільності генерування ВДЕ використовуються декілька способів. У цьому разі мінімізуються сумарні витрати B_{Σ} на компенсацію нестабільності генерування ВДЕ. Задача оптимізації резервування ставиться як

$$B_{\Sigma} = B_x(P_x) + B_e(P_e) + B_z(P_z) + B_c(P_c) + B_n(P_n) \rightarrow \min$$

де $B_x(P_x)$ – витрати на резервування накопичувачами хімічного типу; $B_e(P_e)$ – витрати на водневі технології; $B_z(P_z)$ – витрати, зв'язані з використанням біогазових технологій як резерву; $B_c(P_c)$ – витрати на користування системним резервом; $B_n(P_n)$ – витрати на запаси пропускної спроможності ліній електропередачі; P_x, P_e, P_z, P_c, P_n – відповідно оптимальні значення потужностей, які визначаються з кожного зі способів резервування.

Якщо задача оптимізації витрат на способи компенсації нестабільності генерування ВДЕ розв'язується методом критеріального програмування, то в результаті визначаються критерії подібності, які є ваговими коефіцієнтами окремих витрат у сумарних витратах B_{Σ} [1]. Критерії подібності пронормовані:

$$\pi_x + \pi_e + \pi_z + \pi_c + \pi_n = 1,$$

де $\pi_i = \frac{B_i(P_i)}{B_\Sigma}$ – критерії подібності (вагові

коефіцієнти) відповідно до витрат на способи компенсації нестабільності генерування ВДЕ.

Результати оптимізації, отримані в такому вигляді, дозволяють аналізувати співрозмірність і чутливість складових цільової функції, в нашому випадку способів компенсації нестабільності генерування ВДЕ [2, 3]. Результати співрозмірності дають можливість ранжувати способи компенсації за витратами, а чутливість – раціонально, найбільш ефективно використовувати потужності різних способів підчас експлуатації.

Література:

1. Веников В.А. Теория подобия и моделирования. – М.: Высшая школа, 1976. – 479 с.
2. Астахов Ю.Н., Лежнюк П.Д. Применение критериального метода в электроэнергетике. – К.: УМК ВО, 1989. – 140 с.
3. Petro Lezhniuk, Vyacheslav Komar, Olena Rubanenko, Natalia Ostra. The sensitivity of the process of optimal decisions making in electrical networks with renewable energy sources // Przegląd Elektrotechniczny, Vol 2020, № 10, p. 32–38. DOI: 10.15199/48.2020.10.05.

УДК 621.311

ВІДНОВЛЮВАНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ В РОЗРАХУНКАХ УСТАЛЕНИХ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

П.Д. Лежнюк¹, О.О. Рубаненко²

*Вінницький національний технічний університет,
Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021
тел.: +38(097)748-02-85, e-mail: olenarubanenko@ukr.net*

Запропоновано враховувати при забезпеченні балансової та режимної надійності електроенергетичної системи (ЕЕС) з ВДЕ особливості функціонування електричних мереж (ЕМ) в сучасних умовах: зміну споживання електроенергії, викликану COVID-2019; появу в ЕМ нових споживачів – зарядних станцій (ЗС) для електромобілів; встановлення біогазових установок (БГУ) та водневих установок (ВУ).

Ключові слова: *балансова та режимна надійність, відновлювані джерела енергії, водневі установки.*

RENEWABLE ENERGY SOURCES IN CALCULATIONS OF STABLE REGIMES OF ELECTRIC POWER SYSTEMS

P.D. Lezhniuk¹, O.O. Rubanenko²
Vinnitsa National Technical University

It is proposed to take into account when ensuring the balance and regime reliability of the power system (EPS) with RES features of their operation in modern conditions: change in the schedule of electricity consumption caused by COVID-2019; emergence of new consumers in the network – charging stations for electric cars; installation of new generating capacities – biogas plants (BP) and hydrogen plants (HP).

Keywords: *balance and mode reliability, renewable energy sources hydrogen installations.*

ORCID: ¹0000-0002-9366-3553, ²0000-0002-2660-182X.

Тенденція збільшення генерування ВДЕ збережеться до 2050 року [1]. На рис. 1 показано інтерпретацію процесу формування балансу потужності в електроенергетичних системах з комбінованими живленням. Під режимною та балансовою надійністю мається на увазі здатність системи підтримувати стабільність усталеного режиму в разі випадкових змін її параметрів та її здатність неперервно підтримувати свій баланс активної потужності. За представленим в [2] сценарієм електропостачання здійснюється від внутрішніх джерел вітрових електростанцій (ВЕС) і фотоелектричних станцій (ФЕС), малих гідроелектростанцій (ГЕС), когенераційних установок (КГУ) і БГУ та джерел централізованого живлення (ДЦЖ). Навантаження трансформаторних підстанцій складається з навантаження споживачів і джерел генерування електроенергії, які перебувають у них на балансі.

Сучасні умови функціонування ВДЕ характеризуються більш жорсткими умовами відповідальності за небаланси, нарощуванням новітніх технологій, наприклад водневих енергоакумулювальних систем на основі ВДЕ [3], зменшенням загального споживання, викликаного COVID-2019, та впровадженням нового типу споживача – зарядних станцій електромобілів [4] (рис. 1). Це необхідно враховувати при розрахунку параметрів усталених режимів ЕЕС та формуванні керуючих впливів.

Зі зростанням обсягу генерування ВДЕ в електричних мережах актуальною стає задача, яка формулюється так [2]:

$$\int_{t_0}^{t_k} \frac{1}{2} \left(P_{ВДЕ}(t) - \sum_{i=1}^n P_i(t) \right) dt \rightarrow \min, \quad (1)$$

де $P_{ВДЕ}(t)$ – заявлений (заданий) графік сумарного генерування ВДЕ в ЕЕС; $\sum_{i=1}^n P_i(t)$ – поточне сумарне генерування керованими ВДЕ в ЕЕС; n – кількість керованих ВДЕ в ЕЕС.

Рис. 1. Баланс потужності з урахуванням сучасних тенденцій: встановлення зарядних станцій для електромобілів ($P_{ЗС}$) та застосування водневих технологій і сучасних накопичувачів

Баланс потужності в системі можна представити рівнянням (2) [2]:

$$P_{ЦЖ}(t) + \sum_{i=1}^n P_i(t) + \sum_{j=1}^m P_{ТПj}(t) - \Delta P(t) = 0, \quad (2)$$

де $P_{ЦЖ}(t)$ – потужність, що передається в ЕЕС від централізованих джерел електроенергії; $P_{ТПj}(t)$ –

навантаження трансформаторних підстанцій з урахуванням зарядних станцій для електромобілів; $\Delta P(t)$ – технологічні втрати електроенергії (ТВЕ) в ЕЕС.

Але для забезпечення таких умов повинна враховуватись не тільки інформація про метеорологічні умови для ВДЕ з визначеною точністю, які є негарантованими джерелами енергії, а й для ВДЕ, які є умовно-керованими і використовуються для оперативного керування параметрами нормальних режимів роботи ЕЕС з урахуванням їх технологічних обмежень.

Література:

1. P. Moriarty and D. Honnery, "Global renewable energy resources and use in 2050," 2018, p. 221–235.
2. Лежнюк П.Д., Кравчук С.В., Котилко І.В. Відновлювальні джерела електроенергії в електричних мережах як елемент енергоефективного електроспоживання. Світлотехніка та електроенергетика. 2019. № 56 (3). С. 99–106.
3. Кудря С.О., Рєпкін О.О., Яценко Л.В. та ін. Концепція дорожньої карти розвитку водневої енергетики України на період до 2035 року. Відновлювана енергетика. 2019. № 4. С. 22–28.
4. Будько В.І., Кудря С.О., Войтко С.В., Трофименко О.О., Економічні аспекти реалізації автономних зарядних станцій електромобілів на основі вітроелектричних установок. Відновлювана енергетика. 2019. № 1.

УДК 621.311

MODELING OF SWITCHING EQUIPMENT FOR EVALUATION OF SERVICE LIFE AND RISK OF ACCIDENTS IN THE ELECTRIC POWER SYSTEM

E. Bardyk¹, O. Bondarenko²

*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv
Polytechnic Institute", Department of Renewable Energy
Sources, 37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine*

The article presents a mathematical model for determining the remaining resource of switching equipment based on the aggregation of information on the technical condition of individual functional units, which is based on the use of fuzzy set theory.

Keywords: *fuzzy logic, resource, equipment, technical condition.*

МОДЕЛЮВАННЯ КОМУТАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОЦІНКИ РЕСУРСУ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ТА РИЗИКУ АВАРІЙ В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНІЙ СИСТЕМІ

Є.І. Бардик¹, О.Л. Бондаренко²

*Національний технічний університет України «Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
кафедра відновлюваних джерел енергії,
просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна,
тел./факс: +38(097)-321-18-04, e-mail: bonduro@gmail.com*

У статті представлена математична модель визначення залишкового ресурсу комутаційного обладнання на основі агрегування інформації щодо технічного стану окремих функціональних вузлів, яка ґрунтується на використанні теорії нечітких множин.

Ключові слова: *нечітка логіка, ресурс, обладнання, технічний стан.*

ORCID: ¹0000-0002-5776-1500, ²0000-0001-9444-8428.

The main factors that affect the reliability of the electric power system (EPS) are: depreciation of electrical equipment, randomness or uncertainty of failure patterns and climate changes. Depreciation of electrical equipment is currently a major problem of energy sector, the solution of which depends on the reliability of its operation [1, 2]. The functioning of the EPS of Ukraine in recent years is characterized by a significant level of physical, moral depreciation of electrical equipment (more than 70% of the total) and low rates of replacement [1]. This further contributes to a decrease in reliability and leads to an increase in the number of accidents.

The above factors increase the risk of failure in the power system. Once a failure occurs, it often diffuses to adjacent areas. In addition, it will lead to cascading failures if not timely and effectively controlled, causing widespread power outage. A significant increase in the level of functional reliability of electrical equipment and the EPS as a whole can be achieved by objectively assessing and predicting the technical condition, determining the probability of failures, justifying the possible service life and risk assessment of EPS operating in case of possible failures or planned decommissioning of equipment [1,2].

High-voltage circuit breakers are the most important switching equipment, the reliability of which significantly affects the stability of power supply to consumers both in normal and emergency regimes. The share of high-voltage circuit breakers in the total out of service of electrical equipment is from 30 to 40 percent [1, 2]. Therefore, it is necessary to pay attention to monitoring the technical condition and service life [1, 3].

When forming a management strategy for the switching equipment park, energy companies need to take into account the risk of accidents in the EPS in case of circuit breakers failures and make informed decisions on the repair or replacement of circuit breakers in conditions of limited investment [3, 4].

Therefore, developing mathematical models for assessing the technical condition and probability of failure switching equipment as part of a comprehensive mathematical model of risk analysis of EPS is particularly important.

According to statistical data [4], the most damaged components of high-voltage switching equipment are: breaking chamber, operating mechanism, seals and insulation.

The task of a comprehensive assessment of the technical condition of high-voltage switching equipment belongs to the category of poorly formalized and poorly structured tasks. This is influenced by the following factors: existence of dissimilar input information; incompleteness and obscurity of information; timing of measurements of object parameters; insufficient historical operational data and so on.

Overcoming the above difficulties is possible by creating a mathematical model of the circuit breaker based on fuzzy logic, which makes it possible to comprehensively evaluate an object with various quality characteristics and form a more flexible mechanism for assessing the technical condition of switching equipment [1, 5].

The following linguistic variables are used as input to the fuzzy model of SF6 circuit breaker: R_M – mechanical resource with terms: T_L – Low, T_M – Medium, T_H – High; R_K – switching resource with terms: T_L – Low, T_M – Medium, T_H – High; P_E – SF6 pressure with terms: T_L – Low, T_M – Medium, T_H – High; R_{IZ} – condition of insulators with terms: T_L – Low, T_M – Medium, T_H – High. As the output linguistic variable is used "Technical condition of SF6 circuit breaker" with terms: T_{VL} – Very Low, T_L – Low, T_M – Medium, T_H – High, T_{VH} – Very High.

Based on the use of "Expert Judgment", the knowledge base of the fuzzy model for determining the technical condition of SF6 circuit breaker contains 81 production rules.

The software was used to assess the technical condition of the SF6 circuit breaker. The test determination of the SF6 circuit breaker technical condition based on operational data confirmed the adequacy of the fuzzy model and the possibility

of its use in the developed sets of programs for analyzing the risks of operation of the EPS.

References:

1. М.В. Костерев, Є.І. Бардик. Питання побудови нечітких моделей оцінки технічного стану об'єктів електричних систем. – Київ, Україна: НТУУ «КПІ», 2011.

2. Є.І. Бардик. Моделювання та оцінка ризику відмов електрообладнання електроенергетичних систем з урахуванням рівня відновлення ресурсу після ремонту. – Науковий вісник Національного гірничого університету. 2014, № 3, с. 82–90.

3. А.Н. Назарычев, Д.А. Андреев. Методы и математические модели комплексной оценки технического состояния электрооборудования. – Иваново, Россия: ИГЭУ, 2015.

4. А.М. Абдурахманов, М.Ш. Мисриханов, А.В. Шунтов. Влияние продолжительности эксплуатации на отказы выключателей. – Электрические станции, 2007, № 7, с. 59–63.

5. С.Д. Штовба, Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. – Москва, Россия: Горячая линия – Телеком, 2007.

УДК 621.311.243/.316.11

ПОРІВНЯННЯ ПРАВИЛ ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТ, ПОВ'ЯЗАНИХ З УРЕГУЛЮВАННЯМ НЕБАЛАНСІВ ВИРОБНИКІВ ІЗ ВДЕ В УКРАЇНІ

Д.А. Дьомін¹, О.Ю. Гаєвський²

¹ТОВ «ПВ Сервіс», 03150, м. Київ,
вул. В. Васильківської, 72а, тел. +380668765222,
e-mail: d.domin@clean-energy.com.ua

²НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 03056,
м. Київ, просп. Перемоги, 37, тел. +380442048191,
e-mail: a.gaevskii@kpi.ua

Проаналізовано два підходи до визначення частки вартості врегулювання небалансів виробників із ВДЕ. На основі даних щодо цін на ринку електроенергії України від ДП «Оператор Ринку» та системного оператора, а також даних фактичного відпуску електроенергії ФЕС у 2020 році визначена кількісна різниця потенційних витрат, пов'язаних із відшкодуванням частки вартості небалансів енергії для штучних прогнозів пулу із 44 ФЕС, які функціонують у торговій зоні ОЕС України.

Ключові слова: ринок електроенергії України, балансування ВДЕ, витрати на врегулювання небалансів.

COMPARISON OF COST DETERMINATION RULES RELATED TO IMBALANCES SETTLEMENT OF RE PRODUCERS IN UKRAINE

D.A. Dyomin¹, O.Yu. Gaevsky²

¹ "PV Service", 03150, Kyiv, st. V. Vasylkivska, 72a,
tel. +380668765222, e-mail: d.domin@clean-energy.com.ua

² NTUU "Igor Sikorsky KPI", 03056, Kyiv, Peremogy Str, 37,
tel. +380442048191, e-mail: a.gaevskii@kpi.ua

Two approaches to determining the cost share of imbalances settling of RE producers have been analyzed. Based on price data on the electricity market of Ukraine from "Market Operator" and the system operator, as well as data on the actual RE electricity supply in 2020, the quantitative difference in potential costs associated with payment of the imbalances share for artificial forecasts for 44 PV plants pool operating in the Ukraine power system.

Keywords: *electricity market of Ukraine, balancing of RES, costs of imbalances settling.*

ORCID: 0000-0001-6144-2441, 0000-0002-3350-6628.

Джерела даних та моделі розрахунків

Для реалізації механізму підтримки українських виробників із ВДЕ на ринку електроенергії передбачено роль гарантованого покупця, серед основних завдань якого є балансування енергії від всіх виробників із ВДЕ. Порядок відшкодування частки вартості врегулювання небалансів енергії виробниками із ВДЕ регламентується постановою НКРЕКП № 641 від 26 квітня 2019 року [1]. У кінці 2020 року було затверджено нову редакцію постанови НКРЕКП (№ 46 від 15.01.2021) [2]. В даній роботі порівнюються результати розрахунків вартості врегулювання небалансів за методиками цих двох редакцій.

Виробники за «зеленим» тарифом зранку повинні надавати гарантованому покупцю прогнознi погодинні добові графіки відпуску електроенергії [1]. Окрім цього, у другій половині дня, що передує торговому, вони надають оновлений графік відпуску електроенергії. Компенсація витрат на врегулювання небалансів відбувається за

різницею цін між ринком «на добу наперед» (РДН) та балансувальним ринком (БР). При цьому враховуються:

- допустиме відхилення фактичних погодинних обсягів відпуску електричної енергії від прогнозного та
- частка відшкодування гарантованому покупцю вартості врегулювання небалансу.

Станом на початок 2021 року закріплено допустиме відхилення у розмірі 5 %, та прогресивний графік частки відшкодування вартості небалансу: 50 % з початку 2021 року та 100 % з 1 січня 2022 року. Для наших розрахунків прийнято допустиме відхилення фактичних графіків від прогнозних на рівні 5 %, та визначено частку відшкодування небалансу гарантованому покупцю – 100 %.

Вихідними даними розрахунку є дані фактичного комерційного відпуску електроенергії на 44 ФЕС торгової зони ОЕС України з 1 січня по 31 грудня 2020 року. Встановлена потужність цього пулу – 561 МВт, що складає ~10 % потужності всіх ФЕС України. Як прогнозні дані застосовуємо примітивний прогноз (ПП), тобто фактичні дані із зсувом у 48 годин.

Компенсація небалансів за правилами 2019 року [1] визначається так:

$$CIEQ_t^p = \begin{cases} \varepsilon_t^p \cdot (P_t^{DAM} - IMSP_t), \varepsilon_t^{sum} > 0, \varepsilon_t^p > 0, IMSP_t < P_t^{DAM} \\ \varepsilon_t^p \cdot (P_t^{DAM} - IMSP_t), \varepsilon_t^{sum} < 0, \varepsilon_t^p < 0, IMSP_t > P_t^{DAM} \\ 0, & \text{в інших випадках} \end{cases}$$

де, ε_t^p – величина врахованого відхилення фактичного обсягу відпуску електроенергії генерувальними одиницями p -го виробника від його спрогнозованого погодинного графіка відпуску в розрахунковому періоді t , МВт·год; P_t^{DAM} – ціна енергії у періоді t на РДН, грн/МВт·год; $IMSP_t$ – ціна небалансу енергії у періоді t , грн/МВт·год.

Тоді величина врахованого відхилення:

$$\varepsilon_t^p = \begin{cases} (W_t^u - PR_t^u), & \text{якщо } \frac{|W_t^u - PR_t^u|}{PR_t^u} \cdot 100 > 5\% \\ 0, & \text{в інших випадках} \end{cases}$$

де, W_t^u – фактичний обсяг відпуску енергії генерувальною одиницею u у розрахунковому періоді, МВт·год; PR_t^u – обсяг відпуску енергії, спрогнозований таким виробником, МВт·год.

Компенсацію небалансів за правилами 2021 року [2] виконуватимемо так:

$$CIEQ_t^p = \begin{cases} \varepsilon_t^p \cdot (P_t^{DAM} - \min(P_t^{DAM}, IMSP_t) \cdot (1 - K^{im})), & \text{якщо } \varepsilon_t^p > 0 \\ \varepsilon_t^p \cdot (P_t^{DAM} - \max(P_t^{DAM}, IMSP_t) \cdot (1 + K^{im})), & \text{якщо } \varepsilon_t^p < 0 \\ 0, & \text{якщо } \varepsilon_t^p = 0 \end{cases}$$

де, ε_t^p , P_t^{DAM} , $IMSP_t$ – ті самі величини, що визначені раніше; K^{im} – коефіцієнт ціни небалансу, що визначається Правилами ринку [4] і встановлений у розмірі 0,05.

Результати та висновки

Результати розрахунків частки вартості врегулювання небалансів у 2020 році демонструють наявність суттєвої різниці при застосуванні Правил 2019 та Правил 2020, яка складає 21,1 % (рис. 1). Зокрема, питомі витрати у вигляді частки від виручки всіх ФЕС отриманої за період зростає з 2,9 до 3,5 %, а питома вартість демонструє перехід від 4,0 €/МВт·год відпущеної електроенергії за «зеленим» тарифом до 4,8 €/МВт·год.

Рис. 1. Витрати на врегулювання небалансу в 2020 році

На рис. 2 показані результати розрахунків питомих витрат на врегулювання небалансів, усереднених за календарні місяці 2020 року. Місячні значення витрат коливаються від 13,8 до 1,7 €/МВт·год (Правила 2019) та від 16,5 до 2,1 €/МВт·год (Правила 2021). Найвищі значення спостерігаються у грудні, найменші – у серпні.

Рис. 2. Питомі витрати на небаланси електроенергії за двома підходами [1, 2] та їх кількісна різниця

Характерним вважаємо тренд збільшення питомих витрат в осінньо-зимово-весняний період, що пов'язано насамперед із пропорційним зниженням обсягів відпуску електроенергії у періоди нестабільних погодних умов.

Різниця витрат при застосуванні двох підходів до розрахунку в 2020 році представлена ламаною лінією на рис. 2, з коливаннями від 15–17 до 30 % та аутлаєрами 42,4 та 13,3 % у лютому та квітні відповідно. У період з червня по вересень ця різниця більш стабільна: 21–30 %. У цілому друга половина року демонструє стабільний спадний тренд різниці: від 28–30 % у червні-липні до 15 19 % – у жовтні-грудні.

Найбільш характерними (такими, що наближаються до середньорічного значення – 21,1 %) можна визначити серпень та листопад, із 21,4 та 21,7 % відповідно. Варто відмітити нехарактерну флуктуацію значень у період із січня по травень. Поведінка у вигляді спадання витрат у лютому та квітні та відставання у січні, березні й травні може бути пов'язана з нехарактерними погодними умовами для цього періоду саме у 2020 році, а також із тим, що певні ФЕС були введені в експлуатацію протягом цього періоду, а тому не брали участі у розрахунках, що передували такій події.

Враховуючи очевидне прагнення виробників із ВДЕ до зменшення власних витрат, відмітимо як висновок, що Правила 2021 повністю відповідають Правилам ринку електричної енергії [4], відповідно до яких, врегулювання небалансів на ринку електричної енергії здійснюється окремо від БР та, відповідно, з дисконтом відносно напрямку небалансу. З іншого боку, зваження результатів окремого виробника до результатів балансувальної групи фінансово є суперечливим, оскільки передбачає включення до розрахунку випадків у які результат окремого виробника не погіршують, а, навпаки, покращують результати балансувальної групи.

Оптимальною є модифікація правил розрахунку частки вартості врегулювання небалансу, яка включає умови зважування результатів балансувальної групи з умовами виникнення нарахувань Правил 2019, беручи до уваги при цьому актуальний порядок дисконтування при врегулюванні небалансів згідно з Правилами 2021.

Література:

1. Постанова НКРЕКП № 641 від 26.04.2019 "Про затвердження нормативно-правових актів, що регулюють діяльність гарантованого покупця та купівлі електричної енергії за «зеленим» тарифом та за аукціонною ціною".
2. Постанова НКРЕКП № 46 від 15.01.2021 "Про затвердження Змін до постанови НКРЕКП від 26 квітня 2019 року № 641".
3. Закон України "Про ринок електричної енергії".
4. Постанова НКРЕКП "Про затвердження Правил ринку" № 307 від 14.03.2018.

УДК 338; 351

ПРО ЕФЕКТИВНІСТЬ ЕКОНОМІЧНИХ МОДЕЛЕЙ РОЗВИТКУ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ

А. Кутасєв

*Національний університет «Києво-Могилянська академія», керівник Центру енергоменеджменту, здобувач кафедри маркетингу та управління бізнесом, 04070, Київ, вул. Сковороди, 2
+38 095 386 7537; e-mail: a.kytaiev@ukma.edu.ua*

Розвиток відновлюваної енергетики в Україні є визначеним пріоритетом державної політики, який відповідає світовим тенденціям розвитку енергетики та стратегічним вимогам щодо зміцнення енергетичної стійкості країни.

Тим часом криза дефолту, що розгортається в 2020 році на ринку електроенергії на тлі пандемії Covid-19, створює передумову для невиконання зобов'язань ряду державних енергетичних компаній через завищені фінансові зобов'язання щодо придбання зеленої електроенергії.

За таких умов пошук ефективних економічних моделей для розвитку зеленої генерації стає одним із пріоритетів для дослідників та практиків у галузі енергетичних проектів

Ключові слова: енергія, відновлювана енергія, ринок електроенергії, сонячні електростанції, економічні моделі, автономні енергетичні системи, електромобілі, зарядні пристрої, нічний тариф на електроенергію

ABOUT THE EFFECTIVENESS OF ECONOMIC MODELS FOR THE DEVELOPMENT OF RENEWABLE ENERGY IN UKRAINE

A. Kytaiev,

*Head of the Center for Energy Management National
University Kyiv-Mohyla Academy, aspirant of the Department
of Marketing and Business Management
+38 095 386 7537*

The development of renewable energy in Ukraine is a definite priority of state policy, which corresponds to global energy development trends and the strategic demand for strengthening the country's energy sustainability.

Meanwhile, the default crisis unfolding in 2020 in the electricity market against the background of the Covid-19 pandemic, creates a precondition for the default of a number of state-owned energy companies due to inflated financial obligations to buy green electricity.

Under such conditions, the search for effective economic models for the development of green generation becomes one of the priorities for researchers and practitioners in the field of energy projects.

The purpose of the study is to systematize the problems of existing projects of solar power plants focused on the sale of electricity at a green tariff, and to develop criteria for developing economic models of autonomous solar power plants focused on meeting market demand of target audiences.

In order to avoid crisis processes in the energy sector of Ukraine, state bodies should stimulate projects for the development of alternative energy for autonomous and sustainable local energy system.

Keywords: *energy, renewable energy, electricity market, solar power plants, economic models, autonomous energy systems, electric cars, chargers, night electricity tariff.*

ORCID: 0000-0001-5860-8690.

Ситуація на енергетичному ринку України в 2020 році

Протягом 2020 року в Україні на фоні пандемії Covid-19 розгортається криза неплатежів на ринку електричної енергії, що пов'язано з провалами в реалізації енергетичної політики в Україні та непрофесійними діями в державній системі управління [1].

12 червня 2020 року прем'єр-міністром України було підписано Меморандум про взаєморозуміння з інвесторами у відновлювану енергетику, який зафіксував згоду інвесторів у сонячні та вітрові електростанції на добровільне зниження гарантованого державою доходу через зниження тарифу на вироблену електроенергію в обмін на зобов'язання держави забезпечити вчасні розрахунки із реструктуризацією заборгованості, що виникла.

Положення меморандуму були закріплені відповідним Законом України, який набрав чинності з 1 серпня 2020 року. Станом на 1 серпня борги за вироблену «зелену» електроенергію складали 22,4 млрд грн. 40 % від цієї суми, тобто 9 млрд грн, уряд має виплатити до кінця грудня, решту 60 % (13,4 млрд грн) – протягом наступного року, по 15 % загальної суми боргу щоквартально.

Ситуація критичної заборгованості на ринку електроенергії виникла через провали в адмініструванні Плану розвитку генерації з ВДЕ до 2020 року з боку Державного агенства з енергоефективності України, які призвели до виникнення суттєвого дисбалансу розвитку генерації з ВДЕ, що проявилось у перевищенні квоти на будівництво СЕС на 150 %, та недосягненні передбачених Планом показників для ВЕС – лише 50 % запланованих, та електростанцій на БІО-паливі – лише 20 %. Неконтрольована видача технічних умов (ТУ) для будівництва незапланованих СЕС з боку державної компанії – оператора енергетичних мереж «УкрЕнерго» – призвела до створення умов для отримання кредитів та залучення

інвестицій на будівництво СЕС встановленою потужністю 12 ГВт на суму до **€7,2 млрд**, що перевищує показник передбачений Планом в 5,2 раза.

Побудова у найкоротший термін та введення в експлуатацію СЕС загальною потужністю 12 ГВт приведе до річної виробітки сонячної електроенергії в обсязі 14,4 млрд кВт*год із подальшим виникненням гарантованих державою зобов'язань з її викупу на суму **66,240 млрд грн** на рік.

Така ситуація в умовах обмеження попиту на електроенергію на фоні заходів з протидії пандемії Covid-19, створила умови для виникнення кризи неплатежів на енергетичному ринку України, який у 2019 році складав **153,967 млрд кВт*год** на суму **245,453 млрд грн** із долею всіх ВДЕ **22,487 млрд грн** (9 % платежів ринку) за вироблені 3,6 % електроенергії.

У контексті критеріїв енергетичної стійкості для України стає критичним питання суттєвого зниження «зеленого» тарифу для СЕС, бо у іншому разі такі дії призведуть до різкого зростання ціни на електроенергію для споживачів, втрати високотехнологічних робочих місць в галузі та створення несприятливих умов для промислового виробництва в Україні.

Скорочення попиту на електроенергію через пандемію Covid-19, брак коштів на ринку та неефективні дії з адміністрування розвитку ВДЕ вже призвели до виникнення дефіциту обігових коштів та згортання програм планових ремонтів блоків українських АЕС, що створює умови для системної кризи галузі атомної генерації України.

Тож при існуючій економічній моделі функціонування енергетики в Україні, розвиток відновлюваної енергетики буде істотно економічно обмежений. Зокрема, за умов збереження існуючого співвідношення між обсягом платежів та обсягом генерації з ВДЕ відносно загального балансу генерації та платежів (9 %/3,6 %) буде реалізовуватись три сценарії:

✓ доведення до кризи існування державних генеруючих компаній «ЕнергоАтом» та «УкрГідроЕнерго»

через критичне зниження їх рентабельності, що ми спостерігаємо;

✓ балансування на межі беззбитковості компаній відновлюваної енергетики;

✓ збільшення ціни на електроенергію в 2,5 рази, за умови стовідсоткового переходу всіх споживачів українського ринку на зелену енергію.

Всі сценарії є негативними, бо ведуть до виникнення суттєвої соціальної напруги в суспільстві через скорочення та втрату робочих місць навколо містоутворювальних підприємств, банкрутства компаній, що генерують енергію з ВДЕ, відтоку інвестицій у галузь відновлюваної енергетики та істотне збільшення фінансового навантаження на домогосподарства.

За таких обставин вкрай гостро постає проблема розробки економічних моделей для розвитку альтернативної енергетики, що орієнтовані на збереження ціни продажу електроенергії через скорочення ланцюгів доданої вартості або створення вертикально інтегрованих систем локальної генерації для сталого розвитку.

Висновки:

1. Поточна ситуація на енергетичному ринку України, що характеризується кризою платежів та свідомими діями уряду зі зниження «зеленого» тарифу для генерації з ВДЕ, свідчить про недієздатність діючої економічної моделі продажу електроенергії.

2. Практика реалізації проєктів будівництва СЕС в Україні свідчить про кризу довіри інвесторів до української юрисдикції через непрогнозовані зміни тарифів, що ставлять діючі проєкти з залученим ресурсом на грань окупності.

3. За умов необхідності збереження тренду на розвиток ВДЕ в Україні, що є неможливим без гармонізації відносин з інвесторами та залучення зовнішнього фінансування для будівництва нових генерувальних потужностей, вбачається доцільним враховувати ризики щодо суттєвого зменшення

операційного прибутку проєктів, що орієнтовані лише на «зелений» тариф або «зелені» аукціони.

4. З метою підвищення прибутковості продажу електроенергії, що виробляється альтернативною енергетикою, вбачається доцільним здійснювати пошук ефективних економічних моделей, що орієнтовані на скорочення ланцюга доданої вартості у частині послуг з транспортування, трансформації та продажу.

5. Для досягнення балансу між генерацією СЕС та споживанням виробленої електроенергії з метою уникнення потенційних втрат електроенергії, що відправлена в мережу, але не знайшла свого покупця, в структуру генерувальних модулів необхідно включати системи накопичення енергії (СНЕ).

Література:

1. Kytaiev A, Chala N, Androsov Y. Failures of energy policy in Ukraine in the context of energy security priorities. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal*. 2020;23 (3):111–124. doi:10.33223/epj/127509 *Energy Policy Journal* <https://epj.min-pan.krakow.pl/>

УДК 621.22.004

ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ СПІЛЬНОЇ РОБОТИ ГІДРОАКУМУЛЮВАЛЬНОЇ ТА ВІТРОЕЛЕКТРО СТАНЦІЇ У СКЛАДІ АВТОНОМНОЇ ЕЛЕКТРОСИСТЕМИ

A.П. Вербовий¹, С.Т. Пазич²,

*Інститут відновлюваної енергетики НАН України,
вул. Гната Хоткевича, 20а, м. Київ, 02094, Україна,
тел.: +38(044)206-28-09, e-mail: hydro@ive.org.ua*

*Сформульовані задачі дослідження спільної роботи
гідроакумулювальної електростанції та
вітроелектричної станції у складі автономних
електросистем.*

Ключові слова: відновлювані джерела енергії,
вітроелектрична станція, гідроакумулювальна
електростанція.

PROBLEMS OF RESEARCH OF JOINT WORK OF PUMPED STORAGE HYDROELECTRICITY AND WIND POWER STATION WITHIN THE AUTONOMOUS ELECTRICAL SYSTEM

A.Verboviy¹, S.Pazych²,

*Institute of Renewable Energy, National Academy of Science
of Ukraine, 20a Hnata Khotkevicha str., Kyiv, Ukraine, 02094*

*The tasks of research of joint work of pumped storage
hydroelectricity and wind power station as a part of autonomous
electric systems are formulated.*

Keywords: renewable energy, wind power plant, pumped
storage hydroelectricity.

ORCID: ¹0000-0003-2838-6032, ²0000-0002-6310-9842.

Виробництво електроенергії від відновлюваних
джерел енергії (ВДЕ) у світовому енергетичному балансі

впевнено зростає. ВДЕ склали майже 90 % всього приросту потужності електроенергії в 2020 році. Про це наголошується у звіті Міжнародного енергетичного агентства (IEA) [1]. Згідно зі звітом, виробництво енергії з відновлюваних джерел у 2020 році глобально виросте на 200 ГВт (+ 7 %). В Україні на сьогодні цей показник досягає 20 % навантаження електроенергетичної мережі.

У наступні декілька років кількість вітроелектричних станцій (ВЕС) та фотоелектричних станцій (ФЕС) в централізованій мережі України має зрости на декілька сотень мегават. Виробництво енергії ВЕС має ймовірнісний характер і не збігається з графіком споживання енергії в електроенергетичній системі, оскільки процес генерації ВЕС характеризується нестабільністю параметрів електроенергії, зумовленою пульсаціями швидкості вітру. Балансування електроенергії від ВЕС можливо здійснити шляхом накопичення цієї енергії з подальшим її використанням для потреб споживача. Як накопичувачі значної потужності, що здатні працювати з потужними ВЕС, можуть виступати гідроакумулювальні електростанції (ГАЕС) [2, 3]. У світі значна частка ВЕС розташовані біля моря, що сприяє дослідженню процесу гідроакумулювання енергії вітру на морській воді. Наразі проблема акумулювання енергії від ВДЕ в значних обсягах перебуває на початковому етапі. Існують реалізовані проєкти та пропозиції накопичення енергії ВДЕ за рахунок хімічних джерел струму (літій-іонних батарей), але вони не дають змоги повноцінно вирішити проблему стохастичності первинного джерела при великих значеннях потужностей. Проблема інтеграції ВЕС у різноманітні електросистеми з використанням різних способів балансування енергії вітру не нова.

Основна проблема ідеї накопичення енергії вітру полягає в наявності пульсацій вітрового потоку і наслідках, які вони спричиняють при перетворенні одного виду енергії в інший [4]. Одним із можливих шляхів рішення цієї проблеми для стійкого функціонування автономної чи

малопотужної електросистеми є коректне відстеження, контролювання та регулювання енергетичних параметрів генерувального комплексу ВЕС та споживального комплексу ГАЕС і узгодження генерації та споживання між ними. Для цього необхідно розв'язати такі задачі:

- визначити умови ефективного перетворення кінетичної енергії вітру в потенціальну енергію води;

- створити математичну модель вітрової турбіни на основі аеродинамічних характеристик швидкохідної вітротурбіни;

- розробити математичну модель гідротурбіни на основі повної 4-квадрантної характеристики (насос–турбіна) як залежність витратної та механічної характеристик від частоти обертання гідротурбіни з фіксованим напором води;

- розробити динамічні математичні моделі, які описують спільне функціонування ВЕС та ГАЕС;

- розробити алгоритми контролю та регулювання енергетичних параметрів при перетворюванні одного виду енергії в інший;

- визначити умови адаптації ГАЕС для ефективної та узгодженої роботи з ВЕС;

- визначити оптимальні співвідношення потужностей ВЕС та ГАЕС;

- визначити енергетичну ефективність комплексу ВЕС–ГАЕС у порівнянні з іншими видами накопичення енергії.

Розв'язання поставленої проблеми та досягнення означених цілей допоможе закласти підґрунтя для розширення використання «зеленої енергії», що суттєво зменшить залежність від викопного палива в майбутньому.

Література:

1. IEA (2020), *Renewables 2020*, IEA, Paris
<https://www.iea.org/reports/renewables-2020>.

2. П.Ф. Васько, А.П. Вербовий, М.Р. Ібрагімова, С.Т. Пазич. Гідроакумульовальні електростанції – технологічна основа інтеграції потужних вітро- та фотоелектричних станцій до складу електроенергетичної системи України // Гідроенергетика України. – 2017. – № 1-2. – С.20–25.

3. Vasko, A., Verbovij, A., Moroz, S., Pazych M., Ibragimova and L. Sahno. "Concept of Accumulation of Energy from Photovoltaic and Wind Power Plants by Means of Seawater Pumped Hydroelectric Energy Storage" *2019 IEEE 6th International Conference on Energy Smart Systems (ESS)*, Kyiv, Ukraine, 2019, p. 188–191.

4. Васько П.Ф., Вербовий А.П., Пазич С.Т. Реалізація стохастичної моделі поздовжньої складової швидкості вітру для задач вітроенергетики // Відновлювана енергетика. – 2017. – № 3. – с. 54–61.

УДК 621.311

ЗАСТОСУВАННЯ НАКОПИЧУВАЧІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В ЛОКАЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

М.П. Болотний

*Національний технічний університет України «Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
кафедра відновлюваних джерел енергії, пр. Перемоги, 37,
Київ, 03056, Україна, тел./факс +38(044)-204-82-33, e-mail:
nickolai2007@ukr.net*

У статті розглянуті питання застосування систем накопичення електричної енергії з метою симетрування електричних навантажень і компенсації реактивної потужності в локальних електричних мережах. На підставі розрахунку параметрів традиційних симетрувальних пристроїв на базі конденсаторів розроблені рекомендації з вибору номінальної потужності перетворювача системи накопичення електричної енергії. Застосування системи накопичення електричної енергії є ефективним рішенням для симетрування електричного навантаження в чотирьох провідних мережах 0,4 кВ із глухозаземленою нейтраллю.

Ключові слова: локальна електрична мережа, система накопичення електричної енергії, трансформаторна підстанція.

APPLICATION OF BATTERY ENERGY STORAGE IN LOCAL ELECTRICAL GRIDS

N.P. Bolotnyi

*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv
Polytechnic Institute", Department of Renewable Energy
Sources, Peremogy, 37, Kyiv 03056, Ukraine,
tel./fax: +38(044)204-82-33, e-mail: nickolai2007@ukr.net*

The article considers the application of battery energy storage in order to balance electrical loads and increase power factor in local electrical grids. Based on parameters calculation of traditional balancing devices with capacitors, recommendations for converter rated power selection of the battery energy storage system have been developed. Using of battery energy storage system is an effective solution for balancing the electrical load in four wired 0,4 kV power grids with a grounded neutral.

Keywords: local electrical grid, battery energy storage, transformer substation.

ORCID: 0000-0002-7366-2430.

Підвищення ефективності функціонування локальних електричних мереж передбачає вирішення актуального питання поліпшення якості та зменшення втрат електричної енергії, особливо в умовах об'єктивно несиметричної роботи споживачів комунальних розподільних мереж напругою 0,38 кВ із глухозаземленою нейтраллю. Несиметрія струмів зумовлена роботою комунально-побутового електричного навантаження, основну частину якого становлять нерівномірно розподілені однофазні струмоприймачі, що мають стохастичний характер споживання електричної енергії [1]. На рис. 1 в загальному випадку для електричної мережі 0,38 кВ представлені найбільш характерні несиметричні режими роботи.

Рис. 1

Зазвичай для симетрування струмів навантаження в мережі 0,4 кВ у розподільних мережах 6–10 кВ із трансформаторами 6–10/0,4 кВ зі схемою з'єднання обмоток «трикутник (або зірка) – зірка з нульовим провідником» застосовуються батареї конденсаторів, з'єднані за схемою трикутника з різними значеннями ємностей [1], які здійснюють часткову або повну компенсацію струму в зворотній послідовності.

Однак підключення систем накопичення електричної енергії, що працюють за принципом активного фільтра, до шин 0,4 кВ трансформаторної підстанції (ТП) дозволяє принципово змінити підхід до симетрування електричного навантаження і компенсації реактивної потужності в розподільних електричних мережах.

Для визначення параметрів системи накопичення електричної енергії, необхідних для симетрування електричного навантаження та компенсації реактивної потужності, виконано порівняння вимог потужності традиційних батарей конденсаторів (БК), підключених до ЛЕП 10 кВ, і потужності системи накопичення електричної енергії, підключеної до шин 0,4 кВ ТП, здатної згенерувати співмірну величину реактивної потужності.

На основі проведеного статистичного аналізу параметрів обладнання локальної електричної мережі було виявлено, що найбільша кількість ТП мають трансформатори потужністю 630 кВА. Із умови максимального вирівнювання добового графіка електричних навантажень на шинах ТП було додатково прийнято, що максимальний вихідний струм перетворювача системи накопичення електричної енергії повинен відповідати 39 % номінального струму трансформатора ТП 10/0,4 кВ. Як приклад було розглянуто варіант підключення до шин 0,4 кВ ТП трьох однофазних навантажень потужністю 10, 12 і 17 % номінальної потужності трансформатора на лінійні напруги АВ, ВС і СА, що в сумі приблизно відповідає прийнятій номінальній потужності системи накопичення електричної енергії.

Використовуючи методику розрахунку батареї конденсаторів [2], визначено струм несиметричного навантаження зворотної послідовності, який на стороні обмотки високої напруги трансформатора становить 7,4 А. Необхідна реактивна потужність БК для повного симетрування навантаження ТП з трансформатором потужністю 630 кВА складе 128,8 кВАр. Тоді перетворювачу системи накопичення електричної енергії потужністю 233,1 кВА на виході потрібно підтримувати коефіцієнт потужності, що дорівнює 0,84. Потужності перетворювача системи накопичення електричної енергії, обраного за умови оптимізації графіка навантаження на шинах ТП, достатньо для симетрування навантаження за рахунок генерації необхідної реактивної потужності.

Література:

1. Управление качеством электроэнергии / И.И. Карташев [и др.]; под ред. Ю.В. Шарова. М.: Изд-во МЭИ, 2006. 320 с.
2. Жежеленко И.В., Саенко Ю.Л. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях. 3-е изд., перераб. и доп. М: Энергоатомиздат, 2000. 252 с.

УДК 621.311

УПРАВЛІННЯ РИЗИКОМ ПОРУШЕННЯ СТІЙКОСТІ ВУЗЛА НАВАНТАЖЕННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ГЕНЕТИЧНОГО АЛГОРИТМА

М.В. Костерев¹, Р.В. Вожаков²

*Національний технічний університет України «Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна, тел.:
+38(044)204-82-33, e-mail: vozhakovr@fea.kpi.ua*

*У роботі запропоновано спосіб підбору потужності,
яку потрібно відключити для збереження стійкості вузла
навантаження при відмовах електрообладнання.*

Ключові слова: *стійкість, вузол навантаження,
автоматичне відключення навантаження, генетичний
алгоритм.*

RISK MANAGEMENT OF LOAD UNIT RESISTANCE VIOLATION USING A GENETIC ALGORITHM

N. Kosterev, R. Vozhakov

*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv
Polytechnic Institute", 37, Prosp.Peremohy, Kyiv, Ukraine,
03056*

*The article proposes a method of selecting the power that
must be turned off to maintain the stability of the load node in
case of failure of electrical equipment.*

Keywords: *stability, load node, automatic load shutdown,
genetic algorithm.*

ORCID: ¹0000-0001-5601-2607, ²0000-0001-8534-6227.

При відмовах електрообладнання виникає ризик порушення стійкості вузлів навантаження електроенергетичної системи (ЕЕС). Для збереження

стійкості передбачена система автоматичного відключення навантаження (САН), яка відключає деяких споживачів з певним навантаженням. Тож постає задача визначення оптимального складу і величини навантаження, яке потрібно відключити для забезпечення стійкості вузла навантаження.

Нехай в системі є n елементів обладнання. Відомі ймовірності їх відмов P на інтервалі часу. Проведено статистичне моделювання та визначено ризик виникнення порушення стійкості вузла навантаження при відмовах обладнання:

$$R = \sum_{j=1}^L \sum_{i=1}^K P(S_i) \cdot P(H_j | S_i) M_j ,$$

де: L – число можливих аварійних сценаріїв; K – кількість одиниць обладнання, встановленого в підсистемі ЕЕС; M_j – наслідки при виникненні аварійної ситуації; $P(H_j | S_i)$ – ймовірність виникнення конкретної j -ої аварійної ситуації в результаті відмови i -го елемента (збурення); $P(S_i)$ – ймовірність відмови i -го елемента на інтервалі Δt .

Виявлено обладнання, відмова якого призводить до порушення стійкості в післяаварійному режимі. Для кожного з цих нестійких режимів потрібно визначити мінімальну величину потужності навантаження, яку необхідно відключити для збереження стійкості. Слід зауважити, що при відмовах різного устаткування індекс стійкості буде різним: $VC = \Delta Q_{нб} / \Delta U$.

Вузол навантаження складається з великої кількості споживачів зі своєю індивідуальною потужністю S_i . Необхідно вибрати сумарну потужність відключення $S_b = \sum S_i$, таку, щоб зберігалася стійкість навантаження і індекс VC був не менший заданого: $VC \geq VC_3$

Потужність навантаження, що має бути відключено, можна представити у вигляді:

$$S_b = k_1 S_1 + k_2 S_2 + \dots + k_n S_n , \quad (1)$$

де k_i приймає значення 0 або 1.

Завдання знаходження потужності навантаження, яке необхідно відключити, сформулюємо так: знайти значення змінних k_i в рівнянні (1), щоб виконувалися нерівності $VC = \Delta Q_{нб} / \Delta U < 0$, $VC \geq VC_3$ і при цьому б забезпечувався мінімум функції цих змінних $S_b \rightarrow \min$.

Цю задачу пропонується вирішити з застосуванням генетичного алгоритму:

1. Випадковим чином формується початкова популяція, що складається з номерів навантаження, які мають k_i рівне 1. Для кожного розв'язку, що входить в популяцію, проводиться розрахунок стійкості в післяаварійному режимі при відмові даного обладнання. Залишаються розв'язки, для яких $VC = \Delta Q_{нб} / \Delta U < 0$.

2. За функцією корисності (1) оцінюється кожний розв'язок і відкидаються ті, які мають найгіршу ФП. (прийнятними вважаються розв'язки з найменшими S_b).

3. З тих розв'язків, які залишились (елітних хромосом), випадковим чином формуються батьківські пари (методом Монте Карло або через ГВЧ).

4. Операція схрещування (кросовер). У обох батьків є свої хромосоми. Випадковим чином вибирається точка схрещування (розділова лінія), в якій хромосоми діляться на дві частини і обмінюються ними. Виходить нащадок. Для покоління нащадків можна виконати операцію мутації: замінити один або кілька генів випадковим чином.

5. Визначається ФП нащадків.

6. Порівнюються ФП і батьків і нащадків. Дотримуючись принципу незмінності розміру популяції, відкидаємо «особини» з найменшими ФП.

7. Формуванням нової популяції закінчується одна ітерація ГА. Наступна починається з п.2.

8. Розв'язок приймається, коли попередня і наступна популяції збігаються.

Розв'язком є найменше навантаження (позначимо його S_{b1}), при якому зберігається стійкість. Таким чином, САВН для збереження стійкості відключить найменше навантаження S_{01} при відмові даного обладнання.

Переходимо до розгляду другої відмови обладнання, що призводить до порушення стійкості. Отримаємо друге рішення $S_{в2}$. Аналогічно визначаємо $S_{ви}$ для всіх інших відмов обладнання. Вибираємо величину потужності навантаження, що буде відключатись $S_{в} = \max\{S_{ви}\}$.

Визначаємо ризик порушення стійкості з урахуванням того, що САВН відключила потужність навантаження $S_{в}$ в даному вузлі. Порушення стійкості може відбутися в інших вузлах ЕЕС. Тому визначаємо аналогічним чином уставку САВН в інших вузлах.

Процедура повторюється поки ризик не задовольнить експерта.

Література:

1. Будылина Е.А., Гарькина И.А., Данилов А.М. Моделирование с позиций управления в технических системах. / Региональная архитектура и строительство, № 2, 2012. С. 138–142.

2. Плющ А.А., Голованов О.А., Данилов А.М., Гарькина И.А. Обобщенная математическая модель управления безопасностью арсеналов и баз хранения боеприпасов. / Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – № 1. 2007. С. 241–246.

УДК 621.311

ОЦІНКА ПОКАЗНИКІВ БАЛАНСОВОЇ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ З ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ

Ю.П. Матєєнко¹, Р.В. Вожаков²

*Національний технічний університет України «Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна, тел.:
+38(044)204-82-33, e-mail: vozhakovr@fea.kpi.ua*

У роботі запропоновано спосіб оцінки надходження енергії від відновлюваних видів енергії на показники балансової надійності електроенергетичних систем.

Ключові слова: електроенергетичні системи, відновлювані джерела енергії, балансова надійність.

EVALUATION OF BALANCE RELIABILITY INDICATORS OF ELECTRIC POWER SYSTEMS WITH RENEWABLE ENERGY SOURCES

Y. Mateienko¹, R. Vozhakov²

*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv
Polytechnic Institute", 37, Prosp. Peremohy, Kyiv, Ukraine,
03056*

The article presents method of estimating energy supply from renewable energy sources to indicators of balance reliability of electric power systems.

Keywords: power systems, renewable energy sources, balance sheet reliability.

ORCID: ¹0000-0002-2699-0888, ²0000-0001-8534-6227.

Електрична енергія, яка генерується відновлюваними джерелами енергії (ВДЕ), носить імовірнісний характер. Впродовж доби потужність таких типів електростанцій може

змінюватись від максимального до мінімального значення не один раз. Для надійного забезпечення споживачів електричною енергією в електроенергетичній системі (ЕЕС) повинен зберігатись баланс активної потужності. Для цього ЕЕС повинна мати певну кількість генерувальних потужностей, які можуть змінювати свою потужність у відповідності до зміни навантаження. Збільшення в балансі ЕЕС частки електростанцій негарантованої потужності від ВДЕ може привести до зростання варіативності навантаження балансувальних електростанцій, де виникне проблема балансування активної потужності.

Оцінка оптимальності побудови ЕЕС потребує критеріїв, що характеризували б відповідність поставленим вимогам. Традиційний підхід до оцінки правильності конфігурації потужностей полягає у забезпеченні балансової надійності або адекватності системи генерації. При цьому на перший план виходять показники забезпечення попиту. Однак при оцінці економічних показників енергосистем, що використовують ВДЕ, потрібно зважати також на раціональне використання виробленої енергії. Базовими показниками адекватності генерування стосовно рівня споживання вважаються такі індекси, як очікувана втрата навантаження *LOLE*, імовірність втрати навантаження *LOLP*, частота втрати навантаження *LOLF* та тривалість втрати навантаження *LOLD*, а також індекс очікуваної недоданої енергії *EENS* [1, 2]. Обсяг недоданої енергії через невідповідну генерацію визначається такими індексами, як очікувана втрата енергії *LOEE*, чи імовірність втрати енергії *LOEP*.

Існують різні підходи до визначення таких індексів. Концептуально вони визначаються такими виразами:

$$LOLE = \sum_{i \in S} p_i T_i, \quad (1)$$

де: p_i – імовірність перебування системи в i -му стані, S – множина всіх станів системи, що асоціюються з втратою навантаження, T_i – тривалість стану. Зазвичай *LOLE* – це

середня кількість днів чи годин за певний період, коли навантаження перевищують досяжну потужність генерації.

Інший схожий показник, що застосовується при вивченні надійності енергосистеми, – імовірність втрати навантаження *LOLP*. Це прогнозована кількість часу в довгостроковій перспективі, коли очікуване навантаження буде більшим, ніж потужність наявних генерувальних потужностей. Одне з формулювань цього індексу [1]:

$$LOLP = \sum_j P[C_j] P[L_j > C_j], \quad (2)$$

де: $P[C_j]$ – імовірність певної потужності, C_j – досяжна в j -й відрізок часу генерована потужність, L_j – навантаження.

Індекси (1) та (2) пов'язані залежністю:

$$LOLE = LOLP \cdot T, \quad T = \sum_i T_i \quad (3)$$

Слід зазначити, що індекси *LOLP* чи *LOLE* не відображають сумарний дефіцит потужності, який виникає в моменти, коли відбуваються відключення споживачів. Крім того, важливо усвідомлювати, що години *LOLE* не є часом, протягом якого відбувається серйозне відключення, яке залишає цілі ринкові зони без енергії.

Існують також інші способи оцінки надійності енергозабезпечення.

При виникненні дефіциту генерації ЕЕС вживає заходів для його усунення, тобто неможливо розглядати стан ЕЕС в певний час конкретної доби як незалежний від суміжних. Тому критерій *LOLE* сьогодні є найбільш використовуваним у світі для оцінки балансової надійності.

Значення показника балансової надійності повинно вибиратися на основі визначення того рівня надійності покриття потреб споживачів в електроенергії, при якому додаткові витрати на його підвищення для ЕЕС стають більшими, ніж компенсація імовірного рівня збитків споживачів. Звісно, такий підхід потребує постійного корегування значень показників балансової надійності під впливом зміни вартості додаткової генерації, необхідної для покриття дисбалансів в умовах лібералізованого ринку

електроенергії та рівня збитків від перерв в електропостачанні у окремих груп споживачів.

Висновки

Потенціал розвитку відновлюваних джерел енергії на ринку електроенергії України досить великий, оскільки з кожним роком відсоток ВДЕ в енергосистемі зростає і потрібно правильно оцінювати й оптимізувати графік завантаження для забезпечення балансової надійності

Література:

1. Billinton R. Reliability Assessment of Electric Power Systems Using Monte Carlo Methods / R. Billinton – Springer Science+Business Media, LLC. 1994. – 361 p.
2. Кузнєцов М.П. Особливості стохастичної оптимізації гібридних енергосистем на базі ВДЕ / М.П. Кузнєцов, О.В. Лисенко, О.А. Мельник // Відновлювана енергетика. – 2018. – № 2. – С. 6–15.
6. Interim Report of the Sector Inquiry on Capacity Mechanisms, Report from the Commission, Brussels [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://ec.europa.eu/competition/sectors/energy/capacity_mechanism_report_en.pdf.

УДК620.92:005.21

РОЗУМНІ МІКРОЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ В СТРАТЕГІЇ РОЗВИТКУ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

Ю.В. Немченко, канд.пед. наук, доцент
Національний педагогічний університет
Імені М.П. Драгоманова

У доповіді розкривається роль «розумних» та мікроенергетичних систем в умовах трансформації електроенергетики України, аналізуються перспективи їх взаємодії.

Ключові слова: розумні енергомережі, мікромережі, відновлювані джерела, енергетична інфраструктура.

SMART MICRO ENERGY SYSTEMS IN THE RENEWABLE ENERGY DEVELOPMENT STRATEGY

Y. Nemchenko, Ph.D., Associate Professor
National Pedagogical Drahomanov University

The report reveals the role of smart and micro energy systems in the transformation of the Ukrainian electric power industry. The prospects for the interaction of the systems are analyzed.

Keywords: smart power grids, microgrids, renewable sources, energy infrastructure.

ORCID: 0000-0001-5081-3163.

Стрімка урбанізація і глобальні кліматичні зміни спонукають людство зосередити увагу на вирішенні проблем раціонального використання ресурсів. Економічно розвинені країни серед пріоритетів розвитку визначили раціональне використання енергії та перехід до

відновлюваних джерел енергії. Окремі островки такої концепції з'являться найближчим часом у Європі. Так, Мюнхен і Копенгаген планують до 2025 року повністю перейти на використання енергії з відновлюваних джерел.

Натомість в українській енергетиці спостерігаються зовсім інші процеси. За даними асоціації операторів електричних мереж, загальний показник зношеності інфраструктури становить понад 70 %, що призводить до високого рівня аварійності, значних втрат енергії (до 15 млрд кВт-год), низької надійності та якості постачання енергії споживачам.

Для вирішення існуючих викликів у складних енергетичних об'єднаннях у міжнародній практиці сформувалася концепція SmartGrid (розумні електричні мережі), яка є природним етапом еволюції енергетичної системи. Реалізація принципів функціонування SmartGrid дозволяє автоматизувати системи моніторингу, забезпечити інтелектуальне керування та захист енергетичної системи, виключивши людський фактор, суттєво знизити показник SAIDI та втрати енергії (до 25 %).

Важливим результатом запровадження концепції SmartGrid є збалансована інтеграція відновлюваних джерел до існуючої енергосистеми, впровадження засобів акумулювання енергії, які віддають електроенергію в мережу в період пікового споживання. Важливим елементом системи SmartGrid є використання швидкодіючих регуляторів потоків потужності та напруги, які миттєво в автоматичному режимі реагують на зміни споживання енергії. Запровадження такої системи дозволяє контролювати в реальному часі якість електропостачання та вести інтелектуальний облік спожитої електроенергії, сприяє покращенню розрахунків між учасниками ринку, унеможливорює крадіжку.

Одним із наслідків формування мереж SmartGrid є розвиток так званих мікромереж (microgrid). Такий крок у розвитку енергосистеми дає змогу забезпечити регіональну енергонезалежність, що значно зменшує проблеми

енергопостачання у віддалених та ізольованих регіонах, які отримують енергію однією досить протяжною віткою. Формування таких мікромереж зовсім не передбачає повне відключення від глобальних мереж і зорієнтоване на формування іншої структури спільної розподіленої мережі, в якій окремі учасники автономно генерують і накопичують енергію з різних джерел та обмінюються нею в разі потреби.

Принцип розподіленої енергогенерації та максимальне використання відновлюваних джерел енергії закладено в основу трансформаційних процесів енергетики ЄС. Енергосистеми майбутнього орієнтуються на функціонування великої кількості мікромереж, які здатні автономно забезпечувати себе енергією, уникаючи проблем пов'язаних з перебоями енергопостачання. Власники цих мікромереж матимуть можливість отримувати та розподіляти між собою прибуток від генерації. Наближеність генерувальних потужностей до зони розташування споживачів суттєво скорочує енерговитрати на транспортування електроенергії. Привабливість таких рішень полягає у їх стійкості, надійності, ефективності й вартості. Навіть спалення викопних енергетичних ресурсів на місці споживання виявляється більш ефективним, ніж передача електроенергії з великих станцій, які споживають викопні ресурси, адже з тієї ж кількості викопного палива отримується більше енергії. При цьому близько 50 % такої енергії отримується у формі теплової енергії, яку використовують для опалення.

Ідеальною технологічною метою такої концепції є «розумний будинок» з «нульовим» споживанням енергії. Таке домогосподарство генерує енергію з відновлюваних джерел. Весь надлишок енергії віддається в централізовану енергосистему. Розгортання мікромереж є логічним продовженням руху до децентралізації виробництва енергії та переходу до відновлюваних джерел енергії.

Розвиток та впровадження SmartGrid та microgrid стримується через відсутність економічно доцільної технології накопичення надлишків енергії. Незважаючи на

прогрес у дослідженнях у цьому напрямку та зростання кількості запропонованих технологій для зберігання енергії, все ж не вдається отримати технологію з очікуваними параметрами. Серед пріоритетних є технологія накопичення електричної енергії за допомогою літій-іонних акумуляторів, які розроблені в США компанією Tesla. Подібні системи накопичення розгорнуто в деяких регіонах Європи. Однак ці системи здатні утримувати невеликі об'єми енергії протягом порівняно короткого проміжку часу. Як одна з альтернативних розглядається технологія накопичення водню, який отримують шляхом розкладання води. Його можна довгий час зберігати, транспортувати й використовувати як паливо замість природного газу.

В українських реаліях розвиток SmartGrid та microrgid стримується законодавчими обмеженнями, нестабільністю державної політики щодо підтримки профільних виробництв та допоміжних галузей, що в свою чергу суттєво гальмує розвиток альтернативної енергетики.

Отже, проведені дослідження дозволяють зробити такі висновки: запровадження SmartGrid та microrgid дасть змогу: створити основу для системної оптимізації енергоефективності; знизити об'єми нового будівництва в електроенергетиці та знизити тарифно-цінове навантаження; створити основу для ефективного управління елементами технологічного ланцюга виробництва, розподілу і споживання електроенергії: ТЕЦ, ГЕС, АЕС, вітрогенераторами, сонячними панелями, накопичувачами енергії, енергорозподільчими мережами і кінцевим споживачем.

УДК: 697.34

ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ІННОВАЦІЙ ДЛЯ ПІДПРИЄМСТВ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

В.В. Демченко¹, Л.А. Макаренко²

*Інститут технічної теплофізики НАН України, 03057,
Україна, м. Київ, вул. Марії Капніст, 2а.
тел.: +38(095)487-22-84,
e-mail: vladimirdemcenko71@gmail.com*

У глобальному енергетичному секторі відбуваються серйозні трансформації – від чимраз більшої електрифікації до розширення використання поновлюваних джерел енергії. Поряд з цим актуальними вважаються напрями створення системи централізованого теплопостачання та охолодження 4-го покоління.

Ключові слова: системи централізованого теплопостачання, тепловий акумулятор, Smart Grid.

RATIONALE FOR THE CHOICE OF ENERGY-SAVING INNOVATIONS FOR DISTRICT HEATING COMPANIES

V. Demchenko¹, L. Makarenko²

*Institute of Technical Thermophysics of the National Academy
of Sciences of Ukraine, 03057, Ukraine, Kyiv, st. Maria Kapnist
2a. tel.: +38(095)487-22-84, e-mail:
vladimirdemcenko71@gmail.com*

The global energy sector is undergoing major transformations, from increasing electrification to expanding the use of renewable energy sources. Along with this, the directions of creating the system of district heating and cooling of the 4th generation are considered relevant.

Keywords: *district heating systems, thermal energy storage, Smart Grid.*

ORCID: ¹0000-0001-6948-3926, ²0000-0001-6388-7671.

Сьогодні в Україні, особливо в містах, домінують системи централізованого теплопостачання. Тому обґрунтування вибору енергоощадних інновацій для підприємств централізованого теплопостачання є дуже актуальним завданням, яке зумовлює необхідність проведення досліджень щодо можливості використання нових джерел енергії, методів її отримання, перероблювання та зберігання. Останньою інновацією централізованого теплопостачання є мережі теплопостачання та охолодження четвертого покоління [1].

Централізоване опалення четвертого покоління (ЦО) буде доступне найближчими роками. Однак перехід від поточного ЦО другого або третього покоління є складним завданням. Для переходу на ЦО четвертого покоління потрібно розв'язувати наступні технічні проблеми: подача теплоносія до будівель із низькою температурою, інтеграція різних джерел тепла та сховищ тепла, а також розробка інтелектуальних Smart Grid мереж. При цьому необхідно враховувати енергетичний стан системи та умови експлуатації [2].

Споживачі опалення та охолодження підключені до теплової мережі четвертого покоління, яка експлуатується при температурах, близьких до навколишніх (50–30 °C). Через низькі температури тепловтрати зводяться до мінімуму. Для того щоб підвищити рівень температури для опалення приміщень або температури гарячої води для побутового використання будівлі потрібно додатково обладнати тепловими насосами. Крім того, безпосередньо в систему опалення можна подавати відходи низькосортного тепла. Це дозволяє ефективно утилізувати місцеве низькосортне відхідне тепло. В районах, де потреби в опаленні та охолодженні приблизно однакові, значну

частку теплових потреб можна збалансувати за допомогою системи четвертого покоління. Незбалансовані потреби в теплі повинні покриватися додатковими джерелами теплоти, такими як енергоємні виробництва, або котельним обладнанням [3].

Низькотемпературне централізоване опалення є ключовою технологією для енергоефективного міського теплопостачання, оскільки підтримує ефективне використання низькосортних відходів та відновлюваних джерел тепла. Низька робоча температура для таких мереж полегшує інтеграцію сезонного накопичувача теплової енергії, забезпечуючи високий ступінь експлуатаційної гнучкості при використанні як некерованих, так і контрольованих джерел тепла. Проте невіддільною проблемою оптимізації роботи мереж централізованого теплопостачання з низькою температурою та її гнучкості є основна невизначеність у потребі тепла. Це підкреслює важливість можливостей гнучкості в низькотемпературних мережах ЦО для економічного широкомасштабного впровадження акумуляторів теплоти. Встановлено, що управління попитом за допомогою теплових акумуляторів є гарним методом управління централізованим опаленням. Наші дослідження показують, що можна досягти таких переваг: зменшити пікове навантаження до 30 %, зменшити потреби у первинній енергії до 5 %, значно зменшити шкідливі викиди та витрати палива до 10 %. Це однозначно має інвестиційну привабливість та сприяє декарбонізації міських територій [4].

Довгострокова трансформація енергетики має бути направлена на розвиток чинних і створення нових функціональних властивостей енергосистеми та її елементів, які найбільшою мірою забезпечують досягнення цих ключових цінностей. Тепломережа (усі її елементи) розглядається як основний об'єкт формування нового технологічного базису, що дає можливість істотного поліпшення досягнутих та створення нових функціональних властивостей енергосистеми. Порівняльна характеристика

функціональних властивостей сучасної енергетичної системи та системи на базі концепції Smart Grid демонструє, що впровадження Smart Grid означає створення інтелектуальної дистриб'юторської мережі. Це дає змогу, на фоні старіння основних фондів і збільшення обсягів споживання, досягти збільшення прибутковості, надійності та безаварійності роботи при зниженні втрат теплоти й теплоносія в мережах. Крім того, ці системи спрямовані на підвищення операційної ефективності, оптимізації та розподілу навантаження на тепломережу [5].

Реалізація концепції Smart Grid має інноваційний характер і відображає перехід до нового технологічного укладу в енергетиці та економіці в цілому й зміцнює енергетичну незалежність держави.

Література:

1. European Commission, An EU Strategy on Heating and Cooling (2016).

URL:https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/1_EN_ACT_part1_v14.pdf

2. H. Lund, S. Werner, R. Wiltshire, S. Svendsen, J. E. Thorsen, F. Hvelplund, B. V. Mathiesen, 4th Generation District Heating (4GDH) Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems, *Energy* 68 (2014) 1–11 (2014). doi:10.1016/j.energy.2014.02.089.

3. A. Prasanna, V. Dorer, N. Vetterli, Optimisation of a district energy system with a low temperature network, *Energy* 137 (2017) 632–648 (2017). doi:10.1016/j.energy.2017.03.137.

4. B. Mohammadi-Ivatloo, F. Jabari, Operation, Planning, and Analysis of Energy Storage Systems in Smart Energy Hubs, Springer International Publishing, Cham, 2018 (2018). doi:10.1007/978-3-319-75097-2.

5. Демченко В.Г., «SMART GRID» підсистема накопичення теплової енергії // Теплофізика та теплоенергетика, 2019, Т. 41, № 5, с. 120–121.

УДК: 621.311.16

**ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АВТОМАТИЧНОГО
КЕРУВАННЯ РЕЖИМОМ РОБОТИ КОМБІНОВАНОЇ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ З
ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ**

А.І. Котиш, канд. техн. наук, доцент,
В.В. Зінзура, канд. техн. наук, доцент,
В.П. Солдатенко, канд. техн. наук, доцент
*Центральноукраїнський національний технічний
університет, м. Кропивницький*

У цій роботі за допомогою методів комп'ютерного імітаційного моделювання, багатокритеріальної та скалярної оптимізації вирішено задачу забезпечення максимально можливого рівня генерації активної потужності установками з відновлюваними джерелами енергії, за умов дотримання нормально допустимих значень усталеного відхилення напруги.

Ключові слова: відновлювані джерела енергії, енергосистема, автоматичне керування, рівень напруги.

**SIMULATION MODELING OF AUTOMATIC CONTROL OF
THE MODE OF OPERATION OF THE COMBINED
ELECTRIC POWER SYSTEM WITH RENEWABLE
SOURCES**

A.I. Kotysh¹, Ph.D., ***V.V. Zinzura²***, Ph.D.,
V.P. Soldatenko³, Ph.D.
Central Ukrainian National Technical University, Kropivnitsky

In this work, using the methods of computer simulation, multicriteria and scalar optimization, the problem of ensuring the maximum possible level of active power generation by installations with renewable energy sources, provided that the normal allowable values of steady-state voltage deviation.

Keywords: *renewable energy sources, power system, automatic control, voltage level.*

ORCID: ¹0000-0002-4938-5234, ²0000-0001-6357-064X,
³0000-0002-7781-9343.

В енергобалансі України останніми роками відбувається постійне зростання частки енергії, яка виробляється відновлюваними джерелами енергії (ВДЕ). Це відповідає як загальносвітовим тенденціям, так і національній енергетичній стратегії України до 2035 року [1]. За останні три роки, згідно з даними Держенергоефективності України, частка ВДЕ зросла в 1,5 раза, з 3,9 до 5,8 %, а в електроенергетиці – на 5 % з 7,4 до 7,8 %.

Приєднання установок з ВДЕ до РЕМ напругою 0,4–10 кВ потребує здійснення заходів з модернізації електричних мереж. Проте реалізація таких заходів ускладнюється рядом суттєвих факторів, основним з яких є необхідність значних капіталовкладень. З цієї причини приєднання установок з ВДЕ до РЕМ часто не супроводжується модернізацією останніх.

У зв'язку з цим нерідко виникає ситуація, коли в режимі реверсивного потоку потужності в РЕМ спостерігаються понаднормові завищені значення усталеного відхилення напруги.

Системи автоматичного керування (САК) сучасних установок з ВДЕ дозволяють здійснювати керування значенням усталеного відхилення напруги в точці приєднання шляхом автоматичної зміни рівня генерації потужності в електричну мережу. Так, в режимі реверсивного потоку потужності в РЕМ для уникнення завищених значень усталеного відхилення напруги САК установок з ВДЕ здійснює обмеження генерації потужності в РЕМ залежної від верхнього значення уставки по напрузі. Такий підхід до регулювання гарантовано забезпечує

нормально допустимі значення усталеного відхилення напруги в точці приєднання установок з ВДЕ.

Проте істотним його недоліком є зниження рівня генерації активної потужності в мережу і, як наслідок, скорочення фінансових надходжень від продажу електричної енергії за «зеленим тарифом».

Для одночасного забезпечення зниження рівня усталеного відхилення напруги на шинах споживачів та максимально ефективного використання наявної потужності ВДЕ необхідно здійснювати керування потужністю генерації кожної з установок з ВДЕ. З метою врахування такого впливу задачу керування установками генерації електричної потужності, що містять ВДЕ, найдоцільніше інтерпретувати як задачу багатокритеріальної оптимізації.

Авторами було проведено комп'ютерне імітаційне моделювання автоматичного керування режимом роботи системи. Статистична обробка результатів моделювання полягала у визначенні інтегральної ймовірності потрапляння значення відхилення напруги V на шинах споживачів у нормально допустимі межі.

Числові результати моделювання наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Числові результати моделювання

№	Показник	Базова САК	Розроблена САК
1	Електроенергія вироблена СЕС, кВт·год	992,6	1101
2	Електроенергія вироблена ВЕС, кВт·год	84,32	80,72
3	Електроенергія вироблена БГЕ, кВт·год	508,8	493,3
4	Електроенергія вироблена ВДЕ, кВт·год	1585,72	1675,02
5	Інтегральна ймовірність потрапляння відхилення напруги V , % в нормально допустимі межі, $P[-5 < V < 5]$, %	100	95,02

Як видно з результатів комп'ютерного моделювання, реалізація алгоритму оптимального керування САК режимом КЕС з ВДЕ за розглянутих умов дозволяє підвищити рівень генерації електроенергії в РЕМ на 5,63 % при збереженні технічних вимог ГОСТ 13109-97 до показника відхилення напруги V .

Література:

1. Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/file/text/58/f469391n10.pdf>

УДК: 620.9

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ПЕРЕХОДУ УКРАЇНИ НА 100 % ВДЕ ДО 2070 РОКУ

Є.С. Гончаров¹ Бенменні Мухуб²

*Інститут відновлюваної енергетики НАН України,
вул. Гната Хоткевича, 20а, м. Київ, 02094, Україна,
тел.: +38(044)206-28-09,*

e-mail: 1goncharov965@gmail.com, 2mbenmenni@gmail.com

Проведено моделювання прогнозування переходу України на 100 % ВДЕ до 2070 року відповідно до різних сценаріїв розвитку економіки (показники ВВП) з урахуванням впровадження енергоефективних заходів та сприйняття суспільством розповсюдження будівництва об'єктів ВДЕ.

Ключові слова: *відновлювана енергетика, водень, акумулювання енергії, прогнозування.*

MODELING OF FORECASTING THE TRANSITION OF UKRAINE TO 100 % RES BY 2070

Information about the conducted modeling of forecasting the transition of Ukraine to a system with 100% RES by 2070 in accordance with different economic developments scenarios (GDP indicators), considering implementation of energy efficiency policy and public perception of the scale use of RES

Keywords: *renewable energy, hydrogen, energy storage forecasting.*

ORCID: ¹0000-0002-1039-2007, ²0000-0001-6548-2205.

Усе більше країн усвідомлюють незворотність переходу до чистої, відновлюваної енергії у всіх секторах. Тож, як свідчать результати дослідження [1], якщо використання викопного палива не буде терміново

скорочено, неспинний дефіцит викопної енергії призведе до економічної, соціальної та політичної нестабільності, підсилюючи міжнародні конфлікти

Сучасна енергетика України перебуває в кризовому стані, основними причинами виникнення якого зокрема є: вичерпаність ресурсів існуючої енергетичної інфраструктури (АЕС і ТЕС) та загроза незалежності, пов'язаної з імпортом обладнання й ресурсів.

Реальним шляхом виходу з кризи і розв'язання гострих екологічних проблем є масштабний розвиток відновлюваної енергетики і технологій акумулювання, в яких водень має відігравати головну роль.

Параметри моделювання

Для України розвиток відновлюваної енергетики є одним із першочергових завдань для підвищення енергетичної й екологічної безпеки держави.

Енергетичною стратегією України до 2035 року передбачено збільшення частки «зеленої» енергії до 25 % в енергетичному балансі країни, зниження імпортозалежності енергетичної галузі України з 51 % у 2015 році до 33 % у 2035-му, а також повноцінна інтеграція з енергетичною системою ЄС.

В рамках зусиль, спрямованих на доведення необхідності обрання амбітніших цілей для швидкого переходу на нову енергетичну систему було виконано роботу з моделювання прогнозування енергетичного переходу України на 100 % ВДЕ.

Цю роботу було проведено з використанням даних Атласу енергетичного потенціалу ВДЕ на території України, оновленого нашим Інститутом у 2020 році, інших вихідних даних, з урахуванням впровадження енергоефективних заходів, розвитку технологій генерації, технологій акумулювання й транспортування енергії за різними можливими сценаріями показників ВВП України.

У роботі розглянуто три сценарії прогнозування розвитку економіки України.

- Консервативний сценарій передбачає незначний приріст ВВП на рівні 1,5–2 % за рік.

- Ліберальний сценарій із прогнозування рівня росту ВВП на рівні 3,5 %.

- Революційний сценарій із 4,5 %-ним ростом ВВП.

Важливим фактором впливу на темпи розвитку використання ВДЕ в Україні, який було враховано в даній роботі, є рівень сприйняття суспільством: при негативному сприйнятті суспільством прогнозується повільне впровадження ВДЕ а, при позитивному – створюються умови для широкого розповсюдження ВДЕ та інноваційних технологій в енергетичному секторі України.

Для виконання моделювання було проведено пошук підходящого інструменту у відкритих джерелах. У результаті було знайдено можливість використання програмного пакету LEAP – системи довгострокового планування енергетичних альтернатив, розробленої Стокгольмським інститутом довкілля (SEI) [2] в онлайн режимі. Завдяки цьому інструменту вдалося частково відтворити енергетичну модель України та, після введення відповідних вихідних даних і урахування впливу прийнятих параметрів, спрогнозувати майбутню схему енергетичної системи і, як наслідок, отримати прогнозовані показники.

Проведені розрахунки і їх результати

Першим етапом розрахунку стало визначення річного споживання енергії відповідно до умов сценаріїв розвитку (рис. 1). Окремо був оцінений вплив технологій енергозбереження та можлива заміна викопного палива у транспорті на водень, біопаливо та електроенергію.

На наступному етапі, враховуючи отримані показники річного енергетичного споживання, були розраховані об'єми генерації та встановлені потужності (рис. 2). Відповідно до Атласу потенціалу відновлюваних джерел енергії Інституту відновлюваної енергетики НАН України, проводилася перевірка гіпотез, до обсягу енергії, генерованої певним джерелом.

Важливим питанням стало визначення необхідного обсягу встановлених потужностей ВДЕ не лише для задоволення рівня внутрішнього споживання а, й з урахуванням можливостей експорту «зеленого» водню, який може стати наступним експортним продуктом України.

У результаті проведених розрахунків було отримано середню приведену вартість одиниці енергії (LCOE) за прогнозним моделюванням (рис. 3).

Висновки

Результати прогнозного модулювання свідчать про те, що перехід України на систему з ВДЕ на 100 % із використанням технологій акумулювання можливий та є більш економічно вигідним, ніж існуюча система.

Загальна приведена вартість електроенергії (LCOE) у 2070 році буде становити 68 та 63 € / МВт*год для ліберального та революційного сценаріїв відповідно, порівняно зізначенням LCOE у 102 € / МВт*год у 2020 році [3].

Література:

1. Impacts of Green New Deal Energy Plans on Grid Stability, Costs, Jobs, Health, and Climate in 143 Countries
[https://www.cell.com/one-earth/fulltext/S2590-3322\(19\)30225-8?returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2590332219302258%3Fshowall%3Dtrue](https://www.cell.com/one-earth/fulltext/S2590-3322(19)30225-8?returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2590332219302258%3Fshowall%3Dtrue)
2. Stockholm Environment Institute. The Long-range Energy Alternatives Planning - Integrated Benefits Calculator (LEAP-IBC).
<https://mediamanager.sei.org/documents/Publications/SEI-Factsheet-LEAP-IBC-2.pdf>
3. Clean Energy Lab. LCOE ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В УКРАЇНІ.
<https://cel.com.ua/statics/media/doc23929.pdf>

УДК 620.97; 338.5

МОЖЛИВОСТІ ФІНАНСУВАННЯ ПРОЄКТІВ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ

Г.С. Трипольська

*ДУ «Інститут економіки та прогнозування НАН
України», вул. Мирного, 26, к.1202, м. Київ, Україна, 01011,
тел. +38(096)797-25-70, email: g.trypolska@gmail.com*

У роботі розглянуто можливості фінансування проєктів відновлюваної енергетики в Україні. Найбільш дієвим є прямі контракти з банками, в той же час наявні й інші інструменти, використання яких поки що обмежене (зелені облігації, енергетичні кооперативи, фінансування муніципалітетами).

Ключові слова: відновлювана енергетика, фінансування.

OPPORTUNITIES FOR FINANCING RENEWABLE ENERGY PROJECTS IN UKRAINE

G. Trypolska

*SO "Institute for Economics and Forecasting, UNAS", P.
Myrnogo str., 26, off. 1202, Kyiv, Ukraine, 01011*

The paper considers the possibilities of financing renewable energy projects in Ukraine. The most wide-spread are direct contracts with banks, at the same time there are other instruments, the use of which is still limited (green bonds, energy cooperatives, municipal financing).

Ключові слова: renewables, financing

ORCID: 0000-0002-8830-7036.

Україна перебуває в стані формування регуляторного середовища, сприятливого для інвестування, зокрема в проєкти відновлюваної енергетики, які є одним з фінансових елементів зеленої економіки [1]. Це завдання складне – за даними страхової компанії Euler Hermes Global, Україна посідає найнижчий рейтинг з можливих (D4, high risk for enterprise). Економічний, політичний, комерційний та фінансовий ризики оцінюються як максимальні [2].

Навіть до проблем з виплатами за «зеленим» тарифом в Україні була надзвичайно високою вартість капіталу: близько 16 %. У країнах ОЕСР це значення не перевищує 10 %.

Протягом 2009–2019 років у відновлювану енергетику України сумарно було інвестовано 9 млрд євро, з яких у 2014–2019 роках інвестовано 5,4 млрд євро. З усього обсягу кредитних ресурсів у кредитах для виробництва енергії з ВДЕ – не менше 2,5 млрд євро [3]. Близько 2 млрд євро, інвестовані міжнародними компаніями, були забезпечені гарантіями експортного кредиту від урядів інших країн [4].

Кредитування відбувається переважно з допомогою міжнародних фінансових інституцій. Ще одним з напрямів розвитку проєктів ВДЕ є фінансування проєктів з ВДЕ муніципалітетами через державні програми фінансування; реалізації проєктів за кошти донорів; банківського кредитування муніципалітетів. З допомогою ПРООН в Україні було розпочато пілотний проєкт «Розвиток та комерціалізація біоенергетичних технологій в муніципальному секторі в Україні». Донедавна в Україні було лише дві регіональні програми, спрямовані на відновлювану енергетику: дешеві кредити на придбання обладнання для ВДЕ у Львівській та Житомирській областях.

Ще одним способом отримання фінансування є добровільні об'єднання громадян в енергокооперативи. В Україні створено перший муніципальний енергокооператив у царині відновлюваної енергетики – Споживче Товариство «Сонячне місто» у м. Славутич

(Київська обл.). Також є ТОВ «Берездівський енергетичний кооператив» (Берездівська ОТГ, Хмельницька обл.). Кооператив купує у місцевих фермерів солому, з якої виробляються брикети, якими опалюється школа.

Недоступною поки що для України можливістю є випуск цінних паперів, насамперед *зелених облігацій*, адже з 2018 року й донині триває розробка вторинного законодавства. Наприкінці 2019 року ДТЕК Renewables випустив власні зелені облігації, щоправда під юрисдикцією іншої країни, оскільки станом на період випуску вітчизняне законодавство у цій царині було відсутнє.

Іноді наявна безповоротна фінансова допомога. До таких рішень можна віднести Програму Інноваційних Ваучерів, що діяла в Україні протягом 2017–2019 років, а також, очікувано, буде продовжена [5].

У цілому, попри наявність різних кредитних програм та співпраці з міжнародними фінансовими інституціями, в Україні не вистачає «довгих» грошей та кредитів. Це робить компанії надзвичайно чутливими до зміни схем державної підтримки виробництва енергії з ВДЕ – наприклад, при ретроспективному перегляді зелених тарифів, реструктуризації виплат за зеленим тарифом тощо. В Україні можливість мобілізації внутрішніх ресурсів для фінансування проєктів з ВДЕ залишається надзвичайно обмеженою, тож потрібна фінансова та технічна підтримка з боку міжнародних фінансових інституцій [6].

Література:

1. Definitions and Concepts
http://unepinquiry.org/wp-content/uploads/2016/09/1_Definitions_and_Concepts.pdf
2. Political instability weighs on economic recovery
https://www.eulerhermes.com/en_global/economic-research/country-reports/Ukraine.html#link_internal_3
3. Баськов О. Дефолт за п'ять копійок. Ціна ретроспективного зниження зеленого тарифу 22 листопада

2019 <https://nv.ua/ukr/biz/experts/zmina-zelenogo-tarifu-zadnim-chislom-prichini-ta-naslidki-50054901.html>

4. Посли країн-інвесторів у "зелену" енергетику України остерігаються неповернення інвестицій 5 травня 2020

<https://www.epravda.com.ua/news/2020/05/5/660154/?fbclid=IwAR1Y0shnMk35jDbC5gl9ZwNwa-2kkvlekIbPgFwNDg4KBjIiy30EN1KuafE>

5. Інноваційні Ваучери
<https://climate.biz/aboutus/>

6. Sokolova, T., Sushchenko, O., Schwarze, R. (2019) Roadmap for a Green Financial Policy in Ukraine under the EU Association Agreement. UFZ Discussion Papers.

УДК 621.383.51

НЕТРАДИЦІЙНИЙ ПІДХІД ДО НЕТРАДИЦІЙНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

**Ю.М. Лаврич, С.В. Плаксін, Л.М. Погоріла,
А.Ю. Підчасов**

*Інститут транспортних систем і технологій
НАН України, e-mail: lavrigh@westa-inter.com.ua*

У XXI столітті людство переносить головний натиск у світовому енергобалансі на електрику, основою якого мають стати альтернативні джерела енергії. Сучасна енергетика переживає складний період бурхливого розвитку й одночасного очікування неминучих якісних змін. Її стан досить точно описує визначення: не альтернативна енергетика, а відновлювальні джерела енергії (ВДЕ).

Ключові слова: матеріали, перетворювачі, тепло.

NON-TRADITIONAL APPROACH TO NON-TRADITIONAL ENERGY

**Yu.N. Lavrich, S.V. Plaksin, L.M. Pogorila,
A.Yu. Pidchasov**

*Institute of Transport Systems and Technologies of the
National Academy of Sciences of Ukraine
e-mail: lavrigh@westa-inter.com.ua*

In the 21st century humanity is shifting the focus of the world's energy balance to electricity, which should be based on alternative energy sources. Modern energy is going through a difficult period of rapid development and at the same time the expectation of inevitable qualitative changes, the state of which accurately describes the definition - not alternative energy, and renewable energy sources (RES).

Keywords: materials, converters, heat.

ORCID: 0000-0003-3616-2135.

Відкриті практично одночасно явища радіоактивного розпаду ядра і фотоелектрики отримали практичне застосування, але результати таких тривалих пошуків вдосконалення цих технологій отримання енергії зовсім різні [1]. Перспективу розвитку сонячної енергетики в Україні також обумовлюють впровадженням в практику законодавчих механізмів, які стимулюють застосування сонячної енергетики [2]. У фотовольтаїці, незважаючи на безперервні пошуки шляхів підвищення ефективності фотоенергії, через притаманний проєктувальнику консерватизм функціонально закінчений виріб залишається монофункціональним. Тому підвищення характеристик ВДЕ треба шукати вже поза полем усталених уявлень і понять відносно як самого матеріалу, так і процесу генерації. Тому в новому розумінні матеріал повинен вже розглядатися не як мономатеріал для побудови, а як активно перетворювальне середовище (АПС), яке дає змогу виконати всі супутні процеси, що супроводжують перетворення, реалізуючи композицію технологій перетворень різнорідних фізичних процесів, забезпечуючи системну узгодженість всіх перетворювачів і сумарне формування загального ККД перетворювача.

Побудова багатофункціональної системи можлива за умови об'єднання носіїв, що володіють енергоскладовими, які керуються трансформацією носіїв, а отримання нових функцій здійснюється на основі взаємозв'язку і взаємодії основних властивостей середовища перетворення.

Однією з причин сьогоденного становища в фотовольтаїці є монофункціональність фізичного явища отримання енергії. Поліфункціональний перетворювач – це складна технічна система, конструктивно-технологічне інтегральне об'єднання сукупності перетворювачів, які реалізують різні фізичні ефекти. Проєктування нового перетворювача має в певній мірі використовувати концепцію побудови систем на кристалі (SOC), коли в

єдиній конструкції системи на принципах самоорганізації і самоналагодження реалізується отримання, перетворення, збір, накопичення енергії всіх перетворювачів і передавання електроенергії споживачу.

Сучасні перетворювачі сонячної енергії чутливі лише до частини спектра сонячного випромінювання, тому доцільно в складі перетворювача мати перетворювачі всього спектра сонячного випромінювання, включаючи і випромінювання, що відбивається. Всі основні класи фізичних властивостей (електричні, механічні, теплові) пов'язані між собою. З огляду на наявну потенційну багатофункціональність процесу сонячного перетворення доцільно забезпечити отримання енергії всіх процесів, що виникають, і інтегрування їх в єдиний процес енергоперетворення. З урахуванням різних фізичних властивостей необхідно мати в складі поліфункціонального перетворювача фотоелектричний, термоелектричний, піроелектричний перетворювачі, кожен з яких реалізує одну властиву йому функцію.

Серед численних способів енергетичного впливу на фізико-хімічну структуру матеріалів основне місце займає тепловий вплив, який треба використати як один з видів енергії, здатний до різних перетворень. Одним з ефектів, що може сприяти підвищенню ефективності сонячної енергетики, є піроефект, а поглинене піроматеріалом електромагнітне випромінювання оптичного діапазону поряд з піроелектричним струмом індукуює фотовольтаїчні відгуки. Проектування поліфункціонального перетворювача має в певній мірі використовувати концепцію побудови систем на кристалі, коли в єдиній конструкції системи на принципах самоорганізації і самоналагоджування реалізується процес комплексного отримання, перетворення, збору, накопичення енергії всіх перетворювачів і передачі електроенергії споживачу.

Очевидно, доцільно розглянути питання підвищення ефективності системи стеження перетворювача, використовуючи як керуючий сигнал інформацію про

внутрішній стан самого перетворювача в процесі перетворення. Причому формування керуючого сигналу повинно здійснюватися не періодично, а в ході безперервного моніторингу в масштабі реального часу. Забезпечення альтернативності вимагає розробки інноваційних технологій у відновлюваній енергетиці.

Література:

1. Костылев В.П., Серба О.А., Дверніков Б.Ф, Мелах В.Г. Концентраторна геліоенергетична установка на основі кремнієвих фотоперетворювачів сонячної енергії з дифузійно-польовими бар'єрами // 2-га Міжнародна науково-практична конференція «Навіпровідникові матеріали, інформаційні технології та фотовольтаїка» Кременчук: КНУ-2013. С. 29.
2. Прокопенко А.В., Машинская А.В. Опыт внедрения и перспективы солнечной энергетики в Украине // V Международная конференция «Нетрадиционная энергетика XXI века», Николаевка. – 2004. – С.53–55.

УДК 621.311

РОЗРОБЛЕННЯ МОДЕЛІ БАЛАНСУВАННЯ ПРОЦЕСІВ ГЕНЕРАЦІЇ ТА СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ДЛЯ ГІБРИДНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ

О.В. Лисенко, канд. техн. наук,
Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного, м. Мелітополь,
тел.: (0619)42-11-74, e-mail: Helga_vl@ukr.net.

Проблеми балансування потужності в комбінованих енергосистемах може бути вирішено завдяки акумулюванню енергії. Режими генерації вітрових і особливо сонячних електростанцій характеризуються значними градієнтами поточної потужності, коли істотні зміни можливі за кілька хвилин. Такого ж роду зміни відбуваються і з навантаженням. Амплітуда змін залежить від кількості окремих споживачів, що входять до локальної енергосистеми, та режимів їх роботи. Отже, при виборі систем акумулювання необхідно враховувати такі фактори, як нерівномірність генерації та споживання, обсяг можливої надлишкової енергії, швидкість зміни потужностей та відповідна швидкодія акумуляторів. Реальні показники мінливості балансу залежать від складу потужностей та погодних умов.

A MODEL DEVELOPMENT FOR BALANCING THE PROCESSES OF ELECTRICITY GENERATION AND CONSUMPTION FOR A HYBRID POWER SYSTEM

O. Lysenko, cand. of science
Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University,
Melitopol

The solution of power balancing problems in combined power systems can be used due to energy accumulation.

Generation modes of wind and especially solar power plants are characterized by significant current power gradients, when significant changes are possible in a few minutes. The same kind of changes occur with the load. The amplitude of changes depends on the number of individual consumers included in the local power system and their modes of operation. Therefore, when choosing storage systems, it is necessary to take into account such factors as uneven generation and consumption, the amount of possible excess energy, the rate of change of capacity and the corresponding speed of the batteries. Actual indicators of balance variability depend on the composition of capacity and weather conditions.

Keywords: *hybrid power system, renewable energy, statistical analysis.*

ORCID: 0000-0001-7085-7796.

Особливістю дослідження режимів навантаження є попередня обробка історичних даних, в результаті характерний графік електричного навантаження споживача виглядає як усереднений погодинний графік [1]. Для прикладу розглянуто типовий графік навантаження в різні сезони, у процентах відносно номінальної потужності споживача. Для більшої загальності вибрано електричне навантаження ряду споживачів, близьких за видом економічної діяльності, режимом роботи та набором електричного обладнання. Розглядаються малі сільськогосподарські підприємства, що займаються переробленням та консервуванням фруктів і овочів, виробництвом олії та тваринних жирів, виробництвом готової їжі, виробництвом кормів для тваринницьких ферм, тощо.

Основний критерій, за яким визначалась придатність фактичних графіків навантажень для подальшого використання – це безперервність вимірювань протягом не менше одного року. За результатами статистичної обробки обчислено математичне очікування та

середньоквадратичне відхилення навантажень для кожної години місяця. Параметричний опис електричного навантаження дозволяє побудувати імітаційну модель з високим рівнем невизначеності [2]. Така модель допускає значні відхилення від лінії тренду (осередненого добового ходу), характерні для місячного набору значень. Традиційний метод представлення випадкових процесів такого роду – представлення поточного значення як середнього значення та випадкової флуктуації [3]. Для їх опису запропоновано відповідну математичну модель:

$$P(t) = P_c(t_i) + X(t) = \frac{1}{\Delta t} \int_{t_i}^{t_i + \Delta t} P(\tau) d\tau + X(t), \quad t \in [t_i, t_i + \Delta t),$$

де $P(t)$, $P_c(t_i)$ – миттєве і середнє значення потужності на інтервалі осереднення; $X(t)$ – флуктуації навантаження відносно середнього.

Пропонована математична модель дає можливість оцінити випадкову складову при генерації енергії вітровими та сонячними електростанціями, та визначити можливості компенсації цієї мінливості шляхом використання акумуляторів. Розрахунковий алгоритм дозволяє отримати набір реалізацій випадкового процесу, що описує балансування електричної енергії при випадкових змінах генерованої та споживаної потужності, а також проміжне накопичення енергії системою акумулювання. Конкретний варіант побудови енергосистеми включає опис встановленої потужності ВДЕ, енергетичні характеристики вітрових чи сонячних установок, характерні погодні умови (середні значення та можливі девіації), параметри акумулювання, прийняті обмеження [4]. В даному дослідженні кожен варіант розрахунку представлено кількома тисячами реалізацій. Результатом є набір даних, які описують можливі стани енергосистеми і є придатними для статистичної оцінки та розрахунку потрібних величин. Встановлено, як зростає кількість збереженої енергії при збільшенні ємності системи акумулювання енергії. При цьому враховано швидкодію, яка залежить від типу

акумулятора. Варіювання цих параметрів дозволяє вибрати склад енергосистеми, який відповідатиме потребам споживання. Наступним кроком має стати врахування вартості обладнання (акумуляторів, вітроустановок, фотомодулів) та електричної енергії. Використання технічних та економічних критеріїв забезпечить оптимальний вибір параметрів, що враховує економічну вигоду та технічну надійність постачання енергії.

Література:

1. Y. Sawle, S.C. Gupta, A. Kumar Bohre. Review of hybrid renewable energy systems with comparative analysis of off-grid hybrid system. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2018, Vol. 81, Part 2, p. 2217–2235. DOI: org/10.1016/j.rser. 2017.06.033.
2. M. Kuznietsov, Y Vyshnevskaya, I. Brazhnyk, O. Melnyk. Modeling of the Generation-Consumption Imbalance in the Heterogeneous Energy Systems with Renewable Energy Sources / 2019 IEEE 6th Int. Conf. of ESS - P.196-200. DOI: 10.1109/ess.2019.8764189.
3. Кузнєцов М.М. Моделювання спільної роботи вітрової та сонячної електростанцій // Відновлювана енергетика. – 2016, № 1. – С. 12–16.
4. Кузнєцов М.П., Лисенко О.В. Оцінка балансу потужності комбінованих енергосистем // Відновлювана енергетика. – 2018, № 4. – С. 6–14.

УДК 620.92(477)

СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ЗЕЛЕНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ

Д.В. Вільчинська, канд. с.-г. наук,
Подільський державний аграрно-технічний університет,
м. Кам'янець-Подільський, Україна,
e-mail: Daria.Vilchinska@gmail.com

За перші двадцять років ХХІ століття світова енергетика зазнала значних змін. Без перебільшення можна сказати, що почалася світова енергетична революція. На зміну енергетиці на невідновлюваних джерелах енергії приходить відновлювана, так звана зелена енергетика.

Ключові слова: енергетика; зелена енергетика; зелений тариф; нетрадиційні джерела енергії; відновлювана енергетика; відновлювані джерела енергії.

CURRENT TRENDS IN GREEN ENERGY DEVELOPMENT IN UKRAINE

D.V. Vilchynska, candidate of agricultural sciences,
State agrarian and engineering university in Podilia,
Kamianets-Podilskyi, Ukraine,
e-mail: Daria.Vilchinska@gmail.com

During the first twenty years of the 21st century, world energy has undergone significant changes. It is no exaggeration to say that the world energy revolution has begun. Renewable energy is being replaced by renewable energy, the so-called green energy.

Keywords: energy; green energy; green tariff; non-traditional energy sources; renewable energy; renewable energy sources.

ORCID: 0000-0002-3322-6722.

Виклад основного матеріалу. Відновлювана енергетика – енергетична галузь, що спеціалізується на отриманні та використанні енергії з відновлюваних джерел енергії. Зеленою відновлюваною енергетику називають через її екологічну безпеку. Найпоширенішими видами електростанцій, що використовують відновлювані джерела енергії, є сонячні, вітрові та гідроелектростанції. Найбільш поширеним видом відновлюваної енергії у XX столітті була електрика, отримана на річкових і припливних ГЕС. Але на початку 2000-х почали стрімко розвиватись вітрові та сонячні електростанції. Станом на 2018 рік у світі близько 30 % всієї енергії було отримано з відновлюваних джерел. І цю цифру людством заплановано довести до 40 % у 2040 році [3].

В Україні трохи більше 10 років тому традиційною була атомна, теплова та гідроенергетика. Всі потужності були побудовані ще в часи Радянського Союзу й потребували повного переоснащення. Держава мала два варіанти: переобладнувати потужності або ж переходити на альтернативну енергетику. Україна вибрала другий варіант. Також в Україні обсяги виробництва і використання енергії з відновлюваних джерел значно менші. На кінець 2019 року в країні тільки 7 % електрики отримано з сонячних чи вітрових електростанцій. Хоча в законі прописана мета – до 2030 року отримувати від альтернативної енергетики чверть всього потрібного обсягу, прогнози експертів дещо скромніші. Вирахувано, що на великих станціях і в приватних домогосподарствах завдяки “зеленому тарифу” до кінця терміну його дії вироблятиметься від 13 до 20 % електрики [2].

Масштабне використання потенціалу нетрадиційних джерел енергії в Україні має не лише внутрішнє, але й важливе міжнародне значення як вагомий фактор енергетичної незалежності, протидії глобальним змінам клімату на планеті, покращення загального стану європейської та світової безпеки, а також одним з

найважливіших стратегічних напрямків розвитку нашої держави. Отже, на даному етапі розвитку світових економік доцільно стимулювати розвиток нетрадиційної енергетики в нашій країні для синхронізації з найсучаснішими тенденціями й досягненнями енергетичних галузей розвинутих країн, а також для зменшення енергетичної залежності від традиційних енергоносіїв. Розглянемо найбільш ефективні методи підвищення відсотку використання нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії, які використовуються в інших країнах, а також можливі перспективи цієї галузі енергетики [1].

Найбільш поширений і ефективний механізм – “зелений тариф”, що є прямим заохоченням виробників “чистої” енергії через її закупівлю за вищими тарифами. “Зелені тарифи” у наш час діють у тій чи іншій формі в 41 країні, у тому числі в більшості країн ЄС, Канаді, Китаї, Ізраїлі та Австралії [1].

З 2015 по 2020 рік потужність об’єктів відновлюваної електроенергетики (без урахування тимчасово окупованої території АР Крим), яким встановлено “зелений” тариф, збільшилась на 6727 МВт (з 967 до 7694 МВт). Наразі відновлювані джерела енергії становлять 8 % у загальній структурі енергетики України, минулоріч – вдвічі менше, а саме 3,6 %. Загалом енергії цього року виробили на 5,4 % менше – 119,8 млрд кВт/год. Найбільше, без змін, продукують АЕС і ТЕС. Їхні частки становлять 52,6 та 24,7 % відповідно. Атомної енергії виробили 63 млрд кВт/год, теплової – 29,5 млрд. Частка ТЕЦ та КУ збільшилась на 19 %, обсяг становить 9,8 млрд. ГЕС скоротили виробіток на 11 %, до майже 5 млрд кВт/год. ГАЕС, що становлять 1,1 % загальної енергетики, виробили 1,3 млрд кВт/год енергії [2].

Отже, нормативний та законодавчий початок для активного розвитку “зеленої” енергетики в Україні вже покладено, а європейський та світовий досвід мають допомогти Україні триматися правильного курсу на шляху до повної енергетичної незалежності та високих екологічних стандартів.

Література:

1. Зябіна Є.А., Люльов О.В., Пімоненко Т.В. Розвиток зеленої енергетики як шлях до енергетичної незалежності національної економіки: досвід країн ЄС // Науковий вісник Полісся. 2019. № 3 (19). С. 39–48.

2. Відновлювані джерела енергії для домогосподарств. Sae.gov.ua: вебсайт. URL:

<https://sae.gov.ua/uk/content/renewables>

3. Джерела відновлюваної енергії в сучасній енергетиці. Ekotechnik.in.ua: вебсайт. URL: <https://ekotechnik.in.ua/istochniki-vozobnovlyaemoj-energii/>

УДК 627.8.09:620.91

ОСОБЛИВОСТІ ЛАСТІВСЬКОГО ЕНЕРГОВУЗЛА У СКЛАДІ ГЕС, ГАЕС, ВЕС І СЕС В КАРПАТСЬКОМУ РЕГІОНІ УКРАЇНИ

Ю.О. Ландау, В.В. Ромашко¹, П.С. Дядченко²,
ПРАТ «УКРГІДРОПРОЕКТ», просп. Науки, м. Харків,
61166, Україна, тел.: +38(050)0308969,
e-mail: diadchenko.d.p.s@gmail.com

Карпатський регіон України має великі вітро-, сонячні та гідроенергоресурси зі сприятливими природними умовами завдяки гірській місцевості для будівництва невеликих високонапірних ГАЕС і малих ГЕС з виробітком балансувальної електроенергії, що забезпечить подальший розвиток ВЕС та СЕС з регулюванням графіків навантажень і забезпеченням сталої роботи енергосистеми.

Ключові слова: відновлювані джерела енергії, гідроакумулювальна електростанція, сонячна електростанція, вітрова електростанція, комплексний енерговузол.

FEATURES OF THE LASTOVSKYPOWER PLANT AS A PART OF HPP, PSPP, WS AND SS IN THE CARPATHIAN REGION OF UKRAINE

O. Landay, V. Romashko¹, P. Diadchenko²
UKRHYDROPROJECT, PRJSC, 9 Nauky Avenue, Kharkiv,
61166 Ukraine

The Carpathian region has large wind, solar and hydroelectric power resources with favorable natural conditions due to mountainous terrain for creating small high-pressure pumped storage power plants and small hydroelectric power plants with the generation of balancing electricity, which will ensure the further development of wind farms and solar power

plants with regulation of load schedules and ensuring stable operation of the power system.

Keywords: *renewable energy sources, pumped storage power plant solar power plant, wind power plan, hibrid energy center.*

ORCID: ¹0000-0002-6927-0944, ²0000-0001-7803-2537.

Згідно з «Енергетичною стратегією України на період до 2035 р.», передбачається швидке зростання потужностей відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), в першу чергу вітро- і сонячних електростанцій (ВЕС і СЕС) з нестійким виробництвом електроенергії, що вимагає введення балансувальних високоманеврових потужностей, насамперед ГАЕС, для регулювання графіків навантаження та забезпечення надійної роботи ОЕС України.

У Карпатському регіоні України, що має великий вітро- і сонячний потенціал для подальшого швидкого розвитку ВЕС і СЕС (до 2020 року їх потужність досягла близько 1 млн кВт), є сприятливі природні умови гірської місцевості для будівництва високоманеврових невеликих ГАЕС.

При прогнозованому подальшому збільшенні потужності ВЕС і СЕС до 400 МВт на рівні 2025 року в сприятливих умовах Карпатського регіону необхідно для їх балансування паралельно вводити високоманеврові потужності ГАЕС.

На підставі аналізу, техніко-економічного порівняння ряду ГАЕС, вкрай сприятливих природних умов, умов будівництва, була обрана найбільш ефективна Ластовська ГАЕС з малою ГЕС (МГЕС) на р. Стрий, на підставі якої розглядається пілотний проєкт комплексного енерговузла загальною потужністю 250 МВт у складі:

- ГАЕС потужністю 155 МВт;
- верхня водойма ГАЕС;
- гідровузол МГЕС потужністю 1,4 МВт з водосховищем на р. Стрий – низовою водоймою ГАЕС;
- ВЕС потужністю 60 МВт з можливістю подальшого збільшення потужності до 110 МВт;
- СЕС потужністю 34 МВт, в тому числі плавуча СЕС на водоймі ГАЕС потужністю 9 МВт;

-а також оздоровчо-туристичний комплекс.

Такий комплексний енерговузол дозволить забезпечити регулювання електроенергії ВЕС і СЕС сумарною потужністю близько 400 МВт.

Будівництво передбачається як єдиний об'єкт із загальною будівельною базою, з виконанням робіт в короткі терміни за 4 роки за єдиним графіком, з поетапним введенням потужностей МГЕС, ВЕС, СЕС і ГАЕС в експлуатацію в період 2022–2025 років. При цьому підвищується ефективність інвестицій з початком повернення ще в період будівництва за рахунок продажу електроенергії при поетапному введенні потужностей.

Включення до складу комплексного енерговузла оздоровчо-туристичного комплексу в зоні водосховищ енерговузла підвищує його ефективність, привабливість і створює умови для об'єднання й подальшого розвитку існуючого курорту «Східниця».

В умовах Ластовського комплексного енерговузла досягаються значні переваги за рахунок використання природних ресурсів, зокрема енергетичних ресурсів, мінімізації впливу на природне середовище, а також поліпшення екологічних умов завдяки комплексному використанню водосховища на р. Стрий. Передбачено захист населених пунктів при проходженні повеней, зменшення спалювання вугілля на ТЕС, близько 250 тис т, викидів у навколишнє середовище CO₂, близько 520 тис т, й інших забруднювальних речовин на ТЕС за рахунок забезпечення подальшого сталого розвитку ВЕС і СЕС потужністю 400 МВт при введенні швидкодіючих потужностей ГАЕС, 155 МВт.

При реалізації проекту забезпечується економічний розвиток району та поліпшення соціально-економічних умов для місцевого населення.

Об'єднання в складі Ластівського енерговузла різних ВДЕ: ВЕС, СЕС, МГЕС з ГАЕС забезпечує зниження капіталовкладень і експлуатаційних витрат, а також його інвестиційну привабливість і високу економічну ефективність.

УДК62-69:62-714.9

МОБІЛЬНИЙ ТЕПЛОВИЙ АКУМУЛЯТОР

В.Г. Демченко¹, А.В. Коник²

*Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Марії
Капніст, 2а, м. Київ, 03057, Україна,
тел.: +38(068)023-11-75, e-mail: Alina_tds@ukr.net*

Промислове виробництво в Україні має значний потенціал з утилізації відпрацьованого тепла. Попри це промислові відходи теплоти, а також джерела відновлюваної енергетики наразі використовуються недостатньо. Це пов'язано, з одного боку, з технічними та економічними труднощами, а з іншого – з тимчасовою та територіальною або географічною невідповідністю між потенційним джерелом енергії та споживачем. Зберігання теплової енергії за допомогою мобільних теплових акумуляторів – це технологія, яка може вирішити наявну незбіжність та підвищити загальну ефективність системи теплозабезпечення. Використання відновленого тепла приводить до зменшення викидів CO₂, до економії палива та збереження енергії. Авторським колективом запропоновано нову технологію, що дозволяє забезпечити стійке постачання теплоти або холоду із застосуванням мобільних теплових акумуляторів (МТА), заповнених комплексом теплоаккумуляційних рідин і матеріалів. Транспортування МТА передбачено автомобільним транспортом.

Ключові слова: *мобільний тепловий акумулятор, теплоакмулювальний матеріал.*

MOBILE THERMAL ENERGY STORAGE

V.G. Demchenko¹, A.V. Konyk²

Institute of Technical Thermophysics the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, 2a, Marii Kapnist Str., Kyiv, 03057

Industrial activity in Ukraine has a huge potential for waste heat recovery. Nevertheless, industrial heat wastes as well as renewable energy sources are currently underused. This is due, on the one hand, to technical and economic difficulties and, on the other hand, to temporary and territorial or geographical disparities between the potential energy source and the consumer. Storage of thermal energy with the help of mobile heat accumulators is a technology that can solve the existing discrepancy, increase the overall efficiency of the heating system. Moreover, the use of renewable heat reduces CO₂ emissions and to fuel economy and efficient energy saving. The author's team proposed a new technology that allows to provide a stable heat or cold supply with the use of mobile thermal energy storage (M-TES) using the original set of heat storage fluids and materials. Transportation of M-TES is provided by road.

Keywords: *mobile thermal energy storage, heat accumulating substance.*

ORCID: ¹0000-0002-4211-356X, ²0000-0002-3188-8490.

Світ прямує до безкарбонової енергетики шляхом активного пошуку інновацій в енергозбереженні, впровадження нових технологій виробництва та акумулювання енергії, розвитку відновлюваної енергетики (ВДЕ) та використання вторинних енергетичних ресурсів (ВТЕР). Однією з особливостей ВДЕ є нестабільність генерування енергії залежно від сезону, часу доби чи кліматичних умов, а також дисбаланс між споживанням теплоти та генерацією енергії. Використання вторинних енергетичних ресурсів ускладнено віддаленістю

потенційних джерел теплоти від споживача. Розв'язувати ці питання можна за рахунок застосування мобільних систем акумулювання теплової енергії. З 2014 року за кордоном реалізовано перші комерційні проєкти. Проводяться дослідження, присвячені мобільному зберіганню теплової енергії для утилізації та використання промислових відходів або надлишкової теплоти.

Тепловий акумулятор, або система для зберігання та акумулювання теплової енергії, – це пристрій або сукупність пристроїв, що забезпечують циклічне виконання процесів відбору, передачі та накопичення теплової енергії для подальшого зберігання й використання під час відсутності енергопостачання, компенсації піків споживання та вирівнювання графіків генерації теплової енергії [1].

В лабораторії процесів та технологій теплозабезпечення ІТТФ НАН України проводяться роботи, спрямовані на створення сучасного мобільного теплового обладнання, що дозволить сформувати стабільну систему постачання теплоти та холоду. МТА являє собою контейнер, розділений на дві секції, – гідравлічну, в якій встановлено блочний тепловий пункт, та акумуляційну, в якій встановлено ємкісні акумулятори. Ідея полягає в створенні низькотемпературного мобільного теплового акумулятора, що може:

1. Заряджатися від будь яких доступних джерел, наприклад ВДЕ, ВТЕР, доступних місцевих видів палива тощо. Здійснюється це за допомогою встановленого блокового теплового пункту, що містить насосні групи з колекторами із запірно-регульовальною арматурою та теплообмінний апарат, обладнаний швидкокороз'ємним уніфікованим з'єднанням, за рахунок якого здійснюється приєднання до будь-якого джерела енергії та споживача.

2. Зберігати та акумулювати теплову енергію в МТА внаслідок використання збалансованої системи циркуляції теплоносія, теплоакумуляційної рідини в поєднанні з низькотемпературним матеріалом з фазовим переходом.

3. Працювати в автономному режимі за допомогою контролера для дистанційного керування, який дозволяє здійснювати моніторинг теплових робочих параметрів і отримувати данні про локаційне місце перебування МТА в режимі реального часу за допомогою мобільного зв'язку.

Для досягнення поставленої мети було проведено комплексні експериментальні дослідження теплоносіїв та теплоакumuляційних матеріалів [2, 3]. В результаті було підбрано органічний матеріал з низькотемпературним фазовим переходом з температурою плавлення 54°C [4], що забезпечує довготривале стійке термоцикування, має високу теплову густину ($4000 \text{ кДж/кг}\cdot\text{K}$) і теплоутримувальну здатність, а також теплоакumuлювальну рідину (теплоносій) – водний розчин водорозчинних полімерів. Збалансований комплекс обраних речовин дозволяє пришвидшити процеси зарядки й розрядки МТА, отримати високу ефективність акумуляції та передачі теплоти або холоду. Розроблено робочу конструкторську документацію, на базі якої створено дослідний зразок МТА. Проектована потужність МТА $0,5 \text{ МВт}$ з робочим діапазоном температур від 35 до 95°C . Проведено налагодження робочих режимів МТА, а також натурне випробування технологічних параметрів у режимі реального часу за від'ємних температур оточуючого середовища. В результаті було встановлено, що продуктивність МТА забезпечує передачу $1200 \text{ кВт}\cdot\text{год}$ впродовж $10\ldots 12$ годин безперервної роботи.

Оформлено заявки на винахід, що охороняють інтелектуальну власність на конструкції пристрою, вузлів та формулу теплоакumuлювального рідинного теплоносія.

Література:

1. Lizhong Yangab, Uver Villalobosaand other. A comprehensive review on subzero temperature cold thermal energy storage materials, technologies, and applications: Stateoftheart Andrecentdevelopments \ Applied Energy. 23 February 2021,<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116555>
2. Demchenko V.G., Tselen B.J., Konyk A.V., Ivanov S.O. Research of ther malcycling of organic substances with phase transition, «Scientific discussion» (Praha, Czech Republic), 2020, 1, 41, p. 54–58.
3. Demchenko V.G., Konyk A.V. Research of heat accumulation capacity binary water systems / <http://www.iosrjournals.org/iosr-jac.html> <https://doi.org/10.9790/5736-1306010107>
4. Коник А.В., Демченко В.В. Дослідження властивостей низькотемпературного ТАМ з фазовим переходом / Збірник тез доповідей XIX міжн. науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених "Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання" 25-26 листопада, Київ 2020, с. 31–34.

УДК 378.09:005.8:502.171:620.9

КАДРОВЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПІВДЕННОГО РЕГІОНУ ФАХІВЦЯМИ З РЕСУРСООЩАДНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

**Л.М. Маркіна¹, О.Ю. Савіна², С.Ю. Ушкац³,
Н.Ю. Жолобенко⁴**

*Національний університет кораблебудування імені
адмірала Макарова,*

¹тел.: +38(099)203-14-17, ²тел.: +38(098)398-43-44,

²e-mail: oksanasavina14@gmail.com,

³тел.: +38(067)990-47-357, ⁴тел.: +38(067)282-64-16

Розглянуто необхідність та нагальність кадрового забезпечення фахівцями з ресурсощадних технологій та альтернативних джерел енергії для південного регіону України. Визначено актуальність проведення освітньої діяльності з підготовки таких фахівців та основні професійні компетенції, які їм притаманні.

Ключові слова: *енергоефективність; ресурсощадні технології; освітня діяльність; кадрове забезпечення; технології захисту довкілля.*

HUMAN RESOURCES OF THE SOUTHERN REGION BY PROFESSIONALS OF RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES AND ALTERNATIVE SOURCES OF ENERGY

**L. Markina¹, O. Savina², S. Ushcats³,
N. Zholobenko⁴**

Admiral Makarov National University of Shipbuilding,

¹tel.: +38(099)203-14-17, ²tel.: +38(098)398-43-44,

²e-mail: oksanasavina14@gmail.com,

³tel.: +38(067)990-47-357, ⁴tel.: +38(067)282-64-16

The necessity and urgency of staffing specialists in resource-saving technologies and alternative energy sources for the southern region of Ukraine is considered. The relevance of educational activities for the training of such specialists and the main professional competencies that are inherent in them are determined.

Keywords: *energy efficiency; resource-saving technologies; educational activities; staffing; environmental protection technologies.*

ORCID: ¹0000-0003-3632-1685, ²0000-0001-5717-4923,
³0000-0002-5250-4505, ⁴0000-0003-3451-4360.

Глобальні екологічні й кліматичні зміни, проблематика наслідків аварій на атомних електростанціях, підвищення цін на енергоносії, зростання потреб в енергетичних ресурсах зумовлюють необхідність коригування енергетичної політики багатьох країн у напрямі розвитку альтернативних джерел енергії [1]. Стратегія України в цій сфері спрямована на вирішення основних проблемних питань щодо збільшення частки енергії з відновлюваних джерел у структурі загального первинного постачання енергії та впровадження ресурсощадних технологій.

В Україні загальний річний технічно досяжний енергетичний потенціал альтернативних джерел енергії в перерахунку на умовне паливо становить близько 63 млн т [2]. Частка енергії, добутої за рахунок альтернативних джерел, становить сьогодні близько 3 %. Згідно з українською енергетичною стратегією, до 2030 року частку альтернативної енергетики на загальному енергобалансі країни буде доведено до 20 %. Основними та найбільш ефективними напрямками відновлюваної енергетики в Україні є: вітроенергетика, сонячна енергетика, біоенергетика, гідроенергетика, геотермальна енергетика. Особливо перспективний в напрямку розвитку альтернативних джерел енергії є Причорноморський південний регіон України.

Для забезпечення регіонального інноваційного розвитку в контексті ресурсощадних технологій та альтернативних джерел енергії необхідні висококваліфіковані фахівці, які інтегрували б у собі загальні та професійні компетентності, необхідні для вирішення питань з розвитку, впровадження та вдосконалення ресурсо- та енергоощадних технологій, методів і механізмів у поєднанні з природоохоронними завданнями регіону. Такими фахівцями можуть стати бакалаври спеціальності 183, Технології захисту навколишнього середовища підготовлені за освітньо-професійною програмою «Ресурсощадні технології та альтернативні джерела енергії».

Професійні компетенції таких спеціалістів збагачені додатковими компетентностями. Енергоефективні та ресурсощадні компетентності – це обізнаність людини щодо енерго- та ресурсощадної діяльності, спираючись на яку вона реалізує професійні компетенції, інтегровані у кваліфікацію за фахом і досвід роботи [3]. До складників енергоефективних та ресурсощадних компетентностей можна віднести:

- ціннісно-мотиваційний – усвідомлення обмеженості енергетичних ресурсів та необхідності у їх раціональному використанні;
- когнітивний – знання теоретичних основ енерго- та ресурсозабезпечення, механізмів дії енергоефективних пристроїв, технологій та обладнання, а також обізнаність у сфері енергоефективних інноваційних розробок;
- діяльнісний – комплекс навичок і вмінь застосування енергоекологічних знань у різних видах діяльності;
- рефлексивний – адекватне ставлення до актуальних екологічних проблем сучасності, самооцінка наявних знань та усвідомлення власної готовності до здійснення професійної діяльності згідно з принципами розумного ресурсо- та енергоспоживання.

Професійна діяльність бакалаврів з ресурсощадних технологій та альтернативних джерел енергії пов'язана з

ресурсозбереженням та природоохоронною, інженерно-екологічною діяльністю на промислових підприємствах, у науково-дослідних інститутах і лабораторіях, організаціях органів державної влади та інспекційної діяльності з техногенного, екологічного та енергетичного нагляду.

Література:

1. Круглов, В. В. Розвиток альтернативної енергетики з використанням механізмів державно-приватного партнерства. *Теорія та практика державного управління*. 2015. Вип. 3. С. 127–131.

2. «Альтернативні джерела енергоресурсів в Українському Причорномор'ї». URL: <https://niss.gov.ua/doslidzhennya/nacionalna-bezpeka/alternativni-dzherela-energoresursiv-v-ukrainskomu-prichornomori> (01.03.2021).

3. Котельникова Ю.М. Кадрове забезпечення у підвищенні енергоефективності діяльності підприємств. *Причорноморські економічні студії*. 2018. № 28-1. С. 152–159.

УДК 620.92

ЗБРОДЖУВАЛЬНА ЄМНІСТЬ З РЕГУЛЬОВАНИМ ТЕПЛОВИМ АКУМУЛЯТОРОМ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДУ

**В.Я. Жарков¹, С.О. Кудря², О.Г. Гриб³,
О.М. Довгалюк⁴, О.П. Лазуренко⁵, П.Д. Лежнюк⁶,
С.О.Тимчук⁷, Н.П. Загорко⁸, Л.С.Червінський⁹,
А.І. Панченко¹⁰, К.О. Самойчук¹¹, В.О. Хромишев¹²**

^{1,9,10,11}Таврійський державний агротехнологічний
університет імені Дмитра Моторного, м. Мелітополь,
Україна, тел.: +38(097)492-75-12,
e-mail: Zharkov_victor@ukr.net,

²НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря
Сікорського»,

²Інститут відновлюваної енергетики, м. Київ,
тел.: +38(067)465-66-68, e-mail: sa.kudria@gmail.com,

^{3,4,5}НТУ «Харківський політехнічний інститут», м. Харків,
тел.: +38(050)139-24-39, e-mail: Grybog@mail.ru,
тел.: +38(096)577-01-34, e-mail: dovgaljuk7@gmail.com,
тел.: +38(050)938-03-48, e-mail: lasurenkoap@i.ua,

⁶Вінницький національний технічний університет,
м. Вінниця; тел.: +38(067)705-61-38,

⁷Харківський національний технічний університет імені
Петра Василенка, м. Харків,
тел.: +38(097)271-15-69, e-mail: stym@i.ua,

⁸Національний університет біоресурсів і
природокористування, м. Київ, тел.: +38(097)251-36-79,
e-mail: ichervinsky@gmail.com,

¹²Мелітопольський державний педагогічний університет
імені Богдана Хмельницького, м. Мелітополь, Україна,
тел.: +38(096)234-46-05, e-mail: chromyshev@ukr.net.

Глауберову сіль ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) можна
використовувати для акумулювання тепла вже при
кімнатній температурі. При 32 °С вона розкладається на

насичений розчин Na_2SO_4 з випаданням частини Na_2SO_4 в осад. Ця реакція оборотна і дає $250 \text{ кДж кг}^{-1} \sim 650 \text{ МДж м}^{-3}$ теплової енергії, що достатньо для стабілізації температури $20\text{--}30^\circ\text{C}$ в зброджувальній ємності для отримання розчину етанолу чи оцту.

Ключові слова: акумулювання тепла, Глауберова сіль ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), зброджувальна ємність, розчин етанолу.

FERTILIZATION CAPACITY WITH ADJUSTED PHASE TRANSITION HEAT BATTERY

**V. Zharkov¹, S. Kudria², O. Grib³, O. Dovgaljuk⁴,
O. Lasurenko⁵, P. Lezhniuk⁶, O. Tymchuk⁷, N. Zagorko,
L. Chervinsky⁹, A. Panchenko¹⁰, K. Samoichuk¹¹,
O. Chromyshev¹²**

Glauber's salt ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) has been used as a store for room heating. It decomposes at 32°C to a saturated solution of Na_2SO_4 and an anhydrous residue of Na_2SO_4 . This reaction is reversible and evolves 250 kJ kg^{-1} or $\sim 650 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-3}$ of thermal energy, which is enough to stabilize the temperature of $20\text{--}30^\circ\text{C}$ in the fermentation vessel to obtain a solution of ethanol or vinegar.

Keywords: cogeneration, solar power plants, correlation analysis, local power grid.

ORCID: ¹0000-0003-1497-3877, ²10000-0002-4798-6853,
³0000-0003-4758-8350, ⁴0000-0003-1994-619X,
⁵0000-0003-0353-9848, ⁶0000-0002-6637-7391,
⁷0000-0002-8600-4234, ⁸0000-0001-7215-2474,
⁹0000-0003-4828-5343, ¹⁰0000-0002-1230-1463,
¹¹0000-0002-3423-3510, ¹²0000-0001-9081-1517.

Використання низькопотенційної теплоти (НПТ) складає суттєву частину світового споживання енергії. Так, більше половини національного споживання

Великобританії взимку припадає на обігрів житла (Стандарт: 18 ± 3 °C) [1.С. 495–499]. Для обігріву житла більше підходять пасивні приймачі сонячного тепла в комбінації з тепловими акумуляторами (ТА), які підтримують комфортні умови вночі й у похмурі дні. Більш того, саме у таких випадках, коли енергія використовується при низьких температурах, характерних для середовища, її особливо важливо накопичувати у формі НПТ [1]. У літературі [2, 3] наведені технічні характеристики поширених ТАМ і конструктивні схеми ТА.

Нами також запатентовано більше п'яти ТА з ТАМ фазового переходу (ТАМФП) на базі мірабіліту (глауберова сіль) і способи його приготування для ПДГ [4]: з домішками 3 % бури – $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ (пат. 126818); розігрів від БЕУ (пат. 127475); дегідратацією мірабіліту випарюванням на сонці (пат. 127499, пат. 131722), розбавленням чистого Na_2SO_4 в гарячій воді до концентрації більше 40 % (пат. 132660).

Пропонована корисна модель (пат. 131957) належить до ВДЕ з використанням НПТ і регульованим ТАМФП для стабілізації температурного режиму в зброджувальній ємності [4]. В основу корисної моделі поставлено задачу створення установки з регульованим ТАМФП, простої в приготуванні й доступної для широкого впровадження, адже «теорія стає матеріальною силою, як тільки вона оволодіває масами». На це й спрямовані дані тези.

Поставлена задача вирішується тим, що ТАМФП на базі мірабіліту (глауберова сіль $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) має невірноважений стан за рахунок надлишку сульфату натрію Na_2SO_4 дещо більше 44 % [4]. Попередньо насичений розчин $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, випарюють на сонці до зменшення масової частки кристалізаційної води до заданого рівня, дещо меншої 56 %.

Плавлення мірабіліту у власній кристалізаційній воді відбувається при 32,4 °C з поглинанням тепла і наступним його виділенням при кристалізації охолодженого розчину. В корисній моделі (пат. 131957) [4] запропоновано

використовувати перенасичений розчин мірабіліту, коли частина кристалів так і не зможе розчинитися, їм просто не вистачить власної кристалізаційної води. Ці кристали забезпечать неврівноваженість розчину мірабіліту, яка автоматично запустить кристалізацію при зниженні температури нижче меншої граничної величини. Тепло під час цієї реакції гідратації-дегідратації становить 251 кДж/кг [3]. Це створює можливість підтримки в зброджувальній камері температурного режиму, оптимального для бродіння, на рівні 20–30 °С, оберігаючи його від перегріву в денні години і від переохолодження вночі

ТАМФП готують так (пат. 131957) [4]. Визначають молярну масу декагідрат сульфату натрію і його процентний склад

$$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O} \\ (46 + 96) + 10 \cdot 18 = 322.$$

Частка Na_2SO_4 в мірабіліті становить $100 (46+96)/(46+96+180) = 100 \cdot 142/(322) = 44 \%$. Частка кристалізаційної води в $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ становить $100 180/(46+96+180) = 56 \%$.

При випарюванні на сонці 322 г мірабіліту $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, насиченого при температурі 32 °С: виділиться кристалізаційної води $(322 \cdot 56) 100 = 180$ г; залишиться чистої солі $\text{Na}_2\text{SO}_4 - (322 \cdot 44) 100 = 142$ г.

Приклад. Беремо 32 кг мірабіліту, насиченого при 32 °С, і випарюємо на сонці до зменшення загальної маси до 30 кг. Неврівноважений (перенасичений) декагідрат натрію сульфат $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ при дегідратації на 2 кг (зменшенні його маси до 30 кг) містить: частку кристалізаційної води $\text{H}_2\text{O}: 100 \cdot (18 - 2)/(32 - 2) = 53 \%$; частку Na_2SO_4 $100 - 53 = 47 \%$. При дегідратації на 3 кг, містить: частку кристалізаційної води 52 %; частку $\text{Na}_2\text{SO}_4 - 48 \%$. Концентрація підбирається індивідуально.

Попередні розрахунки теплового балансу показали можливість підтримання температури в межах 20–30 °С при

забезпеченні високої теплоємності й відсутності як перегріву, так і переохолодження.

**Рис. 1. Зброджувальна ємність з ТАМФП (пат. 131957)
[4]**

Зброджувальну ємність з ТАФП бажано виготовляти з нержавіючої сталі у вигляді двох коаксіальних циліндрів, з індивідуальними кришками: внутрішній циліндр (1) – для наповнення розчином зброджувальної речовини, закривається кришкою (2) з гідрозатвором (не показано); зовнішній циліндр (3) заповнюється насиченим розчином мірабіліту (6), і після випарювання на сонці декількох відсотків кристалізаційної води, герметично закривається кільцевою кришкою (4). У приватному домогосподарстві для браги може бути використана стандартна ємність з харчової пластмаси на 65 л, із зовнішнім пластмасовим циліндром більшого діаметру. Проміжок між ними заповнюють контейнерами, наприклад ПЕТ-пляшками, з невірноваженим мірабілітом.

Зброджувальна ємність працює наступним чином. Сонячна погода в кінці літа перемежається з прохолодними ночами, що обумовлює широкі можливості для регулювання температури з використанням ТАМФП на основі мірабіліту.

Розміщення розчину мірабіліту в зовнішньому корпусі зброджувальної ємності може забезпечити зниження температурних перевантажень в нічний час і в період максимальної сонячної активності. Запропонований ТАМФП може бути використаний і для інших об'єктів і технологічних процесів приватного домогосподарства [4]. Зброджувальна ємність рекомендована для впровадження в навчальний процес провідних ВНЗ України.

Література:

1. Jon Twidell and Tony Weir. Renewable Energy Resources. London and New York: Taylor & Francis, 2006. – 601 p.
2. Левенберг В.Д., Ткач М.Р., Гольстрем В.А. Аккумулирование тепла. – К.: Техника, 1991. – 112 с
3. Коган Б.С. Ткачев К.В. Шамриков В.М. Теплоаккумулирующие составы на основе сульфата натрия // АВОК. – 2001. – № 3. – С. 14–18.
4. Спеціалізована БД "Винаходи (корисні моделі) в Україні": <https://base.uipv.org/searchINV/>

УДК 621.316

РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ З ВИКОРИСТАННЯМ ХВИЛЬОВИХ МЕТОДІВ

А.О. Тимохіна¹, А.В. Литвиненко²

*Національний технічний університет України «Київський
політехнічний університет імені Ігоря Сікорського»,
тел. 204-86-14, e-mail: a.planida@ukr.net*

Розглянуто новий підхід до побудови релейних захистів (РЗ) з використанням хвильового методу, що у порівнянні з існуючими надає ряд переваг, як-от швидкодія, селективність і точність визначення місця пошкодження. Проведено аналіз застосування даного підходу в існуючих сучасних релейних захистах різних виробників.

Ключові слова: *релейний захист, хвильовий метод.*

RELAY PROTECTION USING WAVE METHODS

A. Tymokhina¹, A. Lytvynenko²

*National technical university of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv
Polytechnic institute"*

A new approach to the construction of relay protections using the wave method is considered, which in comparison with the existing ones provides a number of advantages, in particular, speed, selectivity and accuracy of fault location. The analysis of application of this approach in the existing modern relay protections of various manufacturers is carried out.

Keywords: *relay protection, wave method.*

ORCID: 0000-0001-5892-0326¹, 0000-0001-6507-4965².

При виникненні коротких замикань (КЗ) на ЛЕП від місця пошкодження виникає і розповсюджується електромагнітна хвиля (рис. 1), яка має складну форму, що залежить від цілого комплексу умов. Ця хвиля має імпульсний характер з шириною спектра до сотень кілогерц, а наростання її фронтів відбувається менш ніж за 3 мкс [1]. Внаслідок її високочастотної природи її розповсюдження уздовж ЛЕП відбувається швидше, ніж ріст струму основної частоти мережі [1]. Напрямок поширення хвиль перехідного процесу характеризує розташування місця пошкодження на ЛЕП і не залежить від характеристик електричного кола. Забезпечення селективності захисту визначає необхідність контролю вимірювальними органами напрямків поширення хвиль при КЗ, що характеризується знаком миттєвої потужності відповідно до напрямку вектора потоку енергії [2].

Рис. 1. Поширення електромагнітної хвилі внаслідок пошкодження ЛЕП

До переваг пристроїв РЗ, що ґрунтуються на хвильовому методі, належать: швидкодія; висока точність визначення місця несправності (похибка не більше 1 % довжини лінії); підвищену надійність роботи системи.

Для спрямованих хвильових захистів найважливішим параметром є знак, що характеризує полярність біжучої хвилі. Оцінюючи амплітуду і знак модуля максимуму вейвлет-перетворення сигналів напруги та струму ЛЕП, можна зробити висновок про наявність і вид КЗ. Алгоритм оцінки складових струму і напруги виконується за 1 мс, що привело до створення надшвидкодіючих пристроїв РЗ зі швидкістю спрацьовування 5 мс. Сучасні реалізації РЗ з використанням хвильового методу потребують складних

математичних алгоритмів, що ґрунтуються на математичних апаратах нечіткої логіки, нейронних мережах та вейвлет-перетвореннях [1].

На поточний момент існує ряд РЗ, що використовують хвильовий метод і широко застосовуються в таких країнах, як Китай, США, Шотландія, Канада тощо. Зокрема «реле D'Alembert», що контролює величину $\xi(t)$, що відповідає різниці струмів біжучих хвиль даного і протилежного кінця ЛЕП, інформація про яку передається по каналу зв'язку:

$$\xi(t) = \left\{ \frac{1}{z_B} \cdot u_k(t) - i_k(t) \right\} - \left\{ \frac{1}{z_B} \cdot u_m(t-\tau) + i_m(t-\tau) \right\} \quad (1)$$

У рівнянні (1) враховується взаємозв'язок миттєвих значень струмів і напруги по кінцях ЛЕП. У нормальному режимі і при зовнішніх КЗ $\xi(t) = 0$, а при КЗ в зоні $\xi(t) \neq 0$. Сигнали від трансформаторів струму і напруги перетворюються в цифрову форму і надходять в мікропроцесор разом з даними, переданими по каналу зв'язку з протилежного кінця ЛЕП [3].

Також існує підхід, при якому для забезпечення селективності контролюється послідовність сигналів, що визначається виразами (2):

$$s_1 = 2 \cdot u_{nao} \left(t - \frac{x}{v} \right); \quad s_2 = 2 \cdot u_{nao} \left(t - \frac{x}{v} \right) \frac{z_{e,ek} - z_e}{z_{e,ek} + z_e} \quad (2)$$

де u_{nao} – напруга падаючої хвилі, x – відстань від місця пошкодження до точки контролю, v – швидкість поширення хвилі, z_e і $z_{e,ek}$ – хвильовий опір ЛЕП і еквівалентний опір енергосистеми. При КЗ в момент переходу фазної напруги через нульове значення і при перехідних опорах в місці КЗ, що перевищують 100 Ом, захистом не охоплюється 15 % протилежного кінця довжини ЛЕП [4].

Останніми роками для захисту ЛЕП високої та надвисокої напруги в захистах із застосуванням хвильового методу використовуються сучасні методи цифрової обробки сигналів, технологій штучного інтелекту. Розробляються надшвидкісні захисти з часом спрацювання до 5 мс, у тому числі без використання зв'язку; гібридні пристрої, що захищають одночасно ЛЕП постійного струму, блоки силових інверторів та ЛЕП змінного струму [4].

Література:

1. Фёдор Иванов, Jennifer (Xinru) Liu, Hao Ruihua, Новые средства проверки устройств волновой релейной защиты URL: <https://ennlab.ru/wp-content/uploads/2020/10/EnergoStyle-N3-2020-New-tools-for-traveling-wave-protection.pdf> (дата звернення: 20.01.2021).
2. Лачугин В.Ф., Релейная защита объектов электроэнергетических систем, основанная на использовании волновых методов: Диссертация на соискание ученой степени д-а техн. наук: Специальность 05.14.02–Электрические станции и электроэнергетические системы, Москва 2015 г.
3. Chamia M., Liberman S. Ultra high speed relay for EHV/UHV transmission lines – development, design and application. IEEE Trans action on Power Apparatus and Systems. Nov/Dec. 1978. Vol. PAS – 97 A publication of the IEE Power Engineering Soc. – P. 2104–2116.
4. Jochio Jakagi, Jun-ichi Boba, Katsuhiko Vemura, Joshiaki Sakaguchi. Fault protection based on travelling wave theory. – Part II sensitivity, analysis and laboratory test. IEEE PES, Winter meeting, 1978 Paper A78.220-6.

УДК 621.311

ОПТИМАЛЬНА ІНТЕГРАЦІЯ КОМПЛЕКСНИХ СИСТЕМ НА БАЗІ ВДЕ ДО ЛОКАЛЬНОЇ ЕНЕРГОСИСТЕМИ

О.А. Мельник, аспірант,
*Національний технічний університет України «КПІ імені
Ігоря Сікорського»*, просп. Перемоги, 37, корпус 20,
03056, м. Київ, Україна,
тел.: +38(068)623-74-35, e-mail: oa.melnyk@kpi.ua

У роботі наведено огляд поточного стану й проблем інтеграції систем з ВДЕ в енергосистему. Зазначено шляхи забезпечення оптимальних режимів роботи при комбінуванні різних видів ВДЕ у складі гібридної системи.

Ключові слова: *відновлювані джерела енергії, комбінована енергосистема, гібридна енергосистема, оптимізація.*

OPTIMAL INTEGRATION OF COMPLEX SYSTEMS BASED ON RES INTO THE LOCAL ENERGY SYSTEM

Melnyk, PhD student,
*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv
Polytechnic Institute"*

The paper presents an overview of the current state and problems of integration of RES systems into the power system. It is proposed to use combined (hybrid) systems to ensure optimal operating modes.

Keywords: *renewable energy sources, combined power system, hybrid power system, optimization.*

ORCID: 0000-0003-2894-3476.

В наш час стрімко розвивається відновлювана енергетика, особливо сонячні (СЕС) та вітрові (ВЕС) електростанції, але їх інтеграція до енергосистем різного рівня стикається із різноплановими проблемами [1]. Зокрема, це спричинено нерівномірним режимом генерації СЕС та ВЕС, наявністю дисбалансу між виробництвом та споживанням енергії [2].

У лютому 2021 року виробники «зеленої» генерації вперше отримали штрафи за небаланси. Якщо до 2021 року вся відповідальність за небаланси покладалась на Держпідприємство «Гарантований покупець», то в цьому році ДП відшкодовує лише половину вартості небалансів. Й тут особливо гостро постали питання:

- Як виробникам ВДЕ зменшити ці штрафи?
- Як максимально покращити прогнозування своєї генерації?
- Як звести до мінімуму різницю між прогнозом і фактично виробленою електроенергією?

Одним із напрямів забезпечення оптимальних режимів роботи та зменшення можливих негативних впливів ВДЕ на енергосистему виступає створення комбінованих (гібридних) локальних енергосистем, де поєднується кілька джерел відновлюваної енергії, а також є система накопичення енергії. Передбачені законодавчо балансувальні групи виробників електричної енергії за змістом якраз можуть бути системами такого типу. Використовуючи такі гібридні енергосистеми разом з концепцією Smart Grid та застосовуючи різні методи оптимізації, можливо значно зменшити собівартість виробленої електроенергії, уникнути штрафів, а також зменшити вартість самої системи приблизно на 20 % [3].

Критеріями оптимізації звичайно виступають показники собівартості енергії та індекси надійності. Як цільова функція можуть також виступати: дисперсія небалансів потужності, ймовірність виходу небалансу за певні межі, мінімізація позитивного небалансу (втрат енергії) та негативного (втрати навантаження), частота вмикання

регулювальних (резервних) потужностей, ємність системи проміжного зберігання енергії тощо. Показники надійності можуть бути як критерієм оптимізації, так і входити до системи обмежень.

Коректне розв'язання зазначених задач потребує адекватної математичної моделі енергосистеми з урахуванням реальних випадкових процесів. Дослідження в цьому напрямі виконуються на кафедрі відновлюваних джерел енергії КПІ ім. І.Сікорського спільно з Інститутом відновлюваної енергетики НАН України. З деякими результатами можна ознайомитись у фахових наукових виданнях, зокрема журналі «Відновлювана енергетика».

Література:

1. Мельник О.А. Оптимальне інтегрування відновлюваних джерел енергії в обмежену енергомережу / "Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики", 2017.
2. Kuznietsov M., Vyshnevskaya Y., Brazhnyk I., Melnyk O. Modeling of the Generation-Consumption Imbalance in the Heterogeneous Energy Systems with Renewable Energy Sources / 2019 IEEE 6th International Conference on Energy Smart Systems (ESS) conference-paper – P. 196–200. DOI: 10.1109/ess.2019.8764189.
3. Ali M. Eltamaly, Majed A. Alotaibi, Abdulrahman I. Alolah, Mohamed A. Ahmed, A Novel Demand Response Strategy for Sizing of Hybrid Energy System With Smart Grid Concepts / IEEE Access (Volume: 9), 2021, P. 20277–20294. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3052128.

УДК 377.3:614.8:69

МЕТОДИКА ФОРМУВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ В МАЙБУТНІХ БУДІВЕЛЬНИКІВ

Н. Кулаласєва

*Інститут професійно-технічної освіти НАПН України,
пров. Віто-Литовський, 98 а, м. Київ, 03045, Україна,
тел.: +38(044)252-73-75, e-mail: kulture2014@gmail.net*

Наведено методику формування енергоефективної компетентності в майбутніх будівельників, що заснована на цілеспрямованому застосуванні проєктних технологій.

Ключові слова: енергоефективна компетентність, майбутні будівельники, проєктні технології.

METHODS OF FORMATION OF ENERGY EFFICIENT COMPETENCE IN FUTURE BUILDERS

N. Kulalaieva

*Institute of Vocational Education and Training of the National
Academy of Educational Sciences of Ukraine, Vito-Lytovskyi
bystreet, 98 a, Kyiv, 03045, Ukraine, tel.: +38(044)252-73-75,
e-mail: kulture2014@gmail.net*

The method of formation of energy efficient competence in future builders, based on the purposeful application of design technologies, is given.

Keywords: energy efficient competence, future builders, design technologies.

ORCID: 0000-0002-8613-1495.

Сьогодні одним із основних трендів цивілізованого суспільства є спрямованість на реалізацію стратегії сталого (збалансованого) розвитку, зокрема на досягнення його цілей [1]. Разом з іншими країнами – членами ООН Україна також визнала пріоритетне значення для себе цієї стратегії та адаптувала цілі сталого розвитку відповідно до українського контексту. Результатом такої діяльності виявився Указ Президента України «Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року» [2], в якому на період до 2030 року задекларовано «забезпечення переходу до раціональних моделей споживання і виробництва».

З огляду на це набуває істотної значущості формування енергоефективної компетентності в майбутніх фахівців. При цьому, зважаючи на той потужний антропогенний вплив, який здійснює будівництво на навколишнє середовище: від видобутку будівельних матеріалів до експлуатації готових об'єктів і їхнього руйнування, актуалізується проблема формування енергоефективної компетентності в майбутніх будівельників. Вони мають усвідомлювати обмеженість енергетичних ресурсів і необхідність у їхньому раціональному використанні, володіти знаннями теоретичних основ енерго- та ресурсозбереження, механізмів дії енергоефективного обладнання, а також умінь застосовувати енергоекологічні знання в різних видах діяльності, оцінювати їх та усвідомлювати свою готовність до здійснення професійної діяльності згідно з принципами розумного енергоспоживання.

Отже, для реалізації вищенаведеного доцільно застосовувати міждисциплінарний підхід, а саме використовувати проєктні технології в освітньому процесі закладів професійної (професійно-технічної) освіти. Під час виконання проєкту в свідомості учасників утворюються міжпредметні причинно-наслідкові зв'язки, що дають їм

змогу більш повно усвідомити можливі шляхи енергозбереження у власній професійній діяльності.

Методика формування енергоефективної компетентності в майбутніх кваліфікованих робітників будівельного профілю засобами проєктного навчання представляється як алгоритм його реалізації, що орієнтований на творчу самореалізацію особистості учнів через розвиток їхніх інтелектуальних і фізичних можливостей, вольових якостей і творчих здібностей. Вона складається з чотирьох етапів: *діагностувального* (виявлення в учнів основ екологічного світогляду), *мотиваційного* (усвідомлення учнями суті енергозбереження), *навчального* (навчання учнів раціонального енергоспоживання в будівництві) та *рефлексивного* (усвідомлення власних енергоощадних поведінки та компетентності).

Ідеї проєктів діагностувального етапу мають привертати увагу учасників до комплексу сучасних екологічних проблем, спонукати до пошуків їхнього системного розв'язання. Можливі теми проєктів: «Визначаємо екологічний слід», «Розподілення ресурсів на Землі», «Причини зміни клімату», «Обмеженість енергетичних ресурсів», «Накопичення будівельних відходів», «Вплив будівельного майданчика на біоту прилеглої території» тощо.

На мотиваційному етапі учні мають усвідомити користь для навколишнього середовища від енергозбереження в будівельній галузі, сформувані прагнення до застосування енергоефективних технологій у власній праці. Серед тем проєктів можна запропонувати: «Використання енергоощадних приладів на будівельному майданчику», «Еконейтральні технології у будівництві», «Розумні будинки», «Енергетична ефективність енергопоглинальних пристроїв», «Показники енергоефективності будівель» тощо.

На навчальному етапі доцільно дати можливість учням опанувати деякі енергоефективні технології, засвоїти навички роботи з енергоефективним обладнанням. Означений етап краще реалізовувати при поєднанні занять з теоретичного та виробничого навчання. Темами проєктів можуть бути: «Застосування альтернативних джерел енергії на будівельному майданчику», «Використання енергоефективних матеріалів та технологій у будівництві», «Утеплення фасадів будівель: техніка виконання» тощо.

Рефлексивний етап найкраще можна реалізувати під час дуальної форми навчання, оскільки з метою виявлення можливостей для запровадження енергоощадних заходів здобувачі освіти мають проаналізувати власні професійні дії, а також діяльність інших робітників на будівельному майданчику. Результатом проєктних дій можуть бути відповідні пропозиції щодо поліпшення енергоощадної поведінки будівельників у таких проєктах: «Причини енергетичних витрат на робочому місці штукатура», «Рациональне використання електричних приладів під час роботи монтажника гіпсокартонних конструкцій», «Енергоощадні заходи під час роботи муляра» тощо. Дотримання впорядкованої послідовності дій у проєктній діяльності за окресленими автором етапами проєктування дає змогу раціонально організовувати процес, тобто рівномірно розподілити заплановані заходи й спрогнозувати ймовірні результати кожного етапу.

Висвітлена автором методика формування енергоефективної компетентності у майбутніх будівельників через проєктне навчання дасть їм можливість підготуватися в закладах професійної (професійно-технічної) освіти до енергоощадної праці. Використання для означеної мети інноваційних проєктних технологій сприятиме підвищенню продуктивності професійної підготовки майбутніх кваліфікованих

робітників, формуванню в них якісних ключових, загальнопрофесійних і професійних компетентностей.

Література:

1. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015. United Nations UKURL: <https://www.ua.undp.org/content/ukraine/uk/home/library/sustainable-development-report/the-2030-agenda-for-sustainable-development.html> (дата звернення 10.03.2021).

2. Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року. Указ Президента України. База даних "Законодавство України"/ Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/722/2019#Text> (дата звернення 10.03.2021).

УДК 620.92

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИЙ БУДИНОК ІЗ БІОГАЗОВОЮ УСТАНОВКОЮ НА ОСНОВІ КОНЦЕПЦІЇ «SMART GRID»

М. Лазорко

*Національний технічний університет України "Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського",
просп. Перемоги, 37, Київ, 03056, Україна,
e-mail: mykola.lazorko12@gmail.com*

Оглянуто загальну концепцію пасивного будинку, в якому зводяться до мінімуму власні втрати енергії, а дотримання комфортних умов життя забезпечується за рахунок енергії сонця. Запропоновано дизайн енергоефективного будинку приватної власності з урахуванням погодних та кліматичних умов, які притаманні території України. Цей дизайн включає в себе використання усіх можливих джерел енергії, що реалізуються при правильному використанні енергії навколишнього середовища та переробки вже спожитої, а також використання новітніх технологій для об'єднання подібних будинків в одну систему.

Keywords: *відновлювані джерела енергії, пасивні будинки, «smart grids», енергоефективність.*

ENERGY EFFICIENT HOUSE WITH BIOGAS PLANT BASED ON "SMART GRID" CONCEPT

M. Lazorko

*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv
Polytechnic Institute", 37, Peremohy Ave., Kyiv, 03056,
Ukraine. e-mail: mykola.lazorko12@gmail.com*

The general concept of a passive house is considered, in which own losses of energy are minimized and observance of comfortable living conditions is provided by the sun energy. The

design of an energy-efficient private house is proposed, taking into account the weather and climatic conditions inherent in the Ukrainian area. This design includes the use of all possible energy sources, which are realized with the correct use of the environment energy, and the processing of already consumed energy, as well as the use of the latest technologies to combine such buildings into one system.

Keywords: *renewable energy sources, passive houses, smart grids, energy efficiency.*

ORCID: 0000-0002-2926-761X.

Найбільш затребуваними цілями сьогодення є повний перехід від традиційних джерел енергії до відновлюваних, що спричинено значними викидами CO₂ та різким зменшенням запасів корисних копалин. Оскільки житлові будинки є значними споживачами енергії, до 40 % загального споживання, тому доцільно докласти всіх зусиль, щоб забезпечити їх максимальну незалежність в енергетичних потребах.

У світі є певні критерії, яким повинні відповідати усі новостворені чи реорганізовані будинки, щоб отримати сертифіковане підтвердження належності до класу «Пасивний будинок». Концепція пасивного будинку заснована на дотриманні основних принципів будівництва, а саме:

- Орієнтація на південь – для максимального використання енергії сонця в зимовий період та забезпечення прохолоди в літній, південна сторона будинку повинна мати велику площу застління, щоб нагрівати весь об'єм будинку взимку і бути захищеною виступними елементами даху влітку. Північна сторона вважається буферною, тому її доцільно захистити ландшафтними елементами, такими як дерева чи рельєф місцевості.

- Мінімальні теплові втрати – будинок повинен бути утепленим відповідно до кліматичних норм (стіни, фундамент, дах), потрібно забезпечити відповідну

герметизацію, а також відсутність «теплових мостів». Для ефективного поглинання сонячної енергії використовують масивні елементи інтер'єру (цегляні та бетонні стіни, гіпсову ліпнину, порцелянову плитку та декорації), стіни Тромба та оранжерейні теплиці.

- Скління – щоб ефективно використати сонячну енергію, вікна повинні орієнтуватися на південь, допускається відхилення на схід та захід до 30 %, також вони повинні мати мінімальні втрати тепла, найчастіше використовують тришаровий склопакет.

Для досягнення енергоефективності дому та максимальної енергетичної незалежності пропонується, окрім використання концепції пасивного будинку, залучити усі можливі атрибути відновлюваної енергетики.

Будинок пропонується оснастити вискооефективною системою вентиляції повітря на основі низькопотенційного насосу класу повітря–повітря з рекуперацією, що забезпечить частковий обігрів вхідного повітря вихідним, а особливість двобічної роботи насоса можна використати для додаткового літнього охолодження. Щоб максимально використати можливості будинку для обігріву, слід розмістити з північної сторони буферні зони, такі як кухня, гараж, ванна та складське приміщення, а з південної сторони – житлові кімнати. В дизайн будинку також входить біореактор, для видобутку біогазу із відходів життєдіяльності та побутових відходів, що забезпечить кухонні потреби та гаряче водопостачання. У період надмірних мінусових температур паралельно тепловому насосу буде вмикатися біогазова теплоустановка. Оскільки біогаз є CO_2 нейтральним, його спалення є цілком екологічно чистим. Витрати електроенергії покриватимуться за рахунок сонячних панелей, якими будуть вкриті елементи покрівлі будинку та, по можливості, якоїсь частини прибудинкової території. Для збільшення ефективності даного типу будинку пропонується об'єднання таких будівель у мережу за допомогою концепції «Smart grid», що дасть легкий доступ для моніторингу усіх процесів

у мережі та дозволить перерозподіляти електроенергію між будинками й електростанцією в період несприятливих погодних умов, коли власної генерації буде недостатньою.

References:

1. Steff Bell. Passive house. Part 1. 2010.
2. Steff Bell. Passive house. Part 2. 2010.
3. David Johnston, Mark Siddall. The Building Fabric Thermal Performance of Passivhaus Dwellings—Does It Do What It Says on the Tin?. 2016.
4. António Figueiredo, Filipe Rebelo, Rui Alexandre Castanho, Rui Oliveira, Sérgio Lousada, Romeu Vicente, Victor M. Ferreira. Implementation and Challenges of the Passive House Concept in Portugal: Lessons Learnt from Successful Experience. 2020.

УДК 661.931

ВАРТІСТЬ ВИРОБНИЦТВА ВОДНЮ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕЛЕКТРОЛІЗУ

**С.О. Кудря¹, І.В. Іванченко², К.В. Петренко³,
О.О. Кармазін⁴, А.О. Антон⁵, О.О. Рєпкін⁶**

Інститут відновлюваної енергетики НАН України, Київ

У доповіді досліджено оцінки вартості виробництва водню електролізом і фактори зменшення витрат до 2030 року.

Ключові слова: електроліз, зелений водень, інвестиційні витрати, LCOE, LCOH.

THE COST OF HYDROGEN PRODUCTION BY ELECTROLYSIS

**Kudria S.¹, Ivanchenko I.², Petrenko K.³, Karmazin O.⁴,
Anton A.⁵, Riepkin O.⁶**

Institute of Renewable Energy, NAS of Ukraine, Kyiv

The report examines estimates of the cost of hydrogen production by electrolysis and cost reduction factors by 2030.

Key words: electrolysis, green hydrogen, investment costs, LCOE, LCOH.

ORCID: ¹0000-0002-4798-6853; ²0000-0002-5083-4180;
³0000-0002-2322-9030; ⁴0000-0002-7628-6880; ⁵0000-0002-9809-5524, ⁶0000-0002-3448-6729.

Електроліз води сьогодні розглядається як ідеальна технологія для отримання стійкого водню. Ця технологія передбачає використання постійного електричного струму. Електроліз може відбуватися за допомогою ряду методів. У всіх випадках електроенергія використовується для розділення молекул води, а результатом цього є отримання

водню та кисню. Найбільш відомими і найбільш розвинутими варіантами є звичайні методи лужного електролізу (AEL) і електроліз протонобмінною мембраною (PEM). Обидва методи працюють при низьких температурах, 60–70 °C. Електроліз лужної обмінної мембрани (AEM) є третім низькотемпературним варіантом. Цей варіант найменш розвинений, оскільки технологія все ще перебуває на стадії лабораторних досліджень. Четвертий варіант, твердооксидний електроліз (SOEC), просунувся трохи далі, але також все ще слабо розповсюджений. SOEC пов'язаний з високотемпературними твердооксидними паливними елементами (SOFCs) і працює при температурах 600–800 °C. У порівнянні з низькотемпературними варіантами ця технологія підвищує енергетичну ефективність, оскільки для поділу молекул води при цих температурах потрібно менше енергії.

Сьогодні AEL і PEM електролізери комерційно доступні в потужностях 1–5 МВт. Інвестиційні витрати на електролізери AEL наразі становлять близько 1000 євро за 1 кВт. Інновації, оптимізація та збільшення обсягів виробництва можуть зменшити витрати до € 370–800 за 1 кВт до 2030 року [1]. Очікується, що ефективність промислових систем, яка сьогодні становить у середньому 61 % (55 кВт·год/кг H₂ або 5 кВт·год/нм³ H₂), зросте якнайменше до 67 % (50 кВт·год/кг H₂ або 4.5 кВт·год/нм³ H₂).

Інвестиційні витрати на електролізери PEM складають близько 1400 євро за кВт. Збільшення масштабів виробництва може швидко скоротити витрати, ринкові оцінки на 2030 рік – 760 євро за 1 кВт, хоча широко варіюються від 250 євро до 1270 євро за 1 кВт [2]. Споживання електроенергії системами PEM в даний час ще трохи вище, ніж у AEL. Проте ці показники швидко покращуються, і, як очікується, найближчим часом споживання електроенергії знизиться до рівня значно менше 50 кВт·год/кг у 2030 році (ефективність > 70 %).

Припускаючи максимальну кількість робочих годин на рік та витрати на електроенергію в розмірі 70–80 євро за 1 МВт·год, поточні європейські виробничі витрати оцінюються в 5 євро за 1 кг H₂. За даними нідерландської компанії TKI Nieuw Gas, очікується, що витрати до 2030 року становитимуть близько 3 євро за 1 кг H₂ на виробничому майданчику. До цього часу також з'являться великі електролізери потужністю 100 МВт (40 т H₂ на добу), можливо й більше. Це в свою чергу може призвести до зниження витрат на виробництво до 1,5-2 євро за 1 кг H₂ [2].

Тоді витрати на виробництво «зеленого» водню стануть конкурентоспроможними з виробництвом водню з використанням природного газу, особливо якщо ціни на природний газ та CO₂ будуть збільшуватися, а виробництво повинно поєднуватися з CCS.

Однак якщо інвестиційні витрати будуть знижуватися (табл. 1), то виробничі витрати будуть дедалі більше визначатися цінами на електроенергію.

Таблиця 1. Показники основних електролізерних технологій виробництва водню

Показник	Електролізер AEL		Електролізер PEM	
	2018	2030	2018	2030
Інвестиційні витрати, €/кВт	1000	585	1400	760
Ефективність, %	61	67	65	78
Собівартість LCOH, €/кгH ₂	5.0	1.5	6.0	2.0

Джерело: підготовлено авторами за даними нідерландської компанії TKI Nieuw Gas [2].

Вартість виробництва водню визначальна для його загальної конкурентоспроможності. Вартість «зеленого» (відновлюваного) водню, отриманого внаслідок електролізу, складається з двох основних компонентів:

вартості електроенергії з відновлюваних джерел енергії, зокрема сонячної та вітрової, та вартості електролізу.

Електроенергія з відновлюваних джерел енергії, ймовірно, продовжуватиме поступово дешевшати та буде більш доступною, враховуючи поточну політику. Однак зменшення витрат на електроліз вимагає узгоджених зусиль для збільшення масштабів потужності електролізерів.

Ключовими рушіями постійного зниження витрат є індустріалізація виробництва електролізерів (–25 %), підвищення ефективності експлуатації електролізера та технічного обслуговування (–10 %) та використання недорогих відновлюваних джерел енергії (–20 %) [3].

Що стосується капіталовкладень, то до 2030 року очікується зниження від 60 до 80 % більш масштабного виробництва, більш широкого використання автоматизації та спрощення виробничих процесів. Перехід від систем електролізерів з 1 до 2 МВт, які зазвичай використовуються сьогодні, наприклад, до систем від 80 до 100 МВт, може значно зменшити витрати від допоміжного обладнання.

Фактичне зниження витрат може відбутися досить швидко і ще більше прискорити конкурентоспроможність «зеленого» водню, отриманого в результаті електролізу.

Більш низька вартість електроенергії з відновлюваних джерел сприятиме значному зниженню експлуатаційних витрат. Комплексне використання ресурсів відновлюваних джерел робить відновлюваний водень надзвичайно ефективним для різних регіонів.

Авторами, за даними Hydrogen Council, 2020 [3], виведено залежність приведеної собівартості виробництва водню LCOH від собівартості виробництва відновлюваної електроенергії LCOE та коефіцієнта використання встановленої потужності КВВП.

Рис. 1. Собівартість «зеленого» водню LCOH (питомі капітальні витрати електролізера – 500 \$/кВт) в середньостроковій перспективі

Середньострокова оцінка собівартості виробництва водню показує, що навіть при консервативному сценарії – питомі капітальні витрати електролізера 500 \$/кВт – доступ до електроенергії з відновлюваних джерел енергії вартістю у 20 \$/MBT·год дозволяє виробляти «зелений» водень приблизно за 2 \$/кг H₂.

Зниження вартості електроенергії з відновлюваних джерел LCOE вдвічі приводить до зниження вартості водню LCOH в півтора раза.

Україна має потенціал стати одним із ключових постачальників «зеленого» водню на ринок ЄС, використовуючи потужності розвиненої мережі української газотранспортної системи. Україна бере участь у реалізації ініціативи 2x40 ГВт зеленого водню для «Європейської зеленої угоди» (Green Hydrogen for a European Green Deal. A 2x40 GW Initiative). Відповідно до "2x40 GW Green Hydrogen Initiative" в Україні буде встановлено 10 ГВт нових потужностей електролізерів для виробництва «зеленого» водню. Вказана ініціатива передбачає встановлення 2 ГВт

нових потужностей електролізерів для внутрішнього ринку і 8 ГВт – для експорту водню трубопроводами до ЄС [5].

Таким чином, враховуючи значний потенціал відновлюваних джерел енергії і, відповідно, виробництва зеленого водню [6, 7], Україна може досягти собівартості виробництва водню в середньостроковій перспективі до 2–3 \$/кг H₂.

Література:

1. Bertuccioli L., et al. Development of Water Electrolysis in the European Union – Final Report. E4tech Sàrl with Element Energy Ltd for the Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking, February 2014. URL: https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/study%20electrolyser_0-Logos_0.pdf
2. Gigler J, Weeda M. Outlines of a Hydrogen Roadmap. TKI NIEUW GAS. May 2018. URL: <https://www.topsectorenergie.nl/sites/default/files/uploads/TKI%20Gas/publicaties/20180514%20Roadmap%20Hydrogen%20TKI%20Nieuw%20Gas%20May%202018.pdf>
3. Path to Hydrogen Competitiveness: A Cost Perspective. Hydrogen Council. 2020. 88 p. URL: https://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2020/01/Path-to-Hydrogen-Competitiveness_Full-Study-1.pdf.
4. Staffell, I. and S. Pfenninger (2016). Using bias-corrected reanalysis to simulate current and future wind power output. Energy. Vo. 114. pp. 1224–1239. [Електронний ресурс]. URL: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.08.068>.
5. [Електронний ресурс]. URL: https://hydrogeneurope.eu/sites/default/files/Hydrogen%20Europe_2x40%20GW%20Green%20H2%20Initiative%20Paper.pdf
6. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України / За ред. С.О. Кудрі. Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАН України. 2020. 82 с.
7. Відновлювані джерела енергії / За заг. ред. С.О. Кудрі. – Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2020. 392 с.

УДК 620.97: 661.968: 339.97

АНАЛІЗ ПЕРСПЕКТИВ УКРАЇНСЬКОГО ЕКСПОРТУ ЗЕЛЕНОГО ВОДНЮ ДО НІМЕЧЧИНИ

Ю.В. Ташчєєв, к.е.н., с.н.с.

*Інститут відновлюваної енергетики НАН України,
м. Київ,*

e-mail: tascheevyuri@gmail.com, тел. +38(050)9744476

На сьогоднішній день в Німеччині йде дискусія щодо ймовірних обсягів внутрішнього виробництва зеленого водню та його імпорту.

Україна в майбутньому зможе претендувати на поставку зеленого водню в Німеччину поряд з такими країнами, як Марокко, Норвегія, Канада, Ісландія та ін.

Для цього потрібно не тільки збільшення потужностей відновлюваної енергетики, а й значні інвестиції в будівництво електролізерів та супутньої інфраструктури.

Ключові слова: *зелений водень; відновлювані джерела енергії; експорт українського водню; аналіз потреб Німеччини в водні.*

ANALYSIS OF THE PROSPECTS OF THE UKRAINIAN GREEN HYDROGEN EXPORT TO GERMANY

Yurii Tashcheiev, Ph.D., Senior Research Fellow

Institute of Renewable Energy NAS of Ukraine,

Today in Germany there is a discussion about the probable volumes of domestic production of green hydrogen and its import.

In the future, Ukraine will be able to apply for the supply of green hydrogen to Germany, along with such countries as Morocco, Norway, Canada, Iceland and others.

This requires not only an increase in renewable energy capacity, but also significant investment in the construction of cells and related infrastructure.

Key words: *green hydrogen; renewable energy sources; export of Ukrainian hydrogen; analysis of Germany's needs for hydrogen.*

ORCID: 0000-0002-0408-4315.

Researcher ID: M-2048-2014

За оцінками світових наукових структур потреба Німеччини в зеленому водні до 2050 р., може скласти приблизно 169 – 673 ТВт-год, або $56 \cdot 10^9$ – $224,3 \cdot 10^9$ літрів ($5,05 \cdot 10^6$ – $20,2 \cdot 10^6$ кг) [1;2]. Для виробництва зеленого водню електролізом в таких кількостях потрібно генерація електроенергії з відновлюваних джерел (без урахування зберігання та інших втрат) в обсязі 228 – 910 ТВт-год в рік.

На сьогоднішній день в Німеччині в політичних і наукових колах йде дискусія щодо передбачуваних обсягів внутрішнього виробництва зеленого водню та імпорту. Наприклад, згідно з дослідженням [2] обсяг імпорту за першим сценарієм може складе всього 5 ТВт-год (3% імпортна квота), по другому 32 ТВт-год (19%), припускаючи, що основна частина водню до 2050 р., буде вироблятися всередині країни з використанням власних наземних, офшорних вітрогенераторів і сонячних електростанцій, розміщених на території Німеччини.

В остаточному підсумку рішення щодо імпорту зеленого водню в Німеччину буде базуватися на аналізі передбачуваних інвестиційних витратах, а також виробничих, транспортних витрат, зіставлення кінцевої ціни з урахуванням податків і зборів.

Важливо відзначити, що поряд з аналізом інвестицій в електролізери, витратами на виробництво електроенергії з ВДЕ та виробництво водню визначаються також години повного завантаження електролізерів щобезпосередньо

залежить від потенціалу відновлюваної енергії в тому чи іншому регіоні.

Дослідження потенційних можливостей виробництва зеленого водню в Україні з урахуванням природно-кліматичних особливостей [2], становить приблизно $44,96 \cdot 10^9$ кг, теоретично цього цілком достатньо для покриття імпорتنих потреб Німеччини в зеленому водні.

Припустивши, що Україна в майбутньому зможе стати конкурентоспроможним постачальником зеленого водню в Німеччину поряд з такими потенційно розглянутими країнами, як Марокко, Норвегія, Канада, Ісландія та ін. Експорт водню в Німеччину з України може скласти 5% ($0,625 \cdot 10^6$ кг) від середньостатистичних прогнозних потреб 2050 р. Для цього необхідно не тільки побудувати електролізери, а й докорінно змінити структуру самої генерації електроенергії в Україні.

За попередніми оцінками, для виробництва зеленого водню електролізом в таких кількостях потрібно генерація електроенергії з відновлюваних джерел (без урахування зберігання та інших втрат) в обсязі 28,45 ТВт-год на рік.

Для порівняння, встановлена потужність в Україні всього обладнання для генерації електроенергії з відновлюваних джерел в мережу на кінець 2020 р. склала 6318,40 МВт, що дозволило виробити електроенергії $10,28 \cdot 10^9$ кВт-год на рік.

Легко помітити, що тільки для виробництва передбачуваного обсягу водню для Німеччини буде потрібно побудувати, як мінімум 18000 МВт встановленої потужності відновлюваної енергетики. З чого випливає, що Україні потрібно збільшити встановлену номінальну потужність ВДЕ як мінімум в три рази.

Також потрібно враховувати, що капітальні витрати на будівництво електролізерів на сьогоднішній день знаходяться в діапазоні 405-1800 \$/кВт, що залежить безпосередньо від типу обладнання [4].

Підсумовуючи вищенаписане, можна констатувати наступне: Україна має великий потенціал з урахуванням

природно-кліматичних особливостей, але для того, щоб країна стала експортером зеленого водню в Німеччину потрібно не тільки збільшення потужностей відновлюваної енергетики, а й значні інвестиції в будівництво електролізерів і супутньої інфраструктури.

Література:

1.LBST: Wasserstoffstudie Nordrhein-Westfalen – Eine Expertise für das Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein - Westfalen. (2019):

https://www.wirtschaft.nrw/sites/default/files/asset/document/b_ericht_wasserstoffstudie_nrw-2019-04-09_komp.pdf

2. Deutsche Energie-Agentur (dena) (2018): dena-Leitstudie – Integrierte Energiewende – Impulse für die Gestaltung des Energiesystems bis 2050, Berlin. https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9261_dena-Leitstudie_Integrierte_Energiewende_lang.pdf

3. Інститут відновлюваної енергетики НАН України (2019): Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України, потенціал зеленого водню України. <http://www.ukrenergopexport.com/en/node/353>

4. Ташеев Ю. В., Войтко С. В., Трофименко О. О., Рєпкін О. О., Кудря Т. С. Глобальні тенденції розвитку водневих технологій у промисловості. БізнесІнформ. 2020. №8. С. 103–114. <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2020-8-103-114>

УДК 661.961/.968

EFFECT OF PREPARATION PROCEDURES AND HYDROLYSIS PARAMETERS ON THE HYDROLYSIS PERFORMANCE OF MgH_2 - MgCl_2 NANOCOMPOSITES

D.S. Korablov¹, O.V. Bezdorozhev², Yu.M. Solonin³

¹Frantsevich Institute for Problems of Materials Science NAS
of Ukraine, Krzhyzhanovsky str., 3, 03142, Kyiv, Ukraine,

¹tel.: +38(044)205-79-13, ²e-mail: funejima@gmail.com,

²tel.: +38(044)205-79-86,

²e-mail: oleksii.bezdorozhev@gmail.com,

³tel.: +38(044)390-87-57, +38(044)205-79-01,

³e-mail: dir@jpms.kiev.ua; solonin@jpms.kiev.ua

Magnesium hydride is an attractive material for solid-state hydrogen storage and for hydrogen generation via hydrolysis due to its high capacity of hydrogen and low cost. However, the hydrolysis reaction of MgH_2 is rapidly blocked by the $\text{Mg}(\text{OH})_2$ passivation layer, which can be destabilized by Cl^- ions. By taking into account this fact, we performed high-energy ball milling synthesis of MgH_2 with MgCl_2 additive, and evaluated the effect of preparation procedures and hydrolysis parameters on the hydrolysis performance of the prepared materials.

Keywords: *magnesium hydride, hydrolysis, hydrogen generation, nanocomposites, high-energy ball milling.*

ORCID: 0000-0002-0026-6031.

Today, hydrogen is considered as one of the best options as a clean energy carrier when produced from renewable sources of energy. Hydrogen can offer a viable solution to many problems caused by climate change, air pollution, fluctuations in the green energy supply, etc., since it is renewable, eco-friendly and has a high energy density (120 MJ/kg). However, conventional hydrogen storage methods, i.e. high pressure gas cylinders and liquid hydrogen, cannot fully meet the

requirements for the application in fuel cell electric vehicles due to the issues associated with a low hydrogen storage capacity, safety and high cost. Solid-state hydrogen storage in hydrides is a promising method of storage for portable and automotive applications. Metal hydrides are chemical compounds of metals and hydrogen that can reversibly absorb/release large amounts of hydrogen in controlled temperature and pressure conditions. Compared to the reversible hydrogen storage materials, production of hydrogen via hydrolysis of hydrides provides a more efficient method for hydrogen generation because of the high hydrogen yield at low operation temperature.

In the search for advanced raw materials for hydrolysis, various hydrides (e.g., LiH, LiBH₄, NaBH₄, MgH₂) and Al-, Mg-based alloys have been tested. However, the last ones have poor hydrogen generation kinetics, while the hydrolysis of LiH or LiBH₄ is highly exothermic. NaBH₄ shows less exothermic reaction with water but the biggest disadvantages for its wide use are the necessity for catalysts as well as the reversibility and the cost issues.

Magnesium hydride (MgH₂) is considered to be one of the most attractive candidates due to its high hydrogen capacity (7.6 wt.% H₂ or 15.2 wt.% H₂, when hydrolyzed), relatively low cost, and environmentally friendly hydrolysis byproducts. Hydrogen is generated by MgH₂ hydrolysis via the following reaction:

Nevertheless, the main obstacle for practical application of MgH₂ is the formation of a passive Mg(OH)₂ layer on the MgH₂ surface. As the result, the hydrolysis reaction quickly slows down since Mg(OH)₂ has poor solubility in water as the pH increases. Various approaches were used to address this problem, which includes nanostructuring, the addition of salts, acids, alkali metals, inert additives at ambient conditions or when under heating, ultrasonic irradiation, stirring. As it was shown in our recent study [1], nanostructuring of MgH₂ with different additives (AlCl₃, EDTA, and TiC-2TiB₂) under

hydrogen atmosphere is an efficient way to improve the hydrolysis performance. Among the tested additives, the highest hydrolysis performance was obtained for materials with AlCl_3 additive. This was attributed to the destabilization of the $\text{Mg}(\text{OH})_2$ layer by Cl^- ions, which substitute the OH^- ones to form more soluble MgCl_2 than $\text{Mg}(\text{OH})_2$, while OH^- ions are consumed in the formation of $\text{Al}(\text{OH})_3$.

In order to further improve the hydrolysis reaction of MgH_2 , we studied the effect of preparation procedures and hydrolysis parameters on the hydrogen generation kinetics of MgH_2 – MgCl_2 composites prepared by reactive high-energy ball milling. The hydrogen generation performance in terms of conversion rate and hydrogen yield was determined volumetrically.

References:

1. D.S. Korablov, O.V. Bezdorozhev, S. Gierlotka, V.A. Yartys, Yu.M. Solonin. Effect of various additives on the hydrolysis performance of nanostructured MgH_2 synthesized by high-energy ball milling in hydrogen // Порошкова металургія. – 2020. – № 9/10. – С. 3–11.

УДК 620.92

СЦЕНАРІЙ ШИРОКОГО ВИКОРИСТАННЯ «ЗЕЛЕНОГО» ВОДНЮ

В.А. Хілько

*Інститут відновлюваної енергетики НАН України,
вул. Гната Хоткевича, 20а, м. Київ, 02094, Україна.
тел. +38(044)206-28-09, e-mail: vladimirkhilko@gmail.com*

Розглянуто сценарій зменшення витрат на виробництво «зеленого» водню завдяки інноваціям, збільшенню масштабу та підвищенню продуктивності станцій, що працюють на основі відновлюваних джерел енергії.

Ключові слова: IRENA, екологічна чистота, «зелений» водень, зниження вартості, відновлювані джерела енергії, електролізери.

SCENARIOS FOR THE WIDE USE OF "GREEN" HYDROGEN

V. Khilko

*Institute of Renewable Energy at NAS of Ukraine,
20a Hnata Khotkevicha str., Ukraine, 02094,
tel.: +38(044)206-28-09, e-mail: vladimirkhilko@gmail.com*

Scenarios to reduce the cost of producing "green" hydrogen through innovation, scale up and increased productivity of plants operating on the basis of renewable energy sources are considered.

Keywords: *IRENA, environmental purity, "green" hydrogen, cost reduction, renewable energy sources, electrolyzers.*

ORCID: 0000-0001-6348-2578.

Вступ. International Renewable Energy Agency (IRENA) – Міжнародне агентство відновлювальних джерел енергії, засноване в 2009 році для підтримки використання всіх форм відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). У сфері розвитку трансферу технологій та знань IRENA приділяє велику увагу впровадженню водневої технології, з метою досягнення мети 1,5 °C за Паризькою кліматичною угодою.

Але не всі типи водню сумісні з екологічною чистотою, кліматичною безпекою використання енергії або нульовими викидами. Лише «зелений» водень, який виробляється на електроенергії з відновлюваних джерел відповідає цим критеріям, що також спричиняє уникання «сірого» та гібридного «синього» водню.

Використання «зеленого» водню приходить на заміну дизелю на транспорті, природному газу в опаленні і вугіллю в металургії. Дослідження IRENA у 2018–2019 роках довели технічну та економічну доцільність впровадження водневої технології.

У грудні 2020 року опубліковано звіт IRENA (далі Звіт) на тему: «Зниження витрат на «зелений» водень». © IRENA 2020.

Ключові заходи, що сприяють використанню «зеленого» водню. Оскільки світова економіка прагне стати вуглецево нейтральною, конкурентоспроможний водень, що виробляється з відновлюваних джерел енергії, стає ключовим компонентом енергетичного комплексу. Зелений водень може допомогти досягти нульових викидів

двоокису вуглецю (CO_2) в енергоємних та важко декарбонізуючих секторах, таких як сталь, хімікати, транспортні перевезення на великі відстані, судноплавство та авіація.

Як зазначено у Звіті, падіння витрат на відновлювану енергію та вдосконалення технологій електролізерів можуть зробити «зелений» водень конкурентоспроможним до 2030 року.

Складові вартості «зеленого» водню. Найбільший компонент загальної вартості на місці виробництва «зеленого» водню – це вартість відновлюваної електроенергії, необхідної для живлення блоків електролізерів. Тому незалежно від вартості електролізера виробляти «зелений» водень дорожче, ніж «синій». Тож для виробництва конкурентоспроможного «зеленого» водню необхідна низька вартість електроенергії. Це створює можливість виробляти водень по всьому світу в місцях, які мають оптимальні відновлювані ресурси для досягнення зазначеної конкурентоспроможності.

Низька вартість електроенергії сама собою недостатня для досягнення конкурентоспроможності виробництва «зеленого» водню, і тому також потрібне зниження вартості електролізних установок. Це друга за величиною вартісна складова у виробництві «зеленого» водню.

У Звіті надано заходи для зменшення інвестиційних витрат для електролізних установок від 40 % у короткостроковій перспективі до 80 % – у довгостроковій.

Сценарії зменшення витрат, як указано у Звіті, варіюються від конструкцій комплектів електролізерів до ширших загальносистемних елементів, а також створення ринку водню, включаючи:

– Збільшення номінальної потужності електролізерів з 1 МВт (типово в 2020 році) до 20 МВт може зменшити витрати більш ніж на третину.

–Збільшення масштабу виробництва електролізерів у гігаватах, за допомогою автоматизованих процесів на виробничих потужностях, допоможе досягти зменшення витрат.

– Використання недефіцитних матеріалів зменшує витрати на виробництво стеків.

–Ефективність та гнучкість електричних станцій в експлуатації, інтегроване планування схеми станції з достатнім потенціалом для подолання мінливості ВДЕ можна забезпечити завдяки оптимізованій та інтегрованій акумуляції електроенергії та накопичуванню водню.

–Дизайн систем електролізу та експлуатація можуть бути оптимізовані для конкретних застосувань у різних областях енергетичної галузі: для великих мережевих користувачів, позамережевих об'єктів великого масштабу, децентралізованого виробництва з малими логістичними витратами.

–За історичним досвідом, потенційні показники для паливних елементів та електролізерів подібні до таких у сонячній фотоенергетиці, й тому зниження вартості може також досягати від 16 до 21 %.

–Інновації мають вирішальне значення для зменшення витрат і збільшення продуктивності електролізерів. Уряди країн можуть підтримувати інновації електролізерів, забезпечуючи чіткі довгострокові заходи підтримки.

–Розвиток ринкових відносин у використанні водневої технології приведе до збільшення попиту на «зелений» водень. Зобов'язання із впровадження «зеленого» водню мають бути відображені в довгостроковій стратегії країн.

Висновки. Поєднання зниження витрат на електроенергію з ВДЕ та на виробництво електролізерів, комбіноване з підвищеними ефективністю та тривалістю експлуатації, може забезпечити зменшення вартості водню до 85 %.

Вартість отриманого «зеленого» водню може опуститися нижче 2 доларів за кілограм. Оцінка досить низька, що надає «зеленому» водню конкурентну спроможність на енергетичному ринку протягом подальших десяти років.

Література:

1. IRENA. Green hydrogen cost reduction. 2020. [Electronic resource].– URL:
<https://irena.org/publications/2020/Dec/Green-hydrogen-cost-reduction>.

УДК 622.691.24

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПІДЗЕМНОГО ЗБЕРІГАННЯ МЕТАНУ І ВОДНЮ В ПОРИСТИХ ПЛАСТАХ

О.В. Бачеріков¹, Ю.П. Морозов²

*Інститут відновлюваної енергетики НАН України
02094, м. Київ, вул. Г. Хоткевича, 20а,
тел./факс: +38(044)206-28-09, e-mail: geotherm@ukr.net*

Представлені результати аналізу вимог до пористих пластів та щільних пластів – покрівель, придатних для створення підземного сховища водню, а також особливості технологій управління роботою такого сховища.

Ключові слова: підземні сховища газу, властивості водню, вимоги до геологічної структури, технології управління роботою сховища.

RESEARCH OF FEATURES OF UNDERGROUND STORAGE OF METHANE AND HYDROGEN IN POROUS LAYERS

O.V. Bacherikov¹, Y.P. Morozov²

*Institute of renewable energy of NAS of Ukraine
G. Khotkevych str., 20A, 02094, Kyiv, Ukraine
tel./fax: +38(044)206-28-09, e-mail: geotherm@ukr.net*

The results of the analysis of the requirements for porous formations and dense formations - roofs, suitable for the creation of underground hydrogen storage, as well as the features of technologies for managing the operation of such storage are presented.

Keywords: underground gas storage facilities, hydrogen properties, requirements to geological structure, storage operation management technologies.

ORCID: ¹0000-0003-0939-8804, ²0000-0003-1632-9735.

Приведені результати досліджень особливостей підземного зберігання водню на основі аналізу досвіду будівництва і експлуатації підземних сховищ газу метану. Експериментальні дослідження 2 накопичений досвід підтверджують, що як геологічні об'єкти для зберігання газу доцільно використовувати пористі водонасичені пласти, або пласти-колектори виснажених нафтогазових покладів, над якими залягають пласти – покрівлі з щільної породи [1].

Аналіз вимоги до геологічних структур, придатних для зберігання газу показав, що фільтраційно-ємкісні параметри пласта-колектора повинні бути не менше [1]:

проникність по газу – $0,15 \text{ мкм}^2$; (1)

відкрита пористість – 15 %. (2)

А для забезпечення герметичності підземного сховища пласт-покрівля повинен відповідати таким вимогам :

мінімальна потужність пласта – 4 м ; (3)

максимальна проникність по газу – 10^{-7} мкм^2 . (4)

Застосування вищезгаданих критеріїв до геологічних структур для зберігання водню вимагало проведення порівняльного аналізу деяких параметрів цих газів [2]. Результати наведено в табл. 1.

Таблиця 1

№ п/п	Параметр	Розмірність	Величина	
			водень	метан
1	Молекулярна маса	г/моль	2	16
2	Густина	г/л	0,0899	0,717
3	Динамічна в'язкість	мкПа·с	9	11,2

Як видно з табл. 1, маса і, відповідно, розміри молекул водню значно менші, ніж у метану, а також нижча і його

в'язкість. Ці факти дають підставу прогнозувати, що фільтрація водню в пластах-колекторах та пластах-покрівлях буде відрізнятись від відповідних величин для метану. Тому для уточнення критеріїв (1), (2), (3), (4) необхідні експериментальні дослідження проникності по водню вказаних пластів.

Крім того, для управління процесами нагнітання і відбору газу з підземного сховища використовуються відомі математичні моделі [3], що базуються на рівнянні Дарсі – Вейсбаха – Кельвіна й дозволяють прогнозувати швидкості фільтрації газу і тиски в пласті-колекторі.

Використання вищезгаданих математичних моделей для управління підземним сховищем водню також вимагає експериментальних досліджень проникності пластів по водню.

Як показує досвід [4], в процесі експлуатації підземного сховища газу відбуваються явища, що знижують ефективність його роботи. Так, знакозмінні навантаження на пласт у процесі нагнітання та відбору газу спричиняють часткове руйнування породи в навколосвердловинній зоні йі винос пластового піску, який виводить з ладу свердловинне і наземне обладнання.

Попередження виносу піску з свердловин підземних сховищ газу досягається шляхом встановлення фільтрів з наміванням щільної гравійної набивки між фільтром і пластом-колектором за спеціальною технологією [5]. Технологія передбачає ущільнення набивки після її намівання шляхом циклічного нагнітання газу в пласт у вертикальному напрямку (по затрубному простору) та горизонтальному напрямку (через фільтр). Ущільнення набивки зменшує винос піску та попереджає руйнування фільтра. Проведені експериментальні дослідження (табл. 2) підтверджують значне ущільнення набивки після 2-3 циклів нагнітання газу, про що свідчить зростання перепаду тиску на 46 % при фільтрації газу через набивку в горизонтальному напрямку.

Таблиця 2

№ п/п	№ циклу	Напрямок нагнітання газу	Перепад тиску в напрямку, МПа	
			вертикальному	горизонтальному
1	-	горизонтальний	-	0,13
2	1	вертикальний	0,16	-
3		горизонтальний	-	0,14
4	2	вертикальний	0,21	-
5		горизонтальний	-	0,17
6	3	вертикальний	0,22	-
7		горизонтальний	-	0,19

Вищезгадана технологія може бути використана і для умов підземних сховищ водню, але вимагає додаткового дослідження ефективності процесу ущільнення набивки циклічним нагнітанням водню.

Література:

1. Правила создания и эксплуатации подземных хранилищ газа в пористых пластах. РД Мингазпрома СССР, 1986. – 47 с.
2. Братичак М.М., Гунько В.М. Хімія нафти і газу – Львівська політехніка, 2020. – 448 с.
3. Морозов Ю.П. Добыча геотермальных ресурсов и аккумуляирование теплоты в подземных горизонтах / Ю.П. Морозов. – К.: Наук. думка, 2017. –200 с.
4. Гімер Р.Ф., Гімер П.Р., Деркач М.П. Підземне зберігання газу. – Льві в:Центр Європи, 2007 – 224 с.
5. Спосіб встановлення фільтра з гравійною набивкою в свердловині підземного сховища газу: Дек. атент № 11869 А Україна / Бачеріков О.В., Шимко Р.Я., Вечерік Р.Л. та ін. – опубл. 16.01.2006. Бюл № 1.

UDC 620.91

PROSPECTS FOR DEVELOPMENT OF HYDROGEN BUSES NETWORK IN POLAND BY 2025

K. Bijoś

*Esperis Consulting Poland ul. Puławska 12/3, 02-566
Warszawa Poland k.bijos@esperis.pl*

The project of Polish Hydrogen Strategy assumes the introduction of 500 hydrogen buses throughout the country and construction of a network of 32 hydrogen refuelling stations (HRS) by 2025. Although hydrogen buses will constitute only 4% of the whole municipal fleet, their implementation requires the successful completion of many investment processes related to the purchase of buses, construction of HRS, or supply of pure hydrogen. The aim of this paper is to show to what extent deployment of hydrogen busses and HRS network in Poland is possible by 2025?

Keywords: *hydrogen, fuel cell busses, hydrogen refueling station.*

ORCID: 0000-0003-4352-9476.

MOŻLIWOŚCI REALIZACJI SIECI AUTOBUSÓW WODOROWYCH W POLSCE DO 2025 R.

K.Bijoś

*Esperis Consulting Poland ul. Puławska 12/3, 02-566
Warszawa Poland k.bijos@esperis.pl*

Projekt Polskiej Strategii Wodorowej do 2030 r. (dalej PSW 2030) [1] nakreśla ramy dla rozwoju gospodarki wodorowej oraz wyznacza kierunki jej rozwoju. Jednym z zadań stawianych przez dokument jest wodoryzacja transportu miejskiego. PSW 2030 zakłada do 2025 r. rozpoczęcie eksploatacji 500 autobusów napędzanych wodorem, a do 2030

r. – 2000 autobusów. Za bazę paliwową ma posłużyć sieć stacji tankowania wodoru (HRS), których do 2025 r. ma powstać 32. Strategia choć wydaje się słuszna i potrzebna, może być jednak trudna do zrealizowania. Zwłaszcza jeżeli weźmiemy pod uwagę brak kompetencji związanych z zastosowaniem wodoru na poziomie samorządowym.

Autobusy wodorowe- stan obecny oraz możliwości realizacji:

Obecnie na tabor autobusów miejskich w Polsce składa się ok. 12 tys. pojazdów [2], przy czym rocznie na ulice wyjeżdża pomiędzy 700, a 1000 nowych jednostek. Zastępowalność starej floty wynosi więc średnio 850 sztuk rocznie. W 2020 r. nowe rejestracje obejmowały autobusy na diesla (44%), elektryczne (28%) i CNG (24%) – pozostałe stanowiły autobusy hybrydowe [3]. Z pozoru wydaje się, że zamówienie 500 autobusów w 4 lata nie powinno być wyzwaniem. Tempo realizacji zamówień uzależnione jest jednak od uwzględnienia wodoromobilności w programach dofinansowania z budżetu państwa, takich jak np. Zielony Transport Publiczny. Autobusy wodorowe, choć bardziej dotowane (państwo może pokryć do 90% kosztów) niż autobusy elektryczne (80%), stanowiły jedynie 1/4 wszystkich wniosków złożonych w styczniu br. o dofinansowanie zeroemisyjnego taboru autobusowego (102 sztuki). Dostaw pierwszej puli z tych autobusów należy spodziewać się na przełomie 2022/2023 r., z kolei ostatnia zostanie zarejestrowana dopiero w połowie 2025 r. Następny nabór wniosków planowany jest na początek 2022 r. i wiele zależy od tego jak duży nacisk zostanie położony na promocję wodoromobilności. Choć Ministerstwo Klimatu deklaruje, że na zakupy nowych autobusów wodorowych zostanie przeznaczone do 2025 r. aż 1,5 mld PLN (0,32 mln EUR), to obecnie kwota ta wydaje się niewystarczająca ze względu na tempo przyznawania środków. Przyjmijmy jednak, że autobusy napędzane wodorem będą stanowiły 10-12% wszystkich nowych zamówionych autobusów pomiędzy 2022 r. i 2025 r. Wówczas na koniec 2025 r. możemy liczyć na maksymalnie

300-320 autobusów wodorowych. Czyli o aż 40% mniej niż cele zawarte w PSW2030. Z kolei jeśli weźmiemy pod uwagę deklaracje przewoźników dotyczące wodoryzacji transportu w 10 polskich miastach, na ten moment można przypuszczać, że liczba autobusów wodorowych do końca 2025 r. będzie wahać się w przedziale od 250 do 300 sztuk. Ponieważ cel 500 autobusów do 2025 r. wydaje się raczej trudny do zrealizowania, już teraz można zadać pytanie nad zasadnością prognoz zawartych w PSW 2030 zakładających eksploatację 2000 autobusów w 2030 r. Scenariusz ten byłby możliwy gdyby poziom zamówień rocznych na autobusy wodorowe po 2025 r. utrzymał się na poziomie 350-400 szt.

Stacje tankowania wodoru (HRS)

Równolegle do kwestii zamówień autobusów warto zwrócić uwagę na wyzwania wynikające z projektowania i budowy sieci stacji tankowania. Czas potrzebny na realizację zamówień, pozwoleń oraz budowę w tym względzie wynosi od 14 miesięcy w Niemczech do przewidywanych min. 24 miesięcy w Polsce. Planowaną na 2025 r. sieć 32 HRS można już dziś podzielić na trzy grupy: te przeznaczone dla transportu ciężkiego, zorientowane na potrzeby samochodów osobowych oraz te dedykowane dla komunikacji miejskiej, które najczęściej ulokowane będą na zajezdniach autobusowych bez możliwości tankowania pojazdów innych niż autobusy. To właśnie stacje budowane na potrzeby autobusów będą stanowiły pierwszą, a zarazem największą grupę stacji – przynajmniej do 2025 r. Aby stacje te były ekonomicznie opłacalne, liczba autobusów tankowanych na nich powinna wahać się od 20-50. Oznaczałoby to sieć ok. 10-12 stacji wodorowych ulokowanych w większych polskich miastach. Ta grupa stacji podlegać powinna dofinansowaniom kierowanym przez Ministerstwo Środowiska. Tutaj pojawia się jednak problem skali dofinansowania – obecnie jest to 50% kosztów stacji do kwoty 3 mln PLN (0,64 mln EUR). Taki poziom dofinansowania nie pozwala na budowę instalacji mogącej pokryć zapotrzebowanie dużego taboru (np. dla miasta Poznania, które planuje zamówienie 84 autobusów wodorowych do 2025 r. koszt takiej

stacji mógłby przekraczać nawet 9mln PLN (2mln EUR). Pozostałe dwie grupy HRS będą najpewniej rozwijać się w oparciu o popyt na paliwo oraz współpracę największych polskich dostawców wodoru (Orlen, PGNiG, Lotos, ZE PAK) z producentami samochodów oraz ciężarówek napędzanych wodorem. HRS dedykowane użytkownikom pojazdów osobowych powinny być ulokowane przede wszystkim w miastach, sieć HRS dedykowana dla transportu ciężkiego powinna znajdować się w obrębie węzłów komunikacyjnych (porty, drogi ekspresowe, autostrady ze szczególnym uwzględnieniem głównych kierunków spedycyjnych polskich przewoźników). Dobrym nodnikiem dla budowy sieci HRS w Polsce dla samochodów osobowych mogłoby być niemieckie partnerstwo prywatno-publiczne H2mobility, będące operatorem 96% publicznych HRS (do końca roku 100 punktów tankowania głównie samochodów osobowych i niektórych pojazdów komunalnych). W takim modelu współpracy swoje udziały mają spółki paliwowe, producenci samochodów i autobusów oraz agencje rządu federalnego. Model współpracy zastosowany w Niemczech pokazuje rolę współpracy pomiędzy podmiotami współzależnymi od siebie w łańcuchu zapotrzebowania na wodór.

Łańcuch dostaw

W łańcuchu współzależności koniecznym jest zapewnienie ciągłych dostaw oczyszczonego wodoru do sieci HRS, najlepiej wyprodukowanego na bazie energii z OZE (zielony wodór), a niebędącego produktem ubocznym działania rafinerii (wodór szary). Należy spodziewać się, że dostawy w pierwszych 5-6 latach będą opierać się w większości o szary wodór, który będzie dostarczany cysternami z hubów produkcyjnych do HRS. Produkcja wodoru zielonego w instalacjach zlokalizowanych przy HRS na ich potrzeby jest raczej mało prawdopodobna w najbliższych latach. Oczywiście w tym zakresie wiele zależy od rozwoju technologicznego, cen prądu oraz doświadczeń wypracowanych przez bardziej zaawansowanych aktorów (H2 mobility czy przewoźników miejskich takich jak Regionalverkehr Köln).

Zgodnie z powyższym, by faktycznie doszło do wodoryzacji transportu miejskiego, koniecznym jest skuteczne sfinalizowanie wielu procesów inwestycyjnych związanych z kupnem autobusów, budową stacji tankowania czy dostawami czystego wodoru. Kto wie jednak, czy ich skuteczna realizacja będzie możliwa bez równoczesnego wdrażania kompleksowego programu edukacyjnego dla urzędników wszystkich szczebli. Realizacja przemyślanej polityki informacyjno-edukacyjnej pozwoli na uniknięcie sytuacji, w której brak zaufania do wodoru jako paliwa wpłynie na opóźnienia procesów pozwoleńowych oraz odbiorów.

Bibliografia:

1. Ministerstwo Klimatu i Środowiska, Projekt Polskiej Strategii Wodorowej do roku 2030 z perspektywą do 2040 r. <https://www.gov.pl/web/klimat/rozpoczely-sie-konsultacje-publiczne-projektu-polskiej-strategii-wodorowej> [dostęp 25.03.2021 r.]

2. Ministerstwo Klimatu i Środowiska, Prezentacja „Zielony Transport Publiczny – wnioski o dotacje na 431 autobusów zeroemisyjnych” (za GUS) <http://nfosigw.gov.pl/oferta-finansowania/srodki-krajowe/programy-priorytetowe/zielony-transport-publiczny-faza-i/nabor--zielony-transport-publiczny-faza-i/> [dostęp 25.03.2021 r.]

3. Polski Związek Przemysłu Motoryzacyjnego, Pierwsze rejestracje nowych autobusów Styczeń – Grudzień 2020 roku Analizy PZPM i JMK na podstawie danych Centralnej Ewidencji Pojazdów (KPRM/MC), Warszawa, 21 stycznia 2021, https://www.pzpm.org.pl/pl/content/download/11889/75093/file/PZPM_JMK_CEP_info_autobusy_nowe_12_2020 [dostęp 25.03.2021 r.]

УДК 338.45:620.9

ВОДЕНЬ – ОСНОВА ВУГЛЕЦЕВОНЕЙТРАЛЬНОЇ ЕКОНОМІКИ ЄС

I.I. Дороніна

*Національна академія державного управління при
Президентові України, вул. Антона Цедіка, 20, м. Київ,
03057, тел.: +38(044)481-21-55,
e-mail: irynadoronina@icloud.com*

*У роботі проаналізовано орієнтири виходу з кризи
спричиненої COVID-19 та стратегічні напрямки водневої
трансформації економіки ЄС.*

Ключові слова: *зелений курс ЄС, зелений транзит,
воднева економіка.*

HYDROGEN – THE BASIS OF THE EU'S LOW-CARBON ECONOMY

I.I. Doronina

*National Academy for Public Administration under the
President of Ukraine, Antona Tsedika str., 20, Kyiv, 03057*

*The article analyzes the guidelines for overcoming the
crisis of COVID-19 and the strategic directions of the hydrogen
transformation of the EU economy.*

Keywords: *EU Green Deal, green transit, hydrogen
economy.*

ORCID: 0000-0002-7032-644X.

Хронологія законодавства Євросоюзу в частині
переходу до чистої енергії прослідковується у чотирьох
Енергетичних пакетах ЄС, наповненням яких є відповідні
Директиви та Регламенти.

«Четвертий енергетичний пакет», опираючись на основи енергетичної політики та сформовані регулятивні норми, відкриває реальний шлях переходу від викопного палива до вуглецевонеutralної економіки, серед ключових пріоритетів якої:

- енергоефективність;
- глобальне лідерство ЄС у галузі відновлюваної енергетики;
- чесна угода для споживачів енергії.

У грудні 2019 року Європейська комісія прийняла масштабну програму дій під назвою «Європейський зелений курс» (комюніке ЄС та дорожня карта з планом дій і термінами виконання), що разом із Механізмом прикордонного вуглецевого регулювання фактично визначає орієнтири розвитку європейської економіки на наступні десятиліття.

COVID-19 та відновлення економіки після кризи, спричиненої пандемією, визначали нове розуміння та формування відповідного бачення, що закладено в програмних стратегіях довгострокової проривної економічної політики. План фінансової допомоги «Наступне покоління ЄС», представлений у 2020 році, окреслив такі цілі:

- конвергенція – відшкодування збитків, завданих COVID-19;
- стійкість – реформування економік ЄС;
- трансформація – перетворення суспільства.

Підхід антикризового, відновленого інвестування базується на ідеології «зеленого транзиту».

В ЄС чітко визначено, що програми після карантинного відновлення Європи виходять з цілей, прийнятого Зеленого курсу, а саме: досягнення нульового рівня викидів вуглецю до 2050 року та скорочення викидів парникових газів на 50–55 % до 2030 року (порівняно з рівнем 1990 року), що базується на побудові стійкої економіки та охоплює усі види діяльності Євросоюзу:

1. Боротьба зі змінами клімату.

2. Забезпечення чистої, доступної та безпечної енергії.
3. Промислова стратегія для «кругової» економіки.
4. Будівництво і ремонти з економією енергії та ресурсів.
5. Нульовий рівень викидів без токсичного доквілля.
6. Збереження та відновлення екосистем і біорізноманіття.
7. Здорова та екологічно чиста система харчування.
8. Перехід до сталої та розумної мобільності.
9. Дослідження та інновації.

Все це означає, що фінансові ресурси перерозподіляються в межах ЄС лише на правила обов'язкової трансформації відповідних секторів економіки, бізнесу та інфраструктури в напрямку ідеології «зеленого транзиту». Відповідно слідувати цьому напрямку будуть і регулятивно-політичні реформи країн ЄС, що й стане «точкою росту» Євросоюзу.

Енергетичний та кліматичний блок Зеленого курсу представлений двома Стратегіями – Стратегією ЄС щодо інтеграції енергетичної системи (EU Strategy for Energy System Integration) та Водневою Стратегією ЄС (EU Hydrogen Strategy), які і є інструментом відновлення, що включено у довгостроковий бюджет ЄС.

Стратегія інтеграції енергетичної системи ЄС визначає бачення того, як прискорити перехід від неефективно структурованих ланцюжків енергетичної вартості до системи, що може забезпечувати низьковуглецеві, надійні та ресурсоощадні послуги при мінімально можливих витратах, тобто забезпечується основа енергетичного переходу та секторальної інтеграції.

Наступним кроком є Воднева Стратегія ЄС, адже в інтегрованій енергетичній системі водень сприяє декарбонізації промисловості, транспорту, виробництва електроенергії та будівельного сектора. Стратегія розглядає шляхи перетворення потенціалу водню в реальність за допомогою: інвестицій, регулювання,

створення ринку, досліджень та інновацій. Воднева Стратегія ЄС забезпечує основу для майбутньої трансформації.

Переваги водню є добре дослідженими як науковцями [1, 2], так і бізнес-середовищем. Наголосимо, що на даний час ціна кінцевого продукту – це вартість чистої енергії – «зеленого водню», за оцінками МЕА – 3,5–5/кг євро, а ціна, до якої прагне ЄС, щоб досягти паритету цін, – 1,5/кг євро [3]. Для зменшення ціни необхідне масштабне виробництво та застосування, тому ціллю стратегії ЄС є комплексний довгостроковий міждержавний розподіл праці у сфері виробництва та переорієнтація енергетичного і транспортного споживання на водень та водневі технології.

Широкомасштабне використання водню і є драйвером різкого зменшення викидів парникових газів та формування вуглецевонеutralної економіки Євросоюзу.

Література:

1. Відновлювана та воднева енергетика-2018: матеріали науково-практичної конференції (Київ, 18 травня 2018 р.). – К.: Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2018.
2. Дороніна І.І. Трансформація енергетичного сектору ЄС та України: відновлювальні джерела енергії. Наукові записки Інституту законодавства Верховної Ради України. Київ, 2019. № 4. С. 122–129 URL: <https://instzak.com/index.php/joСт1urnal/article/view/1735/1616>
3. Ермолаев Д. Водородная экономика-XXI, Strategic Group Sofia, 2020, URL: https://sg-sofia.com.ua/vodorodnaya-ekonomika-xxi?fbclid=IwAR0Ty8_77fuM2bPUTchRtNvp2uYzf1CFhONy6VsFNtviEAo8gEOTPByiiH4

УДК 661.931

ПЕРСПЕКТИВИ ВИРОБНИЦТВА ЕКОЛОГІЧНО ЧИСТОГО ВОДНЮ НА АЕС УКРАЇНИ

М.М. Уланов

*Інститут технічної теплофізики НАН України,
вул. Марії Капніст, 2а, м. Київ, 03057, Україна,
тел.: +38 044 424 96 42, e-mail: e3therm@gmail.com*

У роботі наведено доцільність виробництва екологічно чистого водню за рахунок використання нічного надлишку електричної енергії або незавантажених потужностей блоків АЕС.

Ключові слова: водень, акумуляування енергії, атомна електрична станція

PROSPECTS FOR PRODUCTION OF ENVIRONMENTALLY FRIENDLY HYDROGEN ON UKRAINIAN NPP

M.N. Ulanov

*Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine,
2a Maria Kapnist str., Kyiv, Ukraine, 03057
tel.: + 38 044 424 96 42, e-mail: e3therm@gmail.com*

The article presents the feasibility of producing environmentally friendly hydrogen by using night electric energy excess or unused capacity NPP

Key words: hydrogen, energy storage, nuclear power plant.

Диверсифікація енергозабезпечення стає сучасним трендом енергетичної політики розвинутих країн світу. Досягнення енергетичної безпеки є важливим пріоритетом як національної, так і світової економіки. Саме тому як розвинені країни, так і країни, що розвиваються, дедалі більше звертають увагу на альтернативні джерела енергії,

приділяючи особливу увагу розвитку ядерної енергетики. Більш того, в сучасних умовах все більше визнання отримує теза про те, що забезпечення глобальної енергетичної безпеки неможливе без використання ядерної енергетики в найближчі 30–40 років – до середини XXI століття. Серед причин доцільності активного розвитку ядерної енергетики називають зростання попиту на енергоресурси через стрімке збільшення чисельності населення світу, швидку індустріалізацію виробництва, а також через вичерпність запасів традиційних енергоносіїв. Адже 100 г урану дають таку ж кількість енергії, як 1 т нафти.

Станом на початок 2017 року, в 31 країні світу експлуатувалося 440 ядерних реакторів, ще 60 нових атомних електростанцій у 15 країнах перебували на стадії будівництва. Найбільшу кількість ядерних реакторів розташовано у США – 99, Франції – 58, Японії – 43, Росії – 34, Китаї – 30 ядерних реакторів. Найближчими роками планується будівництво нових АЕС: в Китаї – 43, Росії – 25, в Індії – 20 ядерних реакторів.

За даними World Nuclear Association, провідні позиції з виробництва електроенергії на атомних електростанціях у світі посідають США – 798 млрд кВт·год, Франція – понад 419 кВт·год, Росія – дещо більше 182 млрд кВт·год, Китай – понад 161 млрд кВт·год та Південна Корея – 157 млрд кВт·год.

Україна належить до держав, які мають розвинену галузь ядерної енергетики. За часткою генерації АЕС у сукупному виробництві електроенергії Україна посідає четверте місце у світі після Франції, Словаччини та Угорщини. В Україні експлуатується 15 енергоблоків загальною потужністю 13,835 ГВт на чотирьох АЕС: 6 – на Запорізькій, 4 – на Рівненській, 3 – на Південно-Українській та 2 за I півріччя 2020 року складав 5 291 млн кВт·год, що на 5171 млн кВт·год більше, ніж за аналогічний період 2019 року (120 млн кВт·год). на Хмельницькій.

З іншого боку, збільшення частки АЕС в енергетичних системах може привести до необхідності їх розвантаження, що обумовлює пошук необхідних споживачів. Традиційно для забезпечення базового електричного навантаження АЕС передбачається використання гідроакumuлювальних електростанцій (ГАЕС).

Слід зазначити, що спорудження ГАЕС пов'язане з серйозними технічними, економічними, енергетичними, екологічними проблемами, а також геологічними, сейсмічними і гідрологічними ризиками і збитками. Отже, їх спорудження вимагає спеціальних природних умов і здебільшого поруч з АЕС неможливе, що передбачає їх зарядку з енергосистеми за тарифом, який помітно перевищує собівартість електроенергії АЕС. Це може істотно вплинути на вартість виробленої пікової електроенергії ГАЕС і їх конкурентоспроможність, тому необхідна розробка конкурентоспроможних альтернативних технологій акумулювання електроенергії. Однією з таких технологій може виявитися виробництво водню за рахунок нічного надлишку електричної енергії, або використання незавантажених існуючих потужностей шляхом створення водневого енергетичного комплексу, перевагою якого є розташування його поруч з АЕС з можливістю використання електричної енергії за собівартістю з електролізним виробництвом водню та кисню.

Вироблені водень та кисень можуть бути використані для виробництва електроенергії в пікових режимах або реалізовані як товарна продукція.

У 2020 році на енергетичному ринку України спостерігалася криза через введення балансових обмежень на виробництво електричної енергії на існуючих АЕС України, з одночасним дефіцитом маневрових потужностей внаслідок збільшення більш ніж в два рази виробництва електричної енергії вітровими та сонячними електростанціями.

Незважаючи на те, що у 2020 році 53,8 % електроенергії України було вироблено атомними електростанціями, за I півріччя 2020 року було вироблено 39 503,3 млн кВт·год електроенергії, в той же час коефіцієнт використання встановлених потужностей складав 65,2 %, що на 5,8 процентних пунктів менше, ніж за I півріччя 2019 року (71,0 %). Недовиробництво електроенергії через балансові обмеження (відсутність попиту на електричну енергію за рахунок падіння споживання електроенергії через карантин і збільшення більш ніж в два рази виробництва електроенергії вітрових і сонячних електростанцій) за I півріччя 2020 року складав 5291 млн кВт·год, що на 5171 млн кВт·год більше, ніж за аналогічний період 2019 року (120 млн кВт·год).

Міністерство енергетики України переглянуло прогнозний енергетичний баланс на 2020 рік через енергетичну кризу в країні. Документ передбачав зниження виробництва електроенергії на всіх видах генерації, крім ТЕЦ і ВДЕ. Оновлений прогнозний енергетичний баланс на 2020 рік передбачав, що вироблення електроенергії державною компанією «Енергоатом» буде скорочено в два рази: три енергоблоки АЕС будуть виведені в резерв, а виробництво ще семи – обмежене. Це призвело до падіння виробництва електричної енергії до історичного мінімуму – 6630 МВт з доступних у I півріччі 2020 року 9490 МВт (а всього встановлена потужність усіх блоків АЕС України складає 13 835 МВт).

Таким чином, встановлена потужність електролізних установок для виробництва товарного водню, що використовують нічний надлишок електричної енергії або незавантажені існуючі потужності блоків АЕС, може сягати від 2,86 до 7,21 ГВт, з загальною кількістю виробництва екологічно чистого водню від 460 до 1150 тис. т на рік.

УДК 621.352.6

**РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМ ВИРОБНИЦТВА ВОДНЮ
З КОНВЕРСІЄЮ БІОМЕТАНУ ТА ТВЕРДОЇ
ВІДНОВЛЮВАНОЇ СИРОВИНИ ДЛЯ РОБОТИ
ЕЛЕКТРОХІМІЧНИХ ГЕНЕРАТОРІВ НА ПАЛИВНИХ
ЕЛЕМЕНТАХ З ПРОТОНОБМІННОЮ МЕМБРАНОЮ**

О.М. Дудник

*Інститут вугільних енерготехнологій НАН України,
вул. Андріївська, 19, м. Київ, 04070, Україна,
тел. +38(044)425-04-19, e-mail: aldudnyk2018@gmail.com*

Показано результати розроблення систем виробництва водню на основі парового каталітичного риформінгу метану, газифікації твердих органічних відходів, каталітичної конверсії монооксиду вуглецю та видалення вуглекислого газу для роботи низькотемпературних водневих електрохімічних генераторів на паливних елементах з протонобмінною мембраною.

Ключові слова: *Водень, відновлювана сировина, енергетична установка.*

**DEVELOPMENT OF HYDROGEN PRODUCTION SYSTEMS
WITH BIOMETHANE AND SOLID RENEWABLE
FEEDSTOCK CONVERSION FOR OPERATION OF
ELECTROCHEMICAL GENERATORS ON FUEL CELLS
WITH PROTONE EXCHANGE MEMBRANE**

О.М. Dudnyk

*Coal Energy Technology Institute, National Academy of
Sciences of Ukraine, 19, Andriivska str., Kyiv, Ukraine, 04070*

The results of development of hydrogen production systems based on steam catalytic reforming of methane, gasification of solid organic waste, catalytic conversion of

carbon monoxide and carbon dioxide sequestration for operation of low-temperature hydrogen electrochemical generators on fuel cells with proton exchange membrane are shown.

Keywords: *hydrogen, renewable feedstock, power plant.*

ORCID: 0000-0002-9832-1536.

Для конверсії метану у водень використано таке експериментальне обладнання: паровий каталітичний риформер з Ni-каталізатором, парогенератор, реактор каталітичної конверсії CO з Fe-Cr- та Cu- каталізаторами та реактор поглинання CO₂ з 25 %-ним водним розчином моноетаноламіну (MEA). Витрата метану в риформер становила 50 л/год., перегрітої водяної пари – 0,73 кг/год. Температура перегрітої водяної пари після парогенератора – 530 °C, температура в нижній частині парового риформера – 783 °C, температура в шарі Cu-каталізатора – 235 °C. Вихід водню – 191 л/год. Ступінь чистоти водню – 96,2 %. На установці можна випробувати паливні елементи з протонобійною мембраною (ПЕПОМ) електричною потужністю до 200 Вт.

Для конверсії твердої сировини у водень використано таке експериментальне обладнання: паровий газифікатор, парогенератор, реактор каталітичної конверсії CO та реактор поглинання CO₂. В газифікатор завантажувалось тверде паливо та кальцинований доломіт (або негашене вапно). Для досліджень використовувались відходи біомаси та вугілля. Витрата перегрітої водяної пари становила від 100 до 180 г/хв. Від 92,6 до 94,1 % вуглецю видалялось у системах отримання водню з твердої сировини: від 36,8 до 48,5 % – в газифікаторі (кальцинованим доломітом або вапном) та від 44,1 до 56,3 % – в реакторі низькотемпературного видалення CO₂ (водним розчином MEA). Вихід водню становив до 120 л/год. Ступінь чистоти водню становив від 94,7 до 96,0 %. На установці з

використанням твердої відновлюваної сировини можна випробовувати ПЕПОМ електричною потужністю до 125 Вт.

Створений та випробуваний газифікатор-трансформер (ГТР) [1] продуктивністю щодо витрат твердих органічних відходів до 3 кг/год призначено для роботи в когенераційних установках з електрогенераторами на основі двигуна внутрішнього згоряння (електричною потужністю до 2,3 кВт), електрохімічними генераторами з високотемпературними твердооксидними паливними елементами (ТОПЕ електричною потужністю до 5 кВт) та котлами-утилізаторами (тепловою потужністю до 18 кВт). Сьогодні вартість низькотемпературних водневих ПЕПОМ в 1,5–2,0 раза нижче, ніж вартість ТОПЕ, тому було розроблено нову схему інтегрування газифікатора-трансформера в систему одержання суміші водню (з вмістом водню до 65 об. %) та азоту для роботи низькотемпературних водневих ПЕПОМ. Нова система містить таке основне обладнання: газифікатор-трансформер, реактор очищення одержаного газу, парогенератор, реактор конверсії CO та реактор поглинання вуглекислого газу.

Одержаний, як результат конверсії газоподібної та твердої сировини у водень, вуглекислий газ сьогодні використовується в промислових масштабах для збільшення видобутку нафти зі збіднілих свердловин та як робоче тіло замість продуктів згоряння в газотурбінних енергетичних установках. Значного зниження викидів CO₂ можна досягти завдяки вирощуванню швидкозростаючих водоростей (біопалива третього покоління). У світі розробляються промислові технології конверсії вуглекислого газу для вироблення продуктів з доданою вартістю: електрохімічна, фотокаталітична та фототермічна каталітична, біологічна, сополімеризаційна та мінерально-карбонізаційна. З використанням вуглекислого газу виробляються: карбамід, саліцилова кислота, метанол, етанол, поліетилен карбонат, карбонат натрію, карбонат

барію, вуглецеві нанофібри, нанотрубки, цемент та концентрати [2].

Література:

1. Дудник О.М., Соколовська І.С. [Розроблення процесів конверсії твердих органічних відходів в збагачений воднем синтез-газ для відновлювано-водневої енергетики та паливно-комірчаних енергетичних установок.](#) Монографія «Відновлювано-воднева енергетика і паливно-комірчані технології». За загальною редакцією академіка НАНУ Ю.М. Солоніна. Київ: «KIM», 2018. С. 46–56.

2. Дудник О.М., Дунаєвська Н.І., Соколовська І.С., Трипольський А.І., Стрижак П.Е. [Одержання, очищення та утилізація вуглекислого газу в процесах виробництва енергії та хімічних продуктів.](#) Збірка наукових праць XVI Міжнародної науково-практичної конференції «Вугільна теплоенергетика: Шляхи реконструкції та розвитку», Листопад 2020 р., Київ: Гнозіс. 2020. С. 46–55.

УДК 621.352.6

ВПЛИВ УМОВ СТВОРЕННЯ КАТАЛІТИЧНОГО ШАРУ В МЕМБРАННО-ЕЛЕКТРОДНОМУ БЛОЦІ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПАЛИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

**Ю.К. Пірський¹, Ф.Д. Манілевич², Т.М. Панчишин³,
Я.В. Колосовський⁴**

*Інститут загальної та неорганічної хімії
ім. В.І. Вернадського НАН України, пр. Палладіна, 32/34,
м.Київ-142, 03680, Україна, тел.: +38(044) 225-00-12,
e-mail: pirsky@ionc.kiev.ua*

Представлено результати дослідження впливу кількості мономера Nafion та ізопропілового спирту при виготовленні мембранно-електродних блоків воднево-повітряних паливних елементів на їх характеристики.

Ключові слова: мембранно-електродний блок, воднево-повітряний паливний елемент.

INFLUENCE OF CONDITIONS FOR CREATING A CATALYTIC LAYER IN A MEMBRANE-ELECTRODE ASSEMBLY ON CHARACTERISTICS OF FUEL CELLS

**Yu. Pirsky¹, F. Manilevich², T. Panchyshyn³,
Ya. Kolosovskiy⁴**

*V.I. Vernadskii Institute of General and Inorganic Chemistry,
NAS of Ukraine, 32/34 Palladina prosp., Kyiv, Ukraine, 03680*

The results of a study of the effect of the amount of Nafion monomer and isopropyl alcohol in the manufacture of membrane-electrode assemblies of hydrogen-air fuel cells on their characteristics are presented.

Keywords: membrane-electrode assembly, hydrogen-air fuel cell.

ORCID: ¹0000-0002-9431-4136, ²0000-0001-5582-833X,

³0000-0002-6519-1261, ⁴0000-0003-1470-0158.

Воднево-кисневі паливні елементи (ПЕ) є перспективними джерелами електричної енергії [1]. Широке використання ПЕ стримується як високою вартістю катодних та анодних каталізаторів, так і проблемами, які виникають при їх виготовленні. Однією з важливих проблем при виготовленні мембранно-електродних блоків (МЕБ) ПЕ є повторюваність їх характеристик, яка залежить від великої кількості факторів, як-от: концентрація мономера Nafion та розчинника в каталітичному чорнилі, метод нанесення каталітичного чорнила і навіть температура навколишнього середовища.

Метою даної роботи було вивчення впливу концентрації розчинника – ізопропілового спирту та мономера Nafion, які використовуються в каталітичному чорнилі при виготовленні МЕБ.

Було виготовлено три серії зразків каталітичного чорнила, які містили 3, 4 або 5 мл ізопропілового спирту. Каталітичне чорнило готувалося так: 50 мг каталізатора Pt(40%)/Vulcan XC-72 змішували з 5%-ною дисперсією мономера Nafion (ND) D521 на спиртовій основі 1100 EW (25–45 %), додавали 3 мл дистильованої води та вибрану кількість ізопропілового спирту. МЕБ готували за методикою наведеною нами [2]. Як газодифузійний шар використовували вуглецеву тканину Plain Carbon Cloth – 1071 HCB, а як мембрану – Nafion 212.

Найкращі робочі характеристики продемонстрували МЕБ, створені при використанні каталітичного чорнила, яке містило 5 мл ізопропілового спирту. Це зумовлено тим, що ізопропіловий спирт є основою дисперсії мономера Nafion, і додавання його до каталітичного чорнила забезпечує краще дисперсне розподілення в ньому молекул Nafion. При додаванні більшої кількості ізопропілового спирту при нанесенні чорнила на вуглецеву тканину спостерігається екзотермічна взаємодія наночастинок платини, що перебуває в каталізаторі, зі спиртом, в результаті якої

платина втрачається. Імовірно, цей ефект є однією з причин розбіжностей у характеристиках виготовлених МЕБ.

Вміст мономера Nafion у каталітичному чорнилі відіграє важливу роль у перебігу електрохімічних процесів у МЕБ. Nafion дає можливість наночастинкам каталізатора закріплюватись на поверхні, а також утворює протонпровідний шар з мембраною. Мала кількість мономера Nafion у каталітичному чорнилі призводить до зменшення протонної провідності і, як наслідок, до зниження характеристик мембранно-електродних блоків. Також внаслідок низької концентрації мономера велика кількість наночастинок платини залишається незакріпленою на поверхні й вимивається водою під час роботи ПЕ, значно знижуючи при цьому як робочі характеристики ПЕ, так і його ресурс. Занадто велика кількість мономера Nafion призводить до перекривання активних центрів наночастинок електрокаталізатора, що також спричинює зниження робочих характеристик МЕБ. Вольтамперні характеристики МЕБ з різною кількістю мономера в каталітичному чорнилі наведені на рис. 1.

Рис. 1. Вплив концентрації мономера Nafion в каталітичному чорнилі на вольтамперні характеристики МЕБ ПЕ: 1 – 30 % Nafion, 2 – 25 % Nafion, 3 – 45 % Nafion

Отже, показано, що збільшення кількості розчинника у каталітичному чорнилі позитивно впливає на характеристики МЕБ, імовірно, внаслідок утворення більш рівномірного каталітичного шару. Встановлено, що оптимальна кількість мономера Nafion в каталітичному чорнилі, яка відповідає оптимальним характеристикам мембранно-електродних блоків, становить 30 %.

Література:

1. Fuel Cell Handbook. Fifth edition: [National Energy Technology Laboratory]. -EG&G Services Parsons, Inc., Science Applications International Corporation, October 2000. 352 p.
2. Пірський Ю.К., Манілевич Ф.Д., Панчишин Т.М., Колосовський Я.В. Мембранно-електродний блок для воднево-повітряного паливного елемента з протон-обмінною мембраною // Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті: Мат-ли XXI міжнародн. наук.-практичної конф. (Київ, 14-15 травня 2020 р.). – К.: Інтерсервіс, 2020. – С. 224–227. ISBN 978-966-999-003-7.

УДК 669.793

АДАПТАЦІЯ ЕЛЕКТРОЛІЗЕРА ВИСОКОГО ТИСКУ ДО УМОВ СПІЛЬНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ З ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ

***В.В. Соловей, М.М. Зіпунніков, А.А. Шевченко,
А.Л. Котенко, І.О. Воробйова***

*Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного
НАН України, м Харків*

Пропонуються експериментальні дослідження щодо отримання водню (кисню) методом електролізу при електроживленні від фотоелектричного перетворювача (ФЕП) в реальних природно-кліматичних умовах. Визначено шляхи підвищення продуктивності роботи електролізера з ФЕП.

Ключові слова: водень, кисень, електролізер, вітер, сонце.

ADAPTATION OF THE HIGH PRESSURE ELECTROLYZER TO THE CONDITIONS OF JOINT OPERATION WITH RENEWABLE ENERGY SOURCES

***V.V. Solovey, M.M. Zipunnikov, A.A. Shevchenko,
A.L. Kotenko, I.O. Vorobjova***

*A.M. Podgorny Institute of Mechanical Engineering Problems.
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kharkiv*

Experimental studies on the production of hydrogen (oxygen) by electrolysis under the power supply from a photovoltaic converter (PEC) in real climatic conditions are proposed. Ways to increase the productivity of the cell with PEC are identified.

Keywords: hydrogen, oxygen, electrolyzer, wind, sun.

ORCID: 0000-0002-5444-8922, 0000-0002-0579-2962,
0000-0002-6009-2387, 0000-0003-2715-634X,
0000-0002-1712-8831.

Розвиток енергетики базується на гіпотезі еволюційного характеру технологічних змін, що відбуваються у сфері виробництва, розподілу і споживання енергоресурсів. Оскільки запас природних органічних енергоресурсів обмежений, а в перспективі газ і нафта будуть дорожчати швидше, ніж вугілля і ядерне паливо, слід очікувати, що навіть досить енергоємні способи виробництва водню, такі як електроліз, можуть успішно конкурувати з традиційними енергоносіями за питомою вартістю. Відновлювані джерела енергії забезпечують нестабільний потік енергії до установок автономного енергетичного комплексу. Для дослідження процесів електролізу при електроживленні генератора водню від сонячного ФЕП розроблено схеми його підключення до електролізної комірки та визначено технічні характеристики основних базових елементів лабораторного сонячно-енергетичного комплексу. Розглянуто характер зміни напруги для різних рівнів сонячної радіації в поєднанні з типовими кривими поляризації лужного водного електролізера. Проаналізовано середньомісячну кількість водню, що виділяється з електролізної комірки, з урахуванням сонячної інсоляції при електроживленні від лабораторної сонячної панелі загальною (з площею робочої) площею $S = 0,288 \text{ м}^2$. Для підвищення продуктивності роботи електролізера з ФЕП слід виконати заходи з оптимізації обох систем щодо забезпечення роботи електролізера в межах максимальної вихідної потужності.

Комбінація електролізера з відновлюваними джерелами енергії (ВДЕ) необхідна для згладжування пікових навантажень в енергосистемі й забезпечення її стійкої роботи протягом доби. Тоді як сонячна інсоляція через її широку доступність часто використовується як базове навантаження, пряме використання ВДЕ в

енергосистемі ускладнено через невідповідність між споживанням енергії та її виробництвом [1–3]. Тому актуальним завданням є розробка електролізних технологій генерації водню з мінімальними витратами електроенергії, які можуть бути інтегровані до складу автономних енергетичних комплексів, що використовують ВДЕ (сонце, вітер).

Сучасний рівень водневих технологій, що реалізуються, зокрема, в електролізних установках, створених в ІПМаш НАН України, дозволяє виробляти й накопичувати H_2 під високим тиском без використання компресорної техніки. Розроблено безмембранний процес електрохімічної генерації водню і кисню під високим тиском з використанням недефіцитних металів як матеріалів електродів [3, 4].

При забезпеченні заданої продуктивності електролізної системи збільшення часу повного циклу газовиділення (H_2 і O_2) залежить від пори року і зростає приблизно вдвічі з червня по грудень. Зменшення тривалості циклів газовиділення водню і кисню свідчить про підвищення густини струму (тобто зростання електроживлення від ФЕП) зі збільшенням сонячної інсоляції в літній період. Зі зменшенням сонячної інсоляції відбувається збільшення часу виділення водню і кисню.

Нерегулярний первинний потік сонячної радіації, тобто волатильність електрогенерації, що генерується ФЕП, компенсується в електролізері за рахунок внутрішнього ємнісного характеру електричного опору електродних пар, який не є чутливим до якості електроживлення. Очевидно, що такий підхід є доцільним для створення автономних установок енергозабезпечення невеликої та середньої потужності.

Електролізне обладнання нового покоління легко адаптується до умов експлуатації систем, що використовують ВДЕ. Тому особливий практичний інтерес становлять ЕТК для отримання H_2 в електролізерах високого тиску в складі установок з фотоелектричними

геліоперетворювачами, оскільки в цьому разі істотно спрощуються, а іноді й повністю виключаються, інверторні системи, призначені для приведення у відповідність параметрів генерованої електроенергії до вимог електроживлення електролізної установки, що підвищує ефективність експлуатації та знижує вартість обладнання.

Література:

1. J. Kleperis. Self-sufficient pv-H₂ alternative energy objects / V.V. Solovey, M. Vanags, A. Volkovs, L. Grinberga, A. Shevchenko, M. Zipunnikov // Problems of machine building. – Kharkiv, 2016. Т. 19 – № 4. – Р. 62–68.

2. Шевченко А.А. Создание автономных и сетевых энерготехнологических комплексов с водородным накопителем энергии. Возобновляемая энергетика. 2020. № 2 (61). С. 18–27. [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2020.2\(61\).18-27](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2020.2(61).18-27).

3. Solovey V.V. Hydrogen technology of energy storage making use of wind power potential / V.V. Solovey, L. Kozak, A. Shevchenko, M. Zipunnikov, R. Campbell, F. Seamon // Problems of machine building. – Kharkiv, 2017. Т.20 - № 1. – С. 62–68.

4. Соловей В. В. Исследование эффективности электродных материалов в электролизных системах с раздельным циклом генерации газов / В. В. Соловей, Н. Н. Зипунников, А. А. Шевченко // Проблемы машиностроения. – Харьков, 2015. Т.18 – № 1. – С. 72–76.

УДК 669.717:661.96

ALUMINUM BASED COMPOSITES FOR EFFICIENT HYDROGEN GENERATION BY HYDROLYSIS PROCESS

**F. Manilevich¹, Yu. Pirskyy², A. Kutsyi³,
V. Berezovets⁴, V. Yartys⁵**

¹⁻³ V.I. Vernadskii Institute of General & Inorganic Chemistry of
NAS of Ukraine, Palladina prosp., 32/34, Kyiv, 03142, Ukraine,
e-mail: fedor@ionc.kar.net

⁴ G.V. Karpenko Physico-Mechanical Institute of NAS of
Ukraine, Naukova Str., 5, Lviv, 79060, Ukraine,
e-mail: berezovets@gmail.com

⁵ Institute for Energy Technology, Instituttveien 18, Kjeller,
NO-2027, Norway, e-mail: Volodymyr.Yartys@ife.no

In present study we show that aluminum-based composites, prepared by ball milling of Al powders with Ga-In-Sn eutectic alloy and graphite, efficiently, with high rate and productivity, generate hydrogen gas during their interaction with water at temperatures as low as 5°C.

Keywords: *activated aluminum powders, hydrolysis, hydrogen generation.*

КОМПОЗИТИ НА ОСНОВІ АЛЮМІНІЮ ДЛЯ ЕФЕКТИВНОГО ГЕНЕРУВАННЯ ВОДНЮ ШЛЯХОМ ГІДРОЛІЗУ

**Ф.Д. Манілевич¹, Ю.К. Пірський², А.В. Куций³,
В.В. Березовець⁴, В.А. Яртис⁵**

¹⁻³ Інститут загальної та неорганічної хімії
ім. В.І. Вернадського НАН України, просп. Палладіна,
32/34, Київ, 03142, Україна.

⁴ Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН
України, вул. Наукова, 5, Львів, 79060, Україна.

⁵ Інститут енергетичних технологій,
Інституттвеїен, 18, К'єллер, NO-2027, Норвегія.

У роботі показано, що композити на основі алюмінію, приготовлені шляхом помелу в кульовому млині з евтектичним сплавом Ga-In-Sn та графітом, ефективно, з високою швидкістю та продуктивністю генерують водень при їх взаємодії з водою при температурах $\geq 5^\circ\text{C}$.

Ключові слова: *активовані порошки алюмінію, гідроліз, одержання водню.*

ORCID: ¹ 0000-0001-5582-833X, ² 0000-0002-9431-4136,
³ 0000-0003-2576-7075, ⁴ 0000-0002-3708-8371,
⁵ 0000-0003-4207-9127.

Among the metals and alloys suitable for their use in a hydrolysis process to generate hydrogen gas, aluminum and its alloys attract a significant interest as they show the ability to release large amounts of H_2 – up to 1240 L $\text{H}_2/\text{kg Al}$ [1, 2]. Unfortunately, aluminum is covered by a dense surface oxide film which stops its hydrolysis at ambient conditions. Thus, several methods have been proposed to activate an interaction of aluminum with water, which all increase the permeability of this film for water and promote its access to the bare metal [1].

In present study, aluminum powders PA-4 (particle size $< 100\ \mu\text{m}$) and ASD-1 (particle size $< 30\ \mu\text{m}$) were activated by their mechanochemical processing when mixed with small amounts of an eutectic low-melting Ga-In-Sn alloy (melting point 10.7°C) and graphite in a mixer-type Spex CertiPrep 8000-D (Glen Creston Ltd) ball mill in a protective atmosphere of argon gas. The obtained composites were pressed into the pellets (0.2/0.3 g) and were used to generate hydrogen through their interaction with water. The rate of the hydrolysis and hydrogen yield were monitored by using a volumetric setup, containing a filled with 100 ml water thermostated glass reactor and a SmartTrak® M100L flowmeter. The typical results of the experiments are shown in Fig. 1-3.

Fig. 1. Dependencies of the volume of evolved hydrogen gas (a) and average hydrogen evolution rate (b) on the duration of hydrolysis of a PA-4 powder activated during 4 h with additions of 5 wt.% Ga-In-Sn (1, 2); 5 wt.% Ga-In-Sn + 3 wt.% C (3, 4). Hydrolysis temperature: 25°C, $m_{pel.}$: 0.2 g (1, 3); 0.3 g (2, 4).

Hydrogen yield (see Fig. 1) reached: 70 % (1); 73 % (2); 91 % (3); 94 % (4). The addition of graphite (3 wt.%) together with Ga-In-Sn eutectic (5 wt.%) to the PA-4 powder during its mechanochemical activation leads to a significant acceleration of the hydrolysis rate (more than an order of magnitude) and increase of hydrogen yield.

From Fig 2 it can be seen that the increase from 1 to 3 wt.% in the amount of graphite in the pellets of the activated by the eutectic alloy Ga-In-Sn (5 wt.%) PA-4 powder leads to an increase in the rate of hydrolysis at its initial stage, while the temperature changed between 5 and 25°C. As it follows from the data given in Fig. 3, increase of the duration of the processing of the ASD-1 powder containing 5 wt.% of the eutectic Ga-In-Sn alloy and 3 wt.% graphite from 1 to 4 hours leads to a significant increase in the rate of its hydrolysis and hydrogen yield.

Fig. 2. Time dependencies of the volume of evolved hydrogen on the duration of hydrolysis of a PA-4 powder activated during 4 h by following additives: 5 wt.% Ga-In-Sn + 3 wt.% C (1, 2); 5 wt.% Ga-In-Sn + 1 wt.% C (3, 4). Hydrolysis temperature: 5°C (1, 3); 25°C (2, 4), $m_{pel.} = 0.2$ g

Fig. 3. Time dependencies of the volume of evolved hydrogen on the duration of hydrolysis of ASD-1 powder activated by 5 wt.% Ga-In-Sn + 3 wt.% C during 1 h (1); 2 h (2); 4 h (3). Hydrolysis temperature: 5°C, $m_{pel.} = 0.2$ g

Thus, mechanochemical processing of aluminum powders PA-4 and ASD-1 when mixed with the additives of the eutectic Ga-In-Sn alloy (5 wt.%) and graphite (3 wt.%) in a mixer-type ball mill allows to obtain materials capable of intensively generating hydrogen from water at ambient temperature and even at 5 °C.

References:

1. Kozin L. F., Volkov S. V. *Contemporary energetics and Ecology; Problems and Prospects*. – K.: Naukova Dumka, 2006. – 775 p. [in Russian].
2. Manilevich F.D., Pirskey Yu.K., Danil'tsev B.I., Kutsyi A.V., Yartys V.A. *Studies of the hydrolysis of aluminum activated by additions of Ga-In-Sn eutectic alloy, bismuth or antimony // Materials Science*. – 2020. – V. 55, No 4. – P. 536–547.

УДК 621.345

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ГЕНЕРАЦІЇ «ЗЕЛЕНОГО» ВОДНЮ МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОЛІЗУ

Г.Л. Карпчук¹, В.І. Будько²

^{1,2}Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря
Сікорського», вул. Політехнічна, 37, м. Київ, 03056,
Україна, тел.: +38(063)843 63 14,
email: annakarpchuk@gmail.com.

²Інститут відновлюваної енергетики НАН України,
02094, м. Київ, вул. Гната Хоткевича, 20а, 02094, Україна
тел. +38(044) 206-28-09, e-mail: renewable@ukr.net

У роботі представлено порівняльний аналіз чотирьох типів електролізерів для виробництва водню.

Ключові слова: відновлювані джерела енергії, протонообмінний електролізер, лужний електролізер, аніонообмінний електролізер, твердооксидний електролізер.

COMPARATIVE ANALYSIS OF “GREEN” HYDROGEN GENERATION TECHNOLOGIES BY ELECTROLYSIS METHOD

H. Karpchuk¹, V. Budko²

^{1,2}National technical university of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv
Polytechnic Institute”, 37 Polytechnichna st., Kyiv, Ukraine,
03056,

²Institute of Renewable Energy, National Academy of Science
of Ukraine, 20A, Hnata Khotkevicha str., Kyiv, Ukraine 02094

The article describes the comparative analysis of four types electrolyzers for hydrogen production.

Keywords: *renewable energy, proton exchange membrane electrolyser, alkaline electrolyser, anion exchange electrolyser, solid oxide electrolyzer.*

ORCID: ¹0000-0001-7062-2727, ²0000-0002-6219-422.

Постійне збільшення потужності об'єктів відновлюваної енергетики є найбільшою інвестицією в майбутнє енергетики України. Найбільший приріст мають сонячні, вітрові та біогазові електростанції, сумарна встановлена потужність яких станом на початок 2021 року склала 6640 МВт, 1252 МВт та 189 МВт відповідно [1].

Рис. 1. Встановлена потужність ВДЕ в Україні, 2013–2020 [1]

Подальше збільшення потужності об'єктів відновлюваної енергетики потребує вирішення питання надійного акумулятору, який дозволить вирівняти небаланс між генеруванням та споживанням енергії. Значну увагу сьогодні приділяють водневим технологіям, а у «зеленому» водні вбачають універсальний енергоносіє майбутнього.

З огляду на попередньо проведений аналіз методів виробництва «зеленого» водню [2] найбільш раціональним

для максимального освоєння потенціалу енергії сонячного випромінювання та вітру в Україні є електролізні технології.

Електроліз води – це фізико-хімічний процес розщеплення молекули води на водень та кисень. Електроліз відбувається в електролізері – електрохімічному пристрої, який в залежно від фізичних та електрохімічних властивостей поділяється на чотири типи: лужний, протонообмінний, аніонообмінний та твердооксидний. У всіх вищезгаданих електролізерах схожий принцип роботи: при подачі води та підведенні електричної енергії ззовні на поверхні електродів відбуваються процеси утворення водню та кисню (рис. 2).

Сьогодні аніонообмінний та твердооксидний електролізери є лабораторними установками та мають гірші показники з ефективності та періоду роботи (табл. 1), тому до розгляду приймаються лужний та протонообмінний електролізери.

Таблиця 1. Порівняльна характеристика чотирьох типів електролізерів [3]

	Лужний	Протоно-обмінний	Аніоно-обмінний	Твердо-оксидний
Тиск, бар	<30	<70	<35	<10
ККД (сис-ми), кВт·год/кгH ₂	50–78	50–83	57–69	45–55
Період роботи, тис. год	60	50–80	>5	<20

Протонообмінний електролізер у порівнянні з лужним має вищі показники за тиском, коефіцієнтом корисної дії та терміном експлуатації. Головним недоліком системи на базі протонообмінного електролізера є високі початкові капіталовкладення на її будівництво, що становлять від 700 до 1400 доларів за 1 кВт встановленої потужності установки. Це на 40 % більше за аналогічну систему на основі лужного електролізера. З іншої боку, протонообмінний

електролізер має менші масо-габаритні показники, ніж лужний, для однієї продуктивності.

Рис. 2. Принцип роботи чотирьох типів електролізерів [3]

Отже, враховуючи вищевикладене, водневий акумулятор на базі протонообмінного електролізера є найбільш раціональним рішенням для регулювання небалансу в реаліях України. Встановлення таких систем дозволить досягти сезонності генерації ВДЕ, що в свою чергу потребує подальших досліджень найбільш ефективних режимів роботи.

Література:

1. Інформація щодо потужності та обсягів виробництва електроенергії об'єктами відновлюваної електроенергетики, яким встановлено «зелений» тариф (станом на 01.01.2020). Державне агенство з енергоефективності та енергозбереження України. URL: https://saee.gov.ua/sites/default/files/VDE_2019.pdf (дата звернення: 18.01.2021).

2. Карпчук Г.Л., Будько В.І. Порівняльний аналіз методів виробництва «зеленого» водню. Міжнародний науково-технічний журнал молодих учених, аспірантів і студентів. Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики. 2020.

3. IRENA (2020), Green Hydrogen Cost Reduction: Scaling up Electrolysers to Meet the 1.50C Climate Goal, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

УДК 621.039: 533.6

СТВОРЕННЯ ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ НА ОСНОВІ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ АВТОНОМНОГО ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРИВАТНИХ СПОЖИВАЧІВ

Н.А. Чорна, канд. техн. наук, ст. наук. співробітник
відділу водневої енергетики,
Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного
НАН України, м. Харків

Першочерговим завданням, особливо в Україні, є зменшення об'ємів споживання природного газу та зміщення акцентів у бік використання відновлюваних джерел енергії, зокрема в системах автономного енергозабезпечення приватних споживачів. Розглянуто проекти із застосуванням водневих технологій, спрямованих на залучення сонячної та вітрової енергії в інфраструктуру енерготехнологічних комплексів, а саме для автономного енергозабезпечення невеликих споживачів. Показано, що для забезпечення безперебійним електропостачанням автономного споживача необхідно передбачати додаткові системи вирівнювання енергонадходження. Використання технології перетворення енергії від первинних джерел із застосуванням електролізної установки, металогібридної системи акумулювання водню та паливної комірки дозволить не тільки вирішити проблему згладжування нерівномірності надходження енергії від відновлюваних джерел, але й поліпшити екологічну ситуацію в Україні за рахунок застосування водневих технологій акумулювання енергії.

Ключові слова: відновлювані джерела енергії, енергозабезпечення, водень, електролізер, паливні комірки, металогібридний акумулятор, екологія.

CREATION OF ENERGY TECHNOLOGY COMPLEXES BASED ON RENEWABLE ENERGY SOURCES FOR AUTONOMOUS POWER SUPPLY PRIVATE CONSUMERS

N.A. Chorna, candidate of technical sciences, senior
researcher at Department of hydrogen energy,
Institute of Mechanical Engineering A.M. Podgorny NAS of
Ukraine

The primary task, especially in Ukraine, is to reduce the consumption of natural gas and shift the focus towards the use of renewable energy sources, in particular, in autonomous power supply systems for private consumers. Projects with the use of hydrogen technologies aimed at attracting solar and wind energy to the infrastructure of energy technology complexes, namely for autonomous power supply of small consumers, are considered. It is shown that in order to provide uninterrupted power supply to an autonomous consumer, it is necessary to provide for additional energy supply equalization systems. The use of technology for converting energy from primary sources using an electrolysis plant, a metal hydride hydrogen storage system and a fuel cell will not only solve the problem of smoothing the uneven energy supply from renewable energy sources, but also improve the environmental situation in Ukraine through the use of hydrogen energy storage technologies.

Keywords: *renewable energy sources, power supply, hydrogen, electrolyzer, fuel cells, metal hydride battery, ecology.*

ORCID: 0000-0002-6009-2387.

Нестабільна ситуація в паливно-енергетичному комплексі України пов'язана зі значними об'ємами імпорту енергоресурсів, особливо в газовому секторі, що є додатковим стимулом для прискорення темпів переходу до

водневої економіки. Оскільки перевага віддається підвищенню енергоефективності та використанню енергії з відновлюваних джерел, то кроки для стимулювання розвитку цього напрямку будуть відігравати вирішальну роль в підйомі економіки України.

Останнім часом питанню використання вітрової та сонячної енергії як відновлюваних ресурсів приділяється велика увага. Потенціал використання вітрової та сонячної енергії в Україні є достатньо високим для широкого впровадження в енергетичні системи.

Для енергозабезпечення приватних споживачів доцільним є створення автономних енерготехнологічних комплексів на базі електрохімічних та металогідридних технологій для живлення паливних комірок екологічно чистим паливом – воднем. Під час експлуатації енергетичного комплексу при використанні як джерела відновлюваної енергії імовірно виникнення позаштатних ситуацій, обумовлених припиненням енергопостачання внаслідок мінливості енергонадходження або аварійного виходу з ладу окремих елементів енергокомплексу. Тому для забезпечення безперебійним електропостачанням автономного приватного споживача необхідно передбачати додаткові системи вирівнювання енергонадходження. Передбачено включення в технологічну схему енергокомплексу додаткових елементів, які забезпечують його безперервну роботу протягом тривалого часу, що визначається потребами кінцевого приватного господарства. В роботі запропонована буферна система накопичення водню, що призначена для безперебійного енергопостачання як при роботі комплексу в нестаціонарних режимах, так і в разі аварійної зупинки [1]. Використання технології перетворення енергії від первинних джерел із застосуванням електролізної установки, металогідридної системи акумуляування водню та паливної комірки дозволить вирішити не тільки проблему згладжування нерівномірності надходження енергії від відновлюваних джерел енергії, а ще й зменшити екологічне

навантаження на навколишнє середовище України [2, 3].

Проведений аналіз існуючих типів електролізерів показав, що водневій технології, які реалізуються в електролізних установках, розроблених в Інституті проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного Національної академії наук України, дозволяють виробляти й накопичувати водень під високим тиском (до 20 МПа), що виключає використання компресорної техніки [4]. Застосування водню в паливних комірках дає змогу створювати ефективні системи автономного енергозабезпечення приватних споживачів. Найбільш перспективними для автономних споживачів є енергоустановки потужністю від 1 до 20 кВт на основі низькотемпературних лужних паливних комірок, які характеризуються високим ККД, екологічною чистотою та безшумністю в роботі. Для забезпечення живленням паливних комірок найбільш компактним, безпечним та екологічним способом є використання металогідридних акумуляторів високочистого водню багаторазової дії в складі енергетичного комплексу, що відповідає вимогам розміщення автономних систем енергозабезпечення [5].

Література:

1. Matsevytyi Y.M., Chorna N.A., Shevchenko A.A. Development of a perspective metal hydride energy accumulation system based on fuel cells for wind energetic // Journal of Mechanical Engineering. – 2019. – 22(4). – Pp. 48–52. <https://doi.org/10.15407/pmach2019.04.048>.
2. Avramenko A.N., Chorna N.A. Adaptation of metal-hydride hydrogen storage technologies for autonomous power supply systems based on fuel cells // XVI International Conference «HYDROGEN MATERIALS SCIENCE AND CHEMISTRY OF CARBON NANOMATERIALS» (ICHMS '2019). – Kiev (September 23–30, 2019). – 2019. – Pp. 88–89.
3. Авраменко А.М., Чорна Н.А., Шевченко А.А. Використання водневих систем енергозабезпечення на базі паливних комірок // Інформаційні технології: наука, техніка,

технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVIII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2020, 28–30 жовтня 2020 р.: у 5 ч. Ч. I. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». – С. 222.

4. Shevchenko A.A. Creation of autonomous and network energy-technological complexes with a hydrogen storage of energy. Scientific and Applied Journal Vidnovluvana energetika. 2020. Vol. 61 (2). Pp. 18–27. doi:<https://doi.org/https://doi.org/10.36296/1819-8058>.

5. Соловей В.В., Кошельнік О.В., Чорна Н.А. Розробка науково-технічних принципів створення тепловикористовуючих металогідрідних систем // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2011. – № 7 (89). – С.67–73.

УДК 620.92, 662.769.2

НАПРЯМИ ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ МІСЬКОГО ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ

**Л.В. Яценко¹, Л.Я. Шинкаренко², М.А. Ткаленко³,
Т.С. Кудря⁴**

*Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 02094,
м. Київ, вул. Гната Хоткевича, 20а, 02094, Україна
тел. +38(044) 206-28-09, e-mail: renewable@ukr.net*

У роботі представлено основні напрями декарбонізації міського транспорту за рахунок використання енергії відновлюваних джерел та «зеленого» водню.

Ключові слова: транспорт, відновлювані джерела енергії, водень, паливні елементи.

DIRECTIONS OF DECARBONIZATION OF URBAN PUBLIC TRANSPORT

**Yatsenko L.¹, Shynkarenko L.², Tkalenko M.³,
Kudrya T.⁴**

*Institute of Renewable Energy, National Academy of Science
of Ukraine, 20A, Hnata Khotkevicha str., Kyiv, Ukraine 02094*

The paper presents the main directions of decarbonization of urban transport through the use of energy from renewable sources and "green" hydrogen.

Keywords: transport, renewable energy sources, hydrogen, fuel cells.

ORCID: ¹0000-0001-7022-1579, ²000-0003-2018-3329, ³0000-0003-0698-5739, ⁴0000-0003-4252-2969

Зменшення забруднення від транспорту є надзвичайно важливою задачею сучасної транспортної галузі України.

У Законі України від 28.02.2019 № 2697-VIII Про Основні засади державної екологічної політики України на період до 2030 року відмічено, що, незважаючи на певний спад виробництва в Україні, забруднення атмосферного повітря є однією з найгостріших екологічних проблем, рівень забруднення атмосферного повітря великих міст і промислових регіонів залишається стабільно високим. Основними забруднювачами атмосферного повітря та джерелами викидів парникових газів в Україні є підприємства добувальної та переробної промисловості, теплоенергетики, автотранспорт. Фактично дві третини населення країни проживає на територіях, де стан атмосферного повітря не відповідає гігієнічним нормативам, що впливає на загальну захворюваність населення. З метою поліпшення якості атмосферного повітря та посилення реагування на наслідки зміни клімату й досягнення цілей сталого низьковуглецевого розвитку всіх галузей економіки Україна має забезпечити виконання ратифікованих міжнародних документів щодо протидії зміні клімату та поліпшення якості атмосферного повітря [1].

Найбільшими забруднювачами повітря у багатьох містах України є автомобілі, особливо це стосується міст-«мільйонників», у яких викиди вихлопних газів у десятки разів більше ніж у європейських мегаполісах. Затори на дорогах та велика кількість застарілих моделей транспортних засобів спричиняє різні хвороби, найперше дихальних шляхів і серцево-судинної системи. За підрахунками експертів, близько 40 % забруднення навколишнього середовища відбувається в результаті роботи транспорту. Столиця України Київ перебуває у трійці найбрудніших міст держави саме через автомобільне забруднення атмосфери. Автомобільні викиди в Києві, за даними Центральної геофізичної обсерваторії, у більш ніж уп'ятеро перевищують обсяг промислового забруднення [2].

Сучасний громадський транспорт у містах поділяється на дві основні групи:

- 1) електротранспорт (трамваї, тролейбуси), джерелом енергії для яких є електрична енергія;
- 2) транспорт, що використовує двигуни внутрішнього згоряння (автобуси, маршрутні таксі), джерелом енергії для яких в основному є бензин, дизельне паливо, а також у ряді випадків природний газ.

На першому етапі проведення заходів декарбонізації міст найбільш досяжним у досить короткі терміни методом є використання для заправки електротранспорту «зеленої» електроенергії від відновлюваних джерел, насамперед вітрової та сонячної. Для цього необхідно створити інфраструктуру щодо виробництва «зеленої» електроенергії, яка буде подаватись у загальну електромережу міста і надалі використовуватись для роботи електротранспорту. У подальшому перспективним є впровадження електротранспортних засобів на основі паливних елементів.

Складнішими є заходи щодо зменшення шкідливих викидів другої групи транспортних засобів. Найперспективнішими можуть бути:

- 1) перехід на застосування електродвигунів;
- 2) використання «зеленого» водневого палива, тобто водню, виробленого при використанні відновлюваної енергії.

У свою чергу автотранспорт на водневому паливі умовно можна розділити на різні класи:

- 1) Використання стандартного двигуна внутрішнього згоряння, який працює на чистому водні або водневій суміші. При роботі на чистому водні шкідливі викиди практично відсутні. Достатньо високими є також показники при використанні водневої суміші – добавка 5–10 % водню до основного палива сприяє зниженню витрат бензину на 40 % і зменшенню токсичних продуктів у викидних газах на 80 %, а вміст СО виявляється навіть нижчим, ніж при спалюванні природного газу [3]. Конструювання та дослідження автомобілів на таких двигунах проводились в Україні та за кордоном ще з 70-х років минулого століття. Однак через складності конструкторських робіт

та розмір витрат використання такого типу потребує подальшого детального аналізу.

2) Гібридні автомобілі, тобто авто з двома електроносіями, колеса яких рухаються за допомогою електроприводу, що працює від акумулятора, який заряджається від високоекономічного двигуна внутрішнього згоряння, що працює на водні або суміші водню з бензином або дизельним паливом. Експерти видання futurezone.de дійшли висновку, що найвищий коефіцієнт корисної дії має електродвигун – для «зеленого» приводу він становить до 99 %, а це означає, що 99 % електричної енергії, що генерується, перетворюється в кінетичну енергію руху. У даному разі загальний ККД може підвищитись до 30 %, і, відповідно, значно знижуються витрати традиційного палива і зменшується об'єм шкідливих викидів [4].

3) Водневий автомобіль на паливному елементі – авто із електродвигуном, який працює від паливного елемента, встановленого в автомобілі. Теоретичний ККД паливного елемента, що працює на суміші водень-повітря, може перевищувати 85 %. На практиці отримано двигуни з ККД близько 75 %, що більш ніж удвічі вище відповідного показника найкращих двигунів внутрішнього згоряння. В умовах міста такі машини одержать 5-6-разову перевагу над звичайними автомобілями [5].

Паливний водневий елемент або електрохімічний генератор, що перетворює хімічну енергію на електричну, являє собою водневий двигун. Подібним чином працюють звичайні електричні акумулятори, але в паливних елементах є дві важливі відмінності:

- паливний елемент працює тільки тоді, коли надходить паливо;
- паливний елемент не потрібно перезаряджати.

До складу паливного елемента входять комірки, кожна товщиною близько 1 см. Комірка складається з двох електродів, розділених електролітом. На один електрод (анод) підводиться паливо (водень), на другий (катод) – окисник (кисень повітря). Водень у цьому разі не згоряє,

хімічна реакція окиснення відбувається при низькій температурі в присутності каталізатора, у результаті позитивний і негативний заряди розділяються в просторі, між ними створюється напруга. Тому електроліт, який заповнює простір між електродами, повинен мати здатність пропускати крізь себе протони (йони водню) і не пропускати електрони. На аноді водень розпадається на електрони і протони, далі протони проходять крізь шар електроліту, досягають катода і, з'єднуючись із киснем, утворюють воду.

Однією із серйозних проблем, над вирішенням якої працюють вітчизняні й зарубіжні вчені, є отримання якісного й недорогого електроліту, який може використовуватись при температурах 150–200 °С.

Технічно існуючий сучасний паливний елемент на водні цілком придатний до застосування в автотранспорті. Основними напрямками подальшого його удосконалення є створення більш компактних і дешевих зразків.

Однією з головних проблем при створенні водневого автомобіля є розробка водневого аналога існуючого автомобільного паливного бака, тобто ефективної системи зберігання і подачі водню. При цьому авто, насамперед кабіна, повинна мати систему водневої безпеки.

Пропонуються різні варіанти – у стисненому вигляді, у рідкому стані, у гідридах інтерметалідів. Дуже перспективним є зберігання водню в наноструктурах (вуглецевих нанотрубках), однак ці дослідження поки що на початкових стадіях. Зберігання водню в акумуляторах на основі гідридів інтерметалічних сплавів, із яких за потребою поступово вивільняється чистий водень, має проблеми, пов'язані з великою загальною вагою і в той же час невеликою масою водню та швидкістю його вивільнення.

Найбільш перспективним і освоєним для автотранспорту вважається зберігання водню в балонах високого тиску – більше 350 атм. Використання сучасних матеріалів гарантує високу надійність водневих балонів, однак їх застосування значно збільшує масу автомобіля і зменшує корисну площу – балон із 1 кг стисненого при 70 МПа вод-

ню займає в 7,5 рази більше місця, ніж енергетично еквівалентна кількість бензину [3]. Фірми Quantum, Dynatek і Nissan поставляють на ринок композитні балони (тришарові вуглецево-волоконні, футеровані зсередини алюмінованим поліефіром), які витримують тиск до 70 МПа [5].

Рідкий водень зберігається в Дьюарах по 6,5 кг, при температурі 20 К і займає 1/700 об'єму в газоподібному стані. При тиску 80 МПа газоподібний водень практично порівнюється з рідким воднем за показником питомого об'ємного енергетичного вмісту і значно поступається рідким паливам. [5].

Для двигунів внутрішнього згорання і паливних комірок може бути використаний рідкий водень. При використанні такої агрегатної форми водню були створені різні варіанти водневого транспорту. Встановлено, що для роботи на рідкому водні можна застосовувати або модифікувати системи, що використовують зріджений природний газ. Оскільки об'ємна щільність енергії водню нижча, то для горіння потрібний більший обсяг водню, ніж природного газу. Тому в поршневих двигунах на рідкому водні має бути більш громіздка паливна система.

Зберігання водню в рідкому вигляді має свої переваги, насамперед значні масові показники водню, і недоліки – необхідність охолодження до температур, близьких до абсолютного нуля, за рахунок чого зростає вартість водню. Крім того, автомобіль, заправлений рідким воднем, повинен буде якомога швидше його використовувати, щоб зменшити втрати водню.

Отже, створення сучасної вітчизняної транспортної галузі, що відповідатиме екологічним стандартам, потребує розв'язання багатьох завдань та проведення цілої низки заходів, оснований на ефективній загальнодержавній політиці та підтримці органів місцевого самоврядування.

Література:

1. Закон України від 28.02.2019 № 2697-VIII Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19>
2. Екологічний стан українських міст [Електронний ресурс]. – Режим доступу <https://www.radiosvoboda.org/a/2081472.html>.
3. Кудря С.О. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії / – Підручник. – Київ: Національний технічний університет України («КПІ»), 2012. – 495 с.
4. Бензин, дизель, електро, водень і гібрид: який двигун найбільш ефективний? [Електронний ресурс]. – Режим доступу <https://bogdanauto.com.ua/benzin-dizel-elektro-voden-i-gibrid-yakij-dvigun-najbilsh-efektivnij/>
5. Відновлювані джерела енергії / За ред. С.О. Кудрі. – Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2020. – 392 с.

УДК 620.952

ВИКОРИСТАННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО ВОДНЕВОГО ПАЛИВА ЯК ЕЛЕМЕНТ ПРОТИДІЇ ЗМІНИ КЛІМАТУ

Г.Г. Дідківська¹, З.В. Маслюкова²,
*Інститут відновлюваної енергетики НАН України,
вул. Гната Хоткевича, 20а, м. Київ, 02094, Україна,
тел./факс +38(044)206-28-09,
e-mail: biomassa@ukr.net*

З погляду зменшення викидів парникових газів, водень є ідеальним паливом, тому що продуктом його згорання є вода.

Ідея та спроби використання водню як джерела та носія енергії були розроблені кілька десятиліть тому.

Ще в 1971 році вчені встановили, що використання рідкого водню слід серйозно розглядати як логічну заміну вуглеводного палива [1].

Ключові слова: *відновлювані джерела енергії, водень, зміна клімату.*

THE USE OF ENVIRONMENTALLY FRIENDLY HYDROGEN FUEL AS AN ELEMENT IN COMBATING CLIMATE CHANGE

G. Didkovska¹, Z. Masliukova²,
*Institute of Renewable Energy, National Academy of
Science of Ukraine, 20a, Hnata Khotkevicha str., Kyiv,
Ukraine, 02094*

In terms of reducing greenhouse gases emissions, hydrogen is an ideal fuel because the final product of its combustion is water.

The idea and attempts to use hydrogen as a source and carrier of energy were elaborated several decades ago.

Back in 1971, scientists postulated that the use of liquid hydrogen should be seriously considered as a logical replacement for hydrocarbon fuels [1].

Key words: *renewable energy sources, hydrogen, climate change.*

ORCID: ¹0000-0002-8314-9606, ²0000-0001-4180-7930.

На початку 2020 року Європейський Союз (ЄС) затвердив Європейський зелений договір, відповідно до якого Європа повинна стати кліматично нейтральною до 2050 року [1]. Це означає, що негативний вплив на клімат внаслідок збільшення концентрації парникових газів у атмосфері, особливо за рахунок викидів від промислових підприємств країн – членів Євросоюзу, має бути повністю компенсований. Кліматичної нейтральності можливо досягти завдяки висаджуванню лісів і використанню «зелених» технологій країнами. Особливе місце в документі займає перехід на екологічне водневе паливо або «зелений» водень.

«Зелений» водень – екологічно чисте паливо, яке може замінити викопні джерела енергії вже в найближчому майбутньому [1]. Його отримують шляхом електролізу води, причому виключно з використанням енергії відновлюваних джерел [2]. «Зелений» водень, з погляду зменшення емісії парникових газів в атмосферу, є ідеальним паливом, оскільки єдиним продуктом його згорання є вода, а не вуглекислий газ [3].

Ряд європейських країн вже перейшли на стадію активної реалізації водневих проєктів. Необхідні для цього завдання й заходи наразі розробляються в Німеччині, в рамках імплементації Національної водневої стратегії. В Нідерландах вже розроблений Національний план розвитку водневої енергетики до 2030 року, що базується на використанні водню, отриманого шляхом електролізу води за допомогою відновлюваних джерел енергії. Потужність установок для електролізу води планується

довести спочатку до 1 МВт, а потім – до 1 ГВт. Крім того, передбачається розробка і будівництво «водневих» вітрових турбін з вбудованими електролізерами. Також планується частково перевести з природного газу на водень електростанцію в порту Емсхавен (1,32 ГВт) [2].

Україна є одним з пріоритетних партнерів ЄС завдяки її потенціалу з виробництва «зеленого» водню та наявності розвиненої інфраструктури, зокрема шляхів сполучення з ЄС. Саме тому вона внесена до переліку шести потенційних постачальників водню [4].

Згідно з дослідженням, проведеним у 2019 році Інститутом відновлюваної енергетики НАН України у співпраці із «Українською Водневою Радою» та Українським інститутом майбутнього, річний потенціал виробництва водню в Україні в еквіваленті енергетичних одиниць становить від 340 до 500 млрд кВт·год. Водночас Україна споживає близько 300 млрд кВт·год на рік природного газу, а отже, потенційно водень повністю може замінити споживання природного газу в країні [5].

Література:

1. Rao P.C., Yoon, M. *Potential Liquid-Organic Hydrogen Carrier (LOHC) Systems: A Review on Recent Progress / Energies – 2020. 13. С. 23.*
2. *Как в Украине можно добывать "зеленый" водород [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://biz.censor.net/r3225183>*
3. Попадько Н.В., Панков С.В., Попадько А.М. *Водородная энергетика: этапы развития, проблемы и перспективы / Н.В. Попадько, С.В. Панков, А.М. Попадько // Инновации и инвестиции. – 2020. № 1. С. 293–297*
4. Зубченко Л.С., Кузьмінський Є. В. Аналіз продуктивності біотехнологічного отримання водню за використання мікроорганізмів з різними типами метаболізму, перспективні напрямки подальших досліджень / Л.С. Зубченко, Є.В. Кузьмінський // *Scientific Journal «ScienceRise» – 2015. № 10/6 (15). С. 47–53.*
5. *Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України / за заг. ред. С.О.Кудрі. – Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2020. – 82 с.*

УДК 620.98

АНАЛІЗ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ ПРИВАТНОГО ГОСПОДАРСТВА НА ОСНОВІ "ЗЕЛЕНОГО" ВОДНЮ

В.В. Перфецький¹, М.О. Гребенюк²

*Національний технічний університет України «Київський
політехнічний інститут» імені Ігоря Сікорського.*

вул. Політехнічна, 37, 03056, Київ, Україна.

тел.: +38(098)806-27-14¹, +38(098)913-03-37²,

e-mail: vperfetskyj@gmail.com¹,

koljagreben@gmail.com²

*У роботі представлений аналіз технічної
здійсненості та економічної доцільності системи
опалення будинку на основі «зеленого» водню.*

Ключові слова: відновлювані джерела енергії, водень,
системи акумулювання, опалювання.

PRIVATE HOUSEHOLD HEATING SYSTEM BASED ON GREEN HYDROGEN ANALYSIS

V. Perfetsky¹, M. Hrebennyuk²

*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv
Polytechnic Institute", Politechnichna st., 37, 03056, Kyiv,*

Ukraine, tel.: +38(098)806-27-14¹, +38(098)913-03-37²,

e-mail: vperfetskyj@gmail.com¹

koljagreben@gmail.com²

*The paper presents an analysis of the technical feasibility
and economic feasibility of the home heating system based on
"green" hydrogen.*

Keywords: renewable energy sources, hydrogen, storage
systems, heating.

ORCID: ¹0000-0001-7604-07521, ²0000-0001-7488-1099.

У світі зростає інтерес до використання водню як енергоресурсу. Особливої уваги заслуговує «зелений» водень, який генерується виключно за рахунок відновлюваних джерел енергії та процес генерації якого не спричинює шкідливих викидів у навколишнє середовище. Водень має відносно високі показники теплотворної здатності порівняно з іншими видами палива, що є стимулом для розгляду його як палива у системах опалювання приватних господарств. У роботі розглядається технічна здійсненність такої системи та фінансова доцільність використання систем опалення такого типу [1].

При аналізі системи було розраховано такі параметри:

- Обсяги енергії, необхідної для опалювання будинку середньою площею 100 м² упродовж усього опалювального сезону.
- Обсяги водню, необхідного для забезпечення потреб будинку при опалюванні. (варіант водневого котла H₂ydroGEM від Giacomini [2], електролізер від VaultTec [3]).
- Варіанти та об'єми систем генерації та акумуляції водню.

Було розглянуто варіант генерації водню шляхом електролізу з використанням електроенергії з потужностей відновлюваних джерел енергії впродовж періоду року, коли потреба у опаленні відсутня. Таким чином до початку опалювального сезону приватний споживач уже буде володіти запасом водню достатнього обсягу на весь опалювальний сезон.

У результаті отримано, що така система є технічно здійсненною. Проте при варіанті акумуляції водню на весь опалювальний сезон з'являється необхідність у достатньо великих об'ємах для зберігання, що є недоліком даної системи.

Економічна оцінка є на даний час достатньо відносною через варіативність більшості складових системи. Основну частку вартості системи складатиме система акумулювання,

отже, суттєве зменшення вартості системи відбудеться зі зменшенням вартості систем акумулювання водню.

Література:

1. International Renewable Energy Agency: IRENA. (2019). HYDROGEN: A RENEWABLE ENERGY PERSPECTIVE. Retrieved from https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Sep/IRENA_Power-to-Hydrogen_Innovation_2019.pdf.
2. «giacomini». (2021). H₂ydroGEM, the hydrogen boiler (1st ed.). Retrieved from <https://uk.giacomini.com/hydrogen-systems/h2ydrogem-hydrogen-boiler-giacomini>.
3. «ООО VaultTec». (2021). Вітро-водневий генератор 50 куб. м/доба (1st ed.). Retrieved from <https://vaulttec.org.ua/p559274267-vetro-vodorodnyi-generator.html>.

УДК 62-622+662.796.2

SNW-АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ АКУМУЛЮВАННЯ ВОДНЮ ЯК МОТОРНОГО ПАЛИВА

С.В. Бойченко¹, Н.Г. Калмикова²

*Національний авіаційний університет, проспект
Любомира Гузара, 1, м. Київ, Україна, тел.: 0972192125
e-mail: kalmykova82@ukr.net*

Загальною метою роботи є комплексний ситуативний SNW-аналіз світового досвіду використання водню як енергетичного палива. Сьогодні привабливість водню як універсального джерела енергії визначається екологічністю, гнучкістю та ефективністю процесів перетворення енергії за його участю.

Розвиток водневої енергетики та необхідність пошуку нових ефективних енергоносіїв й розробки на їх основі екологічно безпечних альтернативних палив зумовлена двома основними чинниками: швидке вичерпання запасів нафти на Землі; погіршення екологічної ситуації в багатьох країнах, насамперед у розвинутих.

Ключові слова: водень, SNW-аналіз, екологічність, ефективність.

SNW-ANALYSIS OF MODERN TECHNOLOGIES OF ACCUMULATION OF HYDROGEN AS A MOTOR FUEL

S.V. Boichenko¹, N.G. Kalmykova²

*National Aviation University, 1 Lubomyr Husar Avenue,
Kyiv, Ukraine*

The general purpose of the work is a comprehensive situational SNW-analysis of the world experience of using hydrogen as an energy fuel. Today, the attractiveness of

hydrogen as a universal source of energy is determined by the environmental friendliness, flexibility and efficiency of energy conversion processes with its participation.

The development of hydrogen energy and the need to find new efficient energy sources and develop environmentally friendly alternative fuels based on them is due to two main factors: the rapid depletion of oil reserves on Earth; deterioration of the environmental situation in many countries, especially in developed ones.

Keywords: *hydrogen, SNW-analysis, environmental friendliness, efficiency.*

ORCID: ¹0000-0002-2489-4980, ²0000-0001-5553-5721.

Розвиток енергетики має вирішальний вплив на стан економіки в державі та рівень життя населення. Саме тому надійне, економічно обґрунтоване й екологічно безпечне задоволення потреб населення та економіки в енергоносіях є пріоритетним завданням енергетичної політики держави. При цьому забезпечення сталого розвитку та ефективного функціонування паливно-енергетичного комплексу України є основою успішної реалізації такої політики [6].

Відомо, що традиційне паливо для двигунів транспортних засобів є токсичною речовиною, здатною викликати захворювання або відхилення в стані здоров'я людей, що з ним контактують.

На сьогодні привабливість водню як універсального енергоносія визначається екологічною чистотою, гнучкістю та ефективністю процесів перетворення енергії за його участю. Технології різномасштабного виробництва водню досить добре освоєні і мають практично необмежену сировинну базу. Проте низькі щільність газоподібного водню і температура його зрідження, а також висока вибухонебезпечність в поєднанні з негативним впливом на властивості конструкційних матеріалів, ставлять на перший план проблеми розробки ефективних і безпечних систем зберігання водню – саме ці проблеми стримують розвиток

водневої енергетики і технології в даний час. Сьогодні у світі виробляється більше 400 млрд м³ водню, що за енергетичними показниками відповідає 10 % виробництва нафти. Переважно цей водень використовується в хімічній і харчовій промисловості. Інтерес до водню як до палива загострився в 1990 році у зв'язку з усвідомленням небезпеки емісії парникового CO₂ [1].

Розвиток водневої енергетики та необхідність пошуку нових ефективних енергоносіїв й розробки на їх основі екологічно безпечних альтернативних палив зумовлені двома основними чинниками:

- швидке вичерпання запасів нафти на Землі;
- погіршення екологічної ситуації в багатьох країнах, насамперед у розвинутих [2].

Одним з найперспективніших енергоносіїв в транспортному секторі майбутнього виступає водень: на нього припадає три чверті всієї матерії на планеті, запаси водню невичерпні й постійно поновлюються [3].

Водень – ідеальне паливо. За здатністю виділяти тепло він чемпіон серед чемпіонів: у нього найвища теплотворна здатність [4].

При згоранні водень дає 28–30 тис. ккал. Для порівняння зауважимо, що високої якості бензин дає тільки 10–11 тис. ккал., високоякісне вугілля – 8 тис. ккал., дрова – 2,5 тис. ккал. (все на 1 кг.) [7].

Водень як паливо дозволяє зняти конфлікт енергетики та біосфери, оскільки в циклі «отримання – згорання» він майже не дає шкідливих для навколишнього середовища сполук. Навпаки, при отриманні його в атмосферу виділяється кисень, а при згоранні утворюється вода [2].

Зауважимо, що в даний час водень отримують головним чином хімічним шляхом з вуглеводневої сировини – нафти та природного газу. В невеликих кількостях водень виробляється методом електролізу, тобто розщепленням води на кисень та водень. Для отримання водню, що призначений для вироблення енергії, доцільно виробляти його саме методом електролізу (запаси води на планеті

практично невичерпні) [8] – один із найвідоміших і добре досліджених методів добування водню. Він забезпечує одержання чистого продукту (99,6–99,9 %) за один технологічний цикл. Однак процес одержання водню розкладанням води електролізом потребує значних енергетичних затрат [8].

Потрібно мати чітке уявлення про роль мікро- і макросередовища водневої галузі для того, щоб правильно визначити її стратегічні перспективи, сформулювати цілі та завдання, виробити стратегію розвитку галузі, націлену на посилення її позиції на ринку.

Для аналізу сильних, нейтральних та слабких сторін водневих технологій ми використаємо метод SNW-аналіз. [18, 19].

Спершу складаємо список слабких та сильних сторін галузі, пов'язаних із зовнішнім середовищем, використовуючи SNW-аналіз.

Таблиця 1. SNW-аналіз сильних, нейтральних та слабких сторін водневої галузі (водневого палива)

Фактори	Якісна оцінка		
	S – сильна сторона	N – нейтральна сторона	W – слабка сторона
Технології, що відповідають сучасним вимогам	X		
Наявність інноваційних здібностей і можливості їх реалізації	X		
Установлення на законодавчому рівні «зеленого» тарифу на відновлювані джерела електроенергії		X	
Міжнародні зобов'язання України, прийняті в рамках Договору про заснування Енергетичного Співтовариства та Угоди про асоціацію між Україною		X	

МАТЕРІАЛИ XXII МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
"ВІДНОВЛЮВАНА ЕНЕРГЕТИКА ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ У XXI СТОЛІТТІ"
Розділ 3. Воднева енергетика

та ЄС і його державами – членами, в тому числі імплементація Директиви 2009/28/ЄС про сприяння використанню енергії з відновлюваних джерел			
Екологічність палива та відсутність тиску на навколишнє середовище	X		
Економія бензину		X	
Висока теплота згорання водню	X		
Відсутність здатності палива до утворення відкладень і нагарів на деталях паливного обладнання і камери згорання		X	
Відсутність затвердженого Національного плану дій із розвитку відновлюваних джерел енергії			X
Невідповідність показників виробництва електроенергії з відновлюваних джерел енергії, встановлених у Енергетичній стратегії, реальним темпам розвитку галузі та завданням, установленим іншими стратегічними документами в галузі енергетики та охорони довкілля			X
Застаріле обладнання			X
Немає спеціалістів ключової кваліфікації і компетентності			X
Наявність внутрішніх виробничих проблем		X	
Неспроможність фінансувати необхідні зміни в стратегії			X

Складність виробництва (складний процес одержання)			X
Висока вартість			X
Відсутність масового споживача			X
Недосконалі технології зберігання			X
Висока собівартість водню			X
Висока займистість і вибухонебезпечність воднево-повітряної суміші			X
Відсутність розвинутої структури водневих заправних станцій			X

Застосування водню, як моторного палива на автотранспорті пов'язане з розв'язанням такого важливого завдання, як компактне й безпечне зберігання водню на транспортному засобі.

За результатами проведеного комплексного ситуативного аналізу нами було встановлено, що сучасна тенденція використання водню в цілому полягає у розвитку «зеленої» водневої енергетики та поступовому переході на водневу економіку, засновану на глобальному використанні водню як домінуючого базового енергоносія, що поступово має зайняти місце, яке зараз властиве нафті та продуктам її перероблення, природному газу та вугіллю.

Загальні тенденції використання «зеленого» водню можна систематизувати на:

- використання як моторного палива;
- для зменшення загального використання природного газу, підвищення його якості, екологічності та зменшення викидів CO₂, поновлюваний водень додається у природний газ під час транспортування та поставках споживачам;
- перетворення надлишку відновлюваної енергії на водень для зберігання, а потім перетворення на електроенергію за допомогою системи паливних елементів;

Література:

1. Інтернет ресурс: zakon.rada.gov.ua «Про затвердження Технічного регламенту щодо вимог до автомобільних бензинів, дизельного, суднових та котельних палив».
2. Бойченко С.В. Рациональное використання вуглеводневих палив: монографія. Київ: НАУ, 2001. 216 с.
3. Lejda Kazimierz, Siedlecka Sylwia. Hydrogen as an Ecological Energy Source for Automotive Applications. URL: [Logistyka, Logistyka - nauka, 2014, nr 6, CD 1](#), s. 190–200.
4. Гуцаленко О.В., Василенко Т.С. Перспективи застосування водню як альтернативного джерела енергії. *Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету*. 2014. № 1 (84). С. 193–200. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/znvnutn_2014_1_31.
5. Милаева И.И. Особенности двигателей внутреннего сгорания при работе на водороде. Таврический государственный агротехнологический университет. 2012. URL: <http://elar.tsatu.edu.ua/bitstream/123456789/2832/1/8.pdf>
6. Соловей В.В., Внукова Н.В., Гриценко А.В., Каніло П.М. Вплив енерго-екологічних факторів на конкурентоздатність водню як моторного палива (в транспортних енергоустановках). *Енергосберегающие технологии и оборудование*. 2014. DOI: 10.15587/1729-4061.2014.27657
7. Скорохода В.В., Солоніна Ю.М. Водень в альтернативній енергетиці та новітніх технологіях: монографія. Київ: «KIM». 2015. 294 с. URL: <http://www.materials.kiev.ua/Hydrogen/mono2.pdf>
8. Шляхта О.М. SWOT – аналіз як інструмент стратегічного менеджменту підприємства. *Економічний простір*. № 68. 2012. С. 301–309.
9. Анісімова О.М., Шикова Л.В. SWOT – аналіз підприємства як метод забезпечення розробки ефективної стратегії управління. *Проблеми і перспективи розвитку підприємництва*. №1 (1). 2011. С. 24–30.

УДК 620.92-044.247: [502.21:523.9] (477)

АНТИДОТ ПРОТИ РАДИКАЛЬНИХ РІШЕНЬ ВІДНОСНО РОЗВИТКУ СЕС ДОМОГОСПОДАРСТВ

І.А. Чижевська

*помічник народного депутата – Голови Комітету ВРУ з
питань енергетики та житлово-комунальних послуг
вул. Липська, 3, м. Київ, Україна
+380503551071, e-mail: irachyzh@gmail.com*

Позитивний наразі тренд розвитку СЕС домогосподарств (далі – СЕСд) у країні може стати як історією успіху, так і має шанси перетворитися на історію гучного провалу, як це ми спостерігаємо в секторі виробництва електроенергії великими комерційними ВДЕ-об'єктами. І залежить це від того, чи зможуть політики зайняти зважену конструктивну позицію та вчасно прийняти якісні рішення щодо розвитку СЕСд.

Ключові слова: *стимули розвитку, сонячна енергетика, складова енергосистеми, управління власним попитом, сонячні станції домогосподарств, системи накопичення енергії (СНЕ), просьюмери*

ANTIDOT OF RADICAL DECISIONS REGARDING THE DEVELOPMENT OF HOUSEHOLDS PV

I. Chyzhevska

*assistant to member of parliament - Chairman of the
Verkhovna Rada Committee on Energy, Housing and Utilities
Services, st. Lypska 3, Kyiv, Ukraine
+380503551071, e-mail: irachyzh@gmail.com*

The current positive trend in the development of households PV in the country can be both a success story and has a chance to turn into a history of resounding failure, as we see in the electricity sector by large-scale RES facilities. It

depends on whether politicians will be able to take a balanced and constructive position and make a quality decision on the development of households PV in a timely manner.

Keywords: *incentives for development, solar energy, power system component, demand response management, households PV, energy storage, prosumers*

ORCID: 0000-0002-8096-8788.

Станом на початок 2021 року встановлена потужність СЕС домогосподарств склала 779 МВт. Це близько 800 млн кВт·год виробленої електроенергії, з якої в середньому 60 % відпущено в електромережу загальною вартістю понад 2,5 млрд грн (виходячи з середнього тарифу 5,3 грн/кВт·год).

Нагадаємо, що за 2019 рік в Україні було встановлено 396 МВт СЕСд, тобто в 2,5 раза більше, ніж було на початок 2019 року, а за 2020 рік додалося ще 226 МВт (тобто за 2 роки 80 % загальної встановленої потужності).

Якщо така тенденція збережеться, то до кінця 2021 року можна очікувати понад 1 ГВт СЕСд, а за 2–3 роки – близько 3 ГВт встановленої потужності СЕСд, що означитиме заміщення близько 3 ГВт·год електроенергії традиційної генерації у структурі виробництва електроенергії. При цьому такі домогосподарства «зникнуть» ще і як споживачі 1,2 ГВт·год електроенергії, що створить додаткові питання в операторів систем та вплине на їх можливості інвестувати у розвиток мереж. А вартість решти 1,8 ГВт·год електроенергії, яка надійде в мережу, складе близько 9,54 млрд грн та потребуватиме постійного й дорогого джерела покриття.

Заміщення 3 ГВт·год виробництва традиційної генерації – це знову пошук компромісу при формуванні енергетичного балансу та джерел для викупу «зеленої» електроенергії у СЕСд. Неможливо з впевненістю стверджувати, але цілком вірогідно, що неминучим

результатом можуть стати радикальні рішення щодо розвитку, на цей раз вже СЕСд.

З іншого боку, споживачі, які інвестують в об'єкти сонячної енергетики, вносять вклад у національну ціль декарбонізації економіки, прагнення до нульових викидів вуглецю, перехід до відновлюваних джерел енергії (далі – ВДЕ), а їх поява на ринках електричної енергії позитивно вплине на попит та пропозицію, конкуренцію, гнучкість на таких ринках. Пам'ятаємо також, що це механізм демонополізації енергетики, участь у створенні децентралізованої генерації, перехід в енергетиці до моделі «інтернет речей».

Розвинуті країни світу, на відміну від України, вирішенням проблем інтеграції ВДЕ в мережу (зокрема і СЕС домогосподарств) та питаннями отримання переваг та вигід від такої інтеграції займаються вже більше 10 років. Низку нових підходів, правил та стимулів для СЕСд вже напрацьовано і впроваджено в дію. З ними й варто ознайомитись, а найкращі з них слід вводити в національне законодавство.

Почнемо з найпростішого – з можливості переходу споживачів від моделі FiT до механізму самоспоживання (net metering), як це зробила Румунія влітку минулого року, а Малайзія – з початку 2021 року. Коли споживачі продають надлишки виробленої ними електроенергії в мережу та споживають її пізніше, коли їм потрібно (в будь-яку годину, день, місяць, рік), сплачуючи лише чисту різницю (ціна виробництва та споживання електроенергії оцінюються за однаковою ціною).

Наступним, нескладним в реалізації, заходом може бути перехід від моделі FiT до ціноутворення на основі часу, яке точніше відображатиме вартість мережі та цінність електроенергії (різний тариф для робочих/вихідних днів, для пікових/поzapікових годин споживання, сезонні тарифи), як це працює в Австралії в штаті Вікторія.

По-третє, для споживачів, які мають самогенерацію, варто створити умови, за яких вони не тільки пасивно

виробляли б та споживали власну електроенергію, а брали активну участь на ринку та створювали цінність для себе або інших гравців на ринку («виробляти» економію енергії за допомогою заходів з енергоефективності та зміщувати попит на електроенергію на час, коли пропозиція є більшою, за допомогою заходів з управління попитом). Ідеться про активних споживачів – просьюмерів.

По-четверте, просьюмерів варто наділити гнучкістю та залучити до балансування енергосистеми. Цей підхід передбачає створення умов для широкого застосування просьюмерами систем накопичення окремо або в союзі з СЕСд та участі їх у продажу послуг на балансувальному ринку та ринку допоміжних послуг через механізм агрегаторів.

Таке об'єднання потужності сонячних станцій, накопичувачів, електромобілів, зарядних пристроїв та розумних лічильників в агрегований ресурс зможе надавати послуги мережевої підтримки на оптовому та місцевому рівнях. Австралійський оператор енергетичного ринку (АЕМО) вже розпочав трирічний проєкт випробування цієї моделі участі побутових сонячних станцій та накопичувачів у торгівлі електроенергією на ринку та у наданні мережевих послуг.

А найбільш інноваційним та перспективним заходом є створення спільноти сонячної енергетики (СЕСд + розумні лічильники + системи накопичення + системи управління для відслідковування виробництва й споживання членами спільноти та впливу на потоки електроенергії), як частини демократичного мережевого суспільства, для покриття енергетичних потреб громадян. Цим шляхом вже почали рухатися невеликі містечка Італії з населенням до 5 000 осіб.

Отже, антидот у вигляді якісних, конструктивних та виважених варіантів щодо удосконалення стимулювання в сфері СЕСд у світі вже створено, досвід впровадження існує, а його ефективність підтверджена.

Література:

1. [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2016/593518/EPRS_BRI\(2016\)593518_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2016/593518/EPRS_BRI(2016)593518_EN.pdf)
2. <https://www.pveurope.eu/installation/how-get-households-involved-grid-balancing?fbclid=IwAR3hpMlxN3waD2H-nRoZELmAM5kUkm8oV-uo74BDrJwqhMjbtwcoKQcy9t8>
3. https://www.pv-magazine.com/2021/02/04/romania-improves-rebate-scheme-to-speed-up-rooftop-pv-development/?fbclid=IwAR2rvUIWiINyZoNgbfhe8X2uXU01-MXcNksJw2_i3ng_CfGs0yHyc4CcZkA
4. https://www.pv-magazine.com/2021/01/14/italys-first-energy-community-for-solar-power-sharing/?fbclid=IwAR0vaaJl2uWtqinpHOrT2DGH3k4_BSnFs55pUAaVkgwzNbQkSzQ3IN0ihE8
5. https://www.energy-storage.news/news/home-batteries-given-chance-to-trade-electricity-services-by-australian-ene?fbclid=IwAR2E1xYehjbmicXE517n47Zp2VTiOyLW_w6Xq-gQX0KT5mzUAHb354qPD2c

УДК 620.91

ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В ПРИВАТНОМУ СЕКТОРІ УКРАЇНИ

С. Матях, Т. Суржик, В. Рєзцов

*Інститут відновлюваної енергетики НАН України,
02094, м. Київ, вул. Гната Хоткевича, 20а, 02094,
Україна*

тел. +38(044) 206-28-09, e-mail: renewable@ukr.net

У роботі представлено аналіз стану та перспектив застосування систем сонячного електро- та теплопостачання в домогосподарствах України.

Ключові слова: *сонячна енергія, сонячний колектор, сонячні електростанції.*

USE OF SOLAR ENERGY IN THE PRIVATE SECTOR OF UKRAINE

Matyakh S., Surzhyk T., Reztsov V.

*Institute of Renewable Energy, National Academy of
Science of Ukraine, 20A, Hnata Khotkevicha str., Kyiv, Ukraine
02094*

Tel/fax: +38(044) 206-28-09, e-mail: renewable@ukr.net

The paper presents an analysis of the state and prospects of application of solar electricity and heat supply systems in households of Ukraine.

Keywords: *solar energy, solar collector, solar power plants.*

ORCID: 0000-0002-1707-3519¹, 0000-0002-1418-7748²,
0000-0003-2926-1733³.

Енергетичні показники з надходження сонячного випромінювання є достатньо високими для створення

об'єктів сонячної енергетики на всій території України. Теплова енергія сонячної радіації може ефективно використовуватись у приватних домогосподарствах для гарячого водопостачання й опалення. Для виробництва електричної енергії найпоширенішим є застосування методу фотоелектричного перетворення.

Фотоенергетичне обладнання для виробництва електроенергії може достатньо ефективно експлуатуватись протягом усього року, а найвищі показники застосування сонячних теплових установок у південних областях України – 7 місяців (з квітня по жовтень), в північних областях – 5 місяців (з травня по вересень) [1].

За допомогою енергії Сонця можна забезпечити електроенергією мешканців приватного сектора (паралельно з роботою електричної мережі). Найпоширенішими є сонячні електроенергетичні установки, розташовані на даху будинків. У Держенергоефективності України розроблено типові фінансові моделі сонячних електростанцій для приватних домогосподарств (СЕС_д), що на основі заданого обсягу споживання енергії визначають необхідну встановлену потужність, термін окупності та необхідні інвестиції з урахуванням розміру «зеленого» тарифу [1, 2].

Останнім часом спостерігається різке збільшення кількості та потужності сонячних електроустановок домогосподарств (СЕС_д), – їх кількість збільшилась із 21 у 2014 році до 29 931 – у 2020-му, а потужність, відповідно, – з 0,1 до 779 МВт; сумарні інвестиції в їх впровадження становлять близько 600 млн євро. Динаміка впровадження СЕС_д показана нижче [3]:

- 2014 р. – 21 (0,1 МВт);
- 2015 р. – 244 (2,2 МВт);
- 2016 р. – 1109 (16,7 МВт);
- 2017 р. – 3010 (51 МВт);
- 2018 р. – 7450 (157 МВт);
- 2019 р. – 21 968 (583 МВт);

- 2020 р. – 29 931 (779 МВт).

Найбільша кількість СЕС_д впроваджена в областях: Дніпропетровська – 4184 (114 МВт) Тернопільська – 2512 (71 МВт) Київська – 2350 (50 МВт) Івано-Франківська – 2149 (58 МВт) Закарпатська – 2082 (58 МВт) [3].

Домогосподарства, які встановили СЕС_д, повністю забезпечують себе електричною енергією та є найбільш енергоефективними, оскільки надлишок виробленої екологічно чистої електроенергії продають за «зеленим» тарифом. Ринок пропонує автономні сонячні електростанції різної потужності; при плануванні встановлення сонячної електростанції в приватному будинку з постійним проживанням чи в заміському будинку або на дачі, де не проживають регулярно, насамперед необхідно визначити рівень споживаної потужності об'єкту [1].

Впровадження сонячного теплового обладнання в приватних домогосподарствах України є надзвичайно перспективним, оскільки головну роль у забезпеченні населення теплотою займає індивідуальне опалення на газу та централізоване опалення (разом більше 80 % домогосподарств). В останнє десятиліття спостерігається тенденція до поступового заміщення централізованого опалення децентралізованим. Прогнозується, що автономне опалення може сягнути до 20 % ринку централізованого. Національним планом дій з відновлюваної енергетики було передбачено вихід у 2020 році на 2 млн Гкал за рахунок сонячної енергії [4].

Для виробництва теплоти у приватних будинках рекомендується застосування сонячних колекторів (СК), які вдень перетворюють сонячну енергію в теплову, що нагріває воду, накопичуючи її в теплоізольованих ємностях. Надалі вода подається на потреби споживача. СК встановлюються на даху будинку, а накопичувальна ємність та допоміжне обладнання монтується в технічному приміщенні [1].

На вітчизняному ринку сонячного теплоенергетичного обладнання пропонується великий спектр та широкий діапазон можливого його застосування. Однак, оскільки його встановлення у приватних господарствах не потребує спеціальних дозволів, впровадження споживачами систем сонячного теплопостачання має швидше стихійний характер і не ведеться відповідний облік на державному рівні. Це не дає можливості відповідним чином аналізувати як кількісні показники, так і типи обладнання, основні напрями та діапазон його застосування. Крім того, серйозним недоліком є недостатня поінформованість потенційних споживачів.

Для покращення ситуації необхідно використання світового досвіду. Особливої уваги заслуговує звіт Solar Heat World Wide, що публікується щорічно з 2005 року в рамках Програми співробітництва в області технологій сонячного опалення і охолодження (SHC TCP) Міжнародного енергетичного агентства (MEA). У 1-й звіт ввійшли дані з 35 країн а за останні 15 років база даних була розширена до 68 країн, при цьому, крім збільшення числа країн, значно покращився ступінь деталізації даних. Країни, включені у звіт, представляють 4,9 млрд осіб, або близько 66 % населення світу; встановлена потужність в них оцінюється в 95 % світового ринку сонячної теплової енергії. Метою звіту є дати огляд загальних тенденцій у сонячній теплоенергетиці, виділити особливі області застосувань і найефективніші проекти, а також задокументувати сонячні теплові потужності, встановлені у всьому світі та визначити внесок сонячних теплових систем у загальне енергозабезпечення й у зменшення викидів вуглекислого газу [5]. Україна в даному звіті відсутня.

Кількість водяних сонячних теплових систем у світі на кінець 2017 року становила близько 118 млн, з яких 63 % використовувались для виробництва теплоти в одноквартирних будинках. Близько 2 % світової встановленої потужності СК забезпечує теплоту як для

гарячого водопостачання, так і для опалення приміщень (сонячні комбіновані системи) [5].

Функціонування світової енергетики за новим низьковуглецевим курсом включає розвиток виробництва теплової енергії за рахунок використання енергії сонячного випромінювання. Вітчизняна енергетика має враховувати відповідний світовий досвід для подолання енергетичних, екологічних та економічних проблем сучасності.

Загалом в Україні налічується понад 6,5 млн домогосподарств, тобто, крім значного енергетичного потенціалу, є величезний перспективний ринок для впровадження сонячного енергетичного обладнання – як електро-, так і теплоенергетичного [3]. Однак на кінець 2020 року лише 0,46 % з них встановили домашні СЕС, а щодо теплоенергетичного обладнання інформація практично відсутня.

Теплові процеси, які використовують енергію сонячного випромінювання, опрацьовані майже для всіх напрямків теплових технологій. На основі аналізу експериментальних даних, отриманих в ІВЕ НАН України на фізичних моделях та натурних зразках сонячних колекторів, фотобатарей та фототермічних модулів, встановлено, що температура їх активних поверхонь може сягати 70–80 °C і вище. Це є підґрунтям для подальшого розвитку теорії взаємодії сонячного випромінювання із середовищами, які мають різні фізичні характеристики. Надалі передбачається розробка нових технічних рішень в галузі фото- і геліоенергетики, які забезпечать підвищення енергоефективності, надійності та ресурсу функціонування енергетичного обладнання [1].

Подальше розширення масштабів використання енергії сонячного випромінювання для виробництва електричної та теплової енергії у приватному секторі України сприятиме підняттю рівня життя, особливо у сільських районах. Невичерпність та екологічна чистота, як основні властивості сонячної енергії, мають у перспективі

забезпечити більшу стабільність енергетичного сектора домогосподарств та поліпшення стану довкілля, ніж це можливо при використанні традиційних паливних ресурсів, особливо нафти й газу.

Література:

1. Відновлювані джерела енергії / За ред. С.О. Кудрі. – Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2020. – 392 с.
2. Енергія Сонця [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <http://saee.gov.ua/uk/ae/sunenergy>
3. Публічний звіт Держенергоефективності, підсумки 2020 року [Електронний ресурс] // – режим доступу: https://saee.gov.ua/sites/default/files/zvit_saee_2020_0.pdf.
4. Розвиток відновлюваних джерел енергії в Україні. Звіт в рамках проєкту «Секретаріат та Експертний хаб з енергоефективності», що впроваджується Програмою розвитку ООН в Україні за підтримки Уряду Республіки Словачія та сприяння Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства в Україні. – 2017. – 36 с.
5. Werner Weiss, Monika Spörk-Dür. Solar Heat Worldwide. – Institute for Sustainable Technologies Gleisdorf, Austria, 2019. – 83 p.

УДК 620.91

ОСНОВНІ ВІДМІННОСТІ КОСМІЧНИХ ТА НАЗЕМНИХ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ (ФЕП)

Д.І. Федченко,
*Національний аерокосмічний університет
ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»,
кафедра космічної техніки та нетрадиційних джерел
енергії, вул. Чкалова, 17, Харків, 61070, Україна,
d.i.fedchenko@student.khai.edu*

У роботі наведений аналіз технічних характеристик наземних та космічних фотоперетворювачів з метою дослідження альтернативних способів добування енергії випромінювання в космосі.

Ключові слова: енергетика, фотоелектричний перетворювач, космічна енергетика, сонячна енергетика.

THE MAIN DIFFERENCES BETWEEN GROUND SOLAR PANELS AND SPACE SOLAR PANELS

D. Fedchenko,
*National Aerospace University - "Kharkiv Aviation Institute",
NAU "KhAI", Department of Space Technology and
Renewable Energy Sources, Chkalova, 17, Kharkiv 61070,
Ukraine, d.i.fedchenko@student.khai.edu*

The article represents the guidance analysis of the technical characteristics of ground and space photoelectric converter redevelopment with the method of researching alternative ways to achieve solar energy in space.

Keywords: renewable energetic, photoelectric converter, space energetic, solar energetic.

У наш час космічна індустрія невпинно розвивається, і одним з найважливіших аспектів є забезпечення космічних апаратів енергією. Серед всіх відомих джерел одним з найефективніших є енергія випромінювання. Як загалом космічного, так і окремо сонячного. Проте такі фотоелектричні перетворювачі повинні відповідати більшим умовам на відміну від наземних.

Першим і найголовнішим критерієм для порівняння є конструкція фотоелектричних перетворювачів. Серед наземних ми спостерігаємо: безпосередньо панельний тип, фотоелементи з пастками, які використовують дзеркальні системи для концентрації випромінювання на фіксованій ділянці (до них також належать баштові станції). Через таку варіативність наземні фотоелементи не обмежені у площі активної поверхні та масі.

Проте космічні апарати вимагають мінімальної маси. Через це космічні фотоелектричні перетворювачі не використовують дзеркала. В основному ми спостерігаємо звичні фотоелементи панельного типу.

Наступним критерієм є матеріал фотоелемента. Для того щоб порівняти використовувані матеріали, потрібно зрозуміти, яка різниця у навколишньому середовищі на поверхні та орбіті планети.

Через наявність у Землі магнітосфери більша частина випромінювання не доходить до поверхні. Тим часом як у космосі ми спостерігаємо частинки, які мають енергію понад 10 МеВ (частковий випадок: космічне випромінювання). Більшість матеріалів руйнується через потік частинок високих енергій. Тому в космосі потрібно використовувати більш стійкі до радіації матеріали. Також відмінною є кількість годин, коли фотоелемент активний. На поверхні Землі максимальна тривалість світлового дня складає близько 12 годин на екваторі, тим часом як для космічних апаратів він може досягати близько 18 годин на добу.

Із цих даних впливає нова проблема: акумулювання енергії. Акумулювання енергії потрібно для більш

раціонального використання. За допомогою систем акумулювання можна підтримувати постачання енергії під час затемнень протягом доби, або використовувати і низько потенціальну енергію, регулюючи її рівень до потрібного для споживача.

На поверхні Землі ми не обмежені в масі та видах накопичувачів енергії. Тому широко використовуються всі типи, що існують. Проте в космосі використання деяких з них просто неможливе, а інші навпаки – працюють ефективніше.

Тепер порівняймо матеріали, які найчастіше використовуються у космічних фотоелементах та наземних: GaAs (арсенід галію) та mono-Si (монокристалічний кремній) відповідно (табл. 1).

Табл. 1. Порівняння теплових та електричних властивостей матеріалів

Критерій		GaAs	Mono-Si
Стійкість до перегріву		Стійкий	Нестійкий
Температура плавлення, °C		1238	1417
Коефіцієнт теплопровідності, $\frac{\text{Вт}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$		54	109
Ширина забороненої зони, eV		1,43	1,1
Рухливість носіїв заряду, $\frac{\text{см}^2}{\text{В} \cdot \text{с}}$			
	Електронів	10 500	1450
	Дірок	430	480
Робота виходу електронів, eV		4,69	4,8
Стійкість до бомбардування частинками		до 10 MeV	до 1 keV

Таким чином у космічній промисловості вигідно використовувати арсенід галію, через те, що він більш стійкий до бомбардування частинками високих енергій і перегріву, що вірогідніше зустрічається у космосі.

Але у фотоелектричній індустрії є ще кілька перспективних матеріалів, проте вони ще не повністю досліджені. Серед них телурид кадмію (CdTe), селенід міді, індію, галію (CIGS, або $\text{CuIn}_x\text{Ga}_{1-x} - \text{Se}_2$) та аморфний кремній (a-Si). Кожен з них має певні риси, що вирізняють їх серед інших матеріалів. Наприклад, фотоелементи на базі CIGS мають найтоншу плівку, через що є найгнучкішим матеріалом у сонячній енергетиці. Тим часом як аморфний кремній взагалі є рідиною, структурою якої можна управляти завдяки додаванню карбону (формула такого матеріалу має вигляд $\text{a} - \text{Si}_{1-x}\text{C}_x$).

Література:

1. Е. В. Калинина. Влияние облучения на свойства SiC и приборы на его основе Обзор / журнал Физика и техника полупроводников. – Санкт-Петербург 2007, том 41, вып. 7. С. 769–800.
2. M. Kanellos, Silicon vs CIGS: With solar energy, the issue is material / October 2, 2006.
3. К.В. Безручко, С.В. Губін Автономные наземные энергетические установки на возобновляемых источниках энергии / Харків «ХАІ» 2007, с. 29–75, 159–190.
4. К.В. Безручко, В.Ф. Гайдуков и др. Солнечные батареи автоматических космических аппаратов/ Харків «ХАІ», 2001.

УДК 620.91

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТИПІВ СОНЯЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ДЛЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ МОДУЛІВ

В.І. Шевчук¹, Н.В. Марченко², В.О. Пундєв³

*^{1,2,3} Інститут відновлюваної енергетики НАН України
02094, м. Київ, вул. Г.Хоткевича, 20А,
тел./факс 206-28-09, e-mail: nadija08@ukr.net*

Надано короткий аналіз стану в галузі сонячної енергетики світу щодо сонячних елементів, які виробляються та досліджуються в промисловості на сьогоднішній день та місце України в ньому. Обрано чотири типи найбільш відомих сонячних елементів і, відповідно, фотоелектричних модулів, з метою будівництва заводів за технологіями вище вказаних модулів, що враховують як певні конструкторські відмінності так і значний діапазон за вартістю та надійністю. Розроблена методика їх аналізу з використанням методу парних порівнянь та встановлені критерії, що враховують техніко-економічні показники фотоелектричних модулів (ФЕМ) і ринкові фактори, а саме: коефіцієнт корисної дії, деградація фотоелектричних модулів, вартість сонячного елемента або модуля, вага модуля, екологічність утилізації.

Проведено аналіз базових типів фотоелектричних модулів та визначено інтегральні оцінки для кожного з них. Найвищу інтегральну оцінку 8,57 отримали ФЕМ з монокристалічних кремнієвих фотоелектричних елементів, а саму меншу інтегральну оцінку 7,88 - ФЕМ з аморфного кремнію.

Ключові слова: сонячний елемент, фотоелектричний модуль, коефіцієнт корисної дії, екологічність утилізації.

COMPARATIVE ANALYSIS OF SOLAR CELLS TYPES FOR PV MODULES

V. Shevchuk¹, N. Marchenko², V. Pundiev³

^{1,2,3}*Institute of renewable energy of NAS of Ukraine
G. Khotkevycha str., 20A, 02094, Kyiv, Ukraine
Phone/fax: +38-044-206-28-09 e-mail: nadija08@ukr.net*

An abbreviated analysis of the situation in the field of solar energy in the world in relation to solar cells produced and studied by industry today and the place of Ukraine in it. Four types of the most famous solar cell sand, accordingly, photovoltaic modules have been selected for the purpose of building plants using the technologies of the above modules, which take into account both certain design difference sand a significant range in cost and reliability. The method of their analysis using the method of pairwise comparisons is developed and criteria are taken into account, taking into account technical and economic indicators of photovoltaic modules (PVM) and market factors, namely: efficiency, degradation of photovoltaic modules, cost of solar cell or module, weight of module, environmental friendliness.

The analysis of basic types of photovoltaic modules is carried out and integrated estimates for each of the modules are determined. The highest integrated score of 8.57 was obtained by PVM based on monocrystalline silicon, and the lowest integrated score of 7.88 was obtained by PVM based on amorphous silicon.

Keywords: solar cell, photovoltaic module, efficiency, environmental friendliness, utilization.

ORCID: ¹0000-0002-4176-7799, ²0000-0001-9921-9077,
³0000-0003-3750-8812.

Динамічний розвиток світової енергетики
неможливий без детального дослідження і впровадження

енергетичних систем, що використовують відновлювані джерела енергії (ВДЕ). Використання ВДЕ сприяє підвищенню рівня енергетичної безпеки, зменшує кількість шкідливих викидів в атмосферу, швидкий шлях до покращення соціально-побутових умов населення. До найбільш перспективних та доцільних у використанні джерел енергії відносяться енергія вітру, Сонця, води та землі.

Розвиток та дослідження у галузі сонячної енергетики в Україні регламентуються: Законом України «Про енергозбереження» № 30, введеним в дію Постановою ВР № 75/94-ВР від 1 липня 1994 року; Законом України «Про альтернативні джерела енергії» № 555-IV від 20 лютого 2003 року [1].

Для визначення ефективних напрямків інноваційної роботи пропонуються наступні типи фотоелектричних модулів у відповідності з їх конструктивними, функціональними та іншими особливостями, тому введемо наступні позначення:

P1– фотоелектричні модулі з монокристалічних кремнієвих фотоелектричних елементів;

P2 –фотоелектричні модулі на основі перовскитових структур;

P3 –фотоелектричні модулі з аморфного кремнію;

P4 –фотоелектричні модулі з телуриду кадмію.

Для виконання порівняльного аналізу були прийняті вихідні критерії, в яких враховано технічні та економічні показники типів фотоелектричних модулів, а саме:

- коефіцієнт корисної дії (ККД).
- деградація фотоелектричних модулів,
- вага модуля,
- екологічність утилізації,
- вартість продукції (сонячного елемента або модуля).

Як експерти були залучені провідні фахівці Інституту відновлюваної енергетики НАН України, які мають багатий

досвід в проектуванні та дослідженні типів фотоелектричних модулів.

Для визначення максимально ефективного, за вказаними вище параметрами, типу фотоелектричних модулів проведено порівняльний аналіз існуючих типів фотоелектричних модулів методом парних порівнянь, використовуючи методику, що наведена в [2]. Підсумкові результати аналізу та інтегральні оцінки подані в табл. 1

Таблиця 1. Інтегральна оцінка технологічних виконань ФЕМ

Типи фотоелектричних модулів		Сума інтегральних оцінок	Пріоритет конструкції
фотоелектричні модулі з монокристалічних кремнієвих фотоелектричних елементів	1	8,57	1
фотоелектричні модулі на основі перовскитових структур	2	7,83	3
фотоелектричні модулі з аморфного кремнію	3	7,88	4
фотоелектричні модулі з телуриду кадмію	4	7,3	2

Висновки:

1. Виконано порівняльний аналіз чотирьох базових типів ФЕМ та отримані їх інтегральні оцінки. Найвищу інтегральну оцінку 8,57 отримали ФЕМ з монокристалічних кремнієвих фотоелектричних елементів, ФЕМ з телуриду кадмію – 7,3, ФЕМ на основі перовскитових структур та ФЕМ з аморфного кремнію – 7,83 і 7,88 відповідно.

2. Головним технічним критерієм щодо вибору будь-якої ФЕМ є ККД. На другому місці – деградація фотоелектричних модулів, на третьому – вартість сонячного елемента або модуля, на четвертому – екологічність утилізації, а на п'ятому – вага модуля.

3. Для ефективного інвестування у галузі сонячної енергетики на сьогоднішній день є ФЕМ з монокристалічних фотоелектричних кремнієвих елементів з найбільш вивченою технологією і значним ККД на рівні 18-20 %, а також порівняно високою деградаційною стійкістю.

Література:

- 1 <http://zakon.rada.gov.ua>
- 2 Розен В.П. Методические указания для работы студентов по лабораторному практикуму по курсам «Модели и методы оптимизации систем электроснабжения», «Автоматизированные системы управления и переработки информации» и «Энергетический менеджмент» / Розен В.П., Соловей А.И., Белашев А.А. ; – К. : 1999. – 27 с.

УДК 621.311

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ АВТОНОМНОЙ ФЭУ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СООТНОШЕНИЯ ИНСОЛЯЦИИ, ПРОФИЛЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ И ВЕЛИЧИНЫ ОПТИМАЛЬНОЙ ЁМКОСТИ НАКОПИТЕЛЯ

С.В. Плаксин¹, И.В. Тимченко², Ю.В. Шкиль³

^{1,2,3}*Институт транспортных систем и
технологий НАН Украины «Трансмаг», Днепр.*

Рассмотрена зависимость эффективности работы автономной ФЭУ от соотношения инсоляции, профиля потребления и величины оптимальной ёмкости накопителя.

Ключевые слова: *фотоэлектрическая установка, накопление энергии, профили поступления и потребления, эффективность работы.*

THE EFFICIENCY OF A STAND-ALONE PVS DUE TO DEPENDENCE ON THE RATIO OF INSOLATION, THE CONSUMPTION PROFILE AND THE VALUE OF THE OPTIMUM STORAGE CAPACITY

S.V. Plaksin¹, I.V. Timchenko², Yu.V. Shkil³

^{1,2,3}*Institute of Transport Systems and Technologies
«Transmag» of the NAS of Ukraine, Dnepr.*

The dependence of efficiency of autonomous PV unit on the ratio of insolation, consumption profile and the value of optimum storage capacity is considered.

Keywords: *photovoltaic unit, energy storage, inflow and consumption profiles, operating efficiency.*

ORCID: ¹0000–0001–8302–0186, ³0000–0002–8684–5906.

При проектировании автономных фотоэлектрических установок (ФЭУ) с накопителем одной из задач является выбор таких соотношений инсоляции, профиля потребления и накопителя, чтобы при сохранении баланса поступления-потребления обеспечивалась наибольшая эффективность работы установки. В ФЭУ накопитель предназначен для гарантированного обеспечения потребителя энергией с заданным качеством на заданном интервале работы. В идеальном случае, когда профили производства и потребления совпадают, в накопителе нет необходимости, в остальных случаях необходимо определять его оптимальную ёмкость, при которой можно получить наилучшую эффективность, определяемую как отношение ёмкости к величине потребляемой (вырабатываемой) энергии за период работы установки. Наилучшая эффективность, таким образом, будет при минимальной величине этого отношения [1].

В работе были проведены оценки этих зависимостей для воспринимающей горизонтальной поверхности площадью 1 м^2 и разных периодов работы. Оптимальность рассчиталась для равномерной ежесуточной нагрузки, ежедневный профиль поступления усреднялся за период 30 лет по данным базы НАСА для локализации 45 град. с. ш. и 38 град. в. д. Результаты в обобщённом виде представлены на графиках (рис 1, 2). На первом графике представлено семейство зависимости оптимальной ёмкости АКБ от длительности периода работы в течение года и сдвига начала периода от начала года с дискретом один месяц.

Рис. 1. Семейство оптимальной емкости АКБ

Каждая кривая семейства представлена ломаной кривой, состоящей из 12 отрезков (по 6 в каждую сторону), соответствующих величине сдвига. Каждая кривая начинается в точке, соответствующей месяцу наилучшего сдвига для оптимальной ёмкости. Как правило, для каждого периода есть точка лучшей эффективности и точка худшей эффективности. Лучшие точки на графике объединены пунктирной линией, худшие находятся в зоне экстремумов кривых. Для разных периодов семейства существуют свои значения сдвига, что видно на втором графике – это все точки из первого графика, соединённые пунктирной линией. По вертикальной оси отложена эффективность, по горизонтальной оси – энергия за период работы.

Рис. 2. Лучшие точки эффективности разных периодов работы

Здесь первая цифра в скобках – месяц начала сдвига, который соответствует лучшей эффективности соотношений инсоляции, профиля поступления и накопителя проектируемой ФЭУ. Для любого периода существует два значения сдвига для одного и того же значения оптимальной ёмкости, но отличающиеся значением эффективности, что обусловлено двусторонней симметрией профиля инсоляции.

Выводы. Эффективность работы ФЭУ определяется оптимальной величиной ёмкости накопителя для сбалансированных процессов инсоляции и потребления, зависящих от длительности периода работы и сдвига периода от начала года в течение года. Эффективность

уменьшается с ростом периода и возрастает с увеличением сдвига.

Литература:

1. Дзензерский В.А., Плаксин С.В., Хачапуридзе Н.М., Тарасов С.В., Толдаев В.Г., Шкиль Ю.В. Определение рациональной величины ёмкости аккумулятора-накопителя автономной энергетической установки. Матеріали XIV міжнародної науково-практичної конференції «Відновлювана енергетика XXI століття», смт. Миколаївка, 16-20 вересня 2013 року, КРИМ-2013. – С. 161–162.

УДК 621.311

**ПРОБЛЕМИ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОГОДИННОГО
ГРАФІКА ГЕНЕРУВАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИМИ
СТАНЦІЯМИ**

***П.Д. Лежнюк¹, В.О. Комар², О.А. Ковальчук,
Ю.В. Семенюк***

*Вінницький національний технічний університет,
Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021
тел.: +38(067)987-5170, e-mail: kvo1976@ukr.net*

Розглянуто причини низької якості прогнозу погодинних графіків генерування фотоелектричними станціями на добу наперед.

Ключові слова: відновлювані джерела енергії, метеопараметри, баланс потужності та електроенергії.

**PROBLEMS OF FORECASTING THE HOURLY
SCHEDULE OF GENERATION BY PHOTOELECTRIC
STATIONS**

***P.D. Lezhniuk¹, V.O. Komar², O.A. Kovalchuk,
Y.V. Semeniuk***

Vinnitsa National Technical University

The reasons for the low quality of the forecast of hourly schedules of photovoltaic power generation for the day ahead are considered.

Key words: renewable energy sources, meteorological parameters, power and electricity balance.

ORCID: ¹0000-0002-9366-3553, ²0000-0003-4969-8553.

У Законі України про ринок електричної енергії [1]

визначено необхідність прогнозування погодинного графіка генерування відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) на добу наперед. Установлено допустимі відхилення прогнозованого графіка генерування від фактичного виробітку, яке становить для фотоелектричних станцій (ФЕС) – 5 % [1]. Враховуючи недостатню підготовленість України до розв'язання поставленої задачі у визначений порядок введення відповідальності за небаланси, який регламентує поступове зростання відсотка небалансів, що мають покрити власники ФЕС [1]. Початкова відповідальність становить 50 % від загального небалансу (вступило в дію з 01.01.2021р.) з поступовим зростанням відповідальності до 100 %. Вираз, за яким визначається рівень відшкодування в гривнях наведено в [2]. Уточнення щодо визначення рівня компенсації виробників електричної енергії з відновлюваних джерел енергії Державному підприємству "Гарантований покупець" містяться в [3]. За рахунками, що розсилались ДП "Гарантований покупець" виробникам в лютому і березні 2021 року в середньому становлять від 1 до 8 % (за 50 %-вою відповідальністю) від виплати ДП "Гарантований покупець" за вироблену електричну енергію за "зеленим тарифом". Тому в роботі зосередимось на причинах такої низької якості прогнозів.

Основна причина – низька якість прогнозу метеопараметрів. Визначальними метеопараметрами для прогнозу генерування ФЕС є сонячна радіація, температура навколишнього середовища, швидкість вітру. Відсотково вплив кожного з метеопараметрів на точність прогнозу генерування можна розподілити відповідно так: 90, 5 і 5 %. Аналіз доступних джерел прогнозу показав, що у світі використовуються чотири моделі прогнозування метеопараметрів. При чому не всі сервіси надають інформацію про сонячну радіацію, а якщо і надають, то з дискретністю 3 год. Далі ці метеопараметри перераховуються в сонячну радіацію на похилій поверхні

(панелі) та температуру панелі. Кожна з моделей вносить додаткову похибку.

Низька якість прогнозу метеопараметрів також зумовлена вкрай низьким забезпеченням стаціонарними метеопостами. З досвіду Європи має бути не менше одного на квадрат 4×4 км.

Відсутність якісного прогнозу метеопараметрів зводить до мінімуму доцільність використання достатньо складних математичних апаратів для перерахунку метеопараметрів в електричну енергію. Це ускладнюється також і невідповідальним наданням реальних схем електричних з'єднань, за якими збудовані ФЕС, та характеристик їх елементів.

Наступна проблема зумовлена роботою енергоринку України. Внутрішньодобове уточнення прогнозів генерування, яке регламентується нормативними документами, по суті, не дає зниження похибки через впровадження цих уточнень через 2 год 45 хв (з квітня 1 год 55 хв). При цьому технічно уточнення приймаються через 4 год (з квітня відповідно 3 год). Наприклад, у Німеччині уточнення приймаються кожні 15 хв. Крім цього, внутрішньодобове уточнення реалізують в Україні в основному за результатами опитування лічильників через систему АСКОЕ, яка розроблялась з іншою метою. Це призводить до збільшення часу впровадження на 1 год.

Крім цього, ДП "Гарантований покупець" не дозволяє поки що повністю автоматизувати процес передачі графіків генерування через відсутність у нього відповідного програмного забезпечення.

Отже в таких умовах діапазон 5 % забезпечити не може жодна з фірм, які надають послуги прогнозування на ринку України. Крім того, зміни у формулу [3], за якою виконується перерахунок небалансів електричної енергії в грошовий вираз є вкрай непрозорими, що не дозволяє виробнику електроенергії контролювати поточний стан.

У цих умовах засобами для покращення результатів

прогнозування виробітку є застосування накопичувачів, що на теперішній час є досить дорогими, або слід застосовувати керовані відновлювані джерела – малі ГЕС та біогазові установки. Однак керовані джерела дозволять покращити результати прогнозування лише для юридичних осіб, які є власниками одночасно і малих ГЕС (біогазових установок) та ФЕС. Інший варіант: необхідно користуватися системним резервом на умовах платної послуги. Хоча тут також не все врегульовано.

1. Закон України про ринок електричної енергії URL:
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19#Text>

2. Постанова Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг № 641 від 26.04.2019 "Про затвердження нормативно-правових актів, що регулюють діяльність гарантованого покупця та купівлі електричної енергії за «зеленим» тарифом".

3. Постанова Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг № 46 від 15.01.2021 "Про затвердження Змін до постанови НКРЕКП від 26 квітня 2019 року № 641".

УДК 621.311

НЕСТАБІЛЬНІСТЬ НЕГАРАНТОВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ З УРАХУВАННЯМ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ОБЛАДНАННЯ

П.Д. Лежнюк¹, О.О. Рубаненко²

*Вінницький національний технічний університет,
Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021
тел.: +38(097)748-02-85, e-mail: olenarubanenko@ukr.net*

Проаналізовано фактори, які впливають на нестабільність генерування негарантованими джерелам енергії на прикладі фотоелектричних станцій (ФЕС). Досліджено характерні пошкодження фотоелектричних модулів (ФЕМ) та запропоновано використовувати коефіцієнт загального залишкового ресурсу для ідентифікації стану обладнання ФЕС.

Ключові слова: негарантовані джерела енергії, пошкоджуваність, фотоелектричний модуль.

INSTABILITY OF INGUARANTEED ENERGY SOURCES TAKING INTO ACCOUNT THE TECHNICAL CONDITION OF THE EQUIPMENT

P.D. Lezhniuk¹, O.O. Rubanenko²
Vinnitsa National Technical University

Factors influencing the instability of unguaranteed power generation on the example of photovoltaic power plants (PPP) are analyzed. Characteristic malfunctions of photovoltaic modules (PVM) are investigated. It is proposed to use the coefficient of total residual resource to identify the condition of the PPP equipment.

Keywords: *unguaranteed energy sources, malfunction, photovoltaic module.*

ORCID: ¹0000-0002-9366-3553, ²0000-0002-2660-182X.

Станом на лютий 2021 року встановлена потужність обладнання ВДЕ становить 6734 МВт, серед яких сонячні електростанції (СЕС) – 80,54 %, які є електростанціями негарантованої потужності (електростанція, яка використовує нестабільний природний енергоресурс) [1, 2]. При дослідженні нестабільності роботи негарантованих джерел енергії, крім погодних умов, які мають стохастичний характер, важливо також враховувати їх технічний стан. Тому проведені дослідження на прикладі ФЕС. Оскільки ФЕМ є основним елементом ФЕС, розглянемо визначення його технічного стану більш детально (рис. 1, табл. 1) [3].

Рис.1. Характерні пошкодження ФЕМ

Враховуючи те, що пошкодження кожного з вузлів ФЕМ (зазначених в табл. 1) призводить до пошкодження всього ФЕМ, то коефіцієнт загального залишкового ресурсу знаходиться за виразом (1) [3]:

$$k_{pec} = \prod_{\tau=1}^{\nu} k_{\tau}^{p_{\tau}}, \quad (1)$$

де k_{τ} – коефіцієнт залишкового ресурсу ФЕМ по τ -му діагностичному параметру, τ – τ -тий діагностичний параметр, ν – кількість діагностичних параметрів відповідно до кількості вузлів (табл. 1), p_{τ} – ймовірність відхилень контрольованого параметра від гранично допустимого нормованого значення цього параметра.

Таблиця 1. Пошкодження елементів ФЕМ

Елемент ФЕМ	Вид пошкодження	Результат	Параметр*		Пошкод-ість, од.; в.о.; %**
cell	пробій напів-провідникового переходу	понад норм. зменш. опору фотодіода в зворот. напрямку – зменш. опору cell	Опір фотодіода, Ом	k ₁ , в.о.	101 од.; 0,034 в.о.; 3,36 %
	перегорання селу	обрив з'єдн. провідників (плоскої шини busbar), які з'єднують cell в ФЕМ	Опір проводів, Ом		
busbar	погіршення контакту в місці з'єднання cell та busbar	зростання температури в місці контакту та зменшення струму	Температура, °C Струм, А	k ₂ , в.о.	43 од.; 0,014 в.о.; 1,43 %
	корозія	зменшення струму, нагрівання busbar	Струм, А		
	пошкодження діода Шоттки (пробій)	нагрів	Темп-ра, °C Струм, А		

клемний термінал – junctionbox	збільшення опору контактів	нагрів	Темп-ра, °C Струм, А	k ₃ , в.о.	2504 од.; 0,833 в.о.; 83,3 %
алюмінієвий каркас з герметиком	погіршення герметичності каркаса	нагрів, волога в середині ФЕМ	Темп-ра, °C Струм, А	k ₄ , в.о.	54 од.; 0,018 в.о.; 1,8 %
захисне скло	погіршення герметичності каркаса	нагрів, волога в середині ФЕМ	Температура, °C Струм, А	k ₅ , в.о.	80 од.; 0,027 в.о.; 2,66 %
кабель, що з'єднує cells з клемним терміналом	пошкодження кабелю	ізоляція та опір коннектора	Опір ізоляції, МОм Температура, °C	k ₆ , в.о.	225 од.; 0,075 в.о.; 7,48 %

Для визначення технічного стану ФЕМ скористаємось методикою, детально описаною в [4], яка передбачає визначення технічного стану ФЕМ з використанням нейро-нечіткого моделювання та експертної оцінки фахівців, зокрема розроблена нейро-нечітка модель коефіцієнта залишкового ресурсу функціонування ФЕМ, що дозволяє ідентифікувати стан ФЕМ із чотирьох можливих: «аварійний», «передаварійний», «з незначними відхиленнями параметрів», «справний» – та визначити вплив стану обладнання на генерування ВДЕ при прогнозуванні.

Література:

1. Встановлена потужність енергосистеми України на 02/2021 [Електронний ресурс] <https://ua.energy/vstanovlena-potuzhnist-energosityemy-ukrayiny/>
2. СОУ-Н ЕЕ 40.1-00100227-101:2014 «Норми технологічного проектування енергетичних систем і електричних мереж 35 кВ і вище».
3. Рубаненко О.О. Аналіз нестабільності генерування відновлюваними джерелами енергії з урахуванням їх технічного стану. *Міжнародний журнал «Світлотехніка та електроенергетика»*. Харків. 2020. № 3. С. 108–116.
4. Lezhniuk P., Rubanenko O., Rubanenko O. Determination of optimal transformation ratios of power system transformers in conditions of incomplete Information regarding the values of diagnostic parameters. Chapter of book: *Fuzzy Logic*. London, UK: IntechOpen Limited. 2019., p. 1–2.

УДК 621.311

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ СЕС ДЛЯ БАЛАНСУВАННЯ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

О.Б. Бурикін¹, Ю.В. Малогулко², А.В. Ситник³
*Вінницький національний технічний університет,
Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021, Україна
Тел. (097) 972-05-97. E-mail: burykin@vntu.edu.ua*

*Наведено аналіз світового досвіду компенсації не-
стабільності генерування СЕС в задачі балансування для
покращення частотної характеристики.*

Ключові слова: балансування, відновлювальні дже-
рела енергії, електроенергетична система, стійкість.

RESEARCH OF PV CONTROL METHODS FOR BAL- ANCING OF ELECTRIC POWER SYSTEMS MODES

O.B. Burykin, Yu.V. Malogulko, A.V. Sytnyk
*Vinnitsia National Technical University
Khmelnytsk highway, 95, Vinnytsia, 21021, Ukraine
Tel. (097) 972-05-97. Email: burykin@vntu.edu.ua*

*An analysis of the world experience in compensating for
the instability of SES generation in the balancing problem to
improve the frequency response is performed.*

Keywords: balancing, renewable energy sources, elec-
tric power system, stability, system, inertia.

ORCID: ¹ 0000-0002-0067-363, ² 0000-0002-6637-739,
³ 0000-0001-9586-7712.

Відповідно до світового досвіду при інтеграції в енер-
госистемі значних потужностей СЕС можуть виникнути
певні проблеми із забезпеченням надійного балансу між
виробництвом і споживанням електроенергії, пов'язані з

нестбільністю поточної потужності фотоелектричних та вітроелектричних установок. Відповідно до досвіду Європейських країн порогова величина оцінюється як 10 % загального споживання електроенергії в країні [1]. Перевищення порогового значення потребує застосування найсучасніших технологій, що включають різні стратегії управління, методи оптимізації, накопичувачі енергії та обмежувачі струмів ушкодження.

На сьогодні в ОЕС України склалась ситуація коли встановлена потужність ВДЕ вже перевищує порогове значення на 10 %, а державне стимулювання підтримує збільшення частки генерування СЕС у структурі генерування (рис. 1).

Рис. 1. Структура встановленої потужності а) та потужності генерування ВДЕ б) ОЕС України

Інтеграція ВДЕ зменшує стійкість електроенергетичної системи через заміну класичних синхронних генераторів [2]. Високий рівень проникнення ВДЕ до системи із заміною класичного синхронного генератора зменшує загальну інерцію та збільшує швидкість регулювання частоти регуляторами електричних станцій, навіть при малому небалансі генерування і навантаження [3]. Крім того, зменшення резервної потужності внаслідок витіснення резерв-

них генераторних установок спричиняє відхилення частоти [4].

У задачі балансування застосовуються різні методи контролю для покращення частотної характеристики СЕС [5]. Класифікація технік підтримки балансу за допомогою СЕС показана на рис. 2.

Рис. 2. Класифікація технік підтримки стійкості та частоти за допомогою СЕС

Наведена класифікація передбачає первинне регулювання частоти за допомогою техніки емуляції інерції, або **віртуальної інерції**. Внутрішня та зовнішня петлі управління реалізовані для формування чергувального циклу DC/DC перетворювача фотоелектричної системи. Перша регулює напругу PV-модуля до заданого значення, а друга – потужність PV до контрольного значення. Потужність для зовнішньої петлі управління визначається за виразом:

$$p_{pv}^{ref} = (1 - r) \cdot p_{max} - \Delta p_{freq}^{ref}$$

де r – резерв потужності, встановлений оператором системи, P_{max} – максимальна доступна потужність, Δp_{freq}^{ref} – приріст потужності, заданий частотним регулятором.

Техніка МРР (maximum power point) розвантаження передбачає зміщення точки максимальної потужності для забезпечення підтримання частоти системи (рис. 3).

Рис.3. Техніка зміщення точки максимальної потужності

Замість роботи у точці максимальної потужності **A**, фотоелектрична система працює в точці **B**, створюючи резерв $P_{\text{max}} - P_{\text{розвантаження}}$.

Ще однією технікою підтримки стійкості та частоти за допомогою СЕС є використання накопичення енергії. Акумулятори можуть бути використані для пом'якшення негативного впливу інтегрування СЕС у мережі за рахунок зменшення коливань активної потужності.

Техніка м'яких обчислень передбачає згладжування стрибків генерування, залежно від відхилення частоти та середньої інсоляції фотоелектричної системи, уставки вихідної потужності формуються за допомогою контролера нечіткої логіки.

Підтримка стійкої роботи електроенергетичної системи є досить складним завданням. Для компенсації нестабільності генерування ВДЕ в задачі балансування застосовуються різні методи контролю СЕС для покращення частотної характеристики за критеріями підтримки балансу. Вказані стратегії потребують додаткових капіталовкладень або зменшення потужності генерування, тому проблема залишається актуальною.

Література:

1. M. Delfanti, D. Falabretti, M. Merlo, and G. Monfredini. "Distributed generation integration in the electric grid: energy storage system for frequency control," *Journal of Applied Mathematics*, vol. 2014, Article ID 198427, 13 pages, 2014.
2. J. Morren, S.W.De Haan, W.L. Kling, J.Ferreira. Wind turbines emulating inertia and supporting primary frequency control, *IEEE Trans. on power systems* 21 (1) (2006) 433–434.
3. M.H. Fini, M.E.H. Golshan. Frequency control using loads and generators capacity in power systems with a high penetration of renewables, *Electric Power Systems Research* 166 (2019) 43–51.
4. A. Ulbig, T.S. Borsche, G. Andersson. Impact of low rotational inertia on power system stability and operation, *IFAC Proceedings Volumes* 47 (3) (2014) 7290–7297.
5. M.S. Alam, F.S. Al-Ismael, A. Salem and M.A. Abido, "High-Level Penetration of Renewable Energy Sources Into Grid Utility: Challenges and Solutions," in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 190277–190299, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3031481.

УДК 621.311.25

ОЦІНКА ОПТИМАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ ОБЛАДНАННЯ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ ПО ОБЛАСТЯХ УКРАЇНИ

І.М. Буратинський

*Інститут загальної енергетики НАН України,
вул. Антоновича, 172, м. Київ, 03150, Україна,
тел.: +38(095)752-64-00, e-mail: buratunsky@gmail.com*

З використанням нелінійної математичної моделі оптимізації структури обладнання фотоелектричних сонячних електростанцій за критерієм мінімальної середньозваженої собівартості виробництва електричної енергії проведена оцінка в частині співвідношення потужності постійного та змінного струму по областях України.

Ключові слова: *фотоелектрична сонячна електростанція, середньозважена собівартість виробництва електричної енергії, математична модель, коефіцієнт перевантаження.*

OPTIMAL STRUCTURE EQUIPMENT ESTIMATION OF THE SOLAR POWER PLANT IN THE REGIONS OF UKRAINE

I.M. Buratynskyi

*Institute of General Energy, National Academy of Science of
Ukraine, 172 Antonovycha str., Kyiv, Ukraine, 03150*

Using a nonlinear mathematical model of the equipment structure optimizing of photovoltaic solar power plants by the criterion of the minimum levelized cost of electricity, estimated in terms of the DC/AC overloading in the regions of Ukraine.

Keywords: *solar photovoltaic station, levelized cost of electricity, mathematical model, DC/AC overloading.*

ORCID: 0000-0003-2928-9621.

Впродовж останніх років у світі спостерігається стрімке зростання встановленої потужності фотоелектричних сонячних електростанцій (СЕС), зумовлене здешевленням основного обладнання та удосконаленням технологічних рішень [1].

Тарифне стимулювання та надання преференцій сприяло стрімкому розвитку впровадження СЕС в Україні. Станом на кінець 2020 року сумарна встановлена потужність СЕС в об'єднаній енергосистемі України досягла 5,15 ГВт, порівняно з 3,55 ГВт у 2019 році та 1,22 ГВт у 2018-му [2].

Відповідно до Закону «Про ринок електричної енергії» [3] в Україні започатковано конкурентну аукціонну модель підтримки нового будівництва відновлюваних джерел енергії. Для участі в аукціонах електростанція має досягти мінімальних витрат при максимальній ефективності роботи з відповідною середньозваженою собівартістю виробництва електричної енергії (LCOE).

До загальних витрат належать капітальні інвестиції при впровадженні (CAPEX) з урахуванням проєктування, закупівлі, будівництва (EPC) та операційних витрат впродовж усього періоду експлуатації (OPEX).

Одним із можливих шляхів щодо зниження LCOE є підвищення обсягів виробництва електричної енергії шляхом збільшення встановленої потужності постійного струму (DC) фотоелектричних модулів (ФЕМ) над інверторною потужністю змінного струму (AC).

Застосування коефіцієнта перевантаження (DC/AC overloading) дозволяє досягти найбільшої ефективності роботи СЕС (PR, Performance Ratio). Обсяги виробництва електричної енергії залежать від рівня сонячного випромінювання на майданчику розміщення СЕС.

У дослідженні [4] визначено найоптимальнішу структуру обладнання СЕС на території Одеської області при значенні коефіцієнта перевантаження на рівні 1,4.

Апробація нелінійної математичної моделі оптимізації структури обладнання СЕС [5] залежно від інтенсивності сонячного випромінювання, яке потрапляє на поверхню ФЕМ, показала, що територіальне розташування СЕС впливає на оптимальний коефіцієнт перевантаження.

Подальші розрахунки здійснено з метою оцінки оптимальної структури обладнання СЕС по областях України. Для цього було використано вхідні дані PVGIS [6] щодо сонячного випромінювання з урахуванням відбиття, розсіювання та температурних втрат протягом цілого року для 25 координатних точок біля населених пунктів, які розташовані близько до центру областей України.

Результати модельних розрахунків показали, що для СЕС, розташованих у різних областях України, при PR 80 % оптимальний коефіцієнт перевантаження буде коливатись в межах від 1,4 до 1,68; при PR 85 % – від 1,32 до 1,58; при PR 90 % – від 1,25 до 1,49.

Спостерігається тренд необхідності збільшення потужності ФЕМ при зменшенні рівня сонячного випромінювання.

За допомогою проведеної оцінки структури обладнання СЕС за критерієм мінімальної LCOE знайдено оптимальне співвідношення потужності постійного та змінного струму для СЕС.

На основі відповідних вхідних технічних, економічних, метеорологічних даних можна визначити LCOE для СЕС на різних територіях, що дає можливість оцінити їх конкурентоздатність під час участі в аукціоні.

Література:

1. IRENA (2020), Renewable Power Generation Costs in 2019, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
2. НЕК «Укренерго». (2020), Встановлена потужність відновлювальних джерел енергії за 2015–2020 роки. Київ:, 2019. URL: <https://ua.energy/vstanovlena-potuzhnist-energosityemy-ukrayiny/> (дата звернення: 19.02.2021)

3. Про ринок електричної енергії: Закон України від 13.04.2017. № 2019-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19#Text> (дата звернення: 21.02.2021).

4. Буратинський І.М., Нечаєва Т.П., Шульженко С.В. Оптимізація структури обладнання фотоелектричної сонячної електростанції. Проблеми загальної енергетики. 2020. Вип. 2 (61). С. 17—22. DOI: <https://doi.org/10.15407/pge2020.02.017>

5. M. Bilenko., I. Buratynskyi, I. Leshchenko, T. Nechaieva, S. Shulzhenko. Nonlinear Mathematical Model of Optimal Solar Photovoltaic Station Design. A. Zaporozhets and V. O. Artemchuk (eds.), Systems, Decision and Control in Energy II, Studies in Systems, Decision and Control 346, DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-69189-9>

6. Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS): вебсайт. URL: <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis> (дата звернення: 19.02.2021).

УДК 662.997+697.7

ОСОБЛИВОСТІ ТЕРМІЧНОГО РЕЖИМУ ОДНОСТОРОННІХ СОНЯЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

В.В. Височин¹, канд. техн. наук, доц.,

В.Р. Нікульшин², д-р техн. наук, проф.

^{1,2} Одеський національний політехнічний університет,
65044, Одеса, пр. Шевченка, 1,

¹tel: +38(050)829-26-33, e-mail: vwwin.od@gmail.com;

²tel: +38(050)258-32-07, email: vnikul@paco.net.

Розроблена й проаналізована комплексна математична модель визначення температурного режиму роботи сонячного елемента з урахуванням двостороннього опромінення. Дана модель дозволяє з більшою вірогідністю – як якісно, так і кількісно – робити аналіз нагрівання сонячного елемента при різних орієнтаціях і метеорологічних умовах.

Ключові слова: односторонній сонячний елемент, температурний режим, орієнтація елемента.

FEATURES OF A THERMAL REGIME OF SINGLE-SIDED SOLAR CELLS

V.V. Wysochin¹, PhD, Associate Professor,

V.R. Nikulshin², Doctor of Technical Sciences, Professor

^{1,2} Odessa National Polytechnic University,

1 Shevchenko Ave., Odessa, Ukraine, 65044

The complex mathematical model of definition of a temperature operating mode of the solar cell taking into account two-sided irradiation is developed and analysed. The given model allows for greater reliability - as qualitatively, and quantitatively to make the analysis of heating of the solar cell at various orientations and weather conditions.

Keywords: *one-sided solar element, temperature regime, element orientation.*

ORCID: ¹0000-0003-2279-203X, ²0000-0001-5946-8562.

Ефективність сонячних елементів, як відомо, істотно залежить від температури нагрівання в процесі роботи. Цей фактор залучає до себе серйозну увагу конструкторів, тому що обмежує застосовність сонячних елементів.

Існуючі моделі з визначення температури сонячних елементів базуються на поданні про одностороннє фронтальне опромінення пристрою. Однак тильна сторона, що у сонячних елементах не має теплової ізоляції, також сприймає й перетворює променисту енергію. Тому для аналізу реальних умов роботи сонячного елемента необхідна модель, що описує всі фактори впливу на енергетичні процеси.

Ціль роботи. Розробка математичної моделі для визначення термічного режиму роботи одностороннього сонячного елемента в різних умовах експлуатації.

Тут використовується загальноприйнята термінологія щодо розташування панелі. Орієнтація по осі "південь–північ" (S-N) – нормаль до аверсної (передньої) поверхні сонячної панелі (СП) спрямована на південь із азимутом 0 градусів. Орієнтація "схід–захід" (E-W) – напрямком нормалі аверсної поверхні на схід.

Для аналітичного опису опромінення горизонтальної поверхні використано метод [1] щодо умов України. У даному методі застосовано спосіб [2] визначення відношення потоку прямої сонячної радіації, що надходить по нормалі на похилу поверхню, до потоку радіації на горизонтальну поверхню. Цей спосіб може бути використаний для поверхні, що перебуває на південному боці.

Для тильної сторони приймача, орієнтованого по осі S-N, пряма складова відсутня, тому складова відбитого

випромінювання для зворотної сторони не повинна включати пряме випромінювання. З цього, для тильної сторони відношення потоків радіації визначиться

$$R_r = \frac{I_d}{I_h} \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} + \frac{1 + \cos \beta}{2} \rho \right),$$

де I_d і I_h – інтенсивність дифузійного й сумарного опромінення горизонтальної поверхні, відповідно; β – кут нахилу панелі; ρ – коефіцієнт відбиття поверхні землі.

Для поверхонь, орієнтованих по осі E-W, метод розрахунку той самий, але з урахуванням відповідних кутів азимута. Пряма складова для задньої сторони з'являється після полуденного часу при зенітному куті $\theta_z \geq 90 - \beta$.

Рівняння теплового балансу для СП, що опромінюється з двох боків, може бути представлене у вигляді

$$\left[I(\tau\alpha)(1 - \eta_{ph}) \right]_{av} + \left[I(\tau\alpha) \right]_r = U(T_{ab} - T_a),$$

де I – густина потоку сонячного випромінювання; $(\tau\alpha)$ – оптична характеристика СП; η_{ph} – коефіцієнт ефективності перетворення сонячної енергії в електричну; U – коефіцієнт втрат тепла; T_{ab} – температура абсорбера; T_a – температура зовнішнього повітря; індекси: av – передня, аверсна, сторона; r – тильна, реверсна, сторона.

Значення ККД приймають $\eta_{ph} = \eta_{ph.max}$, останнє залежить від температури

$$\eta_{ph.max} = \eta_{max\,Cy} [1 + \alpha_p (T_{ab} - T_{Cy})],$$

де $\eta_{\max \text{CY}}$ – ККД фотобатареї в точці максимальної потужності при стандартних умовах (СУ); α_p – температурний коефіцієнт потужності СП; T_{CY} – температура СП при СУ.

Рішення рівняння енергії щодо температури абсорбера з урахуванням визначальних залежностей має вигляд

$$T_{ab} = \frac{[I(\tau\alpha)]_{av} [1 - \eta_{\max \text{CY}} (1 - \alpha_p T_{\text{CY}})] + [I(\tau\alpha)]_r + UT_a}{U + I(\tau\alpha)_{av} \eta_{\max \text{CY}} \alpha_p}.$$

На рис. 1 представлено дані з денної зміни температури абсорбера в літній період для двох різних орієнтацій і моделей опису – з одностороннім (1s) і двостороннім (2s) опроміненням. Прийнятий кут нахилу – 45 градусів. При орієнтації S-N температурна крива має симетричний вигляд з максимумом опівдні. Така закономірність відповідає опроміненню поверхні. Рівень температури досить високий для роботи СП – 90 °C по моделі 2s.

Рис. 1. Зміна температури абсорбера СП протягом дня для орієнтації й моделі: 1 – E-W,1s; 2 – S-N,1s; 3 – S-N,2s; 4 – E-W,2s

При орієнтації E-W симетрія відсутня. У дополуденні години нагрівання здійснюється раніше, ніж при орієнтації S-N. У полуденний час відбувається провал температури, що обумовлено відповідною закономірністю в опроміненні панелі. Потім температура для моделі 2s зростає й досягає максимуму, що перевищує найвищий рівень при орієнтації S-N на 10 %. Після полудня наповненість температурної кривої також більше, ніж при S-N, тобто. висока температура втримується більш тривалий період.

Зіставлення представлених даних з результатами розрахунку по моделі, що не враховує опромінення тильної частини панелі, показує ряд особливостей. Перша з них – для орієнтації S-N температура абсорбера по моделі 1s у максимумі вище на 8 %, ніж по 2s, при цьому характер залежностей однаковий. Для орієнтації E-W також має місце

перевищення температури, однак характер залежностей різко відрізняється. У дополуденний час спрямованість траєкторій зміни функцій по двох моделях однакова, зате в післяполуденний час залежностей протилежний – температура по моделі 1s, на відміну від 2s, знижується, і їхні значення розрізняються істотно.

У зимовий період температурний рівень значно нижче, і його вплив на ефективність вироблення електроенергії невеликий.

Література:

1. Высочин В.В. Математическая модель гелиосистемы с сезонным аккумулятором тепла. Пр. Одес.політехн.ун-ту. 2011. Вип. 2 (36). С.125–129.
2. Даффи Дж.А. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии / Дж.А. Даффи, У.А. Бекман. – М.: Мир, 1977, 420 с.

УДК 631.365:621.31

ЕФЕКТИВНІСТЬ ПІДВИЩЕННЯ ПОТУЖНОСТІ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОГО МОДУЛЯ ПЛОСКИМ ДЗЕРКАЛЬНИМ КОНЦЕНТРАТОРОМ

**С.В. Коробка¹, І.Г. Стукалець², Р.Є. Кригуль³,
М.І. Бабич⁴**

*Львівський національний аграрний університет,
м. Дубляни, вул. В. Великого, 1, Жовківський р-н,
Львівська обл. 80381,*

*тел.+38(098)969-95-34, e-mail: korobkasv@ukr.net¹,
тел. +38(097)493-64-24, e-mail: igorstukalets@gmail.com²,
тел.+38(067)759-80-15, e-mail: krroma@ukr.net³,
тел.+38(097)763-58-32, e-mail: m.babych@ukr.net⁴*

У роботі подано методику розрахунку геометричних параметрів плоского дзеркального концентратора сонячної енергії. Наведено результати експериментальної перевірки його ефективності на прикладі фотомодуля промислового виробництва.

EFFICIENCY OF INCREASING THE POWER OF A PHOTOELECTRIC MODULE BY A FLAT MIRROR CONCENTRATOR

S. Korobka¹, I. Stukalets¹, R. Krygul¹, M. Babych¹
Lviv National Agrarian University

¹Volodymyra Velykoho str., 1, Dublyany, Ukraine, 80381

The method of calculation of geometrical parameters of a flat mirror concentrator of solar energy is given in the work. The results of experimental verification of its efficiency on the example of a photomodule of industrial production are given.

ORCID: 0000-0002-4717-509X, 0000-0001-7107-4865,
0000-0001-7107-4865, 0000-0003-1295-4162.

фотомодуля і дзеркала кут α не повинен виходити за такі межі:

$$45^\circ < \alpha < 90^\circ. \quad (1)$$

Кути, позначені символом β , рівновеликі: одна пара як вертикальні при перетині двох прямих, а інша пара – через рівність кутів ковзання падаючого й відбитого променів. З трикутника OBD визначаємо, що

$$\beta = 90^\circ - \alpha. \quad (2)$$

Рівність кутів $\theta = 2\beta$ очевидна, бо вони є внутрішньо відповідними при перетині відрізком BA двох паралельних променів:

$$\theta = 2\beta = 180 - 2\alpha, \quad (3)$$

а доповнювальний до нього кут A трикутника ABD відповідно рівний

$$A = 2\alpha - 90^\circ. \quad (4)$$

Дзеркало розширює апертуру захоплення первинного потоку сонячної енергії на величину, пропорційну довжині відрізка a . Тоді оптичний коефіцієнт посилення енергетичної освітленості фотомодуля можна прийняти рівним відношенню розширеної апертури до початкової з урахуванням коефіцієнта відбивання дзеркала ρ і кута освітлення фотомодуля θ за таким виразом:

$$k_{omn} = \frac{S + \rho a \cdot \cos \theta}{S} = 1 + \frac{\rho a}{S} \cos \theta. \quad (5)$$

Але у разі проєктування енергетичних установок з готових комплектуючих відомі тільки їх лінійні розміри S і L . Відтак рівняння (4) з урахуванням очевидного співвідношення $a = L \cos \alpha$ можна привести до такого вигляду:

$$k_{omn} = 1 + \rho \frac{L}{S} \cos \alpha \cdot \cos(180 - 2\alpha) \quad (6)$$

Коефіцієнт відбивання стандартного дзеркала з срібним відбивальним покриттям не перевищує $\rho \leq 0,96$ [7]. У кутовій області від 45 до 90° максимальне значення добутку двох косинусів рівняння (5) досягає $0,271$

при $\alpha = 65,91^\circ$. У цьому легко переконатися диференціюванням з наступним прирівнюванням результату до нуля або безпосереднім обчисленням.

Кожному фіксованому куту відношення L/S відповідає цілком певне значення α і навпаки, а взаємозв'язок між ними можна встановити, використовуючи властивості трикутників ABD і OBD :

$$\frac{h}{S+a} = \frac{L \sin \alpha}{S + L \cos \alpha} = \operatorname{tg}(2\alpha - 90^\circ). \quad (7)$$

Якщо в знаменнику середнього дробу винести за дужки L , то після скорочення і простих перетворень отримаємо такий вираз:

$$\frac{S}{L} = \frac{\sin \alpha}{\operatorname{tg}(2\alpha - 90^\circ)} - \cos \alpha. \quad (8)$$

Явний розв'язок цього рівняння відносно кута α досить громіздкий, тому для наочності доцільніше побудувати табличну або графічну залежність $L/S = f(\alpha)$, що наведені у на рис. 2. За цією залежністю надалі зручно визначати кут відхилення дзеркала за відомими лінійними розмірами фотомодуля і відбивача або навпаки. Натомість завдяки протилежним залежностям L/S і добутку косинусів у рівнянні (6) коефіцієнт оптичного підсилення зростає майже лінійно.

Лінійне зростання коефіцієнта підсилення з кутом відхилення забезпечується непропорційним збільшенням площі дзеркала та відповідним ускладненням конструктивних рішень. Оптимальним можна вважати рішення, коли приріст коефіцієнта оптичного підсилення Δk забезпечується мінімальним приростом площі дзеркала. Математично це означає мінімізацію відношення $\frac{\Delta L / S}{\Delta k_{\text{opt}}} \rightarrow \min$, графік якого наведено на рис. 3.

З наведеної на рис. 3 графічної залежності випливає, що приріст енергетичної освітленості фотомодуля з

найменшими затратами реалізуються при $L \leq S$ з кутом нахилу $58...60^\circ$ і коефіцієнтом посилення потоку $k_{opt} = 1,25$. У першому наближенні поточна потужність фотомодуля повинна зростати пропорційно енергетичній освітленості сприймальної поверхні. Остання захищена від зовнішніх впливів прозорим покриттям з коефіцієнтом пропускання τ , залежним від кута освітлення. Але прямі й скісні промені послаблюються покриттям неоднаково, тому теоретичний приріст потужності фотомодуля потрібно розраховувати через відношення приростів енергетичної освітленості під покриттям.

Рис. 2. Кутова залежність добутку косинусів, L/S та оптичного коефіцієнта посилення потоку k_{opt} .

Рис. 3. Кутова залежність відношення $(\Delta L/S)/\Delta k_{opt}$.

У загальному випадку коефіцієнт пропускання одношарового покриття τ розраховують за такою формулою:

$$\tau = \frac{1 - \rho_c}{1 + \rho_c}. \quad (9)$$

Тут символом ρ_c позначають коефіцієнт відбивання скляної поверхні, який у розраховують через кути падіння i та заломлення r за відомою з оптики залежністю:

$$\rho(i) = \frac{1}{2} \left[\frac{\sin^2(i-r)}{\sin^2(i+r)} + \frac{\operatorname{tg}^2(i-r)}{\operatorname{tg}^2(i+r)} \right]. \quad (10)$$

Обидва кути пов'язані через показник заломлення n таким співвідношенням:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n. \quad (11)$$

Прямі промені освітлюють фотомодуль під кутом рівним нулю, тому для випадку скляного покриття

$$\rho_0 = \left(\frac{n-1}{n+1} \right)^2 = \left(\frac{1,5-1}{1,5+1} \right)^2 = 0,04. \quad (12)$$

Для перевірки наведених розрахунків проведено безпосереднє вимірювання піранометром інтенсивності прямого та відбитого потоків у площині фотомодуля, а також відповідних значень пікової потужності. Монтажну вимірювальну схему наведено на рис. 3.

Рис. 4. Монтажна схема вимірювального станда у складі дзеркала, фотомодуля, піранометра і регулювальних підставок

Інтенсивність прямого потоку сонячної енергії становила 1011 Вт/м^2 , а розміри дзеркала й фотомодуля були однаковими: $L/S = 1$; $\alpha = 60^\circ$. Зростання потужності фотомодуля P/P_0 розраховано відносно потужності P_0 при освітленні тільки прямим потоком. Величина $E(\tau)$ означає енергетичну освітленість сприймальної поверхні фотомодуля під його світлопрозорим покриттям, де τ – коефіцієнт пропускання прозорого покриття. Результати вимірювань та проведених розрахунків за співвідношеннями (9) – (12) наведено у табл. 1.

Таблиця 1. Результати розрахунків та вимірювань

α	L/S	$\theta = i$	r	ρ_θ	τ	E	$E(\tau)$	$(P/P_0)_{\text{теор}}$	$(P/P_0)_{\text{експ}}$
Прямий потік	–	0°	0°	0,04	0,923	1011	933	1,0	1,0
60°	1,0	60°	$35,3^\circ$	0,089	0,837	1326	1134	1,24	1,29

За відсутності дзеркала виміряний піранометром потік сонячної енергії становив 1011 Вт/м^2 , а пікова

потужність фотомодуля – 35 Вт. Натомість з концентратором ці величини зросли до рівня 1326 Вт/м² і 45 Вт відповідно. Отже, енергетична освітленість зовнішньої поверхні покриття фотомодуля зросла у $1326/1011 = 1,31$ раза, світлочутливого шару в $1134/933 = 1,22$ раза натомість пікова потужність фотомодуля зросла у $45/35 = 1,29$ раза. Перевищення потужності проти розрахованої можна пояснити як похибками вимірювання так і меншим коефіцієнтом відбивання текстурованого покриття фотомодуля порівняно з розрахунковим для випадку гладкої поверхні.

Отже під час використання плоского дзеркального концентратора приріст енергетичної освітленості фотомодуля з найменшими затратами реалізуються при $L \leq S$ з кутом нахилу 58...60° і коефіцієнтом посилення потоку $k_{opt} = 1,25$.

УДК 620.92

ОБГРУНТУВАННЯ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЧНОГО БАЛАНСУВАННЯ КОГЕНЕРАЦІЙНИМИ СЕС

А.В. Жарков¹, В.Я. Жарков², С.О. Тимчук³

^{1,2}Таврійський державний агротехнологічний
університет імені Дмитра Моторного, м. Мелітополь,
Україна, тел.: +38(097)492-75-12,
e-mail: Zharkov_victor@ukr.net,

³Харківський національний технічний університет
сільського господарства імені Петра Василенка,
м. Харків, тел.: +38(097)271-15-69, e-mail: stym@i.ua

Нами розроблені й запатентовані присадибні
когенераційні СЕС і засоби для їх балансування.
У перспективі передбачено розробити систему
автоматичного керування когенераційною СЕС.

Ключові слова: СЕС, когенерація, балансування,
САУ, теплові акумулятори.

JUSTIFICATION OF AUTOMATIC BALANCING MEANS BY COGENERATION SPP

A. Zharkov¹, V. Zharkov², O. Tymchuk³

*We have developed and patented homestead
cogeneration SPP and means for their balancing. In the future
it is planned to develop a system of automatic control of
cogeneration SPP.*

Keywords: solar power plants, cogeneration, balancing,
ACS heat battery.

ORCID: ¹0000-0003-1497-3877, ²0000-0001-6389-9189,
³0000-0002-8600-4234.

Вступ. На території Європи сонячна енергетика (СЕ) є надзвичайно швидким напрямком в області ВДЕ [1]. І в цьому сегменті «більш звичними» стають когенераційні сонячні електростанції (КГСЕС) з накопичувачами енергії [1, 2]. Розміщення СЕСд на дахах і фасадах – один з механізмів наближення об'єктів розподіленої генерації (РГ) до споживача [3]. Взимку більше половини енергоспоживання Великобританії витрачається на обігрів житла ($18 \pm 3^\circ\text{C}$) [2], саме в таких випадках енергію вигідно накопичувати у вигляді низькопотенційної теплоти (НВТ). Незважаючи на існуючі проблеми в економіці, Україна є безумовним лідером серед країн пострадянського простору в розвитку ВДЕ в цілому і СЕ зокрема [3, 4].

Мета роботи. Аналіз роботи приватних СЕСд щодо їх інтеграції в локальну електросистему з розподіленою генерацією (ЛЕСРГ); обґрунтування когенераційної технології та засобів автоматичного балансування КГСЕС з гібридними фотоелектричними модулями і тепловими акумуляторами фазового переходу (ТАФП) [4].

Обговорення. У будь-якій ЛЕСРГ доцільно використовувати накопичувачі енергії [4]. Це дозволить вирівняти добовий графік навантажень (ДГН) в різні періоди добового і сезонного попиту на електроенергію, створити SMART GRID (розумну мережу) [3]. Запропоновано стратегію управління режимом роботи Smart Grid на основі ВДЕ і схему процесу збору та обробки інформації, які дозволять підвищити якість прийняття рішення щодо функціонування гібридної електромережі з різнотипними ВДЕ [3].

Ефективність роботи СЕС значною мірою визначається ККД фотоелектричних перетворювачів (ФЕП) й істотно залежить від їх температури. Це і є основною причиною зниження ККД, яке призводить до зниження напруги й потужності, що генеруються кожним елементом [3, 4].

Збільшуваний попит населення нашої країни на «сонячну» енергію пояснюється прийнятим у 2015 році

Законом України, який встановив «зелений» тариф на електроенергію, вироблену приватними СЕСд потужністю до 30 кВт, з прив'язкою до курсу євро. [3].

Середньомісячна сумарна кількість СЕ, що надходить на територію України, – приблизно 1000–1400 кВт·год/м² і порівнянна з умовами Німеччини, де приватних геліоустановок налічується в 1400 разів більше, ніж в Україні, хоча за темпами розвитку СЕ за 2017 рік Україна посіла 7-ме місце в Європі [3].

3 6,5 млн приватних домогосподарств України завдяки закону про «зелений» тариф на 01.10.2020 в країні вже 27 623 сімей використовують сонячні панелі. Загальна потужність присадибних СЕС складає 712 МВт на що приватними домовласниками інвестовано близько 560 млн євро власних коштів. Тільки у III кв. 2020 року було введено 53 МВт (+8 %), а кількість власників збільшилася майже на 2 тис.

За даними АСКОВЕ автори побудували ДГН перших присадибних СЕС різної потужності й порівняли їх з ДГН переробних підприємств міста (молокозаводу, м'ясокомбінату й пивзаводу) та ДГН об'єднаної енергосистеми України (ОЕСУ) [3]. ДГН приватних СЕС добре корелюють з ДГН переробних підприємств міста і можуть створювати спільні ЛЕСРГ, які добре діють на ОЕС України [3]. Вони не тільки знижують навантаження на центральну генерацію, що сприяє вирівнюванню ДГН енергосистеми, а й знижують втрати в лінії електропередачі за рахунок вироблення електроенергії в місцях її споживання. Саме РГ більш корисна для стабільності ОЕС, ніж концентрація гігантських СЕС і ВЕС на півдні України, і зокрема в Запорізькій області, де вже є найбільші в Європі Запорізька АЕС, Ботієвська ВЕС, Токмацька СЕС та дві промислових СЕС в Мелітополі загальною потужністю близько 50 МВт. Така гігантоманія створює проблеми в балансуванні потужності ОЕС України. Авторами запатентовані [4] десятки КГСЕС (пат: 97080, 97782, 103043, 107333, 107991, 131994), ТА (пат: 108003, 117783,

127499, 131957), реєстратори сонячної активності, температури й вологості, спрямовані на покращення балансування присадибних СЕС (пат: 42932А, 64206, 103167, 103180, 103517, 111999).

Щодо водяного електроопалення приватного будинку, то найефективнішим на сьогоднішній день є поєднання електродкотла і водяного ТА в підвальному приміщенні, когенераційної СЕС на даху, договору з енергопостачальником на пільговий тариф на опалювальний сезон і дифтарифного електролічильника. Запропонована схема електроопалення [3] дає суттєву економію коштів домовласникам, позитивно впливає на ДГН ОЕС України, зменшує втрати електроенергії ОЕСУ.

Використання ТАМФП на базі мірабіліту (пат: 126818, 127475, 127499, 131722, 132660) [4] створює можливість підтримки в присадибних весняних неопалюваних теплицях температурного режиму, оптимального для вирощування рослин, оберігаючи їх від перегріву в денні години і від заморозків вночі. Заслугує на увагу варіант «використання електромобілів як накопичувачів енергії».

Висновок. З урахуванням накопиченого досвіду присадибні СЕС з когенераційними ФЕМ циліндричної форми [3] слід розглянути як об'єкт інформаційного моделювання smart microgrid, і розробити систему автоматичного управління (САУ) для двох режимів: «літо» і «зима». Влітку САУ забезпечуватиме роботу ФЕМ з максимальним електричним ККД, тобто підтримує температуру 25 °С. Зимом, в опалювальний період, САУ забезпечує роботу ФЕМ з максимальною віддачею теплоти в межах добової потреби і максимальну генерацію електроенергії в інший світлий час. В обох режимах, і взимку і влітку, САУ не повинна відпускати електроенергію в енергосистему на піку навантаження, використовуючи для балансування ТА [4] або електричні акумулятори, зокрема і електромобілів.

Масове використання приватних СЕС, в числі інших ВДЕ, знижує викиди в атмосферу парникових газів від

спалювання традиційних енергоносіїв. Цим досягається зниження темпу глобального потепління нашої планети, яке є головним екологічним питанням нашого часу [1].

Література:

1. Global Market Outlook For Solar Power / 2019-2023. Solar power Europe: http://www.solarpower_europe.org/wp-content/uploads/2019/05/Solar-Power-Europe-Global-Market-Outlook-2019-2023.pdf.
2. Jon Twidell and Tony Weir. Renewable Energy Resources. London and New York: Taylor & Francis, 2006. – 601 p.
3. I.V. Yudaev, Yu.V. Daus, A.V. Zharkov, and V.Ya. Zharkov, «Private Solar Power Plants of Ukraine of Small Capacity: Features of Exploitation and Operating Experience»,
4. Спеціалізована БД "Винаходи (корисні моделі) в Україні": <https://base.uipv.org/searchINV/>

УДК 621.311.243/.316.11

РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ У ВУЗЛІ ПІДКЛЮЧЕННЯ ФЕС З ВИКОРИСТАННЯМ ФУНКЦІЙ СМАРТ-ІНВЕРТОРА. ВРАХУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОЗПОДІЛЬЧОЇ МЕРЕЖІ

О.Ю. Гаєвський, Г.М.Гаєвська

*НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря
Сікорського», просп. Перемоги, 37, Київ, 03056 Україна,
тел.: +380442048233,
e-mail:ann.gaevskaya@gmail.com*

Проаналізовано роботу фотоелектричної станції (ФЕС), підключеної до розподільної мережі (РС) через смарт-інвертор, який має функцію стабілізації випереджувального напруги за допомогою регулювання реактивної потужності. Визначено ступінь впливу параметрів РС на можливості регулювання напруги в точці підключення ФЕС.

Ключові слова: *фотоелектрична станція, смарт-інвертор, розподільна мережа, регулювання напруги.*

VOLTAGE REGULATION AT THE FES CONNECTION NODE USING SMART INVERTER FUNCTIONS. TAKING INTO ACCOUNT THE PARAMETERS OF THE DISTRIBUTION NETWORK

A.Y. Gaevskii, A.N. Gaevskaya

*1-NTUU "Igor Sykorsky Kyiv Polytechnic
Institute", Peremogy pr., Kyiv 3703056, Ukraine, tel:
+380442048191, a.gaevskii@kpi.ua*

The operation of a photovoltaic (PV) plant tied to a distribution network (DN) through a smart inverter with stabilizing the output voltage by regulating reactive power has been analyzed. The degree of influence of the DN parameters

on the possibility of voltage regulation at the point of connection of the PV plant has been determined.

Key words: *PV plant, smart inverter, distribution network, voltage control*

ORCID: 0000-0001-6144-2441, 0000-0001-7760-6789.

В останнє десятиліття завдяки зниженню вартості фотоелектричних модулів, екологічній мотивації й підтримці державою відновлюваних джерел енергії спостерігається безперервне збільшення потужності фотоелектричних станцій (ФЕС). Водночас через зростання кількості підключень ФЕС до енергосистеми постала необхідність розв'язання проблем якості електроенергії, стабільності й безпеки самої енергосистеми, а саме:

- підтримання рівня відхилення напруги в точці підключення ФЕС в допустимих межах;
- недопущення критичних станів системи за частотою шляхом управління активною потужністю;
- зниження гармонійних спотворень як по току, так і по напрузі;
- стабілізація режиму мережі засобами ФЕС.

Ці завдання можуть бути ефективно вирішені завдяки використанню смарт-інверторів, які дозволяють самостійно підключатися або відключатися від мережі при порушенні частотного режиму, регулювати коефіцієнт потужності інвертора, підтримувати заданий рівень реактивної потужності, що генерується або споживається, регулювати напругу в точці підключення шляхом модуляції реактивної потужності [1–3]. Вже згадана в цій роботі функція інвертора – регулювання реактивної потужності – дозволяє видавати в точку підключення ФЕС додатково з активною потужністю P_{inv} реактивну потужність Q_{inv} обох знаків у межах, визначених співвідношенням [1]:

$$|Q_{inv, \lim}| = \sqrt{S_n^2 - P_{inv}^2},$$

де S_n – номінальна потужність інвертора. Звідси випливає, що граничні значення Q_{inv} досягаються при нульовій вихідній потужності інвертора $P_{inv} = 0$ (наприклад, коли фотогенерація відсутня). Якщо ж $P_{inv} = S_n$ (максимальна фотогенерація), ресурс інвертора за реактивною потужністю нульовий. Однак це обмеження знімається при використанні інвертора з запасом S_n щодо максимальної потужності фотогенерації.

У даній роботі промодельоване інверторне підключення ФЕС до ділянки PC , що складається з підвищувального трансформатора $T1$, місцевого навантаження S_{1L} , лінії електропередачі з опором z_{Line} , навантаження в кінці лінії S_{2L} , що моделює інших споживачів PC , і підвищувального трансформатора $T2$ підстанції (рис. 1а). Втрати у трансформаторах враховувалися через послідовно-тільні імпеданс z_{T1} , z_{T2} . У роботі визначався вплив параметрів трансформаторів і пропускної здатності лінії на можливість регулювання напруги в точці підключення ФЕС шляхом керування реактивною потужністю інвертора.

Рис.1. Схема підключення ФЕС до розподільної мережі 10 кВ, яка живиться від підстанції 10/35 кВ: а – вихідна схема; б – еквівалентна двовузлова схема заміщення

Розглянута модель при нехтуванні поперечними провідностями приводиться до двовузлової схеми заміщення (рис. 1, б), для якої розраховувався стійкий

режим при варіації зазначених вище параметрів: Z_{T1}, Z_{Line}, S_{2L} . Були проаналізовані режими для лінійки трансформаторів 0,4 / 10 кВ різної потужності від 25 до 100 кВА. Відзначимо, що вузол підключення ФЕС розглядався як PQ-вузол, а вузол живлення PC як базисно-балансувальний PV-вузол.

Наведемо результати моделювання ФЕС з піковою потужністю 30 кВА, яка підключена до симетричної трифазної лінії довжиною 10 км, прокладеної проводом AC-50. Розрахунки виконувалися при варіації реактивної потужності інвертора (як у бік відставання, так і випередження), тобто при мінливому коефіцієнті генерувальної потужності ФЕС, який визначається як

$$\cos \phi = \frac{P_{inv}}{|S_n|} = \frac{\sqrt{S_n^2 - Q_{inv}^2}}{|S_n|}.$$

На рис. 2 показано сімейство кривих залежності напруги у вузлі підключення інвертора від відносного рівня активної потужності ФЕС для трансформаторів різної потужності при нульовому місцевому навантаженні $S_{2L} = 0$.

Із графіків видно, що при зростанні рівня генерації від 0 до пікового значення напруга в точці підключення підвищується на 2– 6 % залежно від потужності

трансформатора $T1$. Це підвищення напруги (так само як і зниження напруги при значному перевищенні

навантаження над фотогенерацією) можна компенсувати значною мірою шляхом автоматичного

регулювання реактивної потужності смарт-інвертором.

Рис. 2. Залежність вихідної напруги інвертора U_{inv} (в одиницях номінального U_n) від потужності генерації (в одиницях S_n) для трансформаторів $T1$ різної потужності

На рис. 3 проілюстровані діапазони регулювання напруги $U_{inv} (= U_2')$ зазначеним способом при підключенні інвертора до РС через трансформатор Т1 малої (25 кВА) і більшої (63 кВА) потужності. Графік поданий в координатах $\left(\psi, \left| \frac{U_{inv}}{U_{inv}|_{Q_{inv}=0}} \right| \right)$, де змінна по осі абсцис пов'язана з коефіцієнтом потужності $\left(\psi, \left| \frac{U_{inv}}{U_{inv}|_{Q_{inv}=0}} \right| \right)$ як

$$\psi = \begin{cases} 1 - \cos \phi, \text{ lagging} \\ -1 + \cos \phi, \text{ leading} \end{cases}$$

Права частина кривих на рис. 3 відповідає генерації індуктивної потужності, а ліва – емнісний. При потужності трансформатора, яка порядку потужності ФЕС, практично все підвищення U_{inv} може бути скомпенсоване інвертором, якщо інвертор має запас потужності щодо P_{inv} – такий, щоб забезпечити $\cos \phi = 0,6$. При максимальній фотогенерації $P_{inv} = 30$ кВт це відповідає номінальній потужності $S_n = 50$ кВА.

Отже, в даній роботі визначено ступінь впливу параметрів передавальної лінії й потужності трансформатора, що підключає інвертор до РС, на діапазон регулювання напруги в точці підключення шляхом керування реактивною потужністю.

Рис. 3. Ступінь регулювання вихідної напруги інвертора U_{inv} (в одиницях U_{inv}) при нульовій Q_{inv} шляхом генерації Q_{inv} для трансформаторів Т1 різної потужності

Література:

1. Гаевский А.Ю., Голентус И.Э. Стабилизация напряжения в сети путем компенсации реактивной мощности инверторами ФЭС // Матеріали XIV Міжнародної конференції «Відновлювана енергетика XXI століття», Крим. 16–20 вересня 2013. – с. 243–245.
2. E. Ghiani, F. Pilo. Smart inverter operation in distribution networks with high penetration of photovoltaic systems // J. Mod. PowerSyst. CleanEnergy. – 2015, N 3 (4), p. 504–511. – DOI 10.1007/s40565-015-0165-4.
3. А.Ю. Гаевский, В.В. Бодняк, А.Н. Гаевская. Анализ мониторинговых данных о работе PV-инверторов, подключенных к распределительной сети // Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE). – 2018, № 31–36, с. 279–284.

UDC 621.472:629.78

TESTING OF SOLAR COLLECTOR BASE MODEL FOR PV/T SYSTEM

K.O. Minakova¹, PhD, Associate Professor,
R.V. Zaitsev², Doctor of Science, Associate Professor,
National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,
2, Kyrpycheva str., Kharkiv, Ukraine, 61002
e-mail: mesc@khpi.edu.ua

The paper proposes a framework of general model of the thermal exchange of the solar collector and review the most important parameters for the heat-transfer processes, such as the coefficient of thermal convection of the water, the water flow rate and water flow power, which mainly are determined by system parameters and fluid flow rates, and based on experimental studies systems.

Keywords: solar collector, PV/T system, power withdrawn, water flow rate, temperature gradient, heat transfer.

ORCID: ¹0000-0002-8869-1082, ²0000-0003-2286-8452.

The generation of thermal energy from solar is of great interest among researchers. The electrical efficiency of solar cells is low, so most of the incident sunlight is lost in the form of heat. The temperature of the solar cell increases due to this heat, which leads to a decrease η of the photovoltaic system. Therefore, the removal of thermal energy arising and associated with the solar cell is necessary to achieve maximum efficiency. Creating combined photovoltaic–thermal system (PV/T), which converts incident radiation into electricity and heat at the same time, is gaining popularity. PV surface cooling with water as coolant, the system can be significantly improved [4]:

$$\eta = \eta_0 [1 - \beta_0 (T_c - T_0)], \quad (1)$$

where η_0 – solar efficiency at standard test conditions (STC), β_0 – temperature coefficient of efficiency (1/K), T_c and T_o – solar cell and coolant temperatures (K), respectively. The coolant in the PV/T system is then used to heat the water in the secondary circuit and its further use in domestic needs. Modern humanity are accustomed to the presence of hot water in the home and PV/T cooling system satisfies the need for electricity and hot water simultaneously.

Further research considering the disparate experimental results and described them as a private physical model not working in general. Therefore, previously we suggested the basis of a general model of heat exchange of the solar collector [1], which allows us to take into account all the necessary parameters, including parameters for the development of PV/T systems.

For values water flow rate u_w up to 0.2 m/s the regime of fluid motion is laminar and the amount of heat given off to the fluid is too small, and the coolant passes through the pipes practically without heating. With an increase water flow rate u_w , a sharp jump in the amount of heat of the transmitted liquid and, consequently, its heating is observed in the future. At water flow rate u_w of the order of 0.6 m/s amount of heat, which the water takes off reaches the maximum value, that is, the value of the effective energy that the system under consideration can provide with the given parameters for heating the water flow on 5 K in one pass through the pipes of this solar collector (Fig. 1).

Fig. 1. The dependence of the amount of heat Q , which is diverted from the system when coolant flows through it at $T = 293 \text{ K}$, by water flow rate u_w for different temperature gradients $\Delta T = 1, 2, 3, 4, 5 \text{ K}$

Thus, we can conclude that the obtained physical model $Q(u_w, \Delta T)$ is applicable to classical solutions of thermal collectors in a general form. However, under real operating conditions, depending on the various design features of the collector, the determination of optimal parameters should be carried out taking into account the design parameters. To test the model, laboratory studies of the collector were carried out, according to its classical connection diagram (Fig. 2).

Fig. 2. Scheme of the measuring stand

Studies have allowed a comparison of simulation results with field values. A different temperature difference to match the simulation was achieved due to the forcedly changing light intensity. From the above dependences a fairly exact coincidence of the results of laboratory tests with the proposed model; during the tests, a characteristic small power take-off is also observed with a laminar flow at coolant flow rates up to 0.2 m/s, as well as reaching the maximum value at coolant velocities of more than 0.8 m/s and temperature gradient more 3-4 K, characteristic limit power withdrawn. The aforementioned confirms the correspondence of the model to the physical mechanism of the collector's operation and will allow further modeling of real systems, in particular PV/T systems, where there are additional thermal interfaces influencing the heat flows.

In practice, for a real system with a constant intensity of the light flux, the temperature gradient is directly related to the flow rate of the coolant through the design parameters of the collector. For example, the analytical dependence $\Delta T(u_w)$ or the laboratory test performed in the work has the following form:

$$\Delta T = \begin{cases} 4,3 & \text{at } u_w < 0,2 \\ 5,31 \cdot e^{-1,05u_w} & \text{at } u_w \geq 0,2 \end{cases} \quad (2)$$

power taken by the collector on the flow rate of the coolant and the temperature gradient between the input and output.

Literarute:

1. Minakova K.A., Zaitsev R.V. Improving the Solar Collector Base Model for PVT System // Journal of nano- and electronic physics. – 2020. – Vol. 12. – No 4. – P. 04028-1 – 04028-5.

УДК 620.91

ВИКОРИСТАННЯ ДИНАМІЧНОЇ КОМУТАЦІЇ ФОТОЕЛЕМЕНТІВ

Д.В. Бондаренко, канд. техн. наук
*Інститут відновлюваної енергетики НАН України,
вул. Гната Хоткевича, 20а, м. Київ, 02094, Україна,
тел.: +38(050)972-99-92, e-mail: dima7007bond@gmail.com*

У роботі показано переваги використання динамічної комутації фотоелементів у сонячних панелях та описано принцип створення такої динамічної комутації. Показано також загальну схему системи фотоелементів з використанням напівпровідникових транзисторів та контролера.

Ключові слова: динамічна комутація, з'єднання, фотоелемент, сонячна панель.

USING DYNAMIC COMMUTATION OF PV-CELLS

D.V. Bondarenko
*Institute of Renewable Energy, National Academy of Science
of Ukraine, 20a Hnata Khotkevicha str., Kyiv, Ukraine, 02094
tel.: +38(050)972-99-92, e-mail: dima7007bond@gmail.com*

Shown the advantages using dynamic commutation of pv-cells in solar panels and described principle of creation of this commutation. Scheme of connection is shown. Shown is a general circuit of the system of pv-cells with using semiconductor transistors and controller.

Keywords: dynamic commutation, connection, pv-cell, solar panel.

ORCID: 0000-0002-5629-930X.

У разі широкого застосування сонячних фотоелектричних генераторів електричної енергії для безпосереднього живлення різноманітного навантаження, виникає потреба у виробництві генераторів електроенергії з різними номінальними параметрами. Так, робоча напруга та струм можуть варіюватися в досить широких межах. Як відомо, для такої задачі використовують послідовно-паралельне з'єднання фотоелементів у фіксований ланцюг з відповідними вихідними напругою та струмом [1].

Пропонується замість використання фіксованих стаціонарних з'єднань розглянути використання динамічно комутованих з'єднань, які формують довільну топологію генерувального ланцюга шляхом динамічної зміни з'єднань з послідовних на паралельні й навпаки. У такий спосіб ми отримаємо можливість оперативно змінювати вихідні параметри панелі чи батареї, а саме струму та напруги. Також, застосовуючи динамічну комутацію вихідних терміналів до генерувальних елементів, можна змінювати полярність вихідної напруги сонячної панелі в цілому.

Дослідження показують, що для реалізації динамічної комутації потрібно використовувати три комутаційних елементи для кожного генерувального елемента (рис.1). Комутаційними елементами можуть бути як електромагнітні реле, так і напівпровідникові елементи, наприклад польові транзистори. Крім того, можуть використовуватись різноманітні збірки ключових елементів у силові мікросхеми. Комутація елементів може бути реалізована централізовано або розподілено. При розподіленій комутації доцільно використовувати SMD-елементи які розташовані в сонячній панелі безпосередньо біля фотоелементів або вмонтовані у фотоелементи.

Рис. 1

Керування комутаційними елементами може здійснюватися за допомогою генераторів стандартних керувальних сигналів або за допомогою програмованих логічних контролерів (ПЛК). Саме використання програмованих контролерів є доцільним і перспективним в таких системах, оскільки вони крім широкого спектра керувальних функцій мають функції моніторингу та збору даних, таких як напруга та струм на виході, температура панелі тощо. А також ПЛК завдяки використанню інтегрованих комунікаційних функцій мають можливість об'єднання в широкі розгалужені мережі генерації та споживання електроенергії (рис. 2).

Рис. 2

Звісно, для побудови таких електричних систем доцільно виконати моделювання та оптимізаційні розрахунки [2]. Треба відмітити, що паралельне з'єднання джерел живлення потребує додаткових схемотехнічних та електрофізичних рішень. Крім того, застосування кремнієвих фотоелементів з низькою напругою генерації потребує використання комутаційних напівпровідникових елементів з мінімальним падінням напруги на них.

Зазначимо, що використання динамічної комутації дає переваги не тільки при інсталюванні конкретних

систем, а й при керуванні пристроями та системами в процесі безпосереднього використання. Наприклад, напруга на навантаженні при споживанні може відрізнятись від напруги заряду акумулятора, так само і зі струмом. Також у разі потреби можливе збільшення струму генерації з одночасним зниженням напруги. Застосування динамічної комутації також є кроком до формування змінного струму різної форми.

Література:

1. Бондаренко Д.В. Моделирование фотоэлементов солнечных батарей с каскадным соединением фотопреобразователей // Відновлювана енергетика, 2007, №1, с. 24–26.

2. D. V Bondarenko Use of electrical equivalent circuits at simulation optoelectronic systems // 5th International Workshop on Laser and Fiber-Optical Networks Modeling, 2003. Proceedings of LFNМ 2003. P.72–74.

УДК:621.472.383.56

MODELING THE PARAMETERS OF A COMBINED SYSTEM BASED ON A "PHOTOVOLTAIC THERMAL CONVERTER- THERMOELECTRIC BATTERY" USING CONCENTRATED SOLAR RADIATION

**I.A. Yuldoshev^{1,*}, S.K. Shoguchkarov^{1,2}, A.I. Bobokulov¹,
A.R. Kudratov¹, M. Atoeva¹**

*¹Tashkent State Technical University named after Islam
Karimov*

*Uzbekistan, 100095, Tashkent, st. Universitetskaya²,
Tel.: +99 (871) 246-03-04; * e-mail: isroil.yuldoshev@tdtu.uz*

*²Physical and Technical Institute SPA "Physics-Sun" of the
Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan,
Uzbekistan, 100084, Tashkent, st. Chingiz Aitmatova, 2B*

A mathematical model has been developed for a comprehensive study of the thermal and electrical parameters of the combined system "photovoltaic thermal converter-thermoelectric battery" (PV-T-TEB) and the model has been analyzed under various conditions of ambient temperature, coolant flow rate and concentrated solar radiation. According to the results of a theoretical study, in order to increase the overall efficiency of the combined PV-T - TEB installation, the coolant flow rate should be higher than 0,01 kg / s, regardless of the flux density of the incident concentrated solar radiation. On the basis of the simulation results, comparative graphs of the parameters of the combined system "photovoltaic thermal converter-thermoelectric battery" of the installation with and without a reflector are constructed.

Keywords: computer simulation, photovoltaic module, concentrated solar radiation flux, thermoelectric battery, photovoltaic thermal converter, efficiency.

Introduction

The development of combined solar and thermoelectric systems providing, to a certain extent, an increase in electricity generation due to the use of generated heat and coverage of an additional spectrum of solar radiation by scientists from around the world has paid special attention. In this area, tangible results have been achieved on the development of combined photo-thermoelectric installations providing temperature reduction using structures based on hybrid systems of "photo-thermoelectric" (PV-TEG) and "photo-thermo-cooling" installations (PV-T-C) [1-8].

Field experimental studies show the experimental parameters of a combined "photo-thermoelectric" installation using modern solar cells (SC) made of polycrystalline silicon and thermoelectric batteries (TEB) based on telluride, bismuth with improved thermal contacts. The processes of heating and cooling of the photovoltaic part of the installation have been studied. On the basis of the obtained experimental data, comparative graphs of the parameters of a combined "photo-thermoelectric" installation with a reflector of a nickel coating and without it were constructed [9,10].

In this work, for the first time, the results of modeling a combined system based on a photovoltaic thermal converter-thermoelectric battery using concentrated solar radiation using the MathCAD program are obtained.

Theoretical results and discussion

In this part of the work, the dependence of the solar cell temperature on the mass flow rate of the coolant and the concentrated solar radiation flux incident on the surface of the photovoltaic module (PVM) was studied at a constant ambient temperature. As can be seen from Fig. 1 a, that when there is no heat removal in the installation and at a concentrated solar radiation flux density of 2000 W/m^2 , the temperature of the solar cell reached $112,5^\circ\text{C}$ at an ambient temperature of 18°C . Due to the cooling by the PVM coolant, at $0,01 \text{ kg/s}$ of the coolant flow rate, the temperature of the solar cell is significantly

reduced. Despite the fact that the ambient temperature increased to 22°C, a similar picture persisted (Fig. 1 b).

Fig 1. Dependence of the solar cell temperature on the mass flow rate of water and concentrated solar radiation at 18 ° C (a) and 22 ° C (b) ambient temperatures

Of great interest is the dependence of the PVM efficiency on the coolant flow rate and on the flux density of concentrated

solar radiation (Fig. 2). If we consider the critical points of this dependence, then we can see that due to the lack of heat removal in the installation, i.e. when the temperature of the solar cell reaches 112,5 °C at 18 °C of the ambient temperature and the flux density of concentrated solar radiation was 2000 W / m², the efficiency of the installation decreased to 0,088.

(a)

(б)

Fig 2. Dependence of the efficiency of the PVM on the mass flow rate of water and concentrated solar radiation at 18 °C (a) and 22 °C (b) ambient temperatures.

Due to cooling, when the flow rate of the coolant reached 0.01 kg / s , the efficiency of the installation improved (Fig. 2a). Despite the variation in the flux density of concentrated solar radiation between 1000 W / m^2 and 1300 W/m^2 , and in all considered coolant flow rates, the efficiency of the installation showed the best value. However, due to the increase in ambient temperature to 22°C , the interval of increased efficiency was reduced to 1200 W/m^2 of concentrated solar radiation flux density (Fig. 2 b). It was expected that the efficiency of the TEG should display the picture opposite to that of solar photovoltaic modules. A critically high efficiency was observed only at the maximum values of the flux density of concentrated solar radiation and the flow rate of the coolant (Fig. 3 a). An increase in the ambient temperature allowed an insignificant increase in the efficiency of the TEG (Fig. 3 b).

a)

(б)

Fig 3. Dependence of the TEG efficiency on the mass flow rate of water and concentrated solar radiation at 18 °C (a) and 22 °C (b) ambient temperatures.

The dependence of the efficiency of the PV-T-TEG system on the flow rate of the coolant and on the flux density of concentrated solar radiation when combined is shown in Fig.4. The efficiency of such a combined system showed a linear dependence on the listed parameters. However, it should be noted that the flow rate of the coolant should not be lower than 0,01 kg/s, regardless of the flux density of the incident concentrated solar radiation. In addition, the increase in ambient temperature did not significantly affect the efficiency of this system.

(a)

(б)

Fig 4. Dependence of the efficiency of system PV-T - TEG on the mass flow rate of water and concentrated solar radiation at 18 °C (a) and 22 °C (b) ambient temperatures

Conclusion

In this work, the behavior of the dependence of the temperature of the solar cell and the TEG, the total electrical and thermal efficiency of the combined system "photovoltaic thermal converter-thermoelectric batteries" on the mass flow rate of the coolant and the concentrated flux of solar radiation falling on the surface of the PVM was numerically studied.

According to the results of the calculations, the absence of heat removal in the installation of the combined system "photovoltaic thermal converter - thermoelectric batteries", the temperature of the solar cell reached 112,5 °C at 18 °C of the ambient temperature. At this temperature and boundary conditions, the efficiency of the photovoltaic part was only 8,8%. With the help of cooling, despite the variation in the flux density of concentrated solar radiation and in different flow rates of the coolant, the efficiency of the PVM increased. However, an increase in the efficiency of TEG was observed only at the maximum values of the flux density of concentrated solar radiation and the flow rate of the coolant.

Thus, in order to increase the overall efficiency of the PV-T-TEB installation, the dependences of their efficiency on the coolant flow rate and on the flux density of the concentrated solar radiation flux were studied when combining them. However, the efficiency of such a combined system showed a linear dependence on the listed parameters. It should be noted that in order to increase the overall efficiency of the PV-T-TEB installation, the flow rate of the coolant must be higher than 0,01 kg/s, regardless of the flux density of the incident concentrated solar radiation.

References:

1. M.N. Tursunov, V.G. Dyskin., S. Dadamukhamedov., I.A. Yuldoshev, B.M. Turdiev, "Determination of the parameters of the combined system photoconverter - thermoelectric converter", *Geliotekhnika*, No. 3, pp. 24–27, 2012.
2. S.L. Lutpullaev, M.N. Tursunov S. Dadamukhamedov, I.A. Yuldoshev "Photovoltaic thermal

converter-thermoelectric batteries " Uzbekistan, Tashkent, Utility model patent No. FAP 00793 dated 18.07.2011.

3. I.A. Yuldoshev, Saymbetov A.K. Combined photo thermo converters solar energy with reflecting concentrators *Proceedings of XII International scientific conference "Solid state Physics"*. Astana, 2014. – 25–27 June. P. 217–219.

4. F. Attivissimo, A. Di Nisio, A. M. L. Lanzolla, M. Paul, «Feasibility of a photovoltaic-thermoelectric generator: performance analysis and simulation results», *IEEE T. Instrum. Meas.* Vol. 64, pp.1158–1169. 2015.

5. Y. Vorobiev, J. Gonzalez-Hernandez, P. Vorobiev, L. Bulat, «Thermal-photovoltaic solar hybrid system for efficient solar energy conversion», *Sol. Energy* Vol.80, pp.170–176, 2006.

6. Van Sark WGJHM. Feasibility of photovoltaic–thermoelectric hybrid modules. *Appl Energy* 2011;88:2785–2790.

7. Vorobiev Y, González-Hernández J, Vorobiev P, Bulat L. Thermal–photovoltaic solar hybrid system for efficient solar energy conversion. *Sol Energy* 2006;80:170–6.

8. Ju X, Wang Z, Flamant G, et al. Numerical analysis and optimization of a spectrum splitting concentration photovoltaic–thermoelectric hybrid system. *Sol Energy* 2012;86 (6):1941–1954.

9. I.A. Yuldoshev, S.K. Shoguchkarov, Kudratov A.R, T.R. Jamolov A study of the parameters Parameters of a Combined Photo-Thermoelectric Installation under Field Conditions//*Applied Solar Energy*, 2020, Vol. 56, No. 2, pp. 125–130.

10. I.A. Yuldoshev, S.K. Shoguchkarov, S.Sh. Makhmudov, B.M. Botirov, H.K. Khairullaev Investigation of the parameters of the combined "Photo-thermoelectric" installation in natural conditions. *International Scientific and Practical Conference "Solar Energy"*, 2020, December 20-21, p.37

УДК 620.9+621.565(075.8)

ЗАСТОСУВАННЯ КОНЦЕНТРАТОРІВ СОНЯЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ В ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМАХ

А.В. Трофименко

*Кафедра двигонобудування. Дніпровський національний
університет імені Олеся Гончара,
просп. Гагаріна, 72. Дніпро, 49107, Україна,
тел. +38(097)425-62-32, e-mail: antrof2005@gmail.com*

У роботі проведено аналіз впливу концентраторів сонячного випромінювання на ефективність роботи енергетичної установки з фотоелектричними елементами. Розглянуто плоскі, конічні концентратори, а також лінзи Френеля. Отримані результати показали, що основний недолік пірамідальних і конічних концентраторів – це нерівномірність розподілу сконцентрованого ними випромінювання по поверхні приймача. Встановлено, що перевагою сферичних сонячних концентраторів лінз Френеля є можливість ефективно вловлювати сонячне випромінювання під будь-яким кутом. Це дає змогу істотно заощадити на засобах для різних пристроїв, що відстежують рух сонця, а також забезпечує рівномірність інтенсивності сонячного випромінювання на приймальній поверхні фотоелектричного елемента.

Ключові слова: *концентратори сонячного випромінювання, фотоелектричний елемент, лінза Френеля.*

APPLICATION OF SOLAR RADIATION CONCENTRATORS IN PHOTOELECTRIC SYSTEMS

A. Trofymenko

*Department of Engine Engineering. Oles Honchar Dnipro
National University,*

Gagarin Avenue, 72. Dnieper. 49107, Ukraine,
tel.: +38(097)425-62-32, e-mail: antrof2005@gmail.com

The analysis the influence of solar radiation concentrators on the efficiency of the power plant with photovoltaic cells is carried out in the work. Consider flat, conical concentrators, as well as Fresnel lenses. The obtained results showed that the main disadvantage of pyramidal and conical concentrators is the uneven distribution of concentrated radiation on the surface of the receiver. It is established that the advantage of spherical solar concentrators of Fresnel lenses is the ability to effectively capture solar radiation at any angle. This significantly saves money on various devices for tracking the movement of the sun, and also provides uniformity of the intensity of solar radiation on the receiving surface of the photovoltaic cell.

Keywords: solar concentrators, photovoltaic cell, Fresnel lens.

ORCID: 0000-0001-5312-9658.

Важливим конструктивним елементом сонячної фотоелектричної установки є система концентрування сонячного випромінювання. Основне функціональне призначення системи концентрування є підвищення щільності потоку сонячного випромінювання до рівня, який забезпечує його ефективне та економічне перетворювання в електричну енергію [1].

Інтегральним показником, що характеризує цю функцію системи, є середній коефіцієнт концентрації, що визначається відношенням середнього значення щільності сконцентрованого променистого потоку на приймач до поверхневої щільності сонячного випромінювання в площині, перпендикулярній напрямку його поширення. При використанні системи концентрування не тільки підвищується щільність сонячного випромінювання, але можлива зміна розподілу щільності сонячного випромінювання на поверхні сонячного елемента.

Здебільшого концентратори променистого потоку використовують у плоских слабоконцентрувальних системах. Тому для таких систем важливою вимогою постає забезпечення рівномірного розподілу щільності променистого потоку на приймальній поверхні сонячного елемента.

Відомо, що збільшення кількості відбивних граней дає змогу зменшити висоту (глибину) концентратора, необхідну для забезпечення необхідного підвищення щільності сонячного випромінювання. На рис. 1 показані криві, що характеризують залежність середнього коефіцієнта концентрації при $\rho_c = 0,9$ від відносної ширини відбивної поверхні a/a_0 для дво- і чотиригранного концентраторів.

Як бачимо, при $C_k = 5$ застосування чотиригранної системи дозволяє зменшити відношення a/a_0 у 3,5 раза, а це в багатьох випадках сприяє забезпеченню раціонального компонування сонячних фотоелектричних установок (СФЕУ).

Рис. 1. Залежність геометричного коефіцієнта концентрації та відносної ширини відбивної поверхні від кута нахилу граней плоского фокліна: 1, 2, 3, 4, 5 – кількість відображень

Крім того, збільшення кількості відображень у реальних системах ($\rho_c < 1$) веде до зростання втрат енергії, пов'язаних з поглинанням сонячного випромінювання дзеркалами, і це теж свідчить на користь застосування чотиригранних систем.

Чотиригранні концентрувальні системи можуть складатися з прямокутних плоских дзеркал з підставкою, які дорівнюють довжині сторони квадратного приймача, або мати усічену пірамідальну конфігурацію.

Основний недолік пірамідальних концентраторів – нерівномірність розподілу сконцентованого ними випромінювання по поверхні приймача. Обумовлено це багаторазовим перевідображенням променів, що падають на кутові ділянки дзеркал.

Одна з важливих переваг систем з плоскими відбивними поверхнями пов'язана з можливістю підтримки рівномірного опромінення приймача при неточній орієнтації системи на Сонце й деформації відбивних поверхонь. Це досягається за рахунок збільшення ширини граней.

Відомі також конічні концентратори, ступінь концентрації яких більша ніж у плоских. Однак на відміну від плоских концентраторів конус не забезпечує рівномірного розподілу щільності променистого потоку на приймачі.

На рис.2, а наведені розрахункові [2] значення змін ступеня концентрації при різних θ_K і $\rho_c = 0,9$. Як видно, максимальний ступінь концентрації – у центрі приймальної поверхні. На рис 2, б подано теоретичну криву ($\theta_K = 60^\circ, \rho_c = 0.8$) й експериментальну.

Рис. 2. Зміна локального коефіцієнта концентрації по радіусу кінчного приймача: а -- розрахункові залежності при $\rho_c=0,9$, $\theta_k=60^\circ$ (1), 70° (2), 80° (3); б – порівняння розрахунку (1) з експериментом (2) при $\rho_c=0,9$, $\theta_k=60^\circ$ (1)

Відомо, що використовувати кінчні концентратори з багатoelementними фотоелектричними перетворювачами недоцільно через велику величину схемних похибок. Тому в цьому разі можна говорити лише про окремі концентратори для кожного сонячного елемента (СЕ).

Підвищити ефективність роботи СФЕУ можна також за допомогою лінзи Френеля. Перевагою сферичних сонячних концентраторів є можливість ефективно вловлювати сонячне випромінювання під любым кутом. Це суттєво економить засоби на різні пристрої для відстеження за рухом сонця.

Таки лінзові концентратори сонячного світла можуть бути розташовані зверху фотоелементів. За рахунок

розміщення на сонячній батареї цих спеціальних лінз у вісім разів зростає концентрація променистого потоку. Отже, з'являється можливість зменшити кількість фотоелементів, наприклад арсеніда галія, які складають основну частину вартості сонячних батарей. При цьому не зменшується кількість виробленої електричної енергії.

CEA-Leti створили лінзи Френеля, які використовувє фотоелемент з ККД 44,7 %, перевершивши своє власне досягнення в 43,6 %. У 2014 році в Інституті сонячних енергосистем Фраунгофер створили сонячні батареї, в яких завдяки фокусуванню лінзою світла на фотоелементі ККД склав 46 % [3].

Література:

1. Трофименко А.В. Влияние различных видов дефокусировок на энергетические характеристики системы концентратор – приемник в солнечных энергоустановках.

2. Трофименко А.В., Білогуров С.О. Концентратори сонячного випромінювання: Навч. пос. Дніпро: Ліра, 2019. – 43 с.

3. [https://studme.org/325754/tehnika/kontsentratory_osnove kontsentriceskih linz frenelya](https://studme.org/325754/tehnika/kontsentratory_osnove_kontsentriceskih_linz_frenelya)

УДК 621.315.592

INFLUENCE OF TEMPERATURE ON PHOTORESISTORS OBTAINED ON THE BASIS OF COMPENSATED SILICON

**Sh.Makhkamov, Sh.A. Makhmudov, A.A. Sulaimonov,
A.K. Rafikov**

*Institute of Nuclear Physics of the AS Uz, 100214, Uzbekistan,
e-mail: makhmudov@inp.uz*

An experimental study of the kinetics of photoconductivity of a resistor by impurity centers based on compensated silicon has been carried out. The parameters characteristic of the control silicon with radiation impurities are investigated. The electrical resistances of irradiated n^+-n-n^+ - structures are changed on temperature for silicon with different initial samples.

Key words: semiconductor, photoconductivity, resistance, radiation technology, concentration of charge carriers.

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ НА ФОТОРЕЗИСТОРИ, ОТРИМАНІ НА ОСНОВІ КОМПЕНСОВАНОГО КРЕМНІЮ

**Ш. Махкамов, Ш.А. Махмудов, А.А. Сулаймонов,
А.К. Рафіків**

*Інститут ядерної фізики АН РУз, Ташкент, 100214,
Узбекистан, e-mail: makhmudov@inp.uz*

Проведено експериментальне дослідження кінетики фотопровідності резистора домішковими центрами на основі компенсованого кремнію. Досліджено параметри,

характерні для контрольного кремнію з радіаційними домішками. Змінено електроопору опромінених n^+-n-n^+ - структур від температури для кремнію з різними вихідними зразками.

Ключові слова: *напівпровідник, фотопровідність, опір, радіаційні технології, концентрація носіїв заряду.*

ORCID: 0000-0003-0182-3917.

Recently, to teach photoresistors, it has been proposed to use compensated silicon with impurity defects that create deep energy levels (DE) [1]. However, obtaining a large amount of compensated material with identical photoelectric and electrophysical characteristics for the manufacture of photoresistors by the thermal diffusion method is difficult.

In this regard, in this work, the production of a compensated material is solved by the method of radiation technology (by irradiating a silicon single crystal with fast neutrons), which makes it possible to purposefully change the photoelectric parameters of silicon. The use of radiation methods for technological purposes involves the control of the composition of the resulting defects, on the one hand, and the search for ways to optimize the radiation technological process, on the other.

The aim of this work is to study the possibility of obtaining a photoresistor based on n-silicon, compensated by radiation defects, with electrophysical characteristics.

Research methods: methods of radiation defects in the reactor flow of fast neutrons; electrical methods for measuring the resistance of a resistor as a function of temperature; measuring the concentration of charge carriers; measuring the resistivity of silicon by the Hall method.

It is known that during radiation treatment, compensating radiation defects are formed in the volume of a silicon single crystal and the degree of compensation of the crystal is determined by the concentration of charge carriers in the initial material and the irradiation fluence, while the higher the concentration of the main charge carriers, the longer the neutron irradiation time (at a constant neutron flux density) [2].

On the other hand, when irradiating silicon with neutrons, to reduce the residual activity, it is necessary to use monocrystalline silicon with a minimum concentration of major charge carriers. In this regard, we used n-type monocrystalline silicon with a resistivity of 120 - 180 Ohm $\times$ cm, in which the Fermi level at room temperature is located in the region E_c - (0.32 $\div$ 0.36) eV from the bottom of the conduction band.

Further, the electrophysical parameters were measured by the photoconductivity decay method, and the effect of high-temperature treatment on the NDS recombination properties was studied as a function of the boron concentration. Annealing of radiation defects (RD) was carried out at a temperature of ~ 900 °C in air, for ~ 30 minutes, followed by slow cooling (8 $\div$ 15) deg/min. To clarify the nominal value of the mobility of the majority charge carriers, isothermal annealing was carried out at a temperature of ~ 900 °C.

The photoelectric parameters of the compensated samples were monitored on the basis of a change in the ratio - R_T/R_C , where R_T is the dark resistance, Ohm; R_C - light resistance, Ohm. Light resistance was measured at illumination $E = 200$ lux.

Thus, as a result of the study of radiation-compensated silicon, the possibility of creating photosensors with identical characteristics, operating in the temperature range from 30 $\div$ 100 °C, was revealed.

The prepared samples (n^+-n-n^+ - structures) were placed in a quartz ampoule and sealed, subjected to neutron irradiation in the channel of an atomic reactor (at a fast neutron intensity $\varphi = (3\div4) \cdot 10^{12} \text{ cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) until full compensation the majority of charge carriers by acceptor radiation defects. Dark resistance was controlled by measuring the temperature dependence in the range $30\div100^\circ\text{C}$. The results are shown in Fig. 1 and 2.

Fig. 1. Dependence of the resistance of photoresistors (n^+-n-n^+ - structure) on temperature: 1– in the dark; 2– under illumination ($E = 200 \text{ lux}$)

As can be seen from fig. 2, the values of R_t practically reach their maximum value after the irradiation time $t = 60 \text{ s}$. It should be noted that at a fast neutron fluence of $2 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-2}$, the values of R_T of resistors with a specific resistance of $(120 \div 180) \text{ Ohm}\cdot\text{cm}$ are compared (Fig. 2). In these samples, the

Fermi level is located below $E_c - 0.50$ eV, and the resulting levels $E_c - 0.18$ and $E_c - 0.39$ eV are completely ionized as the fast neutron fluence increases due to the shift of the Fermi level towards the middle of the band gap. The level $E_c - 0.40$ eV, associated with the *phosphorus + vacancy* (E-center) defect and having a low concentration ($< 10^{12} \text{ cm}^{-3}$), is also ionized after irradiation, that is, it practically does not affect the electrophysical properties of silicon. Therefore, it can be assumed that in the compensation of the initial donor impurity of phosphorus, mainly, only the acceptor level of divacancy, $E_c - 0.54$ eV, is involved.

Fig. 2. Change in the electrical resistance of the $n^+ - n - n^+$ - structure ($\rho_0 = 180 \text{ Ohm} \cdot \text{cm}$) depending on temperature before (1) and after irradiation with fast neutron fluences (cm^{-2}): 2 – $5 \cdot 10^{13}$; 3 – $8 \cdot 10^{13}$; 4 – $2 \cdot 10^{14}$

To stabilize the photoelectric parameters of the irradiated sample, thermal annealing was carried out at a temperature of

220 °C for 20 min. The results of measuring R_T/R_C versus the annealing temperature are given in Table 1. As can be seen from the table, after heat treatment, the multiplicity of changes in electrical resistance increases and increases by almost an order of magnitude (~ 10 times).

Table 1

The multiplicity of the change in the ratio R_T/R_C in the samples $\rho_o = 180 \text{ Ohm}\cdot\text{cm}$ after irradiation with fast neutron fluences $\sim 2 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ before and after thermal annealing at $\sim 220^\circ\text{C}$ for ~ 20 min

	The multiplicity of change in the ratio R_T/R_C			
Before thermal annealing	1,14	1,1	1,1	1,2
After thermal annealing	11,2	9,7	11,1	12

In fig. 3 shows the relative change in the electrical resistance of irradiated (fast neutron fluence $\sim 2 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-2}$) $n^+ - n - n^+$ - structures (obtained on the basis of $\rho_o = 180 \text{ Ohm}\cdot\text{cm}$) at illumination $\sim 200 \text{ lux}$ depending on temperature – T. dependence is described by the following expression:

$$(R_T - R_C)/R_T = \exp(-670 / T)$$

Fig. 3. Change in the electrical resistance of the irradiated n^+-n-n^+ - structures on temperature for silicon with different initial ρ_0 (Ohm.cm): 1–120; 2–180

Fig. 4. Relative change in the electrical resistance of photoresistors (n^+-n-n^+ - structures) depending on temperature at illumination $E = 200$ lux

As a result of the study of radiation-compensated silicon, the possibility of creating photo- and thermal sensors with identical characteristics, operating in the temperature range from $30 \div 100$ °C, was revealed.

A photoresistor based on silicon, compensated for by radiation defects, is capable of operating up to a temperature of ~ 100 °C as photosensors (see fig. 4).

Thus, as a result of the study of radiation compensated silicon, the possibility of creating photosensors with identical characteristics, operating in the temperature range from $20 \div 100$ °C, was revealed.

References:

1. M.Yu. Tashmetov, Sh.A. Makhmudov, A.A. Sulaimonov, A.K. Rafikov, B. Zh. Abduraimov, "Photosensors based on neutron doped silicon" // International Scientific Journal "Heliotechnika" Tashkent, 2018, V. 6, p. 61–63.

2.M.Yu. Tashmetov, Sh.A. Makhmudov, A.A. Sulaymonov, B. Zh. Abdurayimov, A. K. Rafikov. Photosensors Based on Neutron Doped Silicon // Applied Solar Energy, 2019, Vol. 55, No. 1, p. 71–73.

3. M. Karimov et all. Compensated silicon based photoresistor with radiation defects // Conference dedicated to the 80th anniversary of Academician MS Saidov. Tashkent, November 24 25, 2010, S. 221–222.

УДК 621.472

ДОСЛІДНА ЕКСПЛУАТАЦІЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ КОМІРКИ ПОТУЖНІСТЮ 1 кВт

В.О. Войтех

*Інститут електродинаміки НАН України,
пр. Перемоги, 56, м. Київ, 03057, Україна,
тел.: +38(066)310-51-64, e-mail: vvoitekhh@gmail.com*

Наведено результати експлуатації дослідного зразка енергетичної комірки потужністю 1 кВт у складі фотоелектричної станції, розробленого та виготовленого в Інституті електродинаміки НАНУ. Проведено аналіз кількості генерованої енергії залежно від пори року, освітленості та температури навколишнього середовища. Наведено економічні характеристики енергетичної комірки, строк окупності капіталовкладень та рекомендації із впровадження.

Ключові слова: енергетична комірка фотоелектрична панель, відновлювані джерела енергії, генерована енергія, строк окупності.

1 kW POWER CELL EXPERIMENTAL OPERATION

V. Voitekhh

*Institute of Electrodynamics National Academy of Science of
Ukraine, pr. Peremohy 56., Kyiv, Ukraine, 03057.*

The results of operation of a prototype of an energy cell with a capacity of 1 kW as part of a photovoltaic station, developed and manufactured at the Institute of Electrodynamics of NASU, are presented. The analysis of the amount of generated energy depending on the season, lighting and ambient temperature is carried out. The economic characteristics of the energy cell, the payback period of

investments, and recommendations for implementation are given.

Keywords: *energy cell, photovoltaic panel, renewable energy sources, generated energy, payback period.*

ORCID: 0000-0002-9460-4141.

Розроблений та виготовлений в Інституті електродинаміки НАНУ зразок інвертора [1] як частини енергетичної комірки [2] пройшов досліду експлуатацію протягом року в складі фотоелектричної станції потужністю 1 кВт, що була встановлена на даху приватного домогосподарства у м. Бердянськ (Україна) із живленням від трьох монокристалічних фотоелектричних панелей типу RISEN RSM72-6-350m. Електричні параметри фотоелектричної панелі (NMOT) наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Номінальна потужність (Вт)	Струм короткого замикання (А)	Точка MPPT (В)	Струм у точці MPPT (А)	Напруга холостого ходу (В)	ККД (%)
256	7.7	35.7	7.17	43.9	17.1

В табл. 2 наведено фактичну генерацію енергетичної комірки за 2020–2021 роки у кіловат-годинах по місяцях з березня 2020 по лютий 2021 року.

Таблиця 2

3. 20	4. 20	5. 20	6. 20	7. 20	8. 20	9. 20	10. 20	11. 20	12. 20	1. 21	2. 21	За рік (кВт год)
85	98	109	115	123	106	119	86	65	51	56	63	991

Тобто енергетична комірка потужністю 1 кВт за рік експлуатації виробила 991 кВт·год електроенергії, причому максимальне та мінімальне значення за місяць відрізняється у 2,4 раза. У табл. 3 наведено перелік обладнання і його вартість за умови серійного виробництва та встановлення (від 200 комірок на місяць).

Таблиця 3

Найменування	Інвертор	Панелі 3 шт.	Матеріали + робота	Загалом
Вартість (Грн.)	2500	5460	1590	9550

При вартості електроенергії для приватних готелів (де експлуатується обладнання) у 3 Грн/ кВт·год і вартості обладнання енергетичної комірки разом із роботою 9550 грн строк окупності T буде складати $T=9550/(991*3)=3,2$ роки без “зеленого” тарифу і використанні енергетичної комірки тільки для власних потреб домогосподарства з метою зменшення його енергоспоживання.

Наведені результати відповідають експлуатації енергетичної комірки на півдні України (у Бердянську), де кількість сонячних годин на рік складає 2320. У Києві ця цифра складає 1927 [3] (тобто у 1,2 раза менше). Відповідно при експлуатації енергетичної комірки у регіоні Києва строк окупності збільшиться до 3,8 років.

У разі використання “зеленого” тарифу, затвердженого постановою НКРЕКП від 31.12.2020 № 2879 з 01.01.2021 для приватних фотоелектричних станцій потужністю до 30 кВт, що введено в експлуатацію з 01 січня 2020 року по 31 грудня 2024 року – 5,56 грн/кВт·год строк окупності капіталовкладень зменшується у 1,86 раза і для регіону Бердянська складе 1,72, а Києва – 2 роки. Такі показники є прийнятними для інвестицій, а з урахуванням пільгового кредитування проєктів відновлюваної енергетики у приватних

домогосподарствах є ще більш привабливими. 1 млн модулів енергетичних комірок могли б виробляти 1 млрд кВт*год електроенергії за рік, при вартості робіт із обладнанням приблизно 10 млрд гривень. Це набагато дешевше великих станцій, дає можливість заробляти широким верствам населення України, створити десятки тисяч робочих місць у високотехнологічних галузях, та розвантажити енергосистему України від пікових споживань.

Література:

1. Войтех В.О. Алгоритми керування напівпровідникових інверторів із використанням мікроконтролерів компанії Microchip серії dspic 33 MC. Праці Інституту електродинаміки НАН України: Зб. наук. праць – Київ, 2016 – № 43, С.107–111.
2. Войтех В.О. Енергетичні комірки для відновлюваних джерел енергії. Праці Інституту електродинаміки НАН України: Зб. наук. праць – Київ, 2016 – № 44, С. 29–34.
3. <https://www.meteoprog.ua/ua/climate/>

UDC 662.995: 662.997

CRITERIA FOR SELECTION OF CRYSTAL HYDRATES FOR COMPOSITE ADSORBENTS WITH HIGH ENERGY STORAGE DENSITY

**Y.O. Serhiienko¹, K.M. Sukhyy², E.A. Belyanovskaya³,
E.V. Kolomiyets⁴**

*SHEI «Ukrainian State University of Chemical Technology»,
av. Gagarina 8, Dnipro, 49005, tel.: +38(093)933-56-72,
e-mail: sergienkoyana762@gmail.com*

This work is devoted to the choice of crystal hydrates for composite adsorbents with high energy storage in order to study the properties and performance characteristics of nanocomposite adsorbents "silica gel - sodium sulfate" and "silica gel - sodium acetate". The value of heat energy release during adsorption of the order of 1500-4400 kJ / kg during several thousand cycles of heating - cooling has been achieved.

Keywords: *silica gel - sodium sulfate, silica gel - sodium acetate, adsorption.*

ORCID: ¹0000-0003-0980-5481, ²0000-0002-4585-8268,
³0000-0003-1873-4574, ⁴0000-0002-3216-649X.

Global community initiatives to reduce greenhouse gas emissions and primary fuel consumption, as well as to expand the use of unconventional energy sources, stimulate the development and research of materials and processes for the adsorption conversion of thermal energy, in particular low-potential. However, the current state of the art in this field is severely limited by insufficient sorption properties of adsorption materials, in particular low adsorption capacity. It is known that

the most promising solution to increase the adsorption capacity of adsorbents and energy storage density is the introduction of crystal hydrates to pore matrices, in particular, silica gels, zeolites and vermiculite by impregnation or salt - gel synthesis. Composites "salt in a porous matrix" (SPM) were recognized as promising materials for APT due to their increased sorption capacity to common working fluids (water, methanol and ammonia). In addition, the introduction of crystalline salts into the pore matrices helps to reduce the regeneration temperature of the obtained composites in comparison with the basic adsorbents, as well as a qualitative change in the kinetics of hydration in contrast to massive salts [1,2].

The aim of this work is to determine the general criteria for selection of salts for salt - gel synthesis of composites "salt in the pore matrix" and to study the properties and performance characteristics of nanocomposite adsorbents as materials of adsorption conversion of thermal energy.

It is expedient to make the following requirements to crystal hydrates and their salts as possible heat-accumulating materials:

- the adsorption capacity of the salt must be high, not less than 0.5 kg / kg, is the salt must form high-water hydrates;
- the temperature of regeneration of crystal hydrates must meet sanitary standards;
- salt must be stable in the operating temperature range;
- phase transition must be accompanied by the absorption and release of large amounts of heat;
- the phase transition must occur near the actual melting point;
- the temperature of the phase transitions would be desirable not to exceed 30–100 °C;
- salt should be available in large quantities, is be relatively cheap;

- preparation of crystal hydrate for use should be relatively simple;
- salt must be harmless to humans, the environment and equipment (be non-toxic, non-flammable, do not show corrosive activity).

Nanocomposite sorbents "silica gel - sodium sulfate" and "silica gel - sodium acetate" were synthesized from tetraethoxysilane, Na_2SO_4 or CH_3COONa , ethanol (as solvent) and hydrochloric acid (as catalyst). Polyonenes served as organic modifiers [3,4].

The composition and structure of nanocomposite sorbents "silica gel - sodium sulfate" and "silica gel - sodium acetate", synthesized by the sol-gel method, were studied using derivatography and wide-angle X-ray scattering. It was found that dispersion to the nanoscale promotes a change in the adsorption properties of crystalline Na_2SO_4 and CH_3COONa during their release into the silicon oxygen matrix. The correspondence of their structure, water adsorption kinetics and working characteristics as adsorption materials for adsorption heat energy converters is shown [5]. Thus, the composite systems "silica gel - sodium sulfate" and "silica gel - sodium acetate" are considered in the work. Thus, the composites "silica gel - sodium sulfate" and "silica gel - sodium acetate" are promising materials for the adsorption conversion of thermal energy.

References:

1. Thermochemical Heat Storage – System Design Issues / De Jong A.-J., Trausel F., Finck C., van Vliet L., Cuypers R. // Energy Procedia. 2014. Vol. 48. P. 309–319.
2. Thermochemical Seasonal Solar Heat Storage in Salt Hydrates for Residential Applications – Influence of the Water Vapor Pressure on the Desorption Kinetics of $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ /

Ferchaud C.J., Scherpenborg R.A.A., Zondag H.A., de Boer R.
// Energy Procedia. 2014. Vol. 57. P. 2436–2440.

3. Prototype thermochemical heat storage with open reactor system / Zondag H., Kikkert B., Smeding S., Boer R. de, Bakker M. // Applied Energy. 2013. Vol. 109. P. 360–365

4. Optimization and testing on an adsorption dishwasher/ Santori G., Frazzica A., Freni A., Galieni M., Bonaccorsi L., Polonara F., Restuccia G. // Energy. 2013. Vol. 50. P. 170–176. doi: 10.1016/j.energy.2012.11.031

5. Grekova A.D., Gordeeva L.G., Aristov Y.I. Composite "LiCl/vermiculite" as advanced water sorbent for thermal energy storage // Applied Thermal Engineering. 2017. Vol. 124. P. 1401–1408.

УДК 621.311.25

АНАЛІЗ ЧАСУ РОБОТИ СЕС НА ПОНАДНОРМОВІЙ НАПРУЗІ

А.В. Сагара¹, В.І. Будько²

^{1,2}Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря
Сікорського», вул. Політехнічна, 37, м. Київ, 03056,
Україна, тел.: +38(063)843 63 14,

email: ansascience@gmail.com

²Інститут відновлюваної енергетики НАН України,
02094, м. Київ, вул. Гната Хоткевича, 20а, 02094, Україна
тел. +38(044) 206-28-09, e-mail: renewable@ukr.net

*У роботі представлено аналіз часу роботи СЕС на
напрузі, що перевищує державні стандарти.*

Ключові слова: відновлювані джерела енергії,
сонячна електростанція, проблеми ВДЕ, перенапруга.

ANALYSIS OF UNDERVOLTAGE OPERATION TIME OF SOLAR POWER STATION

A. Sahara¹, V. Budko²

^{1,2}National technical university of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv
Polytechnic Institute", 37 Polytechnichna st., Kyiv, Ukraine,
03056,

²Institute of Renewable Energy, National Academy of Science
of Ukraine, 20A, Hnata Khotkevicha str., Kyiv, Ukraine 02094

*The article describes the analysis of voltage on terminals
of solar power station during one year.*

Keywords: renewable energy, solar power station,
problems of renewable energy, overvoltage.

ORCID: ¹0000-0002-7194-1006, ²0000-0002-6219-422.

Стрімкий розвиток технологій сонячної енергетики, з одного боку, зростання вартості на електроенергію викопного палива та пільгові програми інвестицій – з іншого сприяють активному збільшенню частки відновлюваних джерел енергії в енергосистемі України та провідних країн світу.

Потужність сонячної станції прямо пропорційна сонячному випромінюванню, що надходить на фотоелектричний перетворювач. Отже, пік генерації станцією з нульовим азимутальним відхиленням у безхмарний день спостерігається опівдні. Водночас пік споживання енергії в мережі припадає на ранішній та вечірній час, що пов'язано з біоритмами людини в сучасному суспільстві. Розбіжність генерації зі споживанням призводить до проблем з якістю електричної енергії, зокрема з відхиленням напруги на шинах СЕС від нормованого значення.

Аналіз роботи мережевої СЕС, що розташована в Київській області у селі Гнідин, встановленою потужністю 13,4 кВт та потужністю інвертора 10 кВт, зорієнтованої на південь під кутом 25 градусів у період з 01.03.2020 по 28.02.2021, підтверджує часті відхилення напруги по фазах.

Графіки червоного, синього та жовтого кольорів відображають рівень напруги на фазах А, В та С відповідно. Зелена лінія відповідає дозволеному верхньому ліміту напруги – 242 В. Падіння напруги до нульового рівня відповідає відключенням електропостачання, що за рік сумарно склали 202 рази на 29,04 години.

Рис. 1. Річний графік напруги на фазах А, В та С

Відповідно до положень пункту 11.4.6 глави 11.4 розділу XI Кодексу систем розподілу, затвердженого постановою НКРЕКП від 14.03.2018 № 310, стандартна номінальна напруга U_n для мереж низької напруги загального призначення має значення 220 В між фазним і нульовим проводом. Зміна напруги не повинна перевищувати $\pm 10\%$ величини номінальної напруги, тобто $U_{\text{макс}}=242 \text{ В}$ [1].

Під час роботи СЕС інвертор підіймає напругу на шинах станції, щоб створити умови для віддачі енергії в мережу. За рік роботи станції сумарна кількість годин роботи на напрузі, вищій за **242 В**, складає:

- 2054,2 год за умови $U > U_{\text{макс}}$ хоча б на одній фазі;
- 679,6 год за умови $U > U_{\text{макс}}$ на двох фазах;
- 228,6 год роботи за умови $U > U_{\text{макс}}$ на трьох фазах.

Графіки розподілу часу роботи СЕС на напрузі, вищій за U_n на 10 та 15 % по місяцях, зображено на рис. 2 та рис. 3 відповідно.

Рис. 2. Графік розподілу часу роботи станції на напрузі $U > U_n$ на 10 %

Рис. 3. Графік розподілу часу роботи станції на напрузі $U > U_n$ на 15 %

Найбільше годин роботи на підвищеній напрузі спостерігається у березні та квітні. Ці місяці не є найпродуктивнішими з вироблення енергії від СЕС. Рівень напруги в мережі також залежить від стану розподільчих

ліній та трансформаторної техніки, тож можна припустити, що в ці місяці було проведено ремонт або налаштування обладнання, що надалі покращили умови роботи. Щодо інших місяців, то основна частина часу роботи на підвищеній напрузі спостерігається по 1 фазі. В проміжку з 1.03 по 30.10 спостерігаємо найбільше годин роботи СЕС за підвищеної напруги. У проміжку 01.11–28.02 більшу частину часу параметри мережі в нормі. У ці місяці зосереджена низька доля генерації, що дає підстави вважати, що саме робота СЕС значно впливає на рівень напруги в точці підключення.

Для стабілізації напруги під час роботи станції можна використати систему акумуляування, яка працюватиме у буферному режимі – поглинати енергію від СЕС під час перевищення напруги та віддавати на власні потреби або у мережу – під час низької генерації або за її відсутності. На сьогодні технології накопичення за допомогою літєвих акумуляторів є одними з найперспективніших. Проте для впровадження таких систем потрібно розробити метод підбору необхідних ємностей та потужностей системи накопичення, дослідити режими роботи і вплив на енергосистему.

Література:

1. Норми якості електричної енергії. Дата оновлення 14.08.2020 URL: <https://www.nerc.gov.ua/?id=19529>

УДК 004.896

ХМАРНЕ РІШЕННЯ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ АВТОНОМНОЇ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

П.В. Новіков, канд. техн. наук, асистент кафедри
автоматизації теплоенергетичних процесів,
НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського»,
тел.: +38(068)802-25-44, e-mail: rezengan@ukr.net

Розглянуто програмно-апаратну реалізацію системи віддаленого моніторингу автономної сонячної електростанції. На базі мікропроцесора ESP8266 розроблено пристрій для вимірювання напруги на клеммах акумуляторів. Наявність вбудованого wifi-модуля дозволяє спростити підключення до мережі й надсилати дані у хмару. Для можливості аналізу роботи системи розроблений сервіс візуалізації даних з використанням стартапу Grafana.

Ключові слова: автономні сонячні панелі, моніторинг, інтернет речей.

CLOUD SOLUTION FOR MONITORING AN AUTONOMOUS SOLAR POWER PLANT

P. Novikov, assistant of National Technical University of
Ukraine,
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

ORCID: 0000-0002-2790-5809.

The software and hardware implementation of the remote monitoring system of an autonomous solar power plant is considered. Based on the ESP8266 microprocessor, a device for measuring the voltage at the battery terminals has been developed. The presence of a built-in wifi-module

simplifies the connection to the network and send data to the cloud. To be able to analyze the system, a data visualization service using the Grafana startup has been developed.

Keywords: *autonomous solar panels, monitoring, internet of things.*

За останнє десятиліття потужність сонячних та вітрових електростанцій зросла з 238 до 1600 ГВт [1]. Вартість відновлюваної енергії знизилася, наприклад, виробництво сонячної енергії впало на 82 % з 2010 року [2]. Ця революція у виробництві електроенергії разом із розвитком інтернету речей (IoT) робить можливими нові економічні моделі, послуги та методи моніторингу, яких ми раніше не уявляли. Децентралізована структура постачання енергоресурсів поряд з економічними стимулами для підвищення рівня самовиробництва та споживання заохочують до енергетичної автономії [3].

Низька вартість сонячної та вітрової енергії дозволяє електрифікувати віддалені об'єкти, такі як приватні будинки, острови, ферми, автомобільні дороги тощо. Однак сонячна та вітроенергія не є стабільною і сильно залежить від місцевості та сезону року. Акумулятори є однією з найважливіших частин автономної системи живлення. Вони виконують роль накопичувача енергії та фільтра вхідної енергії від нестабільних сонячних панелей або вітрогенератора. Оскільки ємність батарей чутлива до параметрів навколишнього середовища, особливо до температури та вологості, ця інформація вважається важливою для аналізу стану автономної електростанції. З іншого боку, ємність акумуляторів з часом зменшується. Моніторинг швидкості розряду дозволяє діагностувати погіршення стану обладнання. Отже, актуальною є задача контролю стану енергетичного обладнання.

У разі моніторингу автономного об'єкта на перший план виходить споживання електроенергії контролером. Система управління з низьким енергоспоживанням збільшує час роботи автономного джерела живлення у разі

роботи від акумулятора. У багатьох випадках апаратне забезпечення програми доводиться розгортати на місцях, працюючи від батареї або сонячної батареї [4]. Можливість віддаленої візуалізації даних та онлайн-збору даних є важливою вимогою у багатьох ситуаціях. Веб-технологія надзвичайно приваблива для моніторингу та управління автономними системами, що дозволяє віддалений доступ через бездротовий зв'язок. Це ще одна важлива частина системної архітектури. У наш час на ринку представлені різні пристрої для бездротового зв'язку. Найпопулярнішими телекомунікаційними технологіями є CDMA, GSM (3G / 4G), LTE, LoRaWAN. CDMA старіша за інші, але ця технологія забезпечує високий асортимент недорогих пристроїв. LoRaWAN більше підходить для рішень IoT. Питання телекомунікаційних технологій є важливим, оскільки впливає на тарифи постачальників послуг. Правильний вибір все-таки заощадить гроші. Інтернет речей (IoT) відіграє вирішальну роль у цій концепції, забезпечуючи можливість зв'язку фізичних пристроїв через інтернет, де пристрої інтелектуально пов'язані між собою, забезпечуючи нові види спілкування між речами та людьми та між самими речами для обміну даними для моніторингу та керування пристроями з будь-якої точки земної кулі за допомогою підключення до інтернету [5]. Хмарні служби доречні для концентрації повідомлень з пристроїв IoT. Він називається IoT-HUB. Це рішення пропонує Microsoft Azure, AWS, IBM Watson та інші хмарні платформи.

Для реалізації віддаленого безперервного моніторингу стану сонячної електростанції побудоване хмарне рішення за допомогою платформи Azure від Microsoft і WEB-орієнтованої системи візуалізації Grafana (рис. 1).

Рис. 1. Структурна схема хмарного рішення

У платформі Azure розгорнуті концентратор пристроїв IoT і хмарна база даних SQL Database. Концентратор IoT пристроїв Azure IoT Hub реалізує канал з'єднання між програмною платформою Azure і фізичними пристроями, в даному разі автономними сонячними електростанціями. База даних Azure SQL Database виконує функції зберігання отриманої інформації й надання цієї інформації за запитом залежно від параметрів, наприклад отримання даних за певний проміжок часу.

Системи візуалізації Grafana – це платформа візуалізації даних, що спеціалізується на представленні інформації, яка має часові мітки. Доступ до проєкту в Grafana здійснюється через WEB-інтерфейс, тому доступ до візуалізації даних можливий через будь-який пристрій з WEB-браузером.

До переваг цього рішення можна віднести легкість впровадження, масштабування, а також можливість доступу до інформації незалежно від часу, територіального розташування або пристрою зчитування.

Література:

1. Renewable Energy. PowerWeb - A Forecast International Inc. Subsidiary [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.fi-powerweb.com/Renewable-Energy.htm>

2. Solar costs have fallen 82% since 2010. PV Magazine [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.pv-magazine.com/2020/06/03/solar-costs-have-fallen-82-since-2010/>
3. Russell McKenna, Erik Merkel, Wolf Fichtner, 2016. Energy autonomy in residential buildings: a techno-economic model-based analysis of the scale effects. *KIT – The Research University in the Helmholtz Association*.
4. Nicoleta Stroia, Daniel Moga, Zsolt Barabas, 2013. Web based monitoring of solar power systems. *IFAC ICPS*. Cluj-Napoca, Romania, 131–136 p.
5. Youssef Cheddadi, Hafsa Cheddadi, Fatima Cheddadi, Fatima Errahimi, Najia Es-sbai, 2020. Design and implementation of an intelligent low-cost IoT solution for energy monitoring of photovoltaic stations. *SN Applied Sciences* 2:1165.

UDC 538.911, 53.097

FORMATION OF FERROELECTRIC DOMAIN STRUCTURE FOR SOLAR CELLS

O. Mazur, L. Stefanovich

*Institute for Physics of Mining Processes of the NAS of
 Ukraine, 49600, Dnipro, Simferopolska st. 2a
 tel.: +38(050)914-25-72, e-mail: o.yu.mazur@gmail.com*

An innovative method for the formation of ferroelectric regular domain structures by rapid quenching of a sample in the ferroelectric phase and exposure of a high-frequency electric field is proposed. It is shown that polydomain structures form at any quenching depth, at frequencies above the critical value and amplitudes below the critical one. A model for calculating of parameters for controlling the process of domain ordering and changing the period of the expected regular domain structure has been developed.

Keywords: *Ferroelectric, Regular Domain Structure, Nonequilibrium, Electric Field, Frequency, Self-Organization.*

ORCID: 0000-0001-7375-6309.

Solar cells are the most promising materials for green energy development. At the moment, silicon is mainly used in

the production of solar cells. On average, their efficiency is 5-6% for amorphous thin film and 10-17% for mono- and polycrystalline samples. The most expensive silicon cell has 31-32% efficiency.

Ferroelectric materials are one of the most promising alternatives. This is facilitated by unique advantages such as the switchable photocurrent and photovoltage. A large amount of research has already accumulated and many developments have been proposed on the use of multiferroics, organic ferroelectrics and heterostructures in the production of solar panels. The efficiency of some perovskite samples reaches 26%, and the production cost is 5-6 times less than that of silicon solar cells. However, mass production of perovskite solar cells is hindered by high crystal fragility, moisture susceptibility and low service life. Therefore, the efforts of many researchers are aimed at increasing the corrosion resistance of these materials. One another important task is the development of methods of control of domain structure (especially in micron and nanoscale region) which defines the unique properties of every certain ferroelectric.

Experiments show that formation of polydomain structures in submicron region has self-assembling character and is accompanied by the appearance of isolated, striped, and fractal domains. Application of such classical methods as exposure of a sample to an electric field or an electron beam is limited by a number of technological problems: the growth of domains outside the electrodes, partial reverse polarization, uncontrolled fusion of domains etc. As an alternative, it is proposed to control the process of self-organization of the domain structure under highly nonequilibrium conditions created by laser [1], acoustic interference [2] or thermal influences [3].

Creation of highly nonequilibrium conditions by rapid quenching of the sample from the paraelectric phase to the ferroelectric phase has a number of advantages: minimal risk of sample destruction, initial formation of domain structure, high susceptibility of a nonequilibrium system to external

changes. Current technologies make it possible to quench a sample in the vicinity of Curie temperature T_C ($T_C - T = 0.1$ K) and observe a phase transition «extended in time» [3]. The next step in this direction is the development of practical approaches for directing the relaxing system to the formation of a domain structure of the required type – single-domain, polydomain, or partially ordered state.

Within the framework of the proposed method, rapid quenching of the sample from paraelectric phase ($T > T_C$) into ferroelectric one ($T < T_C$) is considered. As a result, the sample falls into the region of thermodynamic nonequilibrium, where even very weak external influences can significantly affect the domain kinetics and its final result. Therefore, at the stage of further relaxation of the system to a state of thermodynamic equilibrium, an external electromagnetic field in the form of a monochromatic plane-polarized standing wave is imposed on the sample. This field is created due to the interference of the incident and reflected high-frequency electromagnetic waves and has the form:

$$\vec{E}(x, t) = 2\vec{E}_m \cos(kx) \sin(\Omega t), \quad \Omega = \frac{2\pi c}{\lambda n} \quad (1)$$

Here $|2\vec{E}_m \cos(ikx)|$ is an amplitude of electric field (V/m), k is a wave vector of standing waves (m^{-1}), Ω is a frequency of electromagnetic waves that create a standing wave (rad/s), λ is a length of electromagnetic wave that defines the period of regular domain structure (m), c is speed of light in vacuum (m/s), n is a refractive index of electromagnetic waves, x is the direction of propagation of electromagnetic waves that create a standing wave.

The amplitude and frequency of this field are control parameters and allow us to control the type and the period of the domain structure. The sample is kept in an external high-frequency electromagnetic field for the time required for the domain structure formation. After this, the field is abruptly turned off, and as a result, some regular domain structure is formed in the sample (fig. 1).

Fig. 1. Schematic representation of the method of regular domain structure formation under the influence of a high-frequency electric field

Within the framework of the proposed method, it is necessary to determine the values of the control parameters at which the formation of single-domain and polydomain structures will occur. For this, within the framework of the Landau - Ginzburg - Devonshire phenomenological theory, a kinetic model to describe the dynamics of ordering of domain structure that undergo a phase transition and relax under external influences was developed [4].

References:

1. V.Ya. Shur, *Ferroelectrics*, 373, 1 (2008).
2. V.V. Krutov, A.S. Sigov, A.A. Shchuka, *J. Nano- and Microsystem Technology*, 18, 32 (2016).
3. S.N. Drozhdin, O.M. Golitsina, *Physics of the Solid State*, 54, 853 (2012).
4. L.I. Stefanovich, O.Yu. Mazur and V.V. Sobolev, *Nanoscience and Nanotechnology-Asia*, 9, 344 (2019).

УДК 620.91

DIGITAL MODELLING OF INFLUENCE OF TEMPERATURE ON PHOTO-ELECTRIC PROCESSES IN SILICON SOLAR CELLS

**R. Aliev, J. Ziyoitdinov, J. Gulomov, M. Abduvohidov,
B. Urmanov**

*Andijan State University named after Z.M. Babur
129, University Str., Andijan, 170100, Uzbekistan
e-mail: alievuz@yahoo.com*

The method of digital modelling investigates influence of temperature on photo-electric processes in silicon solar cells. Are calculated of the I-V characteristic of the solar cells containing platinum nanoparticles and without them at a variation of temperature in a range 250 - 350 K. Temperature factors of the basic photo-electric parameters of silicon structures testifies to their satisfactory conformity with the experiment data.

Более 85 % используемых в практике полупроводниковых солнечных элементов (СЭ) изготовлены на основе кремния [1]. Эффективность или производительность кремниевых СЭ непосредственно зависит от уровня освещенности и температуры окружающей среды [2]. С целью увеличения выработки фотоэлектрической энергии с каждого СЭ требуется повышение уровня их освещенности посредством концентрации солнечного излучения с большой площади концентратора на небольшую поверхность СЭ [3]. Такой способ позволяет сократить площадь используемых дорогостоящих кремниевых СЭ. Но при этом наблюдается

существенное повышение температуры СЭ и, следовательно, уменьшение их эффективности. Поэтому в системах с концентраторами практикуется использование СЭ, изготовленных на основе соединений арсенида галлия, которые имеют более устойчивые параметры при более высоких температурах, чем кремниевые СЭ [4]. Однако СЭ, изготовленные на основе соединений арсенида галлия имеют почти на порядок большую стоимость, чем кремниевые. Поэтому считается, что такие СЭ целесообразно использовать только в системах с концентраторами для нужд космической отрасли.

В регионах с жарким климатом (с высокой температурой) становится проблемой использование кремниевых СЭ даже без концентраторов излучения. Разработка технических мер по охлаждению кремниевых СЭ осложняется тем, что температурные коэффициенты основных фотоэлектрических параметров существенно отличаются друг от друга в зависимости от вида кремниевого материала базы, качества *p-n*-перехода, устойчивости контактных электродов и качества антиотражающих покрытий (АОП). Кроме того, при создании СЭ второго и третьего поколений используются поверхностные и объемные инновационные (технические решения) оптические ловители, которые могут существенно влиять на температурные коэффициенты основных фотоэлектрических параметров, таких СЭ. Например, в конструкциях СЭ третьего поколения с целью реализации эффекта наноплазмоники в приповерхностные слои кремния имплантируются наночастицы различных металлов [5]. В связи с изложенным считается актуальным исследование влияния температуры на основные фотоэлектрические параметры тонких кремниевых СЭ, содержащих в объеме или в приповерхностном слое

наночастицы металлов. Именно этой актуальной задаче посвящена настоящая работа.

Исследовательский метод цифрового моделирования, выбранный нами в виде лицензированной программной системы «Sentaurus TCAD» является наиболее новым и с весьма широкими приборно-технологическими возможностями.

При исследовании температурных свойств кремниевых СЭ рассмотрен диапазон температуры $250\div350$ К, представляющий важное практическое значение для наземных и космических назначений. Результаты исследования получены в виде визуальных картин обработки объема кремния с *p-n*-переходом, процессов фотогенерации неравновесных носителей заряда при освещении и тепловыделении с учетом различных механизмов их рекомбинации, а также нагрузочных вольт-амперных характеристик СЭ при различных температурах.

Плучены нагрузочные вольт-амперные характеристики кремниевых СЭ при различных температурах в диапазоне $250\div350$ К. Ранее авторами данной работы были выявлены и изучены методом цифрового моделирования некоторые особенности фотоэлектрических процессов переноса заряда в тонких кремниевых структурах с *p-n*-переходом, содержащих наночастицы разных металлов с различными размерами и плотностью их распределения. Было выявлено наиболее эффективное поглощение солнечного спектра излучения в области эмиттера до металлургической границы *p-n*-перехода и лучшая эффективность фотоэлектрического преобразования энергии кремниевых солнечных элементов с такой структурой. Определены оптимальные размеры наночастиц металлов, закономерности их распределения,

глубины залегания p - p -перехода для тонких слоев кристаллического кремния.

Результаты оценки температурных коэффициентов тока короткого замыкания I_{sc} и напряжение холостого хода U_{oc} , коэффициента заполнения VAX FF , максимальной мощности P_m и коэффициент полезного действия η для кремниевых СЭ без наночастиц металла и с наночастицами изложены в табличной форме.

Сопоставление температурных коэффициентов основных фотоэлектрических параметров кремниевых структур с данными экспериментальных работ свидетельствует об их удовлетворительном соответствии. Причем температурные коэффициенты основных фотоэлектрических параметров кремниевых структур, содержащих наночастицы металлов dV_{oc}/dt , dI_{sc}/dt , dFF/dt , dP/dt и $d\eta/dt$ определены впервые.

Таким образом, во-первых, несмотря на относительно высокие значения основных фотоэлектрических параметров солнечных элементов, содержащих наночастицы металла, чем солнечные элементы без них, температурные коэффициенты выходной мощности и эффективности несколько ухудшаются. Следовательно, с практической точки зрения в таких случаях требуется принятие специальных мер для охлаждения солнечных элементов. Во-вторых, полученные результаты свидетельствуют о том, что более высокая фоточувствительность плазмонных СЭ проявляется при низких температурах. Можно предположить, что имеется перспективная возможность создания высокочувствительных (плазмонных) фотодатчиков специального назначения, например для области ультрафиолетового или ближнего инфракрасного спектра излучения, работающих при низких температурах.

References:

1. Solnechnye batarei na osnove kremniya.
<https://www.helios-house.ru/ustrojstvo-sb.html>
2. A.G.Komilov "Laboratotnye izmereniya po opredeleniyu temperaturnyh koeffitsientov fotoelectriceskikh moduley na novoy ustanovke". // ISJAEE, 2019, № 22–27. P. 12–20.
3. V.M.Andreev, V.A.Grilihes, V.D.Rumyancev "Fotoelectriceskoe preobrazovaniye koncentrirovannogo izlucheniya". Leningrad: Nauka, 1989, – 310 p.
4. V.M.Andreev, N.Yu.Davidyuk, V.S.Kalinovskiy, N.A.Sadchikov, A.V.Chekalin, M.Z.Shvarc "Koncentratornye solnechnye moduli s vysokoy effektivnostyu v shirokom diapazone rebochih temperature". // Materialy Mejdunarodnogo kongressa REENCON-XXI "Vozobnovlyaemaya energetika XXI vek: Energeticheskaya effektivnost". 13-14 Oct. 2016. Moskow, 2016. P. 91–96.
5. H.Atwater and A.Polman, "Plasmonics for improved photovoltaic devices". Nat. Mater., 9 (3), p. 205, 2010.
6. Synopsys // URL: https://www.synopsys.com/content/dam/synopsys/silicon/datasheets/sentaurus_ds.pdf (дата обращения 04.02.2018).

УДК 620.91

РЕЖИМИ РОБОТИ АВТОНОМНОЇ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ ЗАРЯДЖАННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

О.Ю. Гаєвський¹, д-р ф.-м. наук, проф.,

А.А. Шевченко², студент

НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 03056, м. Київ, просп.

Перемоги, 37, тел.: +38(044)204-81-91,

e-mail: a.gaevskii@kpi.ua

Розглянуто режими роботи автономної фотоелектричної зарядної станції (АФЕЗС) електромобілів. Промодельована АФЕЗС15 кВт, розташована в Київській області.

Ключові слова: автономна фотоелектрична станція, заряджання електромобілів.

OPERATION MODES OF AUTONOMOUS PHOTOVOLTAIC CHARGING PLANT FOR ELECTRIC VEHICLES

O.Y. Gaevskii¹, A.A. Shevchenko²

NTUU "Igor Sikorsky KPI", 03056, Kyiv, Peremogy Str, 37,

tel.: +380442048191, e-mail: a.gaevskii@kpi.ua

The operation modes of autonomous photovoltaic charging plant (APVC) for electric vehicles have been considered. The APVC 15 kW located in Kyiv region has been simulated.

Keywords: stand-alone photovoltaic plant, electric vehicles charging.

ORCID: ¹0000-0001-6144-2441, ²0000-0002-4570-500X.

Вступ. З кожним роком у світі збільшується кількість електромобілів (ЕМ) з одним чи кількома тяговими електродвигунами, що живляться від встановлених на ньому акумуляторів. Перспективним напрямом розвитку інфраструктури обслуговування ЕМ є створення фотоелектричних станцій, які призначені для заряджання ЕМ і можуть бути розташовані у місцях, віддалених від ліній електропередачі [1, 2]. Моделюванню режимів роботи такої автономної фотоелектричної зарядної станції (АФЕЗС) присвячена дана робота. При цьому враховані сезонні коливання рівня фотогенерації та невизначеності часу встановлення ЕМ на заряджання і стану заряду акумуляторної батареї (АБ) ЕМ.

АФЕЗС (рис. 1) включає масив фотоелектричних модулів (ФМ), приєднаний через DC-DC конвертер з MPPT-контролером заряду до спільної DC-шини. З боку системи зберігання енергії до шини DC приєднані буферні акумуляторні батареї (БАБ) і акумулятор ЕМ. Обидві акумуляторні системи підключені до шини через двоспрямовані DC-DC конвертери, які розраховані на роботу в двох напрямках потоку потужності (режими заряджання і розряджання).

Рис.1. Функціональна схема АФЕЗС

Перелічимо основні режими роботи АФЕЗС, які моделювались у цій роботі:

• **Режим 1:** $P_{pv} > P_{rec}$, $S_{bat} < S_{bat,max}$, де P_{pv} – загальна потужність ФМ, P_{rec} – рекомендована потужність для заряджання ЕМ, S_{bat} – стан заряду (SOC – StateOfCharge) буферної АБ, $S_{bat,max}$ – стан максимального заряду БАБ. ЕМ заряджається за рахунок фотогенерації, надлишкова енергія заряджає БАБ.

• **Режим 2:** $P_{pv} > P_{rec}$, $S_{bat} \geq S_{bat,max}$. ЕМ заряджаються від ФМ, буферний акумулятор заряджений повністю.

• **Режим 3:** $P_{pv} > P_{rec}$, $S_{ev} = S_{ev,max}$, $S_{bat} < S_{bat,max}$, де S_{ev} – стан заряду акумуляторів ЕМ, який у даному режимі заряджений повністю. ФМ заряджають БАБ.

• **Режим 4:** $P_{pv} = 0$, $S_{bat} \geq S_{bat,min}$. Нічний режим, або режим поганої освітленості. ЕМ заряджаються від БАБ.

• **Режим 5:** $P_{pv} = 0$, $S_{bat} = S_{bat,min}$. Джерела енергії відсутні, і ЕМ не заряджаються.

В роботі моделювались режими АФЕЗС, яка мала обладнання з такими характеристиками: пікова потужність ФМ 15 кВт, енергія АБ електромобіля 60 кВт·год, ємність БАБ – 1 кА·год, мінімальна допустима ємність БАБ – 300 А·год. ККД обладнання мають такі значення: регулятор МРРТ – 90 %, DC-DC конвертер – 95 %, БАБ – 85 % на заряд і 95 % на розряд, акумулятор ЕМ – 96 %.

У результаті розрахунків АФЕЗС, яка працює в Київській області, були отримані криві станів заряду S_{ev} і S_{bat} для чотирьох сезонів. На рис. 2 показані графіки для грудня – місяця з найменшою інсоляцією. Наприклад, при повністю розрядженому АБ електромобіля (рис. 2, а) фотогенерації не вистачає, щоб зарядити ЕМ та відновити заряд БАБ. Оптимальним варіантом заряджання ЕМ в грудні є початковий стан АБ $S_{ev} = 0,31$, в цьому разі АБ встигне зарядитися до 15 год, а буферний АБ буде мати стан $S_{bat} = 0,3$ в кінці дня (рис. 2, б).

Як приклад наведемо також графіки часових профілів заряджання для сприятливих сезонів – весни (квітень) та літа (липень) (рис. 3). На графіку видно, що навіть повністю розряджений АБ ЕМ можна зарядити вже до полудня. А влітку після заряджання ЕМ стан буферної АБ буде відновлений (до значення $S_{bat} = 1$) приблизно, коли настає пік сонячної радіації. За таких обставин до кінця світлового дня може бути заряджений ще другий електромобіль, але за рахунок фотогенерації і буферного акумулятора.

Рис. 2. Часові профілі потужності $\Phi MP_{gen-bus}/10$ (кВт) і графіки стану АБ C_{ev} і C_{bat} в грудні при різних початкових C_{ev} : а – $C_{ev,poc} = 0$; б – $C_{ev,poc} = 0,31$

Рис. 3. Часові профілі потужності $\Phi MP_{gen-bus}/10$ (кВт) і графіки стану АБ C_{ev} ($C_{ev,poc} = 0$) і C_{bat} у квітні (а) та липні (б)

Література:

1. V. Kumar et al. PV Based Off-Grid Charging Station for Electric Vehicle // IFAC PapersOnLine. – 2019. – vol. 52, No 4. – p. 276–281.
2. K. S. Prakash Orugantiet al. Design and Sizing of Mobile Solar Photovoltaic Power Plant to Support Rapid Charging for Electric Vehicles//Energies. – 2019. – vol. 12 (3579). – p. 3–22.

УДК 620.91

ОСОБЛИВОСТІ РОЗВИТКУ СИСТЕМ СОНЯЧНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ В УКРАЇНІ

Т. Коваленко¹, В. Каряка²

*Національний університет «Львівська політехніка»,
79013, вул. Степана Бандери, 12, Львів, Україна,
тел.: ¹+38(068)841-15-35, ²+38(050)925-85-38,
e-mail: ¹kovalenkotaniy@gmail.com,
²Valeriia.Kariaka.TE.2017@lpnu.ua*

*У роботі розглянуто особливості розвитку систем
сонячного теплопостачання в Україні.*

Ключові слова: система сонячного
теплопостачання, сонячний колектор.

DEVELOPMENT PECULIARITIES OF SOLAR HEAT SUPPLY SYSTEMS IN UKRAINE

T. Kovalenko¹, V. Kariaka²

*Lviv Polytechnic National University,
79013, str. Stepana Bandera 12, Lviv, Ukraine,
tel.: ¹+38(068)841-15-35, ²+38(050)925-85-38,
e-mail: ¹kovalenkotaniy@gmail.com,
²Valeriia.Kariaka.TE.2017@lpnu.ua*

*In this paper, the development peculiarities of solar heat
supply systems in Ukraine are considered.*

Keywords: solar heat supply system, solar collector.

ORCID: ¹0000-0002-6866-5979, ²0000-0002-2444-8315.

Без електричної енергії неможливо уявити життя і діяльність сучасної людини. Від її кількості (виробітку) залежать не лише комфортні умови існування людини, але і розвиток усіх сфер виробництва, науки і техніки. У цей час

поряд з традиційними джерелами енергії в Україні розвиваються технології на основі нетрадиційних відновлюваних джерел енергії (НВДЕ): вітрової, сонячної енергії, енергії малих річок, біомаси, геотермальної енергії та енергії доквілля. Важливими факторами розвитку НВДЕ в Україні є вичерпність традиційних паливно-енергетичних ресурсів, нагальна потреба в подоланні залежності від імпорту енергоносіїв, необхідність поліпшення екологічної ситуації, міжнародні зобов'язання тощо.

НВДЕ екологічно чисті: при їх роботі практично немає відходів, викиду забруднювальних речовин в атмосферу або водойми. Відсутні екологічні витрати, пов'язані з видобутком, переробкою і транспортуванням викопного палива.

На сьогоднішній день у світі та в Україні швидкими темпами розвивається сонячна енергетика [1], яка знайшла найширше застосування у системах теплопостачання. Саме ці системи застосовують як для централізованого вироблення електроенергії на сонячних електростанціях, так і в індивідуальних системах електропостачання громадських і власних будівель.

Системи сонячного теплопостачання класифікуються таким чином:

- системи «активного» сонячного теплопостачання, що використовують «активні» установки на основі сонячних колекторів з циркуляцією теплоносія, яким може бути рідина (вода, розчини солей) і газ (повітря);
- системи «пасивного» сонячного опалення, в яких різні конструкційні елементи споруд використовуються в ролі теплоприймачів сонячної енергії;
- комбіновані системи сонячного теплопостачання, в яких використані елементи «пасивного» і «активного» сонячного теплопостачання.

В Європі лідерами з впровадження систем сонячного теплопостачання на базі колекторів є Німеччина, Швеція, Австрія, Швейцарія. За своїми кліматичними умовами Україна належить до територій із середньою інтенсивністю

сонячної радіації. Середньорічний потенціал сонячної енергії в Україні ($1235 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$) є досить високим, він набагато вище, ніж, наприклад, в Німеччині – $1000 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$ або навіть в Польщі – $1080 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$. За рівнем інтенсивності сонячного випромінювання можна виділити чотири регіони – Центральний, Західний, Південно-Східний і Південний. Залежно від регіону рівень сонячної радіації, що припадає на 1 м^2 , становить до $1000\text{--}1350 \text{ кВт}/(\text{рік}\cdot\text{м}^2)$. Провівши паралелі з країнами, які мають такий самий рівень величини сонячної радіації, можна зробити висновок, що в міжсезоння сонячні колектори можуть забезпечувати до 50 % гарячого водопостачання (ГВП) приватного будинку, а в літні місяці – до 90 %. Термін «ефективне використання» означає, що геліоустановка може працювати з віддачею 50 % і більше, а це дев'ять місяців у південних областях України (з березня по листопад), і сім місяців – у північних областях (з квітня по жовтень). Взимку ефективність роботи установки падає, але не зникає та покриває 15–20 % потреби в теплоті системи ГВП [2].

Найсприятливіший період в Україні для використання сонячної енергії в геліосистемах – квітень–вересень. Середньорічна кількість годин сонячного сяяння зростає в Україні з північного заходу на південний схід і південь з 1700 до 2400 год. Мінімальна тривалість – на Поліссі (1700–1800 год на рік), максимальна – на південних схилах Кримських гір (понад 2400 год) [2].

Отже, застосування сонячних систем теплопостачання в Україні є технологією перспективною, рентабельною й економічно вигідною, що дає можливість зменшити імпорт енергоносіїв, зміцнити економічну незалежність держави, підвищити рівень екологічної безпеки, створити нові робочі місця.

Література:

1. Mysak Y. Evaluation of energy efficiency of solar roofing using mathematical and experimental research / Y. Mysak, O. Pona, S. Shapoval, M. Kuznetsova, T. Kovalenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – Kharkiv, 2017. – 3/8 (87). – P. 26–32.
<https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.103853>.

2. Розрахунок системи сонячного гарячого водопостачання [Текст]: метод. рек. до ви-кон. домашньої контрольної роботи для студ. спеціальності 101 «Екологія» спеціалізації «Інженерна екологія та ресурсозбереження» / Уклад: В.В.Дубровська, В.І. Шкляр – К.: НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.

УДК 621.472

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ ТЕПЛООБМІНУ МІЖ СОНЯЧНИМИ ПАНЕЛЯМИ ТА НАВКОЛИШНІМ СЕРЕДОВИЩЕМ

М.М. Бордаков, аспірант

*Інститут відновлюваної енергетики НАН України,
вул. Гната Хоткевича, 20а, м. Київ, 02094, Україна,
тел.: +3 8 093 56 69 447, e-mail: m.m.bordakov@gmail.com*

При роботі СЕС сонячні панелі нагріваються, внаслідок чого втрачається їхня потужність. Рівень зменшення потужності відповідно до температури визначається за коефіцієнтом γ_{Pmax} , що характеризує зменшення потужності на 1 К (Температурний коефіцієнт потужності). Наприклад, для полікремнієвих (Si-poly) панелей він дорівнює 0,4 %/°C. Але коефіцієнт показує зменшення потужності від температури робочої поверхні модуля, далі Cell Temperature або T_{cell} °C.

Для розрахунку T_{cell} використовується температура навколишнього середовища (T_{Amb}), швидкість вітру (V_{Wind}). Ці величини пов'язуються між собою через сонячну радіацію, що приходить на модуль ($I_{Poa}^{Вт/м^2}$), та коефіцієнти тепловіддачі U_c та U_v [1]. Величина коефіцієнтів суттєво впливає на розрахунок температури ФЕМ. Ці коефіцієнти використовуються програмою PV Syst для розрахунку проектної виробітки СЕС. Дана робота направлена на їх визначення з реальних даних працюючої СЕС.

Ключові слова: СЕС, теплообмін, температура.

METHOD FOR DETERMINATION OF HEAT EXCHANGE COEFFICIENTS BETWEEN SOLAR PANELS AND THE ENVIRONMENT

M.M. Bordakov, graduate student
*Institute of Renewable Energy of the National Academy of
Sciences of Ukraine,
Hnata Khotkevycha street 20a, Kyiv, 02094, Ukraine,
tel: +3 8 093 56 69 447, e-mail: m.m.bordakov@gmail.com*

During PV panels work they become to heat, as the result panels lose some part of it power. The level of power reduction according to temperature is characterized by the coefficient γ_{Pmax} (Temperature power factor). It factor characterizes the power reduction by increasing temperature to 1 K. For Si-poly PV panels typical value of γ_{Pmax} is 0,4 % for 1 °C. But this coefficient describes the process of modules power reduction according to temperature of working panels surface, usually such temperature calls cell temperature (T_{cell}).

For cell temperature calculations we use ambient temperature T_{Amb} °C and wind speed V_{wind} m/c. That parameters connecting to each author by solar irradiation that comes to plane of PV modules array (I_{Poa} W/m^2) and heat transfer coefficients U_c and U_v [1]. The value of these coefficients significantly affects to the temperature calculation of the solar module. PVsyst use these coefficients for modulation PV Plant`s yield. So, this article said about method of determination for heat exchange coefficients between solar panels and environment.

Keywords: PV Plant, heat exchange, temperature.

ORCID: 0000-0002-2890-5632.

Розрахунок T_{cell} за моделлю PV Ssyst. Програма пропонує для розрахунку використати таку формулу (формула Файмана) [1] :

$$T_{Cell} = T_{Amb} + \frac{\alpha \cdot I_{Po\alpha} \cdot (1 - \eta_m)}{U_{Gen}} \quad (1)$$

де: $I_{Po\alpha}$ – сонячна радіація, що приходить на поверхню фотомодуля (B_T / M^2); T_{cell} – робоча температура поверхні фотомодуля, $^{\circ}C$; T_{Amb} – температура навколишнього середовища, $^{\circ}C$; α – коефіцієнт абсорбції світла фотомодуля, зазвичай приймається 0,9 для Si-poly панелей; η_m – ефективність сонячної панелі (ККД); U_{Gen} – загальний коефіцієнт теплообміну, що враховує вільний та вимушений теплообмін, який розраховується за формулою:

$$U_{Gen} = U_C + U_V \cdot V_{Wind} \quad (2)$$

де: U_C – коефіцієнт тепловіддачі вільного теплообміну ($B_T / M^2 \cdot K$); U_V – коефіцієнт тепловіддачі вимушеного теплообміну ($B_T / M^2 \cdot K \cdot M/C$); V_{Wind} – швидкість вітру, M/c ;

З формул (1) та (2) робимо висновок, що дані коефіцієнти характеризують відвід тепла від сонячної панелі через умови навколишнього середовища. Чим більша швидкість вітру тим сильніше відводиться тепло від панелі.

Метод визначення коефіцієнтів тепловіддачі. Для розрахунку цих коефіцієнтів треба визначити U_{Gen} з формули 1. Насамперед потрібно формулу (1) перетворити на:

$$\underbrace{T_{Cell} - T_{Amb}}_{\Delta T} = \frac{\alpha \cdot I_{Po\alpha} \cdot (1 - \eta_m)}{U_{Gen}} \quad (3)$$

Тоді:

$$U_{Gen} = \frac{\alpha \cdot I_{Po\alpha} \cdot (1 - \eta_m)}{\Delta T} \quad (4)$$

Вирахувати загальний коефіцієнт тепловіддачі можна, якщо наявні фактичні погодні дані. Для розрахунку рекомендовано використовувати 15-хвилинні значення. Значення за 15 хв мають бути усереднені від хвилинних значень. Хвилинні значення мають бути виміряні відповідно до стандарту IEC TS 61 724-1 [3]. Також важливо зауважити, що при низьких рівнях сонячної радіації теплообміном можна нехтувати, оскільки він майже не відбувається. Відзначимо що вираз (2) є звичайним рівнянням з двома невідомими U_c та U_v відповідно. Якщо по осі X відкласти швидкість вітру, по осі Y – сумарний коефіцієнт тепловіддачі, побудувавши лінійну регресію, можна буде визначити наші невідомі. На рис. 1. зображено масив точок та побудовано лінійну регресію, що визначає U_c та U_v .

Рис. 1. Лінійна регресія, побудована за масивом даних

Fig. 1. Linear regression is built on an array of data

Регресія побудована за допомогою бібліотеки Plotly для мови програмування Python. За даними регресії значення наших параметрів такі: $U_c = 22,72 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$, $U_v = 4,16 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)} \cdot (\text{м/с})$. Регресія була побудована методом звичайних найменших квадратів. Відповідно, коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,3477704$. Стандартна похибка даної регресії s^2 для коефіцієнта U_c дорівнює 0,083, а для коефіцієнта U_v – 0,036. Всі параметри розраховані за методами описаними в [5].

Висновки з роботи і плани на подальші дослідження. В даній доповіді було проведено оцінку коефіцієнтів тепловіддачі між сонячними панелями та навколишнім середовищем на існуючій станції. Для проведення оцінки були використані дані роботи СЕС за два роки. За описаним алгоритмом можна провести аналогічні дослідження і для інших СЕС на території України та за її межами.

В подальших дослідженнях питання теплообміну між ФЕС та навколишнім середовищем потрібно врахувати такі помилки даного дослідження:

1. Має бути декілька точок виміру температури панелей. Адже теплообмін може бути неоднаковий на всій території СЕС, що характерно для великих СЕС.
2. Точок виміру сонячної радіації також має бути декілька, якщо вона більша за 5 МВт [3].
3. Чим вища точність вимірювальних пристроїв тим точніший результат буде отримано.

Література:

1. Faïman, D. "Assessing the outdoor operating temperature of photovoltaic modules." Progress in Photovoltaics 16 (4): 307–315. Oct. 2008.
2. PVsyst 6 Help, Files.pvsyst.com, 2018. [Online]. Available: <http://files.pvsyst.com/help/index.html>. [Accessed: 10 Dec. 2018].

3. Міжнародний стандарт IEC 61724-1 "Photovoltaic system performance – Part 1: Monitoring"(1) 03-2017.
4. Міжнародний стандарт IEC 61724-2 "Photovoltaic system performance – Part 2: Capacity evaluation method"(1) 10-2016.
5. Карташов М.В. Імовірність, процеси, статистика. – Київ, ВПЦ Київський університет, 2007.
6. Rao, C. Radhakrishna; Toutenburg, Shalabh, Neumann. Linear Models and Generalizations (3rd ed.). Berlin: Springer. ISBN 978-3-540-74226-5. 10-2008.
7. Постанова НКРЕКП №312 від 14.03.2018.
URL: <http://www.nerc.gov.ua/?id=31833>.
8. ДСТУ 8635:2016 "ПЛОЩАДКИ ДЛЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ ПРИЄДНАННЯ СТАНЦІЙ ДО ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ" URL: <http://eom.com.ua/index.php?action=downloads;sa=downfile&id=3656>

УДК 621.472

АПРОКСИМАЦІЯ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАНОРІДИН ЯК ПЕРСПЕКТИВНИХ ТЕПЛОНОСІЇВ ДЛЯ СОНЯЧНИХ ТЕРМОДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ

Л.І. Книш

*Дніпровський національний університет імені Олеся
Гончара, просп. Гагаріна, 72, м. Дніпро,
49000, Україна, тел.: +38(099)00-34-310,
e-mail: lknysh@ukr.net*

У роботі розглядаються перспективні для сонячних термодинамічних систем теплоносії у вигляді суспензій з наночастинками – нанорідини. Проведено аналіз експериментальних даних для визначення теплофізичних параметрів нанорідин з вуглецевими нанотрубками. Побудовані функції регресії для коефіцієнтів теплопровідності, в'язкості, густини залежної від температури та об'ємної концентрації наночастинок.

Ключові слова: *сонячні термодинамічні системи, теплоносії, вуглецеві нанотрубки, нанорідина, теплофізичні властивості, обробка експериментальних даних, регресивний аналіз.*

APPROXIMATION OF THE NANOFLUIDS THERMOPHYSICAL PROPERTIES AS PROMISING HEAT TRANSFER FLUIDS FOR SOLAR THERMODYNAMIC SYSTEMS

L. Knysh

*Oles Gonchar Dnipro National University, Gagarin avenue, 72,
Dnipro, 49000, Ukraine*

Suspensions with nanoparticles – nanofluids are considered as promising heat transfer fluids for solar

thermodynamic systems. Experimental data about the thermophysical properties of nanofluids with carbon nanotubes were studied. Regression functions for thermal conductivity coefficient, viscosity, density depending on temperature and nanoparticles volume fraction were built.

Keywords: *solar thermodynamic systems, heat transfer fluid, carbon nanotubes, nanofluid, thermophysical properties, experimental data processing, regression analysis.*

ORCID: 0000-0003-3525-4804.

Зниження собівартості енергії, що виробляється сонячними термодинамічними системами, прямо залежить від підвищення ефективності її перетворення та зниження витрат на побудову та експлуатацію установок. Існують декілька шляхів підвищення теплової ефективності термодинамічних систем з параболоциліндричними концентраторами [1]. По-перше, це збільшення діаметра концентратора, що забезпечує необхідний рівень температур установкою меншої довжини. В таких системах істотно зменшується потужність насосів для прокачки теплоносія, підвищується керованість, але надійність падає, підвищуються теплові втрати.

Другий, більш поширений метод підвищення ефективності системи прийому, – це інтенсифікація конвективного теплообміну всередині теплоприймача. Класичним методом покращення теплообміну в теплоприймачах є використання пасивних систем інтенсифікації конвекції (гвинтові ребра та вставки, вихрові генератори, пористі середовища тощо). Ці системи за рахунок форми або матеріалу створюють штучні ефекти, що приводить до збільшення тепловіддачі від теплоприймальної поверхні до теплоносія і підвищення теплової ефективності системи прийому. Недоліком пасивних елементів є збільшення потужності насосів та значне ускладнення конструкції теплоприймача. Цих недоліків позбавлений метод інтенсифікації конвективної

теплопередачі, який базується на використанні теплоносіїв з особливими властивостями. Зокрема, додавання наночастинок до базового теплоносія може істотно поліпшити його теплофізичні показники, що покращує теплопередачу та теплову ефективність.

Як наночастинки використовуються нанопорошки хімічних сполук CuO , Al_2O_3 , TiO_2 , SiO_2 або чистого Cu і Si . Крім того, дедалі популярнішими стають наночастинки на основі вуглецевих нанотрубок (ВНТ). Теплоносії з такими ВНТ були досліджені в даній роботі.

Додавання ВНТ нанотрубок істотно змінює основні теплофізичні показники традиційних для сонячних термодинамічних систем теплоносіїв – мінеральних або синтетичних олій (Syltherm800, Therminol®VP та ін.), води, рідких металів. Значення цих показників визначаються лише експериментально. В роботі проаналізовано та математично оброблено велику кількість досить суперечливих результатів експериментальних досліджень теплофізичних властивостей нанорідин на основі ВНТ [2]. Визначені основні показники, що впливають на інтенсифікацію теплообміну. Підтверджено, що головним чинником покращення теплопередачі є підвищення значення коефіцієнта теплопровідності суспензій. Так, для диспергованого водяного розчину з багатошаровими ВНТ об'ємної концентрації 0,05 %, 0,1 % та 0,3 % підвищення значення коефіцієнта теплопровідності в порівнянні з водою складає 7,1 %, 9,2 % та 15,3 % відповідно. Наявність наночастинок майже не впливає на значення густини та в'язкості вибраної нанорідини, чого не можна сказати про теплоємність, величина якої зменшується при підвищенні концентрації ВНТ. Вочевидь, визначення оптимального співвідношення між значеннями коефіцієнта теплопровідності та теплоємності нанорідин з ВНТ дозволить сформулювати рекомендації щодо їх практичного використання як теплоносія відповідних систем.

Експериментальні значення теплофізичних властивостей водяних нанорідин з ВНТ були апроксимовані поліномами з використанням процедури регуляризації для згладжування та підвищення точності. Отримані функції регресії можна використовувати в подальшому моделюванні процесів теплопереносу в теплоприймачах термодинамічних сонячних установок.

Література:

1. S. Akbarzadeh, M. S. Valipour, Heat transfer enhancement in parabolic trough collectors: A comprehensive review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 92 (2018) 198–218.
2. Tooraj Yousefi, Farzad Veisy, Ehsan Shojaeizadeh, Sirus Zinadini, An experimental investigation on the effect of MWCNT-H₂O nanofluid on the efficiency of flat-plate solar collectors, *Experimental Thermal and Fluid Science*, Volume 39, May 2012, p. 207–212.

УДК 697.7

ВПЛИВ КУТА НАХИЛУ СОНЯЧНИХ КОЛЕКТОРІВ НА ВИРОБНИЦТВО ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ

В.В. Дубровська, В.І. Шкляр, Д.Г. Ганжа

НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського»,

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту,

тел.: +38(044)204-96-90, e-mail: shklyar_vi@ukr.net

Проведено комп'ютерне моделювання роботи сонячних колекторів для визначення оптимального кута їх встановлення.

Ключові слова: сонячний колектор, кут нахилу сонячного колектора, програмні продукти.

INFLUENCE OF THE ANGLE OF INCLINATION OF SOLAR COLLECTORS ON THERMAL ENERGY PRODUCTION

V. Dubrovskya, V. Shklyar, D. Hanzha

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute,

Institute of Energy Saving and Energy Management

A computer simulation of solar collectors was performed to determine the optimal angle of installation.

Keywords: solar collector, angle of inclination of the solar collector, software products.

ORCID: 0000-0001-6879-7501, 0000-0003-4765-0484.

У світі щорічно зростають потреби в енергії, а кількість традиційного палива невпинно зменшується.

Через збільшення тарифів на енергію актуальнішим стає впровадження поновлювальних джерел енергії в бюджетних установах, що дозволить значно зменшити використання первинних енергетичних ресурсів.

Найпоширенішим альтернативним джерелом енергії для гарячого водопостачання (ГВП) є сонячна енергія. Для її використання застосовуються сонячні колектори, які виробляють теплову енергію.

На потужність, що видається сонячним колектором, впливають такі чинники, як широта місцевості, де розташована установка, кут нахилу відносно Сонця, спектральний склад випромінювання, погода, час доби і температура.

Метою роботи є визначення впливу кута нахилу сонячного колектора на генерацію теплової енергії на основі комп'ютерного моделювання.

Як об'єкт дослідження розглядалась середня школа, в якій навчається 680 учнів та працює 70 людей. Передбачається встановити геліосистему для часткового покриття потреби в ГВП (5840 л/день гарячої води).

У роботі розглядається питання щодо визначення оптимального кута нахилу колекторів.

Для прийняття рішення про оптимальний кут нахилу колектора до горизонту залежно від його типу змодельовані геліосистеми в програмних середовищах: T*SOL [1] та RETScreen [2]. Були розглянуті пласкі поліровані та вакуумовані трубчасті колектори. Характеристики та моделі колекторів наведено в табл. 1, 2.

Таблиця 1. Параметри колекторів [1]

модель	ККД, %	Sk колектора, м ²	Sab абсорбера, м ²	Тип
Vitosol 200- Т	77,5	4,3	3,23	вакуумний
Vitosol 200- F	82,3	2,5	2,33	плаский

Таблиця 2. Параметри колекторів [2]

модель	Sk колектора, м ²	Sаб абсорбера, м ²	$\frac{S_{аб}}{S_k}$
вакуумні			
Vitosol 200 D20	2,9	2,16	0,745
Vitosol 300-T SP3	4,29	3,76	0,876
пласкі			
Vitosol 200-F SH2	2,52	2,33	0,925
Vitosol 100 S2,5	2,72	2,5	0,919

На рис. 1 та 2 наведені результати моделювання генерації теплової енергії в програмному середовищі T*SOL залежно від кута нахилу колектора. Розрахунок проводився для геліосистеми з одним колектором.

Як видно на рис. 1 та 2, криві мають виражений максимум: для плоского колектора оптимальний кут нахилу – 50 градусів, для вакуумованого – 45 градусів.

Рис. 1. Генерація теплової енергії залежно від кута нахилу плоского колектора

Рис. 2. Генерація теплової енергії залежно від кута нахилу вакуумного колектора

Річне виробництво теплоти (з одиниці площі абсорбера колектора) залежно від кута нахилу колектора, розраховане в програмі RETScreen, наведено на рис. 3.

Рис. 3. Річне виробництво теплоти залежної від кута нахилу колектора: вакуумні: 1 – Vitosol 200 D20; 2 – Vitosol 300-T SP3; плоскі: 3 – Vitosol 200-F SH2; 4 – Vitosol 100 S2,5

За розрахунками у програмі RETScreen (рис. 3) для усіх типів колекторів ефективність має найбільше значення при куті нахилу 40 градусів. При зміні кута від 30 до 50 градусів відхилення від максимуму не перевищує 1 %.

Більшу ефективність мають вакуумовані колектори, але вони менш компактні ніж плоскі, тому це потрібно враховувати при виборі та встановленні колекторів (табл. 2).

Програмне середовище T*SOL дозволяє провести розрахунок використання сонячної енергії та визначити строк окупності (табл. 3) при оптимальному значенні кута нахилу колектора.

Таблиця 3. Основні технічні показники

Геліосистема	Встановлена потужність колектора, кВт	Встановлена площа оптичного покриття, м ²	Частка сонячної енергії в ГВП, кВт·год	Коефіцієнт заміщення, %	Термін окупності, роки
Vitosol 200-F	91,23	111,84	60145	36,8	16,5
Vitosol 200-T	118	126,01	69710	40,3	15,5

Висновки.

За результатами моделювання, найбільш економічно вигідною є сонячна система з вакуумованими трубчастими колекторами Vitosol 200-T, які встановлені під оптимальним кутом у 45 градусів.

Література:

- 1 Програмне середовище T*SOL: [електронний ресурс].-<https://www.valentin-software.com/en/products/solar-thermal/14/tsol>.
- 2 Програмне середовище RETScreen: [електронний ресурс].- <https://www.nrcan.gc.ca/energy/software-tools/7465>.

УДК621.472:629.78

АВТОНОМНА ГІБРИДНА ТЕРМОФОТОЕНЕРГЕТИЧНА УСТАНОВКА З ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЮ СИСТЕМОЮ ВІДБОРУ ПОТУЖНОСТІ

Р.В. Зайцев¹, д-р техн. наук, доцент,
М.В. Кіріченко², канд. техн. наук, ст. дослідник,
К.О. Мінакова³, канд. фіз.-мат. наук, доцент,
Національний технічний університет «Харківський
політехнічний інститут», вул. Кирпичова, 2., Харків,
Україна, 61002, e-mail: mesc@khpi.edu.ua

Робота присвячена розробці конструктивного рішення гібридної фотоенергетичної установки, оснащеної тонкоплівковою сонячною батареєю, та інтелектуальною системою відбору і накопичення електричної енергії.

Ключові слова: сонячний колектор, PV/T система, відведена потужність, витрата води, градієнт температури, теплообмін.

AUTONOMOUS HYBRID THERMOPHOTOENERGY UNIT WITH AN INTELLIGENT POWER TAKE-OFF SYSTEM

R. V. Zaitsev¹, Doctor of Science, Associate Professor,
M. V. Kirichenko², PhD, Senior Researcher,
K. O. Minakova³, PhD, Associate Professor,
National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,
2, Kyrpycheva str., Kharkiv, Ukraine, 61002
e-mail: mesc@khpi.edu.ua

The work is devoted to the development of a constructive solution for a hybrid photovoltaic installation equipped with a thin-film solar battery and an intelligent system for the selection and storage of electricity.

Keywords: *solar collector, PV/T system, power withdrawn, water flow rate, temperature gradient, heat transfer.*

ORCID: ¹0000-0003-2286-8452, ²0000-0002-4847-506X,
³0000-0002-8869-1082.

Розроблені до теперішнього часу гібридні фотоенергетичні установки, що поєднують у своєму складі сонячну батарею, тепловий колектор та накопичувач електричної енергії, переважно базуються на сонячних елементах (СЕ) на основі кристалічного кремнію і відзначаються високою, до 1200 \$/од., ціною та незадовільними ваговими характеристиками. В той же час останніми роками плівкові СЕ на основі гетеросистеми сульфіді і телуриду кадмію склали істотну альтернативу кремнієвим кристалічним СЕ завдяки найвищій термічній та радіаційній стійкості й теоретичному ліміту ККД у 29 %. В умовах промислового виробництва компанією First Solar (США), для СЕ на основі CdS/CdTe, досягнуто ККД на рівні 18,3 %, що відповідає рівню СЕ на основі кристалічного кремнію. Для СЕ такого типу характерні значно нижчі витрати напівпровідникових матеріалів при виробництві, внаслідок чого їх застосування дозволяє на 3 % зменшити карбоновий слід. Для відносно низьких рівнів сонячної радіації та середньої температури, характерних для України, оптимальним у конструкції фотоенергетичної установки є інтеграція сонячної батареї на всю площу фотоприймальної поверхні сонячного колектора та відносно низькі швидкості протікання теплоносія, а значить, і висока температура СЕ, що робить оптимальним використання на основі CdS/CdTe, які мають більшу термостабільність порівняно з кремнієвими. Виготовлення СЕ на гнучких підкладках, дозволяє інтегрувати такі сонячні батареї в автономні системи теплозабезпечення на основі теплових колекторів. Однак така інтеграція буде економічно доцільною тільки з урахуванням рівномірності охолодження поверхні сонячного колектора, зменшення витрат енергії на

циркуляцію рідини в трубах та потужність циркуляційного насосу, оптимізації маси, габаритів і матеріалів таких гібридних систем, щоб промислове виробництво цих установок могло бути розгорнуте на базі існуючих промислових технологічних ліній, орієнтованих на випуск теплових колекторів. Інтеграція до складу фотоенергетичної установки накопичувачів електричної енергії дає змогу вирішити низку проблем: їх застосування дозволяє зменшити нестаціонарність навантаження (зменшити пульсації струму); поліпшити якість електричної енергії та знизити витрати на її виробництво шляхом згладжування режиму завантаження генерувальних потужностей; збільшити ресурс обладнання енергосистеми, зменшуючи пікове навантаження; підвищити надійність енергосистеми в цілому. Встановлена потужність таких накопичувачів має відповідати потужності обладнання і може коливатися в діапазоні від декількох кіловат до 20 МВт з тривалістю роботи від 1 до 12 годин на добу.

Для вирішення цієї задачі було створено інноваційне конструктивно-технологічне рішення тепло- та електрогенерувального блоку фотоенергетичної системи, в якому тонкоплівковий модуль, що складався з гнучких СЕ на основі телуриду кадмію, було інтегровано на фотоприймальну поверхню вдосконаленого сонячного колектора. Це дало змогу отримати сумарне ККД такої системи до 73 % за перетворенням сонячної енергії в теплову та електричну енергію. За рахунок використання як сонячної батареї гнучких приладових структур на основі телуриду кадмію вдалося зберегти на високому рівні ККД фотоелектричного перетворення в реальних підвищених температурних режимах роботи фотоприймальної поверхні сонячного колектора та відмовитися від використання в конструкції колектора селективного покриття, оскільки гнучкі СЕ виконують його функції. Було отримано первинний теоретичний опис відведення тепла від поверхні загальної моделі (без урахування впливу внутрішніх параметрів) теплового обміну сонячного колектора залежно від

найбільш важливих параметрів для процесів тепловіддачі, що сприяло мінімізації витрат енергії для потреб установки.

Література:

1. Minakova K.A., Zaitsev R.V. Improving the Solar Collector Base Model for PVT System // Journal of nano- and electronic physics. – 2020. – Vol. 12. – No 4. – P. 04028-1 – 04028-5.
2. Zaitsev R.V., Kirichenko M.V., Khrypunov G.S., et al. Constructive solution of highly effective photoenergy module: development and experimental testing // Electrical engineering & electromechanics. – 2019. – No 6. – P. 70–75.
3. Zaitsev R.V., Kirichenko M.V., Khrypunov G.S., et al. Dependence of the Thin Film Solar Cells Efficiency from Operating Temperature // 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON-2019) 2-6 July 2019, Conference proceedings. – Lviv: IEEE, 2019. – P. 669–674.

УДК 536.24:536.33:697.27

ОПАЛЮВАЛЬНА ЗДАТНІСТЬ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ВІКОН З ЕЛЕКТРОПІДІГРІВОМ

Д.А. Смольченко, Є.В. Дядюшко, Г.П. Круковський
*Інститут технічної теплофізики НАН України,
м. Київ, вул. Марії Капніст, 2а, тел.: +38(098)103-05-88,
e-mail: dima-smolchenko@rambler.ru*

Наведені результати моделювання опалювальної здатності вікон з електропідігрівом для типових розмірів приміщень залежно від відносної площі скління до загальної площі зовнішньої огорожувальної конструкції приміщення і температури навколишнього середовища.

Ключові слова: вікна приміщень, опалювальна здатність, енергоефективність, моделювання.

HEATING CAPACITY AND ENERGY EFFICIENCY OF WINDOWS WITH ELECTRIC HEATING

D.A. Smolchenko, E.V. Dyadyushko, G.P. Krukovsky
*Institute of Technical Thermodynamics of the National Academy
of Sciences of Ukraine, Kiev, st. Mary Kapnist, 2a,
tel.: +38(098)103-05-88,
e-mail: dima-smolchenko@rambler.ru*

The results of modeling the heating capacity of electrically heated windows for typical room sizes depending on the relative area of glazing to the total area of the external enclosing structure of the room and the ambient temperature are presented.

Keywords: room windows, heating capacity, energy efficiency, modeling.

ORCID: 0000-0002-3081-1803, 0000-0002-4673-4494,
0000-0002-2601-4633.

Розглядається однокамерна віконна конструкція (рис. 1) з низькоемісійною плівкою на зовнішньому склі й електропровідною плівкою оксиду металу, нанесеною на внутрішнє скло склопакету, яка є нагрівальним елементом. Розробка таких плівок потужністю до 450 Вт/м^2 обумовлює можливість використання вікон з електропідігрівом як єдиної системи опалення приміщення, що в свою чергу піднімає питання опалювальної здатності таких вікон як спроможність для вибраного приміщення підтримувати комфортну температуру на рівні 20°C в діапазоні температури навколишнього середовища від $+10$ до -22°C .

Рис. 1. Однокамерний склопакет з електропідігрівом:
1 – нагрівальне покриття; 2 – наповнювач у міжскляному просторі (повітря, аргон, ксенон тощо); 3 – спейсер;
4 – герметик; 5 – кабель для підводу електроенергії;
6 – низькоемісійне покриття; 7 – електроди

Результати такої роботи корисні для проєктування систем опалення як нових будинків, так і старих при заміні звичайних вікон на опалювальні.

Дослідження опалювальної здатності вікон проводиться шляхом моделювання теплового стану двокамерного вікна (рис. 1) спільно з типовим приміщенням $Д \times Ш \times В = 4 \times 4 \times 2,5 \text{ м.}$,

температура в якому підтримується на рівні 20 °С тільки завдяки електропідігріву вікна для різних співвідношень площі скління вікна N до площі зовнішньої огорожувальної конструкції приміщення M та температури навколишнього середовища.

Типова залежність тепловиділення на 1 м² від температури навколишнього середовища і температури в приміщенні наведена на рис. 2.

Рис. 2. Залежність тепловиділення P на склі від зміни температури навколишнього середовища і відношення N/M . ■ – $N/M = 2/8$; ◆ – $N/M = 3/7$; ▲ – $N/M = 4/6$; ● – $N/M = 5/5$.

За результатами огляду літератури і наведеним дослідженням можна стверджувати, що такі вікна безсумнівно можуть виступати як єдина система опалення з необхідною для цього опалювальною здатністю.

Такі вікна є досить цікавим рішенням для опалення приміщення завдяки певному ряду переваг, а саме: відсутність звичайних, більш дорогих систем опалення; комфортність зони біля вікна; відсутність запотівання та обледеніння вікон, рівномірність поля температури в приміщенні. Але поки що такі вікна, на жаль, не поширені в регіонах України. В доповіді розглядаються також питання енергоефективності і вартості вікон з електропідігрівом у порівнянні зі звичайними.

УДК 691.332:662.997

ЕКОЛОГІЧНА ТЕРМОРЕНОВАЦІЯ СТІН КОТЕДЖІВ

Ю.Б. Дудикевич, П.В.Новосад

м. Львів, вул.Дорошенка, 53/6,

тел.: +38(097)781-74-98, e-mail: jurijdudykevych@ukr.net

У роботі наведені приклади термореновації стін цегляного будинку при використанні пористої ізоляційної структури костриця льону – вапна в поєднанні з сонячним абсорбером тinox. Показано істотне зменшення тепловтрат цегляної стіни. Другим важливим аспектом є сповільнення випромінювання тепла приміщення назовні через абсорбер.

Ключові слова: *інтенсивність сонячного випромінювання, термоінерційність ізоляційної структури.*

ECOLOGICAL THERMAL RENOVATION OF COTTAGE WALLS

Yu. Dudykevych, P. Novosad

Lviv, Doroshenka 53/6 str., tel.: +38(097)781-74-98,

e-mail: jurijdudykevych@ukr.net

The paper presents examples of thermal renovation of brick walls when using porous insulating structure of flax – lime, combined with a solar absorber tinox. Was shown significant reduction of heat loss of a brick wall. The second essential aspect is a slowing down of radiation of room heat due to the absorber.

Keywords: *solar intensity radiation, insulating thermal inertia structure.*

ORCID: ¹0000-0002-8003-2875, ²0000-0003-4979-422X.

У світі спостерігаються різнонаправлені процеси. Розвинені країни швидко позбуваються газової залежності, а Україна певний час буде сидіти на газовій та нафтовій голках, поки населення нарешті зрозуміє доцільність застосування недорогих, ефективних та нешкідливих способів утеплення будинків. Відразу зазначимо, що йтиметься про утеплення сільських та приміських будиночків, мешканці яких найбільше страждають від стрибків ціни палива.

Утеплити будинок означає зменшити тепловтрати огорожувальних конструкцій: вікон, стін, підлог та даху. Нижче наведено способи утеплення стін будинку на реальних прикладах. Про решту способів утеплення даху, вікон та підлог йтиметься у наступних публікаціях. Утеплення вікон, стель та стін є першочерговим завданням, бо через них випромінюється назовні значна частина теплової енергії будинку. Адже тепло поширюється від теплого до холоднішого середовища. Для розв'язання цього завдання наприкінці XX століття у світі були розроблені спеціальні пристрої та використані нові матеріали.

Утеплення стін

Фізика процесів в стінових структурах

Стінова структура повинна активно накопичувати сонячну енергію та блокувати теплову енергію, яка виходить з будинку в довкілля. Можна твердити, що ХІ століття пройде під знаком систем, які активно використовуватимуть енергію довкілля. Другим завданням є сповільнення передачі теплової енергії будинку назовні. Тепер розглянемо способи розв'язання цих двох задач.

Перша задача, накопичення енергії, була вирішена наприкінці XX століття німецькими вченими – завдяки застосуванню сонячних абсорберів, які перетворюють сонячну енергію у теплову [1]. Алюмінієва чи мідна поверхня абсорбера, на яку напилені відповідні сполуки, пропускає сонячні промені, що нагрівають поверхню металевого листа. На ньому концентрується теплова енергія, яку не випускає

назовні напилений матеріал, частота коливань якого створює для теплових променів великий опір теплопередачі. Тоді розігрітий металевий лист випромінює тепло не в довкілля, а до стіни чи всередину будинку.

Для розв'язання другої задачі англійськими та французькими вченими були запропоновані ізоляційні пористі суміші природних матеріалів, які мають велику масу, чим зумовлюється чимале накопичення енергії довкілля [2]. У поєднанні ізоляційного шару з розігрітим абсорбером значно зростає енергетичний потенціал стіни Qs, який визначається виразом:

$$Q_s = \rho \cdot V \cdot c \cdot \Delta t \text{ (кВт год)},$$

де ρ – питома вага ізолятора, V – об'єм ізолятора, c – теплоємність ізолятора, Δt – температура ізоляційного шару.

Отже, чим більша температура абсорбера, тим більше енергії накопичує теплоізоляційний шар. Але це ще не всі переваги масивного пористого ізолятора. На основі вищесказаного можна зробити такі висновки: тепловий потік, який створюється абсорбером в тілі ізолятора, рухається дуже повільно, що свідчить про великий опір теплопередачі цієї пористої суміші. Час його проходження через 15-сантиметровий шар ізолятора становить 12 годин. Це значить, що потік тратить силу поступово, зі зменшенням його температури. Потік буде рухатися, доки існує температурний градієнт. При зупинці теплового потоку ізоляційний шар починає охолоджуватися і тепловтрати зростають. Але процес охолодження стіни починається лише після 12-годинного часового зсуву. Розглянемо хід цього процесу на графіках, знятих під час дослідження теплових процесів на стіні будівлі. В ході дослідження використовувалася мікропроцесорна система обробки даних, отриманих від цифрових датчиків.

На рис. 1 зображена структура стіни будинку, де 6 – прозоре накриття, 3 – сонячний абсорбер, 7 – ізоляційний

шар, 8 – цегляна стіна. Розміщення датчиків показане овалами [3].

Рис. 1. Структура стінової огорожувальної конструкції

На рис. 2 показаний тижневий графік температур на зачорненій поверхні ізоляційного шару, знятий в середині лютого 2019 року.

Рис. 2. Температурна тижнева характеристика зачорненої поверхні ізоляційної плити

Першого дня опівдні температура абсорбера досягла 80 °C. Розігрітий абсорбер нагрів зачорнену поверхню ізоляційної суміші “костриця льону–вапно” до 70 °C.

У процесі постійного прогрівання ізоляційного шару створився тепловий потік, який рушив до цегляної стіни будинку. Адже градієнт потоку становив $70^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C} = 50^{\circ}\text{C}$. Проте швидкість потоку була мінімальною, бо відбувалося пошарове наповнення теплом ізолятора, густина якого становила 350 кг/м^3 . Вночі поверхня ізоляційного шару вихолодилася до 10°C . Тим часом тепловий потік рухався до цегляної стіни впродовж 12 годин незалежно від температури поверхні зачорненої стіни. Свідченням цього є зображений на рис. 3 тижневий графік температури між ізоляційним шаром та цегляною стіною.

Рис. 3. Тижневі температури на стику ізоляційної плити та цегляної стіни

Першої доби тепловий потік нагрів поверхню цегляної стіни від $12,5$ до 17°C . Отже, першої доби відбулося скорочення тепловтрат будинку за рахунок підняття температури ізоляційного шару.

Друга доба теж виявилася сонячною. В полудень абсорбер нагрівся до 90°C , а зачорнена поверхня ізоляційного шару – до 80°C . А датчики, розміщені між цегляною стіною та ізоляційним шаром, показали зростання температури з 17 до 21°C . Третя доба була не така сонячна,

що зумовило стабілізацію температури між ізоляційним шаром та цегляною стіною на рівні 21 °С. Нарешті четвертої доби температура між цеглою та ізоляцією підвищилася до 23 °С. Це знаковий результат, бо цегляна стіна перестає випромінювати тепло, і робота котла на той час була непотрібна. Але наступні дві доби виявилися хмарними, що призвело до теплового розряджання ізоляційного шару та цегляної стіни. Нарешті сьомої доби з'явилося Сонце і наповнення теплом ізоляційного шару відновилося. Через інерційність процесу його наслідки проявилися зі значним часовим зсувом. Зважаючи на невелику ціну застосування й абсорберів та подорожчання палива, слід розвивати технології утеплення інших огорожувальних конструкцій на основі суміші костриці льону і вапна, очерету та інших природних матеріалів. Крім того, суміші вапна та костриці льону зв'язують сполуки вуглецю, отже чистять довкілля. У наступних публікації ітиметься про методи реалізації сонячних водяних колекторів на основі абсорберів Тінокс, побудову сонячних дахів та реалізацію повітряних віконних колекторів.

Література:

1. www.almeco.com.it
2. Rachel Bevan, Tom Wooly. *Proc. Nocmat 2009*, pp 1–9.
3. Юрій Дудикевич. *Автономізація будинкового опалення*. Львів, Сполом, 2017 — 40 с.

УДК 662.997+66.074

АНАЛІЗ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ СОНЯЧНОЇ СУШАРКИ

А.В. Трофименко¹, В.В. Трофименко²

¹*Кафедра двигунобудування, Дніпровський національний
університет імені Олеся Гончара, просп. Гагаріна, 72.
Дніпро, 49107, Україна, тел.: +38(097)425-62-32,
e-mail: antrof2005@gmail.com*

²*Кафедра матеріалознавства, ДВНЗ «Український
державний хіміко-технологічний університет»,
просп. Гагаріна, 8. Дніпро, 49005. Україна,
тел.: +38(056)753-58-29, e-mail: kafmat@i.ua*

У роботі розглянуто сушіння зерна, а також дотримання технологічних вимог для забезпечення цілодобового процесу сушіння. Розроблена сушарка дозволяє раціонально використовувати сонячну енергію і тепло відпрацьованого повітря задля інтенсифікації процесу сушіння. Це сприяє значній економії енергоресурсів. Наведено залежності кінетики нагрівання і сушіння зерна в сушарці, що ілюструють можливість інтенсифікації процесу за рахунок попереднього нагріву зерна. Отримані результати показали, що зі збільшенням початкової температури зерна зростає його нагрівання в усій сушильній камері, а отже, й інтенсивність процесів тепло- і масоперенесення. Розрахунки показують як важливо враховувати практику експлуатації сушарок і розробку рекомендацій щодо вдосконалення системи контролю.

Ключові слова: сонячна енергія, технологія сушіння, сушарка барабанного типу, кінетика нагрівання, температурний режим, вологість зерна.

ANALYSIS OF FACTORS AFFECTING THE EFFICIENCY OF THE SOLAR DRYER

A. Trofymenko¹, V. Trofymenko²

¹*Department of Engine Engineering. Oles Honchar Dnipro National University, Gagarin Ave., 72. Dnipro. 49107, Ukraine, tel.: +38(097)425-62-32, e-mail: antrof2005@gmail.com*

²*Department of Materials Science, SHEI "Ukrainian State University of Chemical Technology", Gagarin Ave., 8. Dnipro. 49005, Ukraine, tel.: +38(056)753-58-29, e-mail: kafmat@i.ua*

The paper considers grain drying, as well as compliance with technological requirements to ensure the round-the-clock drying process. The developed dryer allows to use rationally solar energy and heat of the fulfilled air for intensification of drying process. This achieves significant energy savings. The dependences of the kinetics of heating and drying of grain in the dryer are given, which illustrate the possibility of intensification of the process due to preheating of grain. The dependences of the kinetics of heating and drying of grain in the dryer are given, which illustrate the possibility of intensification of the process due to preheating of grain. The obtained results showed that with the increase of the initial temperature of the grain, its heating in the whole drying chamber increases, and, consequently, the intensity of the heat and mass transfer processes. Calculations show how important it is to take into account the practice of operation of dryers and the development of recommendations for improving the control system.

Keywords: solar energy, drying technology, drum dryer, heating kinetics, temperature, grain moisture.

ORCID: ¹0000-0001-5312-9658, ²0000 0002 2696 353X.

Використання сонячної енергії в технології сушіння є дуже своєчасним, а вдосконалення установок є важливою метою розвитку харчової, хімічної та інших галузей, де

використовується сушіння, адже це один з найбільш енергоємних технологічних процесів

Розроблена установка дозволяє раціонально використовувати сонячну енергію та тепло відпрацьованого повітря задля інтенсифікації процесу сушіння. *Це сприяє значній економії енергоресурсів.* [1, 2].

У роботі розглянуто сушіння зерна, а також дотримання технологічних вимог для забезпечення цілодобового процесу сушіння.

Методами моделювання виконано аналіз оптимальних режимів сушіння в зернових сушарках барабанного типу. Моделювання режимів для барабанної сушарки СЗСБ-4 із застосуванням моделі, яка реалізована на комп'ютері здійснено з використанням спеціалізованого математичного пакета MEPL. Залежність кінетики нагрівання і сушіння зерна в сушарці зображено на рис.1.

Наведені дані підтверджують, що для всіх режимів сушіння температура зерна t_z досягає максимального значення в середній частині сушильної камери, а до виходу з неї знижується на $5\div 15^\circ\text{C}$. При насінневих та продовольчих режимах максимальні значення температури близькі до гранично допустимих $t_{зд}$, що важливо враховувати в практиці експлуатації сушарок і розробці рекомендацій щодо вдосконалення системи контролю.

Навіть при насінневих режимах (рис.1, б) швидкість вологоудалення dW/dt в середній частині сушильної камери досягає допустимих значень, що може бути однією з причин погіршення якісних показників насіннєвого зерна. При продовольчих режимах (рис.1, а) внаслідок застосування більш високих температур теплоносія t_T швидкість вологовидалення збільшується до $15\div 25\%$ на годину і значно перевищує допустиму (10% на годину).

Таке інтенсивне сушіння може призводити до появи надмірних внутрішніх напружень в зернівках і розтріскування їхньої оболонки. Виконаний аналіз розкриває ряд недоліків експлуатації барабанних сушарок.

По-перше, система контролю робочого процесу сушарок недосконала. Контроль температури зерна необхідно здійснювати в зоні його максимального нагріву в сушильному барабані, яка розташована в середній частині, а не на виході. По-друге, для експлуатації сушарок рекомендовані не виправдано інтенсивні режими, при яких нагрів зерна і швидкість вологовидалення досягають гранично допустимих значень.

Рис. 1. Кінетика нагрівання і сушіння зерна: а – продовольчого призначення; б – насіннєвого

Для продовольчих режимів швидкість вологовидалення значно перевищує допустиму. Зазначені особливості в поєднанні з відсутністю надійної системи контролю над перебігом процесу нерідко ведуть до зниження якісних показників оброблюваного зерна. З цих причин барабанні сушарки в практиці експлуатації

отримують багато нарікань і в господарствах обмежено використовуються для сушіння насіннєвого зерна.

На рис. 2 наведено залежності кінетики нагрівання і сушіння зерна в сушарці, що ілюструють можливість інтенсифікації процесу за рахунок попереднього нагріву зерна. Як видно, зі збільшенням початкової температури зерна зростає його нагрівання в усій сушильній камері, а отже, й інтенсивність процесів тепло- і масоперенесення. Це підтверджується збільшенням швидкості сушіння зерна dW/dt у всіх зонах сушильного барабана. Розрахунки показують, що за рахунок попереднього нагріву зерна кратність збільшення продуктивності сушарки може скласти $1,3 \div 1,5$.

Рис. 2. Кінетика нагрівання і сушіння зерна: 1 – без попереднього нагрівання ($G_1 = 2,2$ т/год); 2 – з частковим попереднім нагріванням ($G_2 = 3,4$ т/год)

При аналізі модельних режимів з попереднім нагріванням виявлено, що температура, до якої можна нагрівати зерно обмежена. Так з наведених на рис. 2 даних видно, що при підвищенні початкової температури зерна істотно зростають швидкість сушіння dW/dt і нагрівання зерна в початкової зоні сушильного барабана.

Тому подальше збільшення початкової температури зерна обмежено досягненням їх гранично допустимих значень $t_{зд}$. Відомо, що в барабанній сушарці неможливо реалізувати розподілене управління тепловими режимами

Однак його легко можна реалізувати в сушильній лінії з декількох барабанних сушарок. Отже, аналіз стаціонарних режимів в барабанних сушарках підтверджує, що підвищення їх інтенсивності реалізується попереднім нагріванням зерна.

На рис. 3 наведені спектральні щільності зміни вологості зерна при різних формах управління робочим процесом.

Рис. 3. Спектральні щільності процесів зміни вологості зерна: 1 – на вході в камеру сушіння; 2 – на виході при ручному управлінні; 3 – на виході при автоматичному управлінні

При побудові потокової лінії, що містить кілька барабанних сушарок, зазначені показники якості виконання процесу сушіння можуть бути поліпшені [3]. Отже, оснащення сушильних агрегатів барабанного типу системою автоматичного управління дозволяє не тільки збільшити їх продуктивність, але і значно поліпшити якість виконання процесу сушіння.

Література:

1. Алексєєнко В.Г., Трофименко А.В., Трофименко В.В. Сонячна зерносушарка шахтного типу // Матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції «Розвиток бізнес-аналітики, обліку та оподаткування в умовах глобалізації, загострення енергетичних проблем». (м. Дніпро, 11-12 квітня 2019 р.) – м. Дніпро. ДНУ ім. О.Гончара.2019. – С.196–197.
2. Патент № 113773, Україна МПК F26B 3/28 Сонячна сушарка. / Мартинез Л.А., Трофименко А.В. Опубл.10.03.2017. Бюл. № 5.
3. Лебедев П.Д. Теплообменные, сушильные и холодильные установки. М.: Энергия, 1972. – 320 с.

УДК 620.92

РОЗРАХУНОК ПОЛОЖЕННЯ СОНЯЧНОЇ ПЛЯМИ НА РОБОЧІЙ ПОВЕРХНІ СОНЯЧНОЇ ТЕРМОДИНАМІЧНОЇ УСТАНОВКИ

В.М. Головка¹, Д.С. Дєлєв²

*Національний технічний університет України «Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», 03056,
м. Київ, просп. Перемоги, 37,
тел./факс: +38(044)204-95-19,
e-mail: golovkovm@ukr.net*

*Інститут відновлюваної енергетики НАН України,
вул. Г. Хоткевича, 20а, м. Київ, 02094, Україна, тел./факс:
+38(044)206-28-09, e-mail: www.ive.org.ua*

*В роботі розглянуто спосіб знаходження положення
сонячної плями на площині для оцінки траєкторії її руху
впродовж року.*

Ключові слова: сонячні кути, двигун Стірлінга,
лінза Френеля.

CALCULATION OF THE POSITION OF THE SUN SPOT ON THE WORKING SURFACE OF THE SOLAR THERMODYNAMIC INSTALLATION

V.M. Golovko¹, D.S. Dieliev²

*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv
Polytechnic Institute", 03056, Kyiv, 37, Peremohy Ave.,
tel/fax: +38(044)204-95-19, e-mail: golovkovm@ukr.net*

*Institute of Renewable Energy of the National Academy of
Sciences of Ukraine, vul. G. Khotkevycha, 20a, Kyiv, 02094,
Ukraine, tel./fax: +38(044)206-28-09,
e-mail: www.ive.org.ua*

The paper considers the method of finding the position of the sunspot on the plane to assess the trajectory of its movement during the year.

Keywords: *Fresnel lens, Stirling engine, solar angles.*

ORCID: ¹0000-0003-0195-9654, ²0000-0002-8049-0163.

Одним з прикладів автономної сонячної термодинамічної системи може слугувати використання двигуна Стірлінга для отримання електричної енергії. Ідея і реалізація подібних систем не нова, і протягом XX і XXI століть розроблялись системи, які використовували сонячні концентратори, що спрямовували потік сонячного випромінювання на ресивер двигуна Стірлінга. Ресивер в цьому разі розміщується у фокусі концентратора, але можливі й інші конфігурації таких систем. Одна з ідей полягає у використанні лінз Френеля як елемента, що концентрує випромінювання на ресивері.

Насамперед задача полягає у визначенні траєкторії самої сонячної плями за робочою повернею ресивера. Дослідження руху плями розділено на три етапи:

- створення математичної моделі руху сонячної плями без урахування оптичних властивостей лінз;
- визначення масиву точок, які відповідатимуть річному ходу сонячної плями по ресиверу без урахування оптичних властивостей лінз;
- корекція отриманого масиву з урахуванням оптичних властивостей лінз.

На першому етапі необхідно розробляється математична модель, за допомогою якої оцінюється положення сонячної плями в будь-який момент часу.

Рис. 1. Сонячні кути

На рис. 1 схематично зображено сонячні кути відносно положення уявної лінзи на певній висоті h і в певний час. При розбитті схематичного зображення на декілька трикутників отримані такі співвідношення для знаходження координат сонячної плями в залежності від часу і положення Сонця

$$x_0 = -\frac{h \cdot \sin z}{\tan \alpha}$$

$$y_0 = -\frac{h \cdot \cos z}{\tan \alpha}$$

За умови, що поверхня, на яку падає сонячне випромінювання, є горизонтальною, значення кута між

горизонтальною площиною спостереження і сонячними променями складе:

$$\sin \alpha = \sin \varphi \sin \delta + \cos L \cos \delta \cos \omega$$

де φ – широта місцевості, δ – кут схилення Сонця, ω – часовий кут.

Сонячний азимутальний кут в такому разі становитиме:

$$\cos z = \frac{\sin \alpha \sin \varphi - \sin \delta}{\cos \alpha \cos \varphi}$$

Результати обчислень за цими виразами дозволяють отримати конфігурацію поверхні, що протягом року сприймає на себе сонячне випромінювання за умови статичності системи. На третьому етапі в математичну модель додаються оптичні властивості лінзи Френеля і досліджується зміна конфігурації поверхні, що утворюється ходом сонячної плями, в залежності від параметрів лінзи.

УДК 620.91;621.47

INFLUENCE OF WIND LOAD ON DYNAMIC CHARACTERISTICS OF ELECTROMECHANICAL SPS TRACKING SYSTEMS

A.M. Penjiyev¹, S.G. Nazarov²

*Turkmen State Institute of Architecture and Civil Engineering,
State Energy Institute of Turkmenistan,
(Turkmenistan, Ashabad, Mary)*

The influence of wind load on the dynamic characteristics of electromechanical systems for automated tracking of a solar photovoltaic station to improve energy efficiency in the desert zone of the Northern Karakum has been investigated and calculated.

Key word: *Solar photovoltaic station, wind load, dynamic characteristics of electromechanical tracking systems, Karakum, Turkmenistan.*

The territory of Turkmenistan 80% is occupied by the Karakum desert, providing these sparsely populated areas with electricity is an urgent problem [2].

The priority of power supply is the use of solar and wind energy.

The use of autonomous solar power plants in these regions is cost-effective. To improve the energy efficiency of the installations, automated systems for tracking the Sun are used.

When creating automated autonomous power solar stations, the question of wind load on the electrical mechanisms of movement of tracking devices arises.

The purpose of the research work is to determine the effect of wind load on the dynamic performance of electromechanical tracking systems to improve the energy efficiency of a solar photovoltaic station (SPS) in the desert zone of the Northern Karakum.

The objective of the study is to determine the size of the

drive shaft of the engine at the moment of inertia of the movement mechanisms and the value of the additional moment from the action of the wind load for autonomous photovoltaic power plants.

In the developed tracking design of the SES, the moment of inertia of the mechanism changes, namely, a change in the position of the frame from the solar module (SM) in elevation leads to a change in the moment of inertia in azimuth of the Karakum desert zone. To do this, it is required to calculate the moment of inertia of the mechanism for the power of SES-0.5 and SES-1, in which two and four CM are installed. The moment of inertia of the mechanism by the angle of the masses of the frame with two SM for SPS-0.5 was determined by the formula for the location of the desert zone of the Karakum Desert [1-3].

The mechanical structure of the SES consists of: a fixed and a movable base driven by an electromechanical system of azimuthal rotation; two racks and a frame with two SM (a) and four CM (b) fixed on it, driven by an electromechanical tracking system at different angles. The moment of inertia for the azimuthal actuator of tracking is calculated at two positions of the SM frame: a - under the corner of the frame with the CM is in a vertical position, that is, at an angle of 0 degrees; b - under the corner of the frame with the CM is in a horizontal position at an angle of 90 degrees.

Conclusions:

1. Calculation of the change in the moment of inertia of the azimuthal tracking mechanism when changing the position of the frame with the CM in elevation showed that the moment of inertia of the movement mechanism in the limit changes twice when the position of the frame in elevation is changed by 90 degrees.

2. Calculation of the additional load torque on the actuator under the action of wind showed that when using a stepper motor ШД-5Д, having a nominal torque of 0.4 N·m, in the SES-0.5 installation at a wind speed of 20 m / s, the moment from the action the wind load in the azimuth displacement system exceeds the maximum moment of the stepper motor by 1.2

times, and at a speed of 25 m / s - by 1.9 times.

Bibliographic list:

1. Arzhanov, K.V. Two-coordinate system for pointing solar batteries to the Sun / K.V. Arzhanov // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. - 2014. - T. 324. - No. 4. - S. 139-146.
2. Strebkov D.S., Penjiyev A.M., Mamedsakhmatov B.D. Development of solar energy in Turkmenistan: monograph / D.S. Strebkov, A.M. Penjiyev, B.D. Mamedsahatov. - M.: GNU VIESH, 2012.- 498 p.
3. Voldek, A.I., Popov V.V. Electric cars. AC machines - SPb.: Peter, 2008.-350 p.

УДК 621:662.9:697

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ СФЕРИЧНОГО СОНЯЧНОГО КОЛЕКТОРА

Ю.М. Мацевитий¹, академік НАН України,
Я.М. Буштець²

¹Інститут проблем машинобудування ім А.М. Підгорного
НАН України, вул. Дм. Пожарського, 2/10, м. Харків, 61046,
Україна

²тел.: +38(095)596-71-99, ²e-mail: bushtetsyana@gmail.com

У роботі наведено конструкцію сферичного сонячного колектора (СК). Розраховано кількість сонячної енергії, яку сприймає сферичний СК протягом року. Визначено оптимальний кут нахилу сферичного колектора, який залежить від географічної широти місцевості, на якій він встановлений.

Ключові слова: сферичний сонячний колектор, температурні характеристики теплоприймача, кут нахилу колектора.

ENERGY POTENTIAL OF SPHERICAL SOLAR COLLECTOR

Yu.M. Matsevity¹, **Y.M. Bushtets²**

The paper presents the design of a spherical solar collector (SC). The amount of solar energy perceived by the spherical SC during the year is calculated. The optimal angle of inclination of the spherical collector, which depends on the latitude of the area in which it is installed, is determined.

Keywords: spherical solar collector, temperature characteristics of the heat sink, collector angle.

ORCID: ¹0000-0002-6127-0341, ²0000-0002-3867-7362.

Енергоефективність будинку є важливим аспектом при будівництві житла. Тому було розроблено принципово новий за формою СК у вигляді сфери [1]. Колектор містить теплоприймач 1 (Фіг. 1, рис. 1), що виконаний з навитої по сферичній гвинтовій лінії єдиної металевої трубки, на яку нанесено селективне світлопоглинальне покриття. Теплоприймач 1 розміщено всередині вакуумованої скляної сфери 2, що складається з двох півсфер, герметично встановлених у профільній прокладці 3 з вакуумної гуми. Підвідний і відвідний патрубки теплоприймача 1 герметично ущільнено у втулках 4, також виконаних з вакуумної гуми. Усередині профільної прокладки 3 (Фіг. 2, рис. 1) вбудовано опукле дзеркало 5 у вигляді кульового пояса з радіусом R , що дорівнює радіусу внутрішньої сфери теплоприймача, та висотою, що дорівнює висоті профільної прокладки. З внутрішньої порожнини сфери 2 відкачано повітря зі ступенем вакууму, що зазвичай досягається в промисловості. Сфера 2 з розміщенням всередині теплоприймачем 1, профільною прокладкою 3 і втулками 4 встановлена вертикально в двоплечовому кронштейні 6. Оскільки кривизна скляної сфери запропонованого колектора в десятки разів менше кривизни скляних трубок плоского сонячного колектора, знижується відбивальна і підвищується пропускну здатність сфери до сонячних променів.

Сферична форма не вимагає використання будь-яких додаткових механізмів, щоб слідувати за рухом сонця. Завдяки такій формі колектор постійно "стежить" за ним, тобто фактично однаково сприймає променисту енергію сонця, коли воно проходить небосхилом на різній висоті й під різними кутами азимута.

Доцільним буде використання сферичного СК для гарячого водопостачання, опалення, кондиціонування повітря та для інших технологічних потреб. З порівняння експериментальних зразків випливає, що площа під установку сферичного колектора майже в 4 рази менше площі під монтаж плоского колектора. За допомогою чисельного інтегрування разом з апроксимацією були визначені: кількість тепла, одержуваного сферичним СК за рік, що становить 15 0273 Вт·год (для м. Харків) та оптимальне значення кута нахилу, що становить 135° [2].

Література:

1. Сферичний сонячний колектор: пат. 105112 Україна. № 201302194; заявл. 21.02.2013; опубл. 10.04.2014, Бюл. № 7 (кн. 1). 3.136 с.
2. Ценципер А.И., Костиков А.О., Сафонов Н.А., Буштец Я.Н. К ориентации сферических солнечных коллекторов. Проблемы машинобудування, 2015, Т. 18, № 3. С. 31–36.

УДК 544.52:621.352

ЕЛЕКТРОДИ НА ОСНОВІ НАНОКОМПОЗИТУ $\text{BiVO}_4/\text{WO}_3$ ДЛЯ ФОТОЕЛЕКТРОХІМІЧНОЇ СИСТЕМИ З ОТРИМАННЯМ ВОДНЮ

**С.С. Фоманюк¹, В.О. Смілик², І.А. Русецький³,
М.О. Данилов⁴, Г.Я. Колбасов⁵**

*^{1,2,3,4,5} Інститут загальної та неорганічної хімії
ім. В.І. Вернадського НАН України, 03142 Київ,
просп. Палладіна, 32/34, Україна, e-mail: r2_igor71@ukr.net*

У роботі досліджені перспективні наноккомпозити та наногетероструктури для напівпровідникових електродів з метою використання як електродів фотоелектрохімічної комірки для отримання H_2 . Отримані електроди випробувані в макеті фотоелектрохімічної комірки з $\text{BiVO}_4 / \text{WO}_3$ фотоанодом та Pt катодом.

Ключові слова: *наноккомпозит $\text{BiVO}_4/\text{WO}_3$
фотоелектрохімічна комірка, сонячне випромінювання,
водень.*

ELECTRODES BASED ON $\text{BiVO}_4/\text{WO}_3$ NANOCOMPOSITE FOR PHOTOELECTROCHEMICAL SYSTEM WITH HYDROGEN PREPARATION

**S. Fomanyuk¹, V. Smilyk², I. Rusetskyi³, M. Danilov⁴,
G. Kolbasov⁵**

*^{1,2,3,4,5} Vernadskii Institute of General and Inorganic Chemistry
of the Ukrainian NAS, 32-34 prospekt Palladina,
Kyiv, Ukraine, 03142*

The paper investigates the characteristics of promising nanocomposites and nanoheterostructures for semiconductor electrodes for use as electrodes of a photoelectrochemical cell

to obtain H_2 . The obtained electrodes were tested in a mock-up of a photoelectrochemical cell with $BiVO_4/WO_3$ photoanode and Pt cathode.

Keywords: $BiVO_4/WO_3$ nanocomposit
photoelectrochemical cell, solar radiation, hydrogen.

ORCID: ¹0000-0001-9844-8855, ²0000-0002-3918-3575,
³0000-0002-3196-190X, ⁴0000-0002-3765-9250,
⁵0000-0001-9208-2135.

Фотокаталітичне отримання водню в фотоелектрохімічних елементах – привабливий метод перетворення сонячної енергії в чисте і поновлюване водневе паливо. Досі TiO_2 був одним з найбільш використовуваних фотоелектродів через його доступність, довготривалу стабільність і нетоксичність. Однак широка заборонена зона і рекомбінація заряду зазвичай призводять до низької квантової ефективності TiO_2 . Тому розробка ефективних фотокаталізаторів з відгуком у видимому світлі стала предметом широких досліджень. Ванадат вісмуту ($BiVO_4$) є одним з найбільш багатообіцяльних матеріалів для ефективного фотокаталітичного виробництва водню через його відносно вузьку заборонену зону $\approx 2,4$ eV (в моноклінній фазі), відмінною фотокорозійною стабільністю й невисокою вартістю. Однак у $BiVO_4$ дуже високі рекомбінаційні втрати. Формування наноструктурованого гетеропереходу $BiVO_4$ з іншим високопровідним напівпровідниковим оксидом WO_3 є перспективним методом зменшення рекомбінаційних втрат.

Плівки $BiVO_4$ отримували при анодному струмі $0,5$ mA/cm^2 з кислого (HNO_3) електроліту $pH = 4,7$ на основі 10 mM $Bi(NO_3)_3$ та 35 mM $VOSO_4$. Осадження плівок WO_3 проводили з перекисно-кислого розчину $0,1$ моль/л Na_2WO_4 , $0,2$ моль/л H_2O_2 та H_2SO_4 ($pH = 1,1$) катодним струмом $1,5$ mA/cm^2 . Також з насиченого розчину гліцерину та $NaWO_4$, з додаванням сірчаної кислоти, отримували

колоїдні розчини триоксиду вольфраму. Для отримання нанокompозиту колоїдний розчин WO_3 додавали до розчину осадження BiVO_4 . Отримані плівки $\text{BiVO}_4/\text{WO}_3$ відпалювались на повітрі три години при 500°C .

Аналіз рентгенограм плівок BiVO_4 та $\text{BiVO}_4(\text{WO}_3)$ після термообробки показав, що вони складаються переважно з моноклінних BiVO_4 та WO_3 .

Рис. 1. Спектральні залежності квантового виходу фотоструму для плівки BiVO_4 (1), гетероструктури (2) і композиту BiVO_4 з WO_3 (3)

Відомо, що формування гетеропереходу BiVO_4 з WO_3 , де обидві фази мають моноклінну модифікацію, сприяє підвищенню фотокаталітичної активності поверхні, поліпшує поділ зарядів і перешкоджає процесам рекомбінації, що приводить до росту фотопотенціалу і квантового виходу фотоструму таких електродів (рис. 1) [1–3].

На основі вольт-амперних характеристик під освітленням (рис. 2) встановлено, що зі зміщенням потенціалу до $+1\text{В}$ відн. х.с.е. густина струму послідовно збільшується спочатку в гетероструктури $\text{BiVO}_4/\text{WO}_3$, потім у композитній плівки $\text{BiVO}_4/\text{WO}_3$ у порівнянні зі струмом плівок BiVO_4 .

Рис. 2. Вольт-амперні характеристики плівок при освітленні лампою денного освітлення (потужність освітлення 100 мВт/см²): темновий струм (1), BiVO₄ (140 нм) (2), гетероструктура WO₃/BiVO₄ (500/140 нм) (3) композит 5 % WO₃ з BiVO₄ (4) в 0,1 М Na₂SO₄

Фотоелектрод на основі композиту BiVO₄/WO₃ продемонстрував стабільні фотоструми ~ 1 мА/см² при потенціалі 1,2 В щодо ХСЕ в стабільному 0,5 М Na₂SO₄.

Отримані електроди були випробувані в макеті фотоелектрохімічної комірки для отримання водню, яка має стандартну трьохелектродну схему, з фотоанодом та Pt катодом і Ag/AgCl електродом порівняння. Для підтвердження того, що отриманий фотострум створюється в результаті процесу розщеплення води, фотоелектрохімічна комірка була загерметизована та безпосередньо пов'язана з газовим сенсором на H₂. При освітленні фотоаноду BiVO₄/WO₃ світлом ксенонової лампи ДКСШ-500 потужністю 100 мВт/см², сенсор водню зафіксував наявність водню в об'ємі комірки з концентрацією ~ 5 об.%. Отримані результати свідчать про те, що синтезовані електродні матеріали, на основі нанокompозитів та наногетероструктур BiVO₄/WO₃,

перспективні для використання у фотоелектрохімічних системах отримання "сонячного водню".

Використання фотоанодів для розкладання води та отримання H_2 в робочих фотоелектрохімічних комірках, найімовірніше, потребуватиме їх роботи в умовах концентрованого сонячного світла. Концентрація світла, навіть помірна, може значно зменшити кількість дорожчих матеріалів, використовуваних в комірці, і, таким чином, знизити загальну вартість системи. Використання лінз Френеля з короткою фокусною відстанню дозволяє створювати плоскі архітектури фотоелектрохімічних пристроїв, в яких фотоанод і протівоелектроди розташовані максимально близько один до одного.

Література:

1. Smilyk V.O., Fomanyuk S.S., Kolbasov G.Ya., Rusetskyi I.A., Vorobets V.S. Electrodeposition, optical and photoelectrochemical properties of $BiVO_4$ and $BiVO_4/WO_3$ films // Research on chemical intermediates, – 2019. –V.45, №8 – Т №45 – Р. 4149–4161.
2. Baek J.H., Kim B.J., Han G.S. et al. $BiVO_4/WO_3/SnO_2$ Double-Heterojunction Photoanode with Enhanced Charge Separation and Visible-Transparency for Bias-Free Solar Water-Splitting with a Perovskite Solar Cell // ACS Appl. Materials & Interfaces. – 2017 – V. 9 – P. 1479.
3. Pihosh Y., Turkevych I., Mawatari K. et al. Photocatalytic generation of hydrogen by core-shell $WO_3/BiVO_4$ nanorods with ultimate water splitting efficiency // Scientific Reports. – 2015. – V. 5 – P. 11141.

УДК 621.31

ПРОБЛЕМИ ТА ШЛЯХИ ВИРІШЕННЯ БАЛАНСУВАННЯ ВДЕ

Б.Є. Ісай

*Факультет електроенерготехніки та автоматики
НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря
Сікорського», вул. Політехнічна, 37, навчальний корпус 20
м. Київ 03056, Київ, Україна*

*Дослідити перспективи вирішення проблем
балансування відновлюваних джерел енергії найбільш
оптимальними шляхами для української енергомережі.*

Ключові слова: *балансування, акумулювання, газові
турбіни.*

PROBLEMS AND WAYS TO SOLVE RES BALANCING

B.Y. Isai

*Faculty of Electric Power Engineering and Automatics,
NTUU «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»,
Politechnichna street, 37, Kyiv, Ukraine*

*Investigate the prospects for solving the problems of
balancing renewable energy sources in the most optimal ways
for the Ukrainian power grid.*

Keywords: *balancing, accumulation, gas turbines.*

ORCID: 0000-0001-6089-3945.

Станом на кінець 2020 року, за даними НЕК «Укренерго», встановлена потужність відновлюваних джерел енергії склала майже 6,5 ГВт. З яких 80 % – це сонячна генерація, яка вирізняється тим, що є генерацією з найбільшим перепадом вихідної потужності протягом доби.

За даними, наведеними на сайті НЕК «Укренерго», на момент написання статті, вони прогнозують виробництво з СЕС в денні години на рівні 2,7 ГВт, і 0 – в нічні години. Це очікуваний небаланс, який виникає. І з подальшим збільшенням встановлених потужностей він буде збільшуватись.

Є декілька шляхів вирішення таких проблем. Для світу вони вже не нові, але Україна лише починає працювати з деякими з них.

Передусім найпростішим шляхом балансування є гідроакумулювальні електростанції. Але їх ресурс є вичерпним, і наразі світ розглядає більш сучасні шляхи. Одним з них є, "energy storage". Це просто акумулятори, які накопичують електроенергію, коли є надлишок, і віддають, коли це необхідно. Одним з перших прикладів таких сховищ став проєкт в Австралії, з використанням літій-іонних елементів. А зараз схожий проєкт реалізують у Техасі, де саме в цей період теж виникли проблеми з електрозабезпеченням. Частково саме через неспроможність мережі забезпечити сталий виробіток електроенергії з джерел ВДЕ. Приклад застосувань таких сховищ є і в Європі.

Термін корисної експлуатації типової системи зберігання може досягати 30 років при відповідному графіку збільшення / заміни акумулятора та надійному управлінні та програмному забезпеченні.

Єдина проблема – це питання ціни, літій-іонні елементи дорогі. Але при правильному державному стимулюванні такі сховища могли б продавати енергію за "зеленим" тарифом і будувати такі об'єкти було б цікаво інвесторам.

Інший приклад генерацій, який закладений в програму "Звіту з оцінки відповідності (достатності) генеруючих потужностей для покриття прогнозованого попиту на

електричну енергію та забезпечення необхідного резерву", є високоманеврові потужності генерації зі швидким стартом (вихід на генерацію до 15). Такими можуть виступити сучасні газові турбіни. Наприклад, енергетичне обладнання GE підходить для пікової генерації, адже аеродеривативні газові турбіни GE здатні виконувати множинні пуски й зупинки. Вони досягають 44 % ефективності простого циклу і 56 % – комбінованого циклу зі швидким запуском (від 0 до повного навантаження всього п'ять хвилин), забезпечують високу швидкість підйому потужності (50+ МВт за хвилину) і значну кількість циклів.

Ці два приклади балансування є найбільш відпрацьованими у світі на сьогодні, й необхідно, щоб цей напрямок розвивався і в Україні, адже у світі вже є приклади, коли саме через неспроможність балансування мережі, нестачу потужності, споживача довелося відмикати.

Література:

1. „Звіт з оцінки відповідності (достатності) генеруючих потужностей для покриття прогнозованого попиту на електричну енергію та забезпечення необхідного резерву", Взято з <https://www.nerc.gov.ua/?news=10017>

2. Стаття Віталія Корнієнко, Дмитра Сидоров. Видання Expro. Взято з <https://expro.com.ua/statti/energy-storage-u-podnann-z-vde-mojut-ukladati-dogovori-dlya-prodaju-ee-po-prognozovanomu-grafku>

3. Статистичні дані НЕК «Укренерго». Прогноз виробництва з ВДЕ на добу наперед:

<https://ua.energy/peredacha-i-dyspetcheryzatsiya/dyspetcherska-informatsiya/prognoz-vyrobnystva-vde/#1615280787520-36f5265f-3bdb>

4. НЕК «Укренерго». (12.2020). Встановлена потужність енергосистеми України на 12/2020. Взято з <https://ua.energy/vstanovlena-potuzhnist-energosityemy-ukrayiny/>

УДК 544.022.822

INVESTIGATION OF PROTON CONDUCTIVITY OF THE ORGANIC-INORGANIC MEMBRANES FOR FUEL CELLS

M.M. Zhyhailo¹, I. Yu. Yevchuk²

*Department of Physical Chemistry of Fossil Fuels
L.M. Lytvynenko Institute of Physico-Organic Chemistry and
Coal Chemistry NAS of Ukraine,
Lviv, 70053 Ukraine, email: zhyhailo.mariia@gmail.com*

Proton conductivity of the organic-inorganic membranes on the basis of acrylic monomers and sol-gel precursors 3-methacryloxypropyl trimethoxysilane and tetraethoxysilane was investigated.

Keywords: organic-inorganic membrane, proton conductivity, fuel cell.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОТОННОЇ ПРОВІДНОСТІ ОРГАНО-НЕОРГАНІЧНИХ МЕМБРАН ДЛЯ ПАЛИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

М.М. Жигайло¹, І.Ю. Євчук²

*Відділення фізико-хімії горючих копалин Інституту
фізико-органічної хімії і вуглехімії ім. Л.М. Литвиненка
НАН України,
м. Львів, 79053, Україна, email: zhyhailo.mariia@gmail.com*

Досліджено протонну провідність органо-неорганічних мембран на основі акрилових мономерів та золь-гель прекурсорів 3-метакрилоксипропіл-триметоксисилану та тетраетоксисилану.

Ключові слова: органо-неорганічна мембрана, протонна провідність, паливний елемент.

ORCID: 0000-0002-8961-9138¹, 0000-0003-0035-7336².

Proton conductive membranes are the key elements of fuel cells, which are considered at present as effective and clean energy sources [1]. The critical requirement for membrane materials is proton conductivity.

Proton conductive membranes were synthesized *via* UV-initiated free radical copolymerization of acrylic monomer mixture (acrylonitrile (AN), acrylic acid (AA), 2-acrylamido-2-methylpropane sulfonic acid (AMPS) and *N,N'*-methylene-bis-acrylamide (MBA) as a cross-linker) with simultaneous sol-gel process of the added sol-gel system based on tetraethoxysilane and 3-methacryloxypropyltrimethoxysilane taking place *in situ*. 2,2-dimethoxy-1,2-diphenylethane-1-on (DMPA) was used as photoinitiator [2]. The ratio between the components of the feed composition was as follows: AN : AA : AMPS : MBA : DMPA = 60 : 10 : 30 : 3 : 2 wt %. The content of the added sol-gel system was 50 wt %.

The four-point-probe method was used for the proton conductivity measurement in a temperature- and humidity-controlled chamber (FuMaTech GmbH, Germany). The proton conductivity of the membrane was calculated by the following formula:

$$\sigma = \frac{l}{w \times d \times R},$$

where l is the distance between electrodes (1 cm), R is the measured resistance, w is the width and d is the thickness of the sample.

Fig. shows the results of the membrane proton conductivity measurements at different relative humidity (RH). The synthesized membranes demonstrated high level of proton conductivity – $6.2 \cdot 10^{-2}$ - $1.1 \cdot 10^{-2}$ mS cm⁻¹, since hybrid organic-inorganic membranes are facilely constructed to efficient pathways for continuous transfer of protons provided by –SO₃H groups of AMPS. As one can see from Fig. 1, the values of the membrane proton conductivity sufficiently depend on RH.

Fig. Proton conductivity of the membrane, equilibrium time 2 hours

Hence, the synthesized cross-linked polyacrylic/silica membranes possess reasonably good proton conductivity, so, they are promising candidates for further investigations with the goal to obtain non-fluorinated inexpensive proton conductive membranes for fuel cells.

Acknowledgement. The author Zhyhailo M.M. is grateful to DAAD program for financial support (Research Grants for Doctoral Candidates and Young Academics and Scientists 2019/20, program ID 91735754).

References:

1. Esmaeili, N.; Gray, E.M.; Webb, C.J. Non-fluorinated polymer composite proton exchange membranes for fuel cell applications – A Review. *ChemPhysChem* 2019. Vol. 20 (16). – P. 2016–2053.
2. Zhyhailo M., Yevchuk I., Yatsyshyn M. [et al.] Preparation of polyacrylate/silica membranes for fuel cell application by in situ UV polymerization. *Chemija* 2020. Vol. 31. – P. 247–254.

УДК 001:502

АКТИВНИЙ ЕНЕРГОНЕЗАЛЕЖНИЙ БУДИНОК

Н.О. Пасічник

*Факультет електроенерготехніки та автоматики
НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря
Сікорського», вул. Політехнічна, 37, навчальний корпус 20
м. Київ 03056, Київ, Україна, тел: +38(096)059-31-75,
e-mail: narzan147@gmail.com*

*У роботі наведено інформацію про технології, які
використовуються при будівництві активних будинків.
Зроблена порівняльна оцінка звичайних та активних
будинків.*

Ключові слова: енергоне залежність,
теплоізоляція, екологія, енергія.

ACTIVE NON-ENERGY HOUSE

N.O. Pasichnyk

*Faculty of Electric Power Engineering and Automatics,
NTUU «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»,
Politechnichna street, 37, Kyiv, Ukraine, 03056*

*The paper provides information about the technologies
used in the construction of active houses. A comparative
assessment of ordinary and active buildings.*

Keywords: energy independence, thermal insulation,
ecology, energy.

ORCID: 0000-0003-0101-3180.

Сучасний стан навколишнього середовища вимагає
від людства термінових заходів щодо зменшення і згодом
повного усунення забруднення повітря шкідливими

речовинами, утвореними при спалюванні вугілля чи нафти для отримання електрики або тепла для будинків.

Вчені порахували, що 40 % всієї електроенергії в Європі споживають будинки [1]. Розв'язати цю проблему може система активного будинку. Активний будинок – це енергоефективна будівля, яка самостійно виробляє енергію для власних потреб і відповідає найвищим стандартам енергозбереження.

Будинки в Європі залежно від спожитої енергії поділяють на 5 класів [3]:

1. Будівлі побудовані до 1970 року.
Енергоспоживання – $300 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2 \cdot \text{рік}$.

2. Будівлі побудовані до 2000 року.
Енергоспоживання – $150 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2 \cdot \text{рік}$.

3. «Будівля низького споживання енергії»
Енергоспоживання – $60 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2 \cdot \text{рік}$.

4. «Пасивна будівля» Будівля побудована з використанням високоефективних теплоізоляційних матеріалів, енергоспоживання становить $15 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2 \cdot \text{рік}$.

5. «Активна будівля». Будівля побудована за новітніми технологіями з використанням відновлюваних джерел енергії, енергоспоживання якої становить $0 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2 \cdot \text{рік}$.

Активний будинок поєднує в собі систему «розумного будинку», обладнаного високотехнологічними пристроями, та систему «пасивного будинку», з використанням сучасних енергоощадних технологій та високоефективних теплоізоляційних матеріалів. Комбінація енергозбереження та відновлюваних джерел енергії, дає змогу не тільки забезпечувати теплом та електроенергією власне помешкання, а й продавати її надлишок у центральну мережу [2].

Активний будинок є незалежною енергосистемою. Він не потребує витрат на підтримання оптимальної температури повітря та води. Основний принцип енергоефективного будинку полягає у використанні всіх можливостей для збереження тепла [1].

Концепція сучасних високоефективних будинків:

- Використання склопакетів з низьким показником тепловіддачі;
- Високоякісна теплоізоляція всієї будівлі;
- Поєднання архітектурних новинок з новітніми технологіями;
- Герметизація будівлі.

Фахівці підраховували, що впровадження технології активного будинку в Європі до 2050 року дозволить скоротити викиди вуглекислого газу на 2 мільярди кубічних метрів. Адже так звані нові будівлі споживають 150 кВт·год/м²·рік, в порівнянні з нульовим споживанням активного будинку.

Використання нових технологій робить активний будинок на 15–20 % дорожче звичайного будинку, але експлуатаційні витрати менші на 90 % [1]. Це дає змогу швидко окупити початкові витрати. Ще однією перевагою активних будинків є комфорт й екологічна сприятливість для людини. В такому будинку автоматично підтримується оптимальна вологість, чистота повітря й температура. Адже людина близько 60 % свого життя проводить в приміщенні.

Література:

1. Passipedia – The Passive House Resource. (21 грудня 2020). Retrieved from <https://passipedia.org/>.
2. АКТИВНІ БУДИНКИ – ЕНЕРГОЕФЕКТИВНЕ ЖИТЛО МАЙБУТНЬОГО. (10 вересня 2019). Retrieved from <http://vesrda.gov.ua/news/4788-aktivn-budinku-energoefektivne-zhitlo-maybutnogo.html>.
3. В Європі будівництво "пасивних будинків" стає нормою. (12 травня 2017). Retrieved from <https://gazobeton.org/uk/node/347>.

UDC 620.92

TYPES OF CHARGING STATIONS FOR CHARGING ELECTRIC VEHICLES

A. Tereshenko

*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv
Polytechnic Institute", 37, Peremohy Ave., Kyiv, 03056,
Ukraine, e-mail: tktereshenko@gmail.com*

The types of charging power stations for charging electric vehicles are described. Technologies that can bring the charging time of an electric vehicle closer to the time of refueling a car with an internal combustion engine.

Keywords: *electric cars, chargers for electric vehicles.*

ТИПИ ЗАРЯДНИХ СТАНЦІЙ ДЛЯ ЗАРЯДКИ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

A. Терешенко

*Національний технічний університет України "Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського",
проспект Перемоги, 37, Київ, 03056, Україна,
e-mail: tktereshenko@gmail.com*

Описано типи зарядних електростанцій для зарядки електромобілів. Технології, які можуть наблизити час зарядки електромобіля до часу заправки автомобіля з двигуном внутрішнього згоряння.

Keywords: *електромобілі, зарядні станції для електромобілів.*

ORCID: 10000-0002-0627-688X.

More and more electric vehicles can be seen on the roads today. The rise in fuel prices, active policies of countries, environmental problems, ease of maintenance and an ever-

lower price - make electric transport super popular. No one doubts that the whole world will switch to electric transport in the coming decade. Most developed countries, as well as automakers, plan to completely abandon internal combustion engines by 2030. Despite the large number of advantages of electric vehicles, one of its main problems is the speed of battery charging.

Almost any electric vehicle can be charged from a household outlet. A single-phase 220V AC outlet can charge a Tesla Model S 75D in about 21 hours, allowing you to drive 500 km. This charging method is not practical and is a backup, so that it can be recharged in any electrified place. It can also be charged using a 380V AC 3-phase socket and will take 7 hours to charge. This is a good option for overnight charging. But this is not enough, because due to the charging time, electric cars cannot compete with diesel or gasoline cars, in which the refueling time is 10-15 minutes. Therefore, manufacturers are developing fast chargers. There are AC and DC fast chargers.

The most common type 2 AC charging connector. Most charging stations with this connector have a power of 22 kW and a maximum charging current of 32 A. The batteries themselves are charged with direct current, so the electric vehicle has a built-in charger that converts the alternating current coming from charging into direct current and adjusts the charging parameters. Placing the main charger assemblies on board an electric vehicle limits the AC charging speed. The higher the charging speed, the higher the amperage. In turn, this entails an increase in the mass and dimensions of the electronic components responsible for charging. Also, increasing the charging speed will require better heat dissipation from electronic components. Restrictions on weight, dimensions and heat dissipation capabilities in a passenger electric vehicle have determined the charging current limit of 32 A. It is typical for most mass-produced electric vehicles. The design of the AC station is extremely simple. It has systems for protecting both the electric vehicle

and the electrical network from emergency situations, and, if necessary, a billing system that allows you to sell the charging service.

Direct current charging is much more efficient when the charging station is connected directly to the battery. All components of the charger are located outside the vehicle. For DC charging, CHAdeMO, CCS and Tesla Type 2 connectors are used. Charging stations with CHAdeMO and CCS connectors have a power of 50 kW. This power allows you to charge an electric car for a run of 500 km in 1.5 hours. The Tesla Type 2 connector has Tesla Supercharger charging stations specially designed for electric vehicles of this brand. The operating voltage of such a station is 480 V, the power can reach 150 kW. The Tesla Model S 75D electric car, already mentioned as an example, is charged from a similar station at 80% in half an hour. Disadvantages of DC charging stations: the high cost of the charging station (from \$ 5,000, the price of an AC charging station from \$ 1,500), like any fast charging, reduces the battery life, for this fast charging is limited to 80% of the battery capacity.

Every year, the charging speed of electric vehicles is rapidly approaching the speed of refueling conventional cars, as technology is actively developing. In the future, it is planned to increase the standard battery voltage from 450V to 900V, and the use of supercapacitors is also expected. Therefore, the development of AC and DC charging stations is promising.

References:

1. C. Dericioglu, E. Yirik, E. Unal, M.U. Cuma, B. Onur, M. Tumay. A review of charging technologies for commercial electric vehicles, IJAAT 2018.

УДК 620.91

ВІТРОВА ЕНЕРГЕТИКА УКРАЇНИ: ПОДАЛЬШИЙ РОЗВИТОК СЕКТОРА НА РИНКОВИХ УМОВАХ

А.Є. Конеченков, Голова правління ГС "Українська
вітроенергетична асоціація",

К.О. Книш, магістр, Керівник аналітичного
департаменту ГС "Українська вітроенергетична
асоціація"

Громадська Спілка "Українська вітроенергетична
асоціація", Бізнес-центр Spaces Maidan Plaza:
Майдан Незалежності, 2, Київ, 01012, Україна,
тел.: +38(044)223-29-96, e-mail: uwea@i.ua,
<http://uwea.com.ua/ua/>

Вітроенергетичні технології відіграють одну з ключових ролей в глобальному «зеленому» енергетичному переході й боротьбі зі змінами клімату, а з недавніх пір ще й виступають дієвим інструментом відновлення економіки країн від наслідків пандемії COVID-19. Виконання взятих на себе міжнародних зобов'язань і досягнення національних цілей з розвитку відновлюваних джерел енергії неможливі без структурованої державницької позиції та ефективних механізмів стимулювання проєктів ВДЕ. Сучасні світові політичні інструменти підтримки відновлюваних джерел енергії загалом, та вітрової енергетики зокрема, включають регуляторну політику, податкові стимули та державну підтримку. Усі ці інструменти на практиці реалізуються у вигляді окремих механізмів підтримки, які використовуються країнами відповідно до їх енергетичної спроможності, політичної зрілості та економічної розвиненості. Відповідно до чинного законодавства України нові вітроенергетичні проєкти, введені в експлуатацію після 2022 року, не зможуть

отримати «зелений» тариф. Саме тому перехід від «зеленого» тарифу до альтернативних механізмів підтримки є логічним наступним кроком розвитку національного вітроенергетичного сектора та розбудови безвуглецевої економіки України.

Ключові слова: вітрова енергетика, вітроенергетичний проєкт, механізми підтримки, аукціони, «зелений» тариф, ринкові умови.

WIND POWER SECTOR OF UKRAINE: THE FURTHER DEVELOPMENT ON MARKET CONDITIONS

A. Konechenkov, *Chairman of the Ukrainian Wind Energy Association's Board,*

K. Knysh, *Head of Analytical Department of the Ukrainian Wind Energy Association*

Public Union Ukrainian Wind Energy Association

Business Center Spaces Maidan Plaza: Maidan

Nezalezhnosti, 2, Kyiv, 01012, Ukraine's

tel.: +38(044)223-29-96, e-mail: uwea@i.ua,

<http://uwea.com.ua/ua/>

Wind energy is a frontrunner of the global “green” energy transition and wrestler against climate change, which demonstrates its strong resilience to the current global challenges including COVID-19 pandemic. Its impossible to fulfil any international commitments as well as to achieve the national climate and energy targets without a clear state energy policy and effective RES support schemes. Current global policy instruments to support renewable energy in general, and wind energy in particular, include regulatory policies, fiscal incentives and public support. All these instruments are used by States in line with their energy capacity, political maturity and economic development. According to the current national legislation, new wind projects put into operation after 2022 are not subject to get a “green” tariff. So the next logical step in the development of Ukraine’s

carbon neutral economy and the wind industry as well is the transition from "green" tariff to market conditions.

Keywords: *wind power, wind project, RES support schemes, auctions, Feed-in tariff, market condition.*

ORCID: 0000-0001-5248-7592, 0000-0003-2815-9323.

Вітрова енергетика як один із різновидів відновлюваних джерел енергії є найефективнішим та найбезпечнішим інструментом скорочення викидів парникових газів та досягнення цілей Паризької Угоди. Проте виконання взятих на себе міжнародних зобов'язань і досягнення національних цілей з розвитку відновлюваних джерел енергії неможливі без структурованої державницької позиції та ефективних механізмів стимулювання проєктів ВДЕ, таких як «зелений» тариф. Відповідно до чинного законодавства України нові вітроенергетичні проєкти, введені в експлуатацію після 2022 року, не зможуть отримати «зелений» тариф. Саме тому перехід від «зеленого» тарифу до альтернативних механізмів підтримки є логічним наступним кроком розвитку національного вітроенергетичного сектора та розбудови безвуглецевої економіки України.

Сьогодні сектор вітрової енергетики залишається другим в країні за кількістю встановлених потужностей серед усіх відновлюваних джерел енергії. Станом на кінець 2020 року загальна потужність вітроенергетичного сектора України досягла 1 176,1 МВт (без урахування ВЕС на тимчасово окупованих територіях), а частка вітроенергетики в загальній встановленій потужності національного сектора ВДЕ склала 15,4 %.

Сучасні світові політичні інструменти підтримки відновлюваних джерел енергії загалом та вітрової

енергетики зокрема включають регуляторну політику, податкові стимули та державну (фінансову) підтримку. Всі ці інструменти на практиці реалізуються у вигляді окремих механізмів підтримки, які використовуються країнами відповідно до їх енергетичної спроможності, політичної зрілості та економічної розвиненості. На сьогодні існує декілька механізмів підтримки розвитку відновлюваних джерел енергії:

- «зелений» тариф (англ. Feed-in tariff);
- «зелені» сертифікати;
- «зелені» надбавки (англ. Feed-in premiums);
- контракти на різницю (англ. Contract for difference);
- аукціони;
- прямі договори купівлі-продажу електроенергії (англ. Corporate PPAs);
- гарантії походження електроенергії.

Разом з вищепереліченими механізмами також можуть застосовуватися тендери, податкові пільги, інвестиційні гранти та позикові гарантії. Різні підходи до застосування цих механізмів підтримки можуть, з одного боку, забезпечити збалансований та поступовий розвиток «зеленої» генерації зі стабільним прибутком, проте з іншого – розбалансувати ринок, підірвати довіру інвесторів і навіть призупинити розвиток сектора відновлюваних джерел енергії в країні, яскравим прикладом чого, на жаль, є досвід України.

3 квітня 2009 року відновлювані джерела енергії в Україні розвиваються завдяки існуванню «зеленого» тарифу, що регулюється Законом України №555-IV «Про альтернативні джерела енергії». Проте первісною метою запровадження «зелених» тарифів для окремих бізнес-

груп стало не стільки прагнення розвивати відновлювані джерела енергії, скільки прагнення отримати надприбуток. Тому розміри ЗТ для різних видів суттєво відрізнялись, з великим перекосом в бік сонячної генерації, встановлений тариф на яку не мав економічного підґрунтя. Це, з одного боку, спричинило безпрецедентне зростання сектора відновлюваної енергетики за рахунок різкого будівництва сонячних електростанцій, проте з іншого – призвело до незбалансованого розвитку інших видів «зеленої» генерації. Результат такої непродуманої державної підтримки відновлюваних джерел енергії яскраво підтверджується рівнем виконання вищезгаданого Національного плану дій з відновлюваної енергетики до 2020 року (НПД), в якому Урядом України була закладена чітка ціль з розвитку ВДЕ в країні, яка до 2020 року передбачала введення в експлуатацію 2280 МВт вітрових потужностей, 2300 МВт сонячних потужностей, 5200 МВт гідроенергетичних потужностей, 950 МВт біоенергетичних потужностей та 20 МВт потужностей геотермальної енергетики.

За результатами 2020 року можна констатувати, що хоч частка «зеленої» генерації в загальному обсязі електроенергії в країні, з урахуванням ГЕС великої потужності, й досягла запланованих 11 %, проте цілі НПД України за встановленою потужністю станцій з ВДЕ перевиконані на 18 % саме за рахунок різкого розвитку сонячної генерації.

Новий ринок лише ще більше масштабував усі недоліки діючої в країні системи підтримки ВДЕ, оскільки бурхливий розвиток «зеленої» електроенергетики в 2019 році, здебільшого сонячної, крім дисбалансу балансувальних потужностей спричинив ще й фінансовий

дисбаланс, пов'язаний з непередбачуваними витратами на закупівлю «зеленої» електроенергії. Після декількох спроб законодавчо врегулювати ситуацію на ринку, 9 грудня 2019 року Українська вітроенергетична асоціація та Європейсько-українське енергетичне агентство ініціювали при Центрі вирішення спорів та переговорів Секретаріату Енергетичного Співтовариства медіацію спору між інвесторами у ВДЕ та Урядом України. За результатами переговорів, які тривали 8 місяців, сторони підписали Меморандум про Взаєморозуміння щодо врегулювання проблемних питань у сфері відновлюваної енергетики України, відповідно до якого інвестори з ВДЕ добровільно погодились на реструктуризацію «зеленого» тарифу для існуючих та нових енергогенерувальних об'єктів відновлюваної енергетики. Згодом досягнуті домовленості були узаконені прийнятим Верховною Радою України Законом України №810-IX «Про внесення змін до деяких законів України щодо удосконалення умов підтримки виробництва електричної енергії з альтернативних джерел енергії».

Навіть незважаючи на добровільну реструктуризацію «зелених» тарифів та відповідне полегшення фінансових зобов'язань ДП «Гарантований покупець» перед виробниками з ВДЕ, національний ринок відновлюваних джерел енергії досі перебуває в кризі як фінансового, так і технічного характерів.

Зважаючи на всі проблеми та на 5600 МВт вітроенергетичних проєктів, які станом на кінець грудня 2019 року отримали дозволи на будівництво, саме перехід від «зеленого» тарифу до ринкових умов надасть новий поштовх подальшому розвитку відновлюваної енергетики в країні. Розглядаючи потенційну можливість впровадження

запропонованих вище альтернативних систем підтримки, можна констатувати, що українське законодавство наразі не передбачає спеціального регулювання щодо корпоративних РРА, «зелених» надбавок чи контрактів на різницю, не діє система Гарантій походження. Для їх запровадження є потреба ухвалити відповідні нормативні зміни та удосконалити чинне законодавство. Крім того, Кабінету Міністрів України необхідно визначити квоти підтримки проєктів ВДЕ і нарешті провести аукціони з ВДЕ. Функціонування ринку вітрової енергетики на ринкових умовах може не лише сприяти підвищенню конкуренції між учасниками ринку, але й зробити сектор більш незалежним від держави, особливо від її непродуманої енергетичної політики. Зацікавленою аудиторією статті виступають як галузеві державні органи влади, так і дійсні учасники ринку відновлюваних джерел енергії.

Література:

1. А. Конеченков, К. Книш, Г. Шмідт, М. Гріцишина, Т. Бондарєв, Я. Чекер, Д. Мельнік, Г. Гордієнко Вітроенергетичний сектор України 2020. Огляд Ринку. ГС "Українська вітроенергетична асоціація". Київ, лютий 2021. 82 с.

2. Wind Energy in Europe 2020 statistics and the outlook to 2021–2025. WindEurope. Бельгія, березень 2021. 36 с.

УДК 620.92.:629.5.015.26

ВІТРОВА ЕНЕРГЕТИКА ЯК ВАЖЛИВИЙ ФАКТОР ПРОТИДІЇ ЗМІНАМ КЛІМАТУ ЗЕМЛІ

В.П. Каян¹, О.Г. Лебідь²

Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, Чоколівський б-р, 13, Київ, 03186, Україна, тел.: +38(095)421-20-95, e-mail: kayan@ua.fm

Наводяться причини зміни клімату Землі та наслідки, які вони за собою тягнуть. Доводиться, що тільки масове використання відновлюваної енергетики може запобігти катастрофічним наслідкам цих змін. Пропонується створений авторами вітро-гідро-ротор нового типу для ефективного використання кінетичної енергії водних та вітрових потоків.

Ключові слова: температура, парникові гази, вітроенергетика, вітроротор Дар'є.

WIND POWER AS IMPORTANT FACTOR OF COUNTERACTION TO EARTH CLIMATE CHANGES

V. Kayan¹, O. Lebid²

Institute of Telecommunications and Global Information Space, National Academy of Science of Ukraine, 13 Chokolivskiy bulv., Kyiv, Ukraine

The reasons of Earth climate change and consequences to which they can lead are considered. Arguments about mass use of renewable energy for prevention of catastrophic consequences of climate change are given. Authors offer the new type wind-hydro turbine Darrieus type for effective use of water and wind stream kinetic energy.

Keywords: temperature, greenhouse gases, wind power, Darrieus wind turbine.

ORCID: ¹0000-0002-4740-2301, ²0000-0002-4003-8068.

Глобальні середньорічні температури планети в 2020 році були на 1,1 °C вище, ніж середньорічна температура в доіндустріальний період (кінець XIX століття) [1]. На Європейському континенті це підвищення ще більше – на 2 °C, а в Україні – більш ніж на 3 °C (середньорічна температура досягла відмітки 10,9 °C).

Головна причина – зростання вмісту парникових газів в атмосфері. Якщо на початку XX століття в атмосфері Землі середньорічна концентрація вуглекислого газу (CO₂) складала біля 280 часток на мільйон (чнм), то в 2020 році була вже 414,2 чнм і зростає останніми роками приблизно на 3-3,5 чнм щорічно (у 2018 році було 407,4 чнм) [2]. Вчені вважають точкою неповернення катастрофічних змін клімату цифру 500 чнм.

Більша частина емітованого в атмосферу CO₂ виробляється світовими секторами енергетики й транспорту, переважно від спалення вугілля та нафти, причому в усе більшій кількості. Достатньо відмітити, що при виробництві 1 кВт-год електроенергії на вугільній електростанції в атмосферу викидається від 0,6 до 1 кг CO₂.

У 2019 році середня інтенсивність викидів CO₂ при виробництві 1 кВт-год електроенергії з усіх джерел складала 0,34 кг CO₂. За останні 30 років щорічна кількість викидів CO₂ зросла від 21 Гтн у 1990 році до майже 34 Гтн у 2019р. [2].

Що чекає нас далі? Підвищення глобальних температур продовжуватиметься, що буде далі руйнувати глобальний клімат і гідрологічний цикл Землі, що призведе до потужніших повеней, сильніших і довших посух і частіших і сильніших штормів. Крім того, зміни клімату наражають на небезпеку наше здоров'я, зачіпають нашу їжу і водні джерела, повітря, яким ми дихаємо, і погоду, яка на нас впливає.

Щоб зупинити подальше підвищення глобальних температур, необхідно у наступні роки різко зменшити викиди

в атмосферу парникових газів, для чого потрібно переводити транспорт на електричну тягу, а виробництво електроенергії перевести від викопного палива (вугілля, нафта, природний газ) до чистих, чи, як їх ще називають, «зелених» джерел енергії.

У світі це розуміють, і багато розвинених країн взяли на себе зобов'язання скоротити використання вугілля в енергетиці. Так, до 2025 року в усьому світі будуть виведені з експлуатації 275 ГВт вугільних потужностей (це 13 % загальної кількості в 2019 році), в тому числі 100 ГВт у США і 75 ГВт у Європі. До 2040 року споживання вугілля в світі зменшиться на дві третини, нафти – на третину і газу – на 12 % відносно рівня 2019 року. До 2040 року США та Європа закриють вугільні електростанції загальною потужністю 197 ГВт (74 % працюючих сьогодні) и 129 ГВт (88 %) відповідно [3].

Відновлювана енергетика, яка використовує чисті джерела енергії (вітер, сонце, потенціальна та кінетична енергія води, біомаса та біопаливо) практично не призводить до емісії CO₂. Темпи спорудження і використання вітрових та сонячних електростанцій ростуть у всьому світі, особливо в країнах, що розвиваються. У 2017 році лише 0,7 % світового споживання енергії припадало на сонячну енергію і 1,9 % – на вітрову, тоді як більш ніж 85 % припадало на викопне паливо. Згідно з прогнозами до 2050 року вітрова та сонячна енергія покриють 56 % глобального попиту на електроенергію, при цьому виробники 76 % глобальної енергії матимуть нульові викиди CO₂ [4].

Вітроенергетика на суходолі в країнах Північного моря – світовий лідер. До середини цього століття внесок усієї вітроенергетики разом із сонячною фотоелектричною у виробництво електроенергії в Європі досягне 70 %. Решту 30 % забезпечать гідроенергетика, атомна та газова енергетика. Отримувати електрику від спалювання вугілля в Європі з 2050 року не планується [5].

Морський вітер – це чисте, надійне та безпечне джерело енергії з величезним потенціалом для зміни структу-

ри енергетики в країнах, що мають досить великі узбережжя і великі вітрові ресурси. Використовуючи дані з *Global Wind Atlas*, Всесвітній Банк підрахував, що країни з мілководдям, як-от: Індія, Туреччина, Шрі-Ланка та Україна – володіють величезним потенціалом для розгортання на їх акваторіях вітроустановок з фіксованими на дні фундаментами, тоді як іншим – наприклад, Японії, Філіпінам і Південній Африці – потрібні будуть плавучі фундаменти. Згідно з дослідженням *Wood Mackenzie*, європейська нормалізована ціна електроенергії (LCOE) для морських вітроелектростанцій знизиться з середнього показника – \$133 США / МВт-год у 2019 році до \$51 США / МВт-год у 2028-му.

В останнє десятиліття в світі зростає інтерес до вітроустановок з ротором Дар'є, особливо для морської вітроенергетики, що дозволяє суттєво знизити витрати на побудову височенних башт. Так, останні п'ять років біля узбережжя Швеції працює на етапі випробування 30-кіловатна вітротурбіна типу Дар'є фірми SeaTwirl, яка має плавучий фундамент, і у 2020 році фірма показала проєкт такої вітротурбіни на 1 МВт потужності.

У Національній академії наук України за останнє десятиліття силами трьох інститутів (ІТГП, ІГМ та ІЕД) розроблений, створений і пройшов випробування в аеродинамічній трубі 1-кіловаттний вітроротор типу Дар'є з прямими керованими лопатями (розміри вітроротора $H \times D = 1,6 \times 1,4$ м). Експериментально отримано коефіцієнт використання енергії потоку $C_p = 0,45$, що майже у 1,5 рази більше, ніж у кращих європейських ВЕУ малої потужності з жорстко фіксованими (некерованими) лопатями [6]. Крім того, як показали дослідження, оптимальне керування лопатями дозволяє в кілька разів знизити середню величину аеродинамічного навантаження на вал вітроротора, знизити змінну амплітуду цього навантаження й отримати $C_p > 0,5$.

Вітрова та сонячна енергетика – абсолютна альтернатива світовій енергетиці, що продовжує працювати на спаленні викопного палива.

Література:

1. Blunden J., Arndt D.S. State of the Climate in 2019 Bull. Amer. Meteor. Soc. (2020), **101** (8), 1–429. <https://doi.org/10.1175/2020BAMSStateoftheClimate.1>
2. Lindsey R. Climate Change: Atmospheric Carbon Dioxide. NOAA, Aug.2020. <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-atmospheric-carbon-dioxide>
3. World Energy Outlook 2020. Executive Summary. IEA, Oct. 2020. <https://www.iea.org/events/world-energy-outlook-2020>
4. New Energy Outlook 2020, Bloomberg NEF, Oct. 2020. <https://about.bnef.com/new-energy-outlook/>
5. Energy Transition Outlook 2020. DNV GL, 2020. dnvgl.com/eto
6. Kayan V., Lebid O. Darrieus type wind turbine with controlled blades. Euras. Phys. Techn. Journ., (2020), **17** (2), 69–72. [doi.10.31489/2020No2/69-72](https://doi.org/10.31489/2020No2/69-72)

УДК 004.942:621.548:620.928

ОЦІНКА ВАРТІСНИХ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ ПРОМИСЛОВИХ ВЕС УКРАЇНИ

В.С. Подгуренко¹, В.Е. Терехов²

¹Національний університет кораблебудування
ім. адмірала Макарова, пр. Героїв України, 9, м. Миколаїв,
54025, Україна, e-mail: vspodgurenko@gmail.com

²Інститут проблем моделювання в енергетиці
ім. Г.Є. Пухова НАН України, вул. Генерала Наумова, 15,
м. Київ, 03164, Україна, e-mail: vl.terekhov86@gmail.com

Представлена кількісна оцінка ефективності роботи вітрових електричних станцій України на підставі критеріїв вартості вітроелектричних установок різного типорозміру та вартості 1 МВт·год виробленої ними електроенергії.

Ключові слова: вітрова електрична установка, вартість, типорозмір, ефективність.

COST INDICATORS EVALUATION FOR INDUSTWIND FARMS OF UKRAINE

V. Podhurenko¹, V. Terekhov²,

¹Admiral Makarov National Shipbuilding University, 9, Heroyiv
Ukrainy av., Mykolaiv, 54025, Ukraine

²Pukhov Institute for Modelling in Energy Engineering, National
Academy of Science of Ukraine, 5, General Naumov Str, Kyiv,
03164, Ukraine

The article presents a quantitative assessment of the performance of an industrial wind power station of Ukraine. Cost indicators for wind turbines in various sizes and the cost of the generated electric energy were used as evaluation criterions.

Keywords: wind turbine, cost, size, efficiency.

ORCID: ¹0000-0001-8443-0160, ²0000-0003-1080-0119.

Вступ. Відповідно до прийнятого закону "Про внесення змін до деяких законів України щодо удосконалення умов підтримки виробництва електричної енергії з альтернативних джерел енергії" передбачено поетапний перехід від традиційної практики закупівлі електроенергії за фіксованими тарифами до гнучкого ціноутворення, при якому ціна визначається ринком. Відповідно, постає питання визначення фактичної вартості 1 МВт·год виробленої електроенергії промисловими вітроелектричними станціями (ВЕС) України.

Розв'язання цієї задачі передбачає визначення ряду показників, ключовим з котрих є вартість вітроелектричної установки (ВЕУ) визначеного типорозміру. Даних щодо вартості ВЕУ у відкритому доступі немає. Виробники ВЕУ обмежують доступ до них через комерційні бази даних. З іншого боку, власники ВЕС також не поспішають оприлюднювати результати роботи своїх об'єктів, через що у питаннях ефективності роботи та собівартості вироблення 1 МВт·год електроенергії ВЕС України досі немає ясності.

Матеріали дослідження. Для розв'язання цієї проблеми авторами виконано великий обсяг наукових досліджень, опрацьовано наявні загальнодоступні джерела, виявлено та встановлено взаємозв'язки між енергетичними, інвестиційними, фінансовими і витратними параметрами, розроблено ряд математичних моделей ефективності інвестиційних проєктів у вітроенергетиці, деякі з яких мають світову новизну [1].

У табл. 1 представлені дані щодо об'єму вкладених інвестицій у будівництво вітропарків Україні згідно з наявними відкритими даними на офіційних сайтах компаній. Параметр фактичних капітальних витрат КВ_ф приведено на одиницю ВЕУ та також на 1 МВт потужності у доларах США.

Таблиця 1. Об'єми інвестицій у вітропарки України

№ з/п	ВЕС, ВЕУ	Рік	К-сть ВЕУ	КВ _ф	
				\$ млн/МВт	\$ млн/ВЕУ
1	Орловська, V 126: $P = 3,8; D = 126; H = 112$	2019	26	1,486	5,646
2	Приморська, GE 3.8: $P = 3,8; D = 137; H = 110$	2019	52	1,819	6,913
3	Овідіопольська, GE 3.6: $P = 3,6; D = 137; H = 131$	2019	9	1,954	7,033
4	Старий Самбір-2, V 126: $P = 3,45; D = 126; H = 117$	2017	6	1,966	6,783
5	Ботієвська, V 112: $P = 3,075; D = 112; H = 94$	2013	65	2,287	7,032
P – номінальна потужність (МВт); D – діаметр вітроколеса (м); H – висота осі вітроколеса (м).					

За даними табл. 1 визначимо вартість 1 МВт·год електроенергії C_{EE} за формулою [2]. Дані щодо об'ємів фіксованої ставки та експлуатаційних витрат взяті з щорічних звітів NREL за відповідні роки [3 та ін.]. Річний виробіток ВЕУ Q визначено за моделлю [4] з урахуванням 15 % втрат електроенергії.

У табл. 2 представлено зіставлення фактичних вартісних показників вітропарків України $КВ_{ф}$ та $C_{EE}(Ф)$ з розрахунковими показниками $КВ_{р}$ та $C_{EE}(P)$, отриманими за вперше розробленою на підставі даних середньосвітової вартості ВЕУ математичною моделлю. Для повноти оцінки у таблиці також наведені усереднені вартісні показники $КВ_A$ та $C_{EE}(A)$ ВЕУ США за даними звітів NREL [3 та ін.].

Таблиця 2. Оцінка вартісних показників вітропарків України

№ з/п	Q, МВт·год	КВ _Р , \$ млн/ МВт	КВ _Ф – КВ _Р / КВ _Ф , %	КВ _А , \$ млн/ МВт	C _{EE} , \$/МВт·год		
					Ф	Р	А
1	11 487	1,189	19,9	1,436	46,2	39,8	37
2	12 349	1,382	24,0		49,6	40,9	
3	12 634	1,552	20,5		48,4	41,0	
4	11 208	1,593	19,0	1,610	61,2	52,2	47
5	9 054	1,751	23,4	1,728	96,2	77,6	66

Література:

1. Терехов В.Є., Подгуренко В.С. Ефективність роботи промислових вітроелектричних станцій України. Перспективи розвитку територій: теорія і практика: матеріали Всеукраїнської науково–практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених, Харків, 19–20 листопада 2020 р. Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2020, С. 382–386.
2. Lee J.-T., Kim H.-G., Kang Y.-H., Kim J.Y. Determining the Optimized Hub Height of Wind Turbine Using the Wind Resource Map of South Korea. *Energies* 2019, 12, 2949; doi:10.3390/en12152949.
3. Stehly T., Beiter P., Duffy P. 2019 Cost of Wind Energy Review. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory, 2020, 68 p.
4. Подгуренко В.С., Гетманец О.М., Терехов В.Є. Математическая модель задачи эффективности и один из методов её решения для увеличения выработки электроэнергии ветроэлектростанциями. Київ: Моделювання та інформаційні технології. Збірник наукових праць ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова, вип. 86. 2019, С. 50–55.

УДК 620.92

ВЭГ С АКСИАЛЬНЫМ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ НА НЕОДИМОВИХ МАГНИТАХ ДЛЯ ПРИУСАДЕБНЫХ ВЭУ

**А.В. Жарков¹, В.Я. Жарков², С.А. Тимчук³,
В.А. Дворников⁴**

^{1,2}Таврический государственный агротехнологический
университет имени Дмитрия Моторного,
г. Мелитополь, Украина, тел.: +38(097)492-75-12,
e-mail: Zharkov_victor@ukr.net,

³Харьковский национальный технический университет
сельского хозяйства имени Петра Василенко, г. Харьков,
тел.: +38(097)271-15-69, e-mail: stym@i.ua,

⁴Международный университет информационных
технологий, Алматы, Манаса, 8, 050000; Казахстан
Ассоциация вузов РК, Сатпаева, 18, 050043,
директор центра инновационных экосистем,
тел.: +77(087)156-47-64, e-mail: 18vada18@gmail.com

С участием авторов разработаны и
запатентованы около 10 приусадебных ВЭГ с аксиальным
магнитным полем на неодимовых магнитах.

Ключевые слова: ВЭГ, ВЭУ, аксиальное магнитное
поле, неодимовые магниты.

WEG WITH AXIAL MAGNETIC FIELD ON NEODIME MAGNETS FOR ATTACHED WIND TERMINALS

A. Zharkov¹, V. Zharkov², O. Tymchuk³, V. Dvornikov⁴

Keywords: wind-electric generator, axial magnetic field,
neodime magnets.

ORCID: 0000-0003-1497-38771, 0000-0001-6389-91892,
0000-0002-8600-42343.

В настоящее время во всем мире большое внимание уделяется процессам когенерации, что обеспечивает комбинированное (совместное) производство электрической и тепловой энергии от одного источника [1]. Вместе с тем около 40 % энергии крестьянину нужны в виде НПТ [2, 3]. Преимуществом машин с постоянными магнитами является простота конструкции, отсутствие контакта скольжения, высокий КПД и меньший нагрев из-за отсутствия потерь в обмотке возбуждения и в контакте скольжения [2, 3].

Для реализации когенерационной технологии с участием авторов разработано и запатентовано около десятка ВЭГ с аксиальным магнитным полем на неодимовых магнитах [4] (пат. UA.: 104467, 116122, 116482, 116497, 116510, 116602, 116576, 116874) [5].

Маломощный ветроэлектрогенератор (пат. UA 116122) [5] со сдвоенным двухдисковым ротором содержит (рис. 1) соосно расположенные двухдисковый ротор (5, 6) со стальным магнитопроводом, соединенный с выходным валом 12 ВД, и дисковый статор (8) с якорными катушками (9) без сердечника, диск (5) ротора выполнен многополярным с равномерно закрепленными по кругу на периферии диска неодимовыми магнитами (7) с чередованием полюсов, а статор (8) с якорными катушками (9) расположен с воздушным зазором между дисками (5, 6), нижний диск (6) ротора выполнен в виде стальной пластины (пат. 116122). Статор (8) изготовлен в виде пластмассового диска, например бакелитового, с расположенными по внутреннему периметру плоскими якорными катушками (9) трапецеидальной формы, залитых компаундом, катушки соединены согласно последовательно.

Рис. 1. Маломощный ВЭГ со сдвоенным двухдисковым ротором (пат. UA 116122, 116482) [5]

а

б

в

**Рис. 2. ВЭГ со сдвоенным ротором (пат. 116497) [5]:
 а – разрез ВЭГ, б – статор, в – многополюсный ротор**

На рис.2: 1 – корпус ВЭГ; 2,3 - подшипниковыми щиты, 4 – вал; 5, 6 -двухдисковый ротор с неодимовыми магнитами 7,8; 9 - бакелитовый статорный диск с якорными катушками 10; 11, 12, 13 - группы коммутационных контактов для пересоединения катушек 10.

В основу полезной модели (пат UA. 116497) [5] поставлена задача создания ВЭУ (см. рис. 2) с расширенным диапазоном использования, энергии ветра за счет изменения количества полюсов статорной обмотки в зависимости от скорости ветра: увеличение количества полюсов статорной обмотки вдвое при каждом удвоении скорости ветра, и наоборот, уменьшение количества полюсов при соответствующем уменьшении скорости ветра путем перекоммутации статорной обмотки ВЭГ [5].

Согласно последовательное соединение шестнадцати якорных катушек обеспечивает увеличение ЭДС в статорной обмотке (10). Частота этой ЭДС зависит от количества пар полюсов и частоты вращения ротора.

Литература:

1. Jon Twidell and Tony Weir. Renewable Energy Resources, London and New York: Taylor & Francis, 2006. 601 p.
2. Private Solar Power Plants of Ukraine of Small Capacity: Features of Exploitation and Operating Experience/ I. V. Yudaev, Yu. V. Daus, A. V. Zharkov and V. Ya. Zharkov// Applied Solar Energy, 2020, Vol. 56, No. 1, pp. 54–62. (Scopus).
3. Жарков А. В. Разработка ветроэлектрогенераторов с аксиальным магнитным потоком на неодимовых магнитах для когенерационного ветропарка повышенной эффективности/ А. В. Жарков// Вестник аграрной науки Дона.– 2018.– №4(44). – С.38–45.
4. Неодимовые магниты. Характеристики. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://tdm96.ru/?p=558>.
5. Специализированная БД "Изобретения (полезные модели) в Украине": <https://base.uipv.org/searchINV/>

УДК 621.548

РОЗРОБКА ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ВІДЦЕНТРОВИХ РЕГУЛЯТОРІВ ДЛЯ ВІТРОУСТАНОВОК

В.П. Коханєвич¹, М.О. Шихайлов², Н.В. Марченко³

Інститут відновлюваної енергетики НАН України
02094, м. Київ, вул. Г. Хоткевича, 20а,
тел./факс 206-28-09, e-mail: info@ive.org.ua

Отримано вирази для кутової швидкості обертання ротора вітроустановки залежно від параметрів відцентрових регуляторів нової конструкції та удосконаленої конструкції, яка раніше була запропонована Г.Х. Сабініним.

Ключові слова: вітроенергетика, вітроустановка, відцентровий регулятор ротора вітроустановки.

DEVELOPMENT AND IMPROVEMENT OF MATHEMATICAL MODELS OF CENTRIFUGAL CONTROLLERS FOR WIND INSTALLATIONS

V. Kokhanievych¹, M. Shykhailov², N. Marchenko³

Institute of Renewable Energy of the NAS of Ukraine
Hnata Khotkevycha Str., 20A, 02094, Kyiv, Ukraine
tel./fax: +38(044)206-28-09, e-mail: info@ive.org.ua

Expressions for the angular velocity of the wind turbine rotor depending on the parameters of the centrifugal regulators of the new design and the improved design, which was previously proposed by G.Kh. Sabinin.

Keywords: wind power, wind turbine, centrifugal regulator of the wind turbine rotor.

ORCID: ¹0000-0003-0033-1355, ²0000-0003-1845-9904,
³0000-0001-9921-9077.

Відомо, що вітроустановки малої потужності мають значні кутові швидкості обертання ротора. З цієї причини такі установки, особливо вітроелектричні (ВЕУ), мають бути обладнані системами регулювання кутової швидкості обертання ротора. Основними вимогами до регуляторів є простота, невелика вартість і надійність в експлуатації. Серед великої кількості систем регулювання вітроустановок малої потужності найбільше цим вимогам відповідають системи з використанням відцентрових регуляторів різноманітних конструкцій.

Запропоновано нову конструкцію відцентрового регулятора для вітроустановок [1]. Для практичного використання такого регулятора інженерам-конструкторам необхідні кінцеві вирази для визначення параметрів як самого регулятора, так і параметрів майбутньої конструкції установки. На рис.1 зображена розрахункова схема цього відцентрового регулятора. Для розрахунку відцентрового регулятора даного типу було використано рівняння Лагранжа другого роду, що дозволило отримати вираз для кутової швидкості обертання ротора:

$$\omega = \sqrt{\frac{x_0 (mn\omega_n^2 - c) + cx}{mnx}},$$

де x_0 – початкове стискання пружини, що відповідає номінальній кутовій швидкості ротора ω_n ; x – зміщення тягарця від осі обертання; c – жорсткість пружини; m – маса тягарця; n – кількість тягарців.

Для вітроустановок Г.Х. Сабініним була розроблена схема відцентрового регулятора для флюгерного регулювання ГС-4 [2]. В Інституті відновлюваної енергетики були запропоновані удосконалена схема регулятора ГС-4 та відповідно його математична модель, а саме: був введений змінний кут між хордою лопаті та віссю моменту інерції відцентрових тягарців.

На початку розвитку вітроенергетики технологічні можливості виготовлення лопатей дозволяли отримати трапецієвидну форму без геометричного закруту хорди (або з незначним закрутом, до $4^\circ \dots 5^\circ$), і в математичних моделях було правомірним допущення, що направлення моменту інерції лопаті збігається з хордою лопаті. Розвиток технологічних можливостей виготовлення лопатей для вітроустановок істотно вплинув на конструкцію та геометрію лопаті. На сьогоднішній день тенденція виготовлення лопаті спрямована на отримання максимального коефіцієнта використання енергії вітру ротором і відповідно максимального наближення реального профілю лопаті до розрахункового. Тобто в сучасних лопатях використовують розширення лопаті від кінця до комеля в межах від 1:2 до 1:4 і закрут лопаті сягає 30° . Отже, відхилення напрямку моменту інерції лопаті від хорди лопаті може складати до 20° , і без урахування даного відхилення математична модель відцентрового регулятора є недосконалою.

На рис. 2 наведена схема сил при флюгерному регулюванні й отримано вираз для визначення обертів ротора для даного типу регулятора:

$$\omega = \sqrt{\frac{2k \{a + l [\sin(\Theta - \varphi_0) - \sin(\Theta - \varphi)]\} l \cos(\Theta - \varphi)}{i [J_T \sin 2(\Omega - \varphi) - J_L \sin 2(\varphi + \Delta\varphi)]}},$$

де J_L , J_T – момент інерції лопаті та тягарців; $\Delta\varphi$ – кут між хордою лопаті і вектором моменту інерції лопаті; i – число лопатей; k – жорсткість пружини регулювання; φ – кут установлення лопаті (поточний); φ_0 – початковий кут установлення лопаті; Θ – кут між кривошипом і хордою лопаті; Ω – кут між хордою лопаті і державками відцентрових тягарців; $a = \frac{F_{\Pi p_0}}{k}$ – величина, що характеризує величину початкового натягу пружини регулювання $F_{\Pi p_0}$; φ – кут

установлення лопаті (поточний); φ_0 – початковий кут установлення лопаті; l – довжина плеча кривошипа механізму регулятора.

Рис. 1. Розрахункова схема відцентрового регулятора нової конструкції

Рис. 2. Схема сил, що діють на лопать при флюгерному регулюванні

Висновок. Отримано вирази для кутової швидкості обертання ротора вітроустановки залежно від параметрів відцентрових регуляторів нової конструкції та удосконаленої конструкції, запропонованої Г.Х. Сабініним, що дає змогу дістати статичні характеристики даних типів регуляторів залежно від їх параметрів і параметрів ротора.

Література:

1. А.с. СССР №1038541. Регулятор частоты вращения ветроколеса, Шихайлов Н.А., Шевченко Ю.В., Коваленко В.И., опубл. 30.08.1983 г., бюл. № 32.
2. Сабинин Г.Х. Теория регулирования быстроходных ветродвигателей поворотом лопастей центробежным регулятором. Промышленная аэродинамика. 1957. Сб. № 8. С. 5–77.

УДК 621.548

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ГЕНЕРАТОРА БЕЗМУЛЬТИПЛІКАТОРНОЇ АВТОНОМНОЇ ВІТРОЕЛЕКТРОУСТАНОВКИ

В.М. Головка¹, І.Я. Коваленко²,

^{1,2}Інститут відновлюваної енергетики НАН України,
вул. Гната Хоткевича, 20а, м. Київ, 02094, Україна,
тел./факс: +38(044)206-28-09, e-mail: www.ive.org.ua,

^{1,2}Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря
Сікорського», 03056, м. Київ, просп. Перемоги, 37.

В роботі наведені результати аналізу математичної моделі для визначення параметрів генератора з постійними магнітами без-мультимплікаторної автономної вітроелектроустановки.

Ключові слова: безмультимплікаторна автономна вітроелектроустановка, синхронний генератор з постійними магнітами.

MATHEMATICAL MODEL FOR DETERMINATION OF PARAMETERS OF GENERATOR WITHOUT MULTIPLICATOR AUTONOMOUS WIND ELECTRICAL INSTALLATION

V.M. Golovko¹, I.Ya. Kovalenko²,

^{1,2}Institute of Renewable Energy, National Academy of
Science of Ukraine, 20a Hnata Khotkevicha str., Kyiv, Ukraine,
02094, tel./fax: +38(044)206-28-09, e-mail: www.ive.org.ua,

^{1,2}National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic
Institute named after Igor Sikorsky", 03056, Kyiv,
37, Peremohy Ave.

The paper presents the results of the analysis of a mathematical model for determining the parameters of a

generator with permanent magnets of a non-multiplier autonomous wind turbine.

Keywords: *multiplier autonomous wind turbine, synchronous generator with permanent magnets.*

ORCID: ¹0000-0003-0195-9654, ²0000-0003-1097-2041.

Розроблення математичної моделі для визначення параметрів генератора безмультіплікаторної автономної вітроелектроустановки має на меті дослідження характеристик синхронного електрогенератора з постійними магнітами та оцінку ефективності технічних рішень, направлених на підвищення ступеня перетворення енергії вітру в електричну. Математична модель генератора розроблена у системі MATLAB-Simulink з можливістю керування та регулювання як самого генератора, так і системи в цілому. Як вихідні дані для побудови моделі електрогенератора в середовищі MATLAB-Simulink попередньо розраховані геометричні та електричні параметри генератора, а саме: використовується характер розподілу електромагнітного поля в повітряному проміжку, магнітний потік електрогенератора, та параметри обмоток (активні та індуктивні опори), номінальна потужність та результати аеродинамічного розрахунку ротора вітроустановки.

Вихідна потужність на валу ротора вітроустановки задається таким рівнянням:

$$P_m = c_p(\lambda, \beta) \frac{\rho A}{2} v_{wind}^3$$

де P_m – вихідна механічна потужність на валу ротора вітроустановки; c_p – коефіцієнт потужності ротора вітроустановки; ρ – густина повітря; A – площа ротора вітроустановки; v_{wind} – швидкість вітру; λ – коефіцієнт

відношення швидкості обертання турбіни до швидкості вітру; β – кут нахилу лопасті.

Досліджуваний генератор характеризується системою рівнянь:

$$\begin{aligned}\frac{di_d}{dt} &= \frac{1}{L_s} (u_d - R_s i_d + \omega Z_p L_s i_q); \\ \frac{di_q}{dt} &= \frac{1}{L_s} (u_q - R_s i_q - \omega Z_p L_s i_d - \omega Z_p \psi_0); \\ \frac{d\omega}{dt} &= \frac{1}{J} (M - M_c); \\ M &= \frac{3}{2} Z_p (\psi_0 i_q)\end{aligned}$$

де L_q, L_d – індуктивності по осі q та d ; R – активний опір обмотки статора; i_q, i_d – струми за осями q та d ; ω – кутова швидкість ротора генератора; ψ – амплітуда магнітного потоку, що створюється постійними магнітами та додатковою обмоткою; p – кількість пар полюсів генератора; T_e – електромагнітний момент генератора.

Залежність вихідної потужності електрогенератора від швидкості обертання ротора електрогенератора для всіх розрахункових значень швидкості вітру наведена на рис. 1.

Рис. 1. Залежність вихідної потужності електрогенератора від швидкості обертання ротора

Чим більша швидкість вітру, тим вища вихідна потужність генератора, що пояснюється збільшенням величини електрорушійної сили, що наводиться в обмотці якоря за рахунок електромагнітної індукції. Кожна крива, зображена на рис. 1, має максимум, зниження вихідної потужності пояснюється тим, що з ростом швидкості обертання ротора вітроагрегата збільшуються аеродинамічні втрати, які призводять до її зменшення.

УДК 621.313.332

АСИНХРОННИЙ ГЕНЕРАТОР З ЕЛЕКТРОННИМ РЕГУЛЯТОРОМ НАВАНТАЖЕННЯ ПРИ РОБОТІ З НЕСИМЕТРИЧНИМ АКТИВНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ

М.В. Пушкар, К.О. Михальов, М.П. Рибак

*Національний технічний Університет України
„Київський політехнічний інститут імені Ігоря
Сікорського”, просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна,
тел.: +38(044)204-95-11, e-mail: m.pushkar@kpi.ua*

У роботі розглянуті питання використання асинхронних генераторів з електронним регулятором навантаження при роботі з несиметричним активним навантаженням. Проведено математичне моделювання такої системи в MATLAB.

Ключові слова: асинхронний генератор, електронний регулятор навантаження, самозбудження.

INDUCTION GENERATOR WITH ELECTRONIC LOAD CONTROLLER OPERATING ON ASSYMETRIC ACTIVE LOAD

M. Pushkar, K. Mykhaliov, M. Rybak

*National Technical University of Ukraine
"The Kiev Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky", 37
Peremogy avenue, Kyiv, Ukraine, 03056*

The paper considers the use of induction generators with electronic load controller when working on asymmetric active loads. Mathematical modeling of such a system in MATLAB is performed.

Keywords: electric network, power system, optimization of development, network elements.

ORCID: 0000-0002-9576-6433, 0000-0002-8188-8042,
0000-0002-8241-9395.

Асинхронні генератори з самозбудженням (АГ) знайшли широке застосування в системах електропостачання на основі вітро- та гідрогенераторів, через здатність генерувати електричну енергію в широкому діапазоні обертів. Серед останніх тенденцій в розробці систем керування напругою АГ найбільшого розвитку отримали системи на основі електронного регулятора навантаження (EPH), статичних компенсаторів (STATCOM), та векторно-керовані системи на базі інверторів [1, 2]. Тому саме цим системам потрібно приділяти найбільшу увагу при експериментальному дослідженні та моделюванні автономних систем генерації електричної енергії на базі АГ. Водночас робота цих систем при несиметричному характері навантаження потребує глибокого аналізу.

Принцип роботи вказаних систем такий: АГ приводиться в обертання за допомогою привідного двигуна з постійною швидкістю. Для самозбудження АГ використовується паралельна батарея конденсаторів, включених в трикутник. Генератор підключено до навантаження, яке під час роботи може змінюватись в діапазоні від 0 до 100 % номінального значення. Паралельно до навантаження та генератора підключається електронний регулятор навантаження, який складається з випрямляча, фільтруючого конденсатора, та баластного резистора, який залежно від навантаження на АГ комутується за допомогою електронного ключа за алгоритмом, представленим в [2, 3].

Сигнали керування ключем поступають від ШІМ контролера, який залежно від величини напруги, отриманої з датчика напруги, дає сигнал на замикання ключа. Конденсаторна батарея в таких системах розраховується так, щоб АГ самозбудився від неї при підключеному номінальному навантаженні.

Завданням електронного регулятора навантаження є підтримка сталого навантаження АГ, що в свою чергу робить сталою і величину генерованої напруги АГ. У випадку, коли величина навантаження змінюється, підключається баластне навантаження, так щоб величина загальної потужності на генераторі залишалася незмінною.

Раніше було розроблено фізичну модель системи АГ-ЕРН в середовищі Simulink/MATLAB [3].

Дослідження проводилися для АГ, побудованого на базі трифазного асинхронного двигуна АИР112М4У3 потужністю 5,5 кВт, номінальною напругою 380 В, частотою 50 Гц, кількість пар полюсів – 2. Наступні параметри генератора було отримано експериментально $R_s = 0,94$ Ом, $R_R = 0,7$ Ом, $L_{\sigma s} = L_{\sigma R} = 0,124$ Гн, $L_M = 0,118$ Гн. Спочатку генератор був розігнаний до номінальної швидкості, в момент часу 2с відбулося самозбудження, АГ працював при номінальному навантаженні (30 Ом в кожній фазі), далі в момент часу 4с навантаження змінилось на 30, 40 та 100 Ом, підключених в різні фази, в момент часу 6с навантаження повернулось до номінального значення. Отримані графіки представлені на рис. 1.

В результаті було відмічено, що лінійна напруга АГ залишилася на рівні 540 В. Отже, незважаючи на значну несиметричність навантаження, система АГ-ЕРН не втрачає свою працездатність у доволі широкому діапазоні зміни навантаження. Ця властивість дозволяє використовувати ЕРН не тільки в системах, де навантаження є строго симетричним, але і в системах де навантаження в кожній з фаз може змінюватись з часом.

Рис. 1. Результати моделювання системи АГ-ЕРН

Отже, системи стабілізації напруги асинхронних генераторів на основі ЕРН можуть використовуватись не тільки при симетричному характері навантаження, але й при значній його несиметричності, зберігаючи при цьому прийнятні показники швидкодії та високу якість регулювання напруги АГ, властиву цим системам.

Література:

1. Chauhan Y.K., Jain S.K., Singh B. A prospective on voltage regulation of self-excited induction generators for industry applications, // IEEE Trans. Industry Applications, vol. 46, no. 2, 2010, p.720–730.
2. Singh B., Murthy S.S., Gupta S. Analysis and implementation of an electronic load controller for a self-excited induction generator // IEE Proceedings Generation Transmission and Distribution. Vol. 151, No. 1. 2004, p. 51–60.
3. Печеник М.В., Бовкунович В.С., Пушкар М.В. Регулювання напруги асинхронного генератора із самозбудженням за допомогою електронного регулятора навантаження // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – Кременчук: КрНУ – Вип. 3/2015. – с. 82–87.

УДК 621.548

**ДОСВІД РОЗРОБКИ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ
СИНХРОННОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО ГЕНЕРАТОРА ЗІ
ЗБУДЖЕННЯМ ВІД ПОСТІЙНИХ МАГНІТІВ ДЛЯ
ВІТРОУСТАНОВОК ПОТУЖНІСТЮ 20 кВт**

***Ю.М. Перминов¹, В.П. Коханєвич², Н.В. Марченко³,
С.Ю. Перминова⁴***

*^{1,2} Інститут відновлюваної енергетики НАН України,
вул. Гната Хоткевича, 20а, м. Київ, 02094, Україна,
тел.: +38(044)206-28-09, e-mail: info@ive.org.ua*

*⁴ Інститут екологічного управління та збалансованого
природокористування,
вул. Ю. Ілленка, 81, корп. 20, м. Київ, 04050,
тел./факс: +38(067)935-82-45, e-mail: info@iem.org.ua*

Проведено аналіз використання різних типів генераторів для вітроустановок та показано, що найбільш широке застосування отримали синхронні генератори зі збудженням від постійних магнітів. Наведено досвід розробки та впровадження синхронного електричного генератора зі збудженням від постійних магнітів для вітроустановок потужністю 20 кВт.

Ключові слова: вітроустановка, синхронний генератор зі збудженням від постійних магнітів, постійні магніти.

**DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF PERMANENT
MAGNETS SYNCHRONOUS ELECTRIC GENERATOR FOR
THE 20 kW WIND TURBINES**

***Y. Permynov¹, V. Kokhanievych², N. Marchenko³,
S. Permynova⁴***

^{1,2,3}*Institute of Renewable Energy, National Academy of Science of Ukraine, 20a Hnata Khotkevicha str., Kyiv, Ukraine, 02094, e-mail: info@ive.org.ua*

⁴*Institute for Environmental Management and Balanced Nature Y. Illienka Str., 81, build. 20, 04050, Kyiv, Ukraine, phone/fax: +38(067)935-82-45, e-mail: info@iem.org.ua*

The analysis of the application of different types generators for wind turbines is carried out and established that generators with excitation from permanent magnets are used most widely. The experience of development and implementation of the permanent magnets synchronous electric generator for the 20 kW - wind turbines is presented.

Keywords: *wind turbine, permanent magnet synchronous generator, permanent magnets.*

ORCID: ¹0000-0001-5604-8327, ²0000-0003-0033-1355,
³0000-0001-9921-9077, ⁴0000-0003-0550-6548.

В процесі розвитку вітроенергетики у вітроустановках застосовуються різні конструкції електрогенераторів. Основними вимогами до електрогенераторів є:

- висока питома потужність, яка визначається відношенням її маси до габаритів, оскільки це обумовлює відповідно габарити та масу гондоли вітроустановки;
- вартість 1 кВт потужності, що в подальшому впливає на вартість установки в цілому;
- надійність роботи в умовах вібрації та складних кліматичних умовах.

Колекторні та синхронні генератори з електромагнітним збудженням не отримали широкого застосування, що пояснюється наявністю контакту ковзання і необхідністю періодичного його обслуговування.

Найбільш широке застосування в даний час отримали синхронні генератори зі збудженням від постійних магнітів. Застосування постійних магнітів з високою питомою

потужністю типу NdFeB дає змогу підвищити енергетичні показники за рахунок усунення втрат на збудження, спростити конструкцію та підвищити надійність генератора, незважаючи на відносно більшу собівартість 1 кВт потужності.

У вітроустановках синхронні генератори зі збудженням від постійних магнітів можуть використовуватись як з мультиплікаторами, так і без них. Безмультиплікаторний варіант отримав більш широке застосування і використовується не тільки у вітроустановках малої потужності, але і в установках середньої та мегаватної потужності. Саме фахівцями Інституту відновлюваної енергетики НАН України та ТОВ «Карбон» для вітроустановок середньої потужності був спроектований, виготовлений та випробовуваний протягом 3 років електрогенератор даного типу потужністю 20 кВт, що захищений патентом на винахід [1].

Особливість цього генератора в тому, що він є модулем в складі головки вітроустановки і ярмо статора одночасно є корпусом самої головки. Це дає можливість зменшити масу головки та спростити її конструкцію. Статор набраний із листів з електротехнічної сталі та стягнутий в пакет разом з кришками болтами. Статор разом з кришками, підшипниками та валом ротора кріпиться до опорно-повертального пристрою. Виконаний скіс пазів статора зменшує реактивний момент та дозволяє обертатись ротору при менших швидкостях вітру, що розширює діапазон робочих швидкостей вітроустановки та підвищує її ефективність.

Даний генератор був виготовлений на .... та встановлений на вітроустановці в м. Вишневе.

На рис. 1, 2, 3 наведено загальний вигляд генератора, головки та вітроустановки в цілому.

Рис.1. Загальний вигляд генератора

Рис. 2. Загальний вигляд головки

Рис. 3. Загальний вигляд вітроустановки

Висновки: В Інституті відновлюваної енергетики НАН України та на підприємствах України, зокрема ТОВ «Карбон», накопичений досвід проєктування та виробництва синхронних генераторів середньої потужності, що дозволяє при необхідності без значних матеріальних затрат налагодити їх серійне виробництво.

Література:

1. Патент на винахід № 106673 Вітроелектрична установка модульної конструкції. Бюллетень № 18 2014 року.

УДК 621.548

РОБОТА СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА ЗІ ЗБУДЖЕННЯМ ВІД ПОСТІЙНИХ МАГНІТІВ НА МЕРЕЖУ У ВІТРОУСТАНОВЦІ

**Ю.М. Перминов¹, Л.П. Волков², Є.Г. Монахов³,
С. Ю. Перминова⁴**

¹Інститут відновлюваної енергетики НАН України,
02094, м. Київ, вул. Г.Хоткевича, 20А,
тел./факс: +38(044)206-28-09, e-mail: info@ive.org.ua

^{2,4}Інститут екологічного управління та збалансованого
природокористування,
04050, м. Київ, вул. Ю. Ілленка, 81, корп. 20,
тел/факс: +38(067)935-82-45, e-mail: info@iem.org.ua

³Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря
Сікорського», 03056, пр. Перемоги, 37, г. Киев, Украина
тел./факс: +38(050)016-37-14, e-mail: mmi@kpi.ua

Особливістю роботи синхронного генератора зі збудженням від постійних магнітів є неможливість регулювання його вихідних параметрів шляхом зміни збудження генератора, як у генераторах з електромагнітним збудженням. Запропоновано схему регулювання таких параметрів, наведено стислу характеристику роботи зазначених схем.

Ключові слова: вітроустановка, синхронний генератор, постійні магніти.

OPERATION OF PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS GENERATOR APPLIED TO THE GRID CONNECTED WIND TURBINES

Y. Permynov¹, L. Volkov², E. Monakhov³, S. Permynova⁴

¹Institute of Renewable Energy of the NAS of Ukraine

*Hnata Khotkevycha Str., 20A, 02094, Kyiv, Ukraine,
tel./fax: +38(044)206-28-09, e-mail: info@ive.org.ua*

^{2,4}*Institute for Environmental Management and Balanced
Nature, Y. Illienka Str., 81, build. 20, 04050, Kyiv, Ukraine,
tel./fax: +38(067)935-82-45, e-mail: info@iem.org.ua*

³*National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv
Polytechnic Institute»,
03056, 37, Peremohy av., Kyiv, Ukraine,
tel./fax: +38(050)016-37-14, e-mail: mmi@kpi.ua*

The permanent magnet synchronous generator operation feature is the inability to adjust its output parameters by changing the generator excitation, as in generators with electromagnetic excitation. The regulation scheme of such parameters is offered and brief characteristics of its work are described.

Keywords: *wind turbine, synchronous generator, permanent magnets.*

ORCID: ¹0000-0001-5604-8327, ²0000-0003-1988-9666,
³0000-0001-8408-8051, ⁴0000-0003-0550-6548.

Останніми роками синхронні генератори зі збудженням від постійних магнітів типу NdFeB, зокрема генератори мегаватної потужності, дедалі більше застосовуються у вітроустановках.

Застосування постійних магнітів у системі збудження синхронного генератора, порівняно з генераторами з електромагнітним збудженням дозволяє: виключити витрати на збудження; позбутися ковзних контактів; спростити конструкцію; підвищити ККД та надійність. Однак у таких генераторах, на відміну від синхронних з електромагнітним збудженням, відсутня можливість регулювання вихідних параметрів генератора зміною його збудження. Тому стабілізація вихідних параметрів генератора такої конструкції при їх роботі на мережу є актуальним завданням, яке потребує вирішення питань

регулювання параметрів генератора з використанням електроніки та урахуванням безперервної зміни швидкості вітру, частоти обертання генератора і відповідної зміни його параметрів.

При обертанні генератора вітроколесом безперервно змінюється кут θ між ЕРС генератора та напругою мережі. При цьому змінюється електромагнітна потужність та момент генератора. Якщо швидкість ротора вища синхронної, кут θ безперервно зростає і машина почергово переходить з генераторного режиму в рушійний і навпаки. Тобто відбувається складний перехідний процес, який дає змогу визначити вимоги до електронної схеми, увімкненої між генератором та мережею. Це дозволяє зробити висновок щодо можливості стабілізації вихідних параметрів синхронного генератора зі збудженням від постійних магнітів відповідно до вимог мережі, а саме:

1) в момент увімкнення генератора його ЕРС має бути еквівалентною напрузі мережі;

2) полярність генератора, який підключається, має відповідати полярності мережі; при цьому відповідну полярність необхідно підібрати саме в той момент, коли відбувається підключення;

3) необхідна рівність частот з'єднаних систем «генератор–мережа»;

4) для трифазної машини порядок зміни фаз у з'єднаних точках має бути однаковим.

Стабілізація зазначених вихідних параметрів генератора зі збудженням від постійних магнітів можлива при застосуванні схеми, зображеної на рис. 1, що демонструє, як нерегульований синхронний генератор може бути використаний при роботі на мережу. Вітроустановка може змінювати частоту під час роботи, тому, щоб працювати на мережу, необхідно спочатку випрямити струм, стабілізувати і знов перейти від постійної напруги до змінної, синхронної та синфазної з частотою мережі та синусоїдальною формою. Тоді в мережу буде потрапляти стабільна змінна напруга з потрібною частотою.

Перетворення у постійний струм відбувається трифазним мостовим керованим випрямлячем, який також стабілізує напругу. Випрямлення змінюється залежно від швидкості вітру. Вихідна напруга випрямляча – постійна у вигляді напівхвиль. Випрямлена напруга – з великими пульсаціями, тому на вихід вона потрапляє крізь згладжувальний фільтр. Напруга, яка знімається з конденсатора – майже без пульсацій. Її потрібно стабілізувати за допомогою зворотного зв'язку, що подається через контролер на вхід тиристорного перетворювача. Отже, вихідна напруга генератора може змінюватись, але випрямлення буде стабільним. Для подальшого перетворення у змінний струм його потрібно зафіксувати на певному рівні. Для цього використовується підвищувальний конвертер (для частот нижче номінальної частоти 50Гц), а керований випрямляч – для частот, які перевищують 50 Гц. Конвертор підтримує необхідний рівень вихідної напруги (U_d) шляхом вироблення добавки до випрямленої напруги генератора (U_b). Керований випрямляч зберігає випрямлену напругу генератора незмінною, незважаючи на зростання ЕРС обертання генератора з підвищенням швидкості вітру. Далі трифазний мостовий інвертор перетворює напругу постійного струму в трифазний змінний струм.

Фазування та ряд інших функцій (стабілізацію, керування транзисторами інвертора, конвектора і т. д.) виконує контролер. Він прив'язує вироблений інвертором синусоїдальний струм до синусоїди мережі й забезпечує потрібний фазовий зсув цього струму. Амплітуда струму задається максимальною тривалістю імпульсу.

Діапазон швидкості вітру, в якій генератор та схема здатні функціонувати, є обмеженим. Зверху – це ріст напруги і частоти обертання вище припустимих значень, знизу – обмеження в роботі конвертора. Застосування конвертора розширює цей діапазон. Таким чином може здійснюватися робота синхронного генератора зі збудженням від постійних магнітів на мережу.

Рис.1. Функціональна схема підключення до мережі синхронного генератора зі збудженням від постійних магнітів

Висновки:

Визначено можливість регулювання вихідних параметрів синхронного генератора зі збудженням від постійних магнітів у широкому діапазоні зміни швидкості вітру та генератора.

Література:

1. M. Chinchilla, J.C. Burgos, S. Arnalte. "Control of Permanent-Magnet Generators Applied to Variable-Speed Wind-Energy Systems Connected to the Grid", *IEEE transaction on Energy Conversion*, March 2006, vol. 21, p. 130– 135.

УДК 621.314; 621.391

ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЯДЕР ЛІНІЙНИХ AR ТА ARMA-ПРОЦЕСІВ ЯК ДІАГНОСТИЧНИХ ОЗНАК ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ОБЕРТОВИХ ВУЗЛІВ ГЕНЕРАТОРІВ ВІТРОУСТАНОВОК

Ю.І. Гижко¹, канд. техн. наук, **О.М. Глазкова²**,

В. М. Зварич³, д-р техн. наук,

М.В. Мислович⁴, д-р техн. наук

^{1,2,3,4}Інститут електродинаміки НАН України,

^{2,3}Інститут відновлюваної енергетики НАН України,

e-mail: ¹yuriy.qyzhko@gmail.com,

²glazkovaovdey@gmail.com, ³zvaritch@nas.gov.ua,

⁴mysl@ied.org.ua

Розглянуто деякі методи діагностування технічного стану вузлів генераторів вітроустановок. Як математичні моделі вібрацій вузлів генераторів вітроустановок пропонується використати лінійні процеси авторегресії (AR) та авторегресії – ковзного середнього (ARMA). Показано приклади оцінки ядер лінійних процесів авторегресії різних порядків. Наведено результати оцінки ядер вібраційних сигналів підшипникового вузла генератора вітроустановки, що встановлений на дослідницькому стенді.

Ключові слова: генератор вітроустановки, ядра лінійних випадкових процесів, вібродіагностика.

SOME FEATURES OF THE LINEAR RANDOM PROCESS KERNELS APPLICATION AS DIAGNOSIS PARAMETERS OF WIND TURBINE GENERATORS

Yu. Gizhko¹, **O. Glazkova²**, **V. Zvaritch³**,

M. Myslovych⁴

^{1,2,3,4}Institute of electrodynamics National Academy of Science
of Ukraine,

^{2,3}*Institute of renewable energy National Academy of Sciences of Ukraine*

Methods of technical state of wind generator parts are discussed. Linear AR and ARMA mathematical models are proposed as mathematical models of vibration signals of wind generator parts. Examples of linear AR and ARMA kernel estimation for the different processes with different orders are represented. Estimation of vibration signals kernels estimations of wind generator part which stand at special experimental stand.

Keywords: *wind generator, kernel of linear random process, vibration diagnosis.*

ORCID: ¹0000-0002-5702-4738, ²0000-0001-9409-1975,
³0000-0002-1271-4954, ⁴0000 0002 6245 7917.

У роботі досліджується можливість використання методів авторегресії та авторегресії – ковзного середнього для діагностування вузлів генераторів вітроустановок. Ці методи знайшли досить широке застосування в системах управління, діагностування обертових вузлів енергетичного обладнання, біомедичних системах тощо.

Процеси авторегресії та авторегресії – ковзного середнього широко використовуються при побудові математичних моделей інформаційних сигналів різних типів а також при побудові алгоритмів функціонування систем моніторингу та діагностики

За означенням лінійний стаціонарний AR-процес визначений так:

$$\xi_t = -\sum_{i=1}^p a_i \xi_{t-i} + \zeta_t \quad t \in \mathbb{Z} \quad (1)$$

де $\{a_j, a_j \neq 0, j = \overline{1, p}\}$ $a_1, \dots, a_p$ – дійсно значні параметри авторегресії; Z – множина цілих чисел; p – порядок авторегресії; $\varsigma_t, t \in Z$ – породжуючий процес.

Стационарний AR-процес допускає розклад Вольда [1, 2]

$$\xi_t = \sum_{\tau=1}^{\infty} \varphi_{AR}(\tau) \varsigma_{t-\tau} \quad (2)$$

де $\varphi_{AR}(\tau)$ – ядро лінійного процесу.

Ядро $\varphi_{AR}(\tau)$ рекурентно пов'язано з параметрами авторегресії [1, 2]

Так само лінійний стаціонарний ARMA-процес може бути визначений так:

$$\xi_t = - \sum_{i=1}^p a_i \xi_{t-i} + \varsigma_t + \sum_{j=1}^q b_j \varsigma_{t-j} \quad (3)$$

де $\{a_i, a_i \neq 0, i = \overline{1, p}\}$, – параметри авторегресії; p – порядок авторегресії; $\{b_j, b_j \neq 0, j = \overline{1, q}\}$ – параметри ковзного середнього; q – порядок ковзного середнього; ς_t – породжуючий процес.

Лінійний стаціонарний ARMA-процес може бути також визначений як

$$\xi_t = \varsigma_t + \sum_{\tau=1}^{\infty} \varphi_{ARMA}(\tau) \varsigma_{t-\tau} \quad (4)$$

де $\varphi_{ARMA}(\tau)$ – ядро лінійного стаціонарного ARMA-процесу. Більш детально властивості лінійних AR та ARMA-процесів викладені в [1, 2].

При практичному використанні методів авторегресії та авторегресії – ковзного середнього використовуються різні методи оцінки параметрів та порядку авторегресії та авторегресії – ковзного середнього. В доповіді розглянуто використання деяких методів оцінки порядку авторегресії і авторегресії – ковзного середнього.

Як приклад використання запропонованого підходу розглянемо вібраційний сигнал обертового вузла підшипника кочення вітрогенератора USW 56-100 з боку корпусу головного валу встановленого на стенді для випробувань вітрогенераторів. Швидкість обертання головного валу – 72 об/хв. Для досліджень вібраційних сигналів використовувався розроблений в ІЕД НАН України прототип системи вібродіагностики вітрогенераторів, за допомогою якого були отримані оцінки ядер лінійних випадкових процесів

У доповіді показані результати досліджень вібрацій двигуна вітрогенератора при використанні як діагностичних ознак ядер лінійних AR та ARMA-процесів та параметрів, пов'язаних з ядрами таких процесів.

Література:

1. Zvaritch V., Glazkova E. Application of Linear AR and ARMA Processes for Simulation of Power Equipment Diagnostic System Information Signals // Proceedings 2015 16 th International Conference on Computational problems of Electrical Engineering (CPEE) Lviv, Ukraine, September 2-5, 2015, 259–261.

2. Babak V.P., Babak S.V., Myslovych M.V, Zaporozhets A.O., Zvaritch V.M. Diagnostic Systems For Energy Equipment, 2020 Springer Nature Switzerland AG. [Studies in Systems, Decision and Control](#) book series (SSDC, volume 281). 133 p.

УДК 621.548.5

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ
ГІДРОДИНАМІКИ ДЛЯ ВЕРТИКАЛЬНО-ОСЬОВОЇ
ВІТРОЕЛЕКТРОУСТАВНОВКИ З КОНЦЕНТРАТОРОМ
ВІТРОВИХ ПОТОКІВ**

В.Г. Горобець¹, М.Ю. Масюк²

*Національний університет біоресурсів і
природокористування України м. Київ, вул. Героїв
оборони, 12, корпус 11, кімн. 301, тел.: +38(066)202-40-23,
e-mail: masiuk.mykola@gmail.com*

Для покращення аеродинамічних характеристик вітротурбін з вертикальною віссю обертання було запропоновано спеціальний пристрій «концентратор вітрових потоків» з каналами, що мають криволінійний контур, які встановлюються навколо ротора, для підвищення енергії вітрового потоку. Методами математичного моделювання проведені дослідження гідродинамічних параметрів концентратора вітрових потоків залежно від співвідношення між вхідними і вихідними геометричними характеристиками каналів, а також кутами входу та виходу.

Ключові слова: вітротурбіна, комп'ютерне моделювання, концентратор вітрових потоків.

**MATHEMATICAL MODELING OF HYDRODYNAMICS
PROCESSES FOR VERTICAL-AXIAL WIND ELECTRICAL
INSTALLATION WITH WIND FLOW CONCENTRATOR**

V. Gorobets, M. Masiuk

*National University of Life and Environmental Sciences
of Ukraine, Kyiv, str. Heroes of Defense, 12, building 11,
room 301*

To improve the aerodynamic characteristics of wind turbines with a vertical axis of rotation, a special device "concentrator of wind flows" with channels having a curved contour, which are installed around the rotor, to increase the energy of wind flow. Methods of mathematical modeling are used to study the hydrodynamic parameters of the concentrator of wind flows depending on the ratio between the input and output geometric characteristics of the channels, as well as the angles of entry and exit.

Keywords: wind turbine, computer simulation, wind flow concentrator.

ORCID: ¹0000-0003-1180-4509, ²0000-0001-6756-6138.

Основні зусилля дослідників були направлені на розробку роторів з покращеними гідродинамічними характеристиками. Інший спосіб покращення характеристик вертикально-осьової вітроелектричної установки (ВО ВЕУ) полягає у зміні традиційної конструкції прямих лопатей з метою покращення їх характеристик при малих і великих швидкостях вітру та зменшення аеродинамічного опору [1].

Встановлення концентраторів вітрового потоку (КВП) на роторі було найпоширенішими дослідженнями за останні роки, які головним чином полягали в покращенні умов самозапуску ротора [2].

Розробка концентратора вітрового потоку.

Однією з найкращих конструкцій концентратора вітрового потоку є форма усіченого конуса з напрямними каналами. Концентратор вітрових потоків складається з системи звужувальних каналів типу конфузور. Верхня і нижня частина цих каналів закрита конусоподібними поверхнями для концентрації вітрового потоку в напрямку ротора. Відповідно до рівняння неперервності потоку в нестисливій рідині (газі) [3] це підвищує швидкість потоку на вході в ротор і сприяє концентрації енергії вітрового потоку в напрямку ротора. Напрямні лопатки каналів повинні направляти вітровий потік на оптимальний кут атаки

лопатей турбіни. Концентратор вітрових потоків є універсальним і працює незалежно від напрямку вітру, який протікає через напрямні канали типу конфузор, де його швидкість збільшується за рахунок ефекту Вентурі.

Метод дослідження. Концепція концентратора вітрового потоку може бути перевірена шляхом моделювання аеродинамічних течій з використанням обчислювальної техніки (CFD-модель) за допомогою комерційного пакету ANSYS FLUENT.

Моделювання гідродинамічної течії базується на розв'язку двовимірних рівнянь Нав'є – Стокса, в яких сформульовані закони збереження маси, імпульсу та енергії у вигляді диференціальних рівнянь. Обчислювальна область конструкції КВП розділена на комірки, а дискретизація рівнянь Нав'є – Стокса базується на методі скінченних об'ємів, і розрахунок рівнянь проводиться для кожної комірки в обчислювальній області.

Враховуючи тривимірність гідродинамічних потоків повітря, необхідно розглядати тривимірну модель розрахунку. Центр системи відліку – центр ротора, а напрямок вітрового потоку – по осі Ox . На вході в обчислювальний домен швидкість вітрового потоку є постійною і дорівнює 1 м/с. На виході домену задавалась величина тиску, яка дорівнює атмосферному тиску. На бічних, верхніх та нижніх поверхнях КВП задаються стандартні умови прилипання потоку.

Результати, отримані на основі чисельного моделювання процесів гідродинаміки у внутрішній частині КВП для поля швидкостей у поперечному перерізі робочої ділянки, представлені на рис 1. Як видно на рисунку, у внутрішній частині КВП спостерігається значне збільшення швидкості повітря.

Рис. 1. Поле швидкостей в поперечному перерізі КВП

Таким чином, аналіз результатів математичного моделювання процесів гідродинаміки в КВП показує, що використання таких пристроїв приводить до збільшення енергії вітрового потоку перерізу на одиницю площі поперечного перерізу, підвищення крутного моменту, що приводить до збільшення швидкості обертання ротору і застосування таких пристроїв для вітрових потоків малої швидкості. Застосування запропонованої конструкції КВП дає можливість підвищувати продуктивність ВО ВЕУ.

Література:

1. Abdalrahman G, Melek W, Lien FS. Pitch Angle Control for Small-Scale Darrieus Vertical Axis Wind Turbine with Straight Blades (H-type VAWT)[J]. Renewable Energy 2017;114:1353–1362.
2. Ji JF, Deng ZY, Jiang L. Optimization design of a 5 kW lift type vertical axis wind turbine with wind shield-growth patterns. J Eng Thermophys 2012;33 (7):560–564.
3. Li Yan, Zhao Shouyang, Tagawa Kotaro. Starting performance effect of a truncated cone-shaped wind gathering device on small-scale straight-bladed vertical axis wind turbine. Energy Convers Manage 2018;167:70–80.

УДК 621.548

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗАПУСКУ РОТОРА ДАР'Є

Л.С. Серілко¹, О.С. Стадник², З.К. Сасюк³, Д.Л. Серілко⁴
Національний університет водного господарства та природокористування

Для вирішення проблеми самозапуску ротора Дар'є була запропонована конструкція вітрогенератора, лопаті якого встановлені з можливістю обертатися навколо вертикальних осей. В період пуску вітрогенератор працює як лопатевий вітропродвигун, а при досягненні необхідної частоти обертання переходить в режим ротора Дар'є. Для підтвердження працездатності запропонованої конструкції була виготовлена експериментальна установка.

Ключові слова: ротор Дар'є, ротор Савоніуса, крутний момент, частота обертання, швидкість вітру.

INVESTIGATION OF THE DARRIEUS ROTOR START PROCESS

L.S. Serilko¹, O.S. Stadnyk², Z.K. Sasiuk³, D.L. Serilko⁴
National University of Water and Environmental Engineering

For solve the problem of the Darier rotor self-starting the design of a wind generator was proposed, the blades are installed with the ability to rotate around vertical axes. During start-up, the wind turbine operates as a vane wind turbine, and when the required speed is reached, it switches to Darier rotor mode. For confirm the efficiency of the proposed design, an experimental equipment was made.

Keywords: Darrieus rotor, Savonius rotor, torque, rotational speed, windspeed.

ORCID: ¹0000-0002-2396-561X, ²0000-0002-9066-3806,
³0000-0001-6879-7544, ⁴0000-0001-5881-2413.

ВЕУ з вертикально віссю обертання переважно оснащені ротором Дар'є, основним недоліком яких є наявність малого стартового крутного моменту, в результаті чого виникає проблема запуску цих пристроїв. Тому, для розгону ротора до необхідної частоти, генератор приводять в режим двигуна, що потребує енергії ззовні і звичайно ускладнює систему керування ВЕУ, або її комплектують додатково роторами Савоніуса. Останні мають значний стартовий крутний момент, необхідний для розгону ротора до необхідної частоти обертання, але при збільшенні коефіцієнта швидкохідності лопаті Савоніуса створюють гальмівний момент, який негативно впливає на загальну енергетичну ефективність ВЕУ.

Для вирішення проблеми самозапуску ротора Дар'є, без встановлення додаткового ротора і зменшення потужності авторами була запропонована конструкція ВЕУ з рухомими лопатями, яка зображена на рис. 1...4.[Патент України №136289].

При мінімальній швидкості вітру лопаті (4), які перебувають з одного боку ротора (1), повертаються навколо осей, опираються на стержні (5) і сприймають вітровий потік, внаслідок чого ротор починає обертатися. Лопаті, які перебувають з іншого боку ротора, повертаються навколо своїх осей, займають флюгерне положення і пропускають потік повітря. У міру збільшення кутової швидкості ротора лопаті починають обертатися навколо своїх осей (за рахунок сил інерції) і займають положення, показане на рис. 3...4.

В цьому разі вітроенергетична установка буде працювати як ротор Дар'є, який має значно більший коефіцієнт використання енергії вітру (0,4...0,5), ніж ВЕУ з ротором лопатевого типу.

Рис. 1. Схема ВЕУ при роботі в режимі вітроподвигуна

Рис. 3. Схема ВЕУ при роботі в режимі ротора Дар'є

Рис. 2. Горизонтальний переріз 1-1

Рис. 4. Горизонтальний переріз 1-1

При зменшенні швидкості вітру, а отже, й частоти обертання ротора зменшується і відцентрова сила інерції, що діє на лопаті, які під дією вітрового потоку знову повертаються у положення, коли будуть паралельними до траверс. Отже, при незначній швидкості вітру ВЕУ працює як лопатевий вітроподвигун, а при збільшенні швидкості вітрового потоку і частоти обертання ротора переходить у режим роботи ротора Дар'є.

Для підтвердження працездатності запропонованої конструкції та адекватності теоретичних досліджень була виготовлена експериментальна установка(рис. 5).

Рис. 5. Загальний вигляд експериментальної установки

Експериментальна установка складається з вала (1), який закріплений у підшипниковому вузлі (2). Для зменшення сили опору траверси виготовлені у вигляді двох тонких дисків (3), в яких встановлені шпильки (4) з розміщеними лопатями (5). Для обмеження повороту лопатей або їх фіксації на дисках (3) закріплені стержні (6).

До траверси (3) прикріплений канат (7), який перекинутий через блок (8). До другого кінця канату прикріплена чаша з вантажами (9).

На першому етапі експериментальних досліджень визначали мінімальну швидкість вітрового потоку, при якому ротор починає обертатися. При цьому розглядалися два варіанти: 1 – лопаті ротора нерухомі, тобто класична схема ротора Дар'є; 2 – лопаті могли обертатися навколо власних осей, тобто на початку роботи ротор починав працювати в режимі лопатевого вітродвигуна.

На другому етапі визначалася сила тиску на лопать залежно від швидкості вітру. В результаті проведеного експерименту встановили, що необхідна швидкість вітру для запуску запропонованої конструкції ВЕУ – 0,9...1,2 м/с, тоді, як для запуску класичного ротора Дар'є вона становить 3,9...4,1 м/с.

УДК 620.91

РАССМОТРЕНИЕ ДВУМЕРНОЙ МОДЕЛИ РОТОРА САВОНИУСА С ПОМОЩЬЮ ПАКЕТА COMSOL MULTIPHYSICS

***А.К. Тулепбергенов, Д.Е. Туралина, А. Баккожа,
А.С. Тохтарова***

*Казахский национальный университет имени аль-
Фараби, г. Алматы, Казахстан
e-mail: assylbek.tulepbergenov@gmail.com*

В данной работе рассмотрена физико-математическая модель вращающихся элементов ветровой турбины Савониуса, т. е. колонны турбины.

В целом с помощью методики расчета на прочность при вращении рабочей лопасти ветряной турбины Савониуса были достигнуты результаты, имеющие физический смысл. Результаты расчетов показывают, что в дальнейшем можно углубленно рассмотреть математические модели ветряных турбин и провести работы по проектированию конструкций таких ветряных турбин.

Территория Республики Казахстан богата запасами ветровой энергии. Это говорит о том, что в нашей стране перспективно использование установок, преобразующих энергию ветра в полезный источник энергии. Но, тем не менее, проблема заключается в том, что на создание таких ветроэнергетических установок (ВЭУ) уходит значительное время, чтобы его себестоимость окупилась и начала приносить прибыль. Поэтому мы вынуждены использовать топливо и атомные источники энергии, которые экономически выгодны, хотя и наносят вред окружающей среде. При этом, если правильно организовать пути комплексного использования этих источников энергии, в том числе расширить использование экологически безвредных источников

энергии, то польза от ВЭУ будет не меньше, чем от других. Кроме того, использование ветроэнергетических сетей с высоким коэффициентом использования, отвечающим требованиям сегодняшнего дня, и несложным производством и обеспечением позволит повысить эффективность ВЭУ.

Существует множество видов конструкций ветротурбин, но в зависимости от принципа работы их можно разделить на три основных типа – парусные, крылатые, пропеллерные. Вращение ветротурбины первого типа происходит вследствие вертикального воздействия силы динамического давления ветра на плоскость работающей лопасти. За счет разности давления ветра в противоположном направлении от оси вращения лопасти снимается вращающий момент. При вращении «работающие» (принимающие на себя давление ветра) лопасти поворачиваются по направлению ветра, а «неработающие» – в противоположную сторону.

Математическая модель рассматриваемого процесса проводилась в программе COMSOL Multiphysics. Один из результатов моделирования показан на рис. 1.

Рис. 4. Момент обтекания ветровым потоком при расположении 0° относительно направления вращающейся турбины (линия тока и распределение давления)

УДК 620.91

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ВЕТРОВОЙ ТУРБИНЫ ДАРЬЕ С ПОМОЩЬЮ COMSOL MULTIPHYSICS

***А.К. Тулепбергенов¹, Д.Е. Туралина¹, А.К. Ершина²,
А.А. Амангельди¹***

¹Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан,

*²Казахский национальный женский педагогический университет, г. Алматы, Казахстан,
e-mail: assylbek.tulepbergenov@gmail.com*

Целью данной работы является рассмотрение теоретического 2D моделирования работы ветротурбины карусельного типа, которое дает возможность определить оптимальные параметры турбины. Рассматриваем разработку математической модели для исследования взаимодействия ветротурбины карусельного типа "Дарье" со стационарным воздушным потоком с применением пакета.

Ранее использовавшиеся модели с применением полуэмпирических уравнений для прогнозирования таких эффектов, как вихревая и динамическая мачта, не дают полной информации о работе турбины. Как известно, CFD решает динамические уравнения текучести, и это более верно, чем 1D-модели, но есть много проблем, таких как нестабильное и турбулентное моделирование, нестабильные эффекты вращения и длительное время вычислений. Эта статья была найдена в научных работах [2–5], посвященных использованию моделирования CFD. Для низких чисел Рейнольдса была проблема переоценки мощности из-за строгого прогнозирования застойных явлений с использованием моделей с полной турбулентностью RANS. Симуляции выполнялись на процессоре AMD с 8 ядрами с 12 ГБ оперативной памяти,

обеспечивающей скорость 3,5 ГГц. Метод параллельных вычислений был введен в растворе ANSYS Fluent, от 6 до 7 процессоров одновременно. В данной работе представлена стратегия прогнозирования работы роторов Н-Дарье и построения модели 2D CFD для решения подобных задач. Для исследования выбран симметричный аэродром с трехлопастным Ротором NACA0021.

В данной работе рассмотрена математическая модель вращающейся ветровой турбины в различных условиях в программах Autodesk Simulation CFD 2018 и COMSOL Multiphysics. Получены последовательные результаты по выполненным работам. Результаты были кратко изложены в связи с тем, что они не могли быть полностью раскрыты (см. рис. 1).

Полученные результаты полностью передают характер процесса. Поэтому Дарье имеет возможность рассмотреть 3D-модели работы ветряной турбины.

Основываясь на приведенных выше данных, Дарье может предложить эффективное расположение лопастей ветряной турбины и другие варианты.

Рис. 1. Построение сетки, линии тока и распределение давления

UDC 62-83: 628.12

**PROCEDURE FOR DEVELOPING A TURBOMECHANISM
PRODUCTIVITY ESTIMATOR BASED ON A NEURAL
NETWORK DURING THE POWER SUPPLY OF NON-
TRADITIONAL ENERGY SOURCES**

S. Burian, N. Pechenik, H. Zemlianukhina

National Technical University of Ukraine

*«Igor Sikorsky Kiev Polytechnic Institute», 37, Peremogy
avenue, Kyiv, Ukraine, 03056, tel.: +38(50)840-31-55,*

e-mail: sburyan18@gmail.com

The paper considers the procedure of developing a productivity estimator for a turbomechanism using the apparatus of artificial neural networks. The power supply of the installation comes from an unconventional energy source.

Keywords: *turbomechanism, productivity, estimator, non-traditional sources, neural networks.*

**ПРОЦЕДУРА РОЗРОБКИ ОЦІНЮВАЧА
ПРОДУКТИВНОСТІ ТУРБОМЕХАНІЗМУ НА ОСНОВІ
НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ПРИ ЖИВЛЕННІ УСТАНОВКИ ВІД
НЕТРАДИЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ**

С.О. Бур'ян, М.В. Печеник, А.Ю. Землянухіна

Національний технічний Університет України

*„Київський політехнічний інститут імені Ігоря
Сікорського”, просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна,
тел.: +38(50)840-31-55, e-mail: sburyan18@gmail.com*

У роботі розглянута процедура розробки оцінювача продуктивності для турбомеханізму при використанні апарата штучних нейронних мереж. Живлення установки при цьому відбувається від нетрадиційного джерела енергії.

Ключові слова: турбомеханізм, продуктивність, оцінювач, нетрадиційні джерела, нейронні мережі.

ORCID: 0000-0002-4947-0201, 0000-0002-4527-1125,
0000-0002-9653-8416.

Nowadays centrifugal turbomechanisms found wide applications in different areas. A special place is occupied by turbomechanisms of private houses, which have a non-traditional or alternative power source, such as a wind turbine or solar panels. It is necessary to maintain a constant voltage on the drive motor of the turbomechanism to ensure its continuous operation when measuring the necessary technological coordinates for the control system.

The process of determining and estimation the turbomechanisms' technological coordinates is an integral part of their automatic control systems design, however, the sensors, which provide information to the system, are expensive or the access for their installation is limited by the construction of the hydraulic network.

In [1], the authors propose a system with two temperature and pressure sensors on input and two on pump output to calculate its efficiency. To increase the water supply system energy efficiency, the forecasting method can be used [2]. Measuring the productivity of a turbomechanism is a separate problem, as performance sensors are quite expensive and inaccurate.

To develop a neural network (NN) productivity estimator [3], we use the Matlab2014b package with Neural Network editor (nntool). The block diagram for neural network training is shown in Fig. 1. The turbomechanism (TM) is powered by a non-traditional energy source, provided that the voltage and frequency f^* at the input of the frequency converter (FC) of the induction motor (IM) is stabilized.

Fig. 1. Function diagram of system for editor ntstool

In Fig. 1 the following notations have been used: P_a – active power; $P_a z^{-1}$ – active power delayed by one quantization cycle; I – stator current module; $I z^{-1}$ – stator current module delayed by one quantization cycle; $f^* z^{-1}$ – task for frequency delayed by one quantization cycle; $\hat{Q}$ – observed value of the productivity; $\hat{Q} z^{-1}$ – observed value of the productivity delayed by one quantization cycle.

To form further input arrays for training neural networks during the simulation process, the set frequency varies in the range from 50 Hz to 30 Hz with a step of 2 Hz. Also, to increase the accuracy of the neural network, the network resistance varies in the whole possible range at each frequency, namely from 0 s2/m5 to 6.439 s2/m5. The graphs of the task for frequency and network resistance are presented in Fig. 2.

Fig. 2. Diagram of the task for frequency and network resistance respectively

After training the neural network on the signals given in Fig. 2., it is possible to check of working capacity of the developed estimator with the schedule of change of hydraulic resistance according to different laws. According to the proposed method, it is possible to develop estimators of any technological coordinates of turbomechanisms.

Literature:

1. Wanjiru E.M., Sichilalu S.M., Xia X. Optimal integrated diesel grid-renewable energy system for hot water devices. *Energy Procedia*. 2016. T. 103. №. April. P. 117–122.
2. Aguilar F.J., Aledo S., Quiles P.V. Experimental analysis of an air conditioner powered by photovoltaic energy and supported by the grid. *Applied Thermal Engineering*. 2017. T. 123. P. 486–497.
3. Burian, M. Pechinik, M. Pushkar and A. Tytarenko, "Investigation of the Pump Unit Control System With the Neural Network Productivity Estimator," 2019 IEEE 6th International Conference on Energy Smart Systems (ESS), Kyiv, Ukraine, 2019, p. 298–302.

УДК 621.313.821

КОНТРОЛЬ СТАНУ ІЗОЛЯЦІЇ ОБМОТОК ВІТРОГЕНЕРАТОРІВ

В.В. Чумак¹, О.В. Вишневський²

*Національний технічний університет України «Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
проспект Перемоги 37, м.Київ, Україна,
тел:(044) 204-95-18, e-mail: ntuukafem@ukr.net*

В роботі представлено аналіз частотних характеристик вітрогенераторів зі всипними обмотками з урахуванням процесів послідовної руйнації ізоляційної конструкції впливом тепло-вологих циклів. Показано, що частотні характеристики можуть бути узагальненим параметром стану ізоляції в умовах періодичного відстеження якості ізоляції при регламентних ревізіях. Доведено, що частотні характеристики, які зняті в режимах холостого ходу та короткого замикання мають діагностичні ознаки рівня руйнації ізоляції при зволоженні, які полягають в зміщенні екстремумів характеристик в область більш низьких частот, а також зменшення площі під кривою між мінімальними і максимальними екстремумами характеристики.

Ключові слова: високочастотні процеси, високочастотний, вхідний опір, вітрогенератори зі всипними обмотками, ємність.

INSULATION CONDITION OF WIND GENERATOR WINDING INSULATION

The article presents an analysis of the frequency characteristics of wind turbines with bulk windings, taking into account the processes of successive destruction of the

insulating structure by the influence of warm-wetcycles. It is shown that the frequency characteristics can be a generalized parameter of the insulation state in the conditions of periodic monitoring of the insulation quality during routine audits. It is proved that the frequency characteristics, which are taken in the idle and short circuit modes, have diagnostic signs of the level of insulation destruction during humidification, which consist in shifting the performance extremes to the lower frequency range and reducing the area under the curve between minimum and maximum performance extremes.

Keywords: *high-frequency processes, high-frequency, input resistance, wind generators with bulk windings, capacity.*

ORCID: ¹0000-0001-8401-7931, ²0000-0001-7814-9030.

Робота вітрогенераторів зі зволоженою зістареною ізоляцією призводить до її швидкого руйнування і є небезпечною через більшу вірогідність аварійної відмови, тому проблема оцінки стану зволоження зістареної ізоляції є актуальною та потребує створення нових способів визначення ступеню можливості її подальшої експлуатації. Значний вплив на стан ізоляційної конструкції має зволоження ізоляції при змінах кліматичних умов. Для нової ізоляції ця проблема стоїть не так гостро, порівняно зі зволоженням зістареної ізоляції.

Розвиток дефекту ізоляції відбувається під впливом зволоження, термічних руйнувань, механічних пошкоджень, електричного поля робочої напруги і перенапруги, забруднень і т. п.

Методи діагностики вітрогенераторів широко досліджувались раніше [1-4]. Найбільш розповсюдженими є методи неруйнівного контролю технічного стану ізоляції. Запропоновані методи діагностики не дають змоги неруйнуючого контролю ізоляції і часто вимагають занадто багато вимірювань або розбирання електричної машини. Метод аналізу запропонований в даній роботі спирається на

аналіз частотних характеристик вітрогенераторів. При знятті частотних характеристик на клеми двигуна подається низька напруга 5-10 В, яка є безпечною для ізоляції.

Для забезпечення пришвидшеного впливу на ізоляцію були прийняті наступні умови тепловозого впливу – 100% вологість при температурі 100°C (в середовищі насиченої пари протягом 8 годин с наступним охолодженням до 20° і вільною конденсацією вологи на поверхні відкритої машини протягом 16 годин).

Як показали досліді вибраний термін випробування приводить конструкцію в граничний стан. Подальше збільшення часу тепловозого впливу не позначається параметрах системи, т. я. вона приходить в граничний стан.

В подальшому машина переводиться в режим сушіння (інтенсивної теплової взаємодії і старіння). Для ізоляції класу F вибраний режим сушки при температурі 165° протягом 2 годин. Нагрів обмотки проводився постійним випрямленим струмом.

Частотні характеристики знімалися для різних схем підключення двигуна, перша – холостий хід, друга – коротке замикання.

Після першого циклу зволоження, зроблено наступні висновки – значення опору при резонансному екстремумі значно зменшилось, що свідчить про зменшення опору ізоляції, а значення частоти резонансного піку свідчить про збільшення ємності ізоляції.

Показано, що частотні характеристики можуть бути узагальненим параметром стану ізоляції в умовах періодичного відстеження якості ізоляції при регламентних ревізіях.

Для першого циклу тепловозого старіння отримані наступні результати – резонансна частота, яка відповідає верхньому екстремуму змістилась в область більш низьких частот, що відповідає збільшенню ємності обмотки. Максимальне значення опору $Z(f)$ зменшилось в порівнянні з новою ізоляційною конструкцією, що відповідає

зменшенню опору ізоляції відносно корпусу. Найбільш суттєві зміни відбулися після першого циклу зволоження ізоляції, а наступні цикли вже не так суттєво впливають на зміщення частоти екстремумів та зменшення вхідного опору обмоток двигуна.

Оцінка ступеню деструкції ізоляції слід проводити контролюючи параметри частоти резонансного піку, пікового значення опору $Z(f)$ та визначенню площі між верхнім та нижнім екстремумом графіку $Z(f)$.

Література:

1. В. В. Чумак, Є. А. Монахов, О. В. Вишневський, А. С. Стулішенко- «Частотні характеристики електричних машин зі всипними обмотками при тепловологому старінні 2019 р. ст. 87-90

2. В. Тарасюк – Контроль та випробування ізоляції обмоток тягових двигунів електропоїздів під час ремонту // Праці наукової бібліотеки імені Вернадського 2012 р.

3. В.А. Чернышев, Е.В. Зенова, В.А. Чернов и др– Обобщенный индекс поляризации как параметр контроля состояния изоляционных промежутков силовых трансформаторов /. // Материалы IV международной конференции «Силовые трансформаторы и системы диагностики». – 2009. – 653 с.

4. Jose Luis Oslinger, Luis Carlos Castro, "Correlation between capacitance and dissipation factor used for assessment of stator insulation", *Intern'l Journal of Electrical Engg.*, vol. -6, no. 3, 2012.

5. Бакурадзе Л. Н. и др. Определение режимов ускоренных испытаний на сохраняемость электроизоляционных конструкций электрических машин малой мощности. Электрические машины, вып. II, 1978.

UDC 620.91; 626/627; 556.012

ON THE DEVELOPMENT OF UKRAINE'S SMALL HYDROPOWER IN THE CONTEXT OF CLIMATE CHANGE

D.V. Stefanyshyn, Yu.S. Vlasiuk

*Institute of Telecommunications and Global Information Space
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv
National University of Water and Environmental Engineering,
Rivne*

*The report presents some results of the analysis of
Ukraine's small hydropower development in the context of the
impact of climate change on river hydrology.*

Keywords: *climate change, small hydropower, small
hydropower plants, hydrology non-stationarity.*

ПРО РОЗВИТОК МАЛОЇ ГІДРОЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ В КОНТЕКСТІ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН

Д.В. Стефанишин, Ю.С. Власюк

*Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного
простору НАН України, м. Київ
Національний університет водного господарства та
природокористування, м. Рівне*

*Представлено деякі результати аналізу розвитку
малої гідроенергетики в Україні в контексті впливу
кліматичних змін на гідрологію річок.*

Ключові слова: *кліматичні зміни, мала
гідроенергетика, малі гідроелектростанції,
нестационарність в гідрології.*

ORCID: 0000-0002-7620-1613, 0000-0002-6359-733X.

Ukraine defines small hydropower and small hydropower plants (SHPPs) as hydropower facilities with less than 10 MW of installed capacity [1]. In addition, SHPPs with less than 200 kW of installed capacity are classified as micro-hydropower, within 200 kW - 1 MW as mini-hydropower [1, 2]. Primarily, this classification is important to the establishment of the feed-in-tariff's (FIT's) value. For SHPPs with a capacity of up to 200 kW, the FIT is the largest one, and for SHPPs with a capacity of 1 MW and more it is the smallest one [3]. It should be also noted that in Ukraine SHPPs are considered as business projects focused on making profits from the FIT. None of SHPPs in Ukraine provides stand-alone supplying electricity for local communities' or for any other private needs.

In 2019, 157 Ukraine's SHPPs, with a total installed capacity of 114 MW, had generated 242 million kWh of electricity [4]. The average installed capacity utilization rate (ICUR) was approximately 24 per cent. As of April of 2020, the total installed capacity of Ukraine's SHPPs stood at approximately 116 MW and was comprised of about 160 SHPPs operating under the FIT [5]. For the first of three 2020's months, Ukraine's SHPPs generated 63 million kWh of electricity. The average ICUR was of about 25 per cent. As of the end of 2020, as many as 167 SHPPs [6], with a total installed capacity of about 118.26 MW, have operated under the FIT in Ukraine. Compared to the WSHPD 2019's data [2], the installed capacity of Ukraine's SHPPs has increased by 18 per cent. However, the average ICUR of SHPPs operating under the FIT in Ukraine decreased from approximately 44 per cent in 2013 to approximately 22 per cent in 2020.

Such great decrease of the average ICUR of Ukraine's SHPPs cannot be explained otherwise than both by the reduction of water discharges in rivers, which occurred during last years as well as by the insufficient substantiation of new projects, in particular, due to the overestimation of feasible hydropower potential. Due to the FIT, Ukrainian owners of SHPPs are interested in producing more electricity and in the high ICUR's values. If regarding that a majority of Ukrainian

entrepreneurs develop SHPPs with a capacity not exceeding 200 kW it can be concluded that in Ukraine there is a serious decrease in the rivers' water content. In particular, more than 43 per cent of all operating SHPPs in Ukraine have an installed capacity not exceeding 200 kW. In turn, among SHPPs put into operation in the last two years, more than 80 per cent of SHPPs have a capacity not exceeding 200 kW.

We have previously emphasized that Ukraine has a relatively poor natural hydropower potential. It is one of the lowest in the world [7]. Rivers flowing through the territory of Ukraine show a relatively low and uneven runoff (up to 70 per cent and more of their annual runoff occur during short periods of floods). In addition, due to climate change, their runoff is in decline. Droughts, especially in summers, are expected to become even more frequent in the coming years [8]. As a result, climate change can significantly harm Ukraine's hydropower in the future [9]. Moreover, the common situation might further get worse because of neglect of hydrology non-stationarity while SHPPs planning [10].

References:

1. The Verkhovna Rada of Ukraine (2017). The Law of Ukraine "On Electricity" (with amendments as of June 11, 2017). Available from <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/575/97-%D0%B2%D1%80>.
2. Vas'ko, P., and Ibragimova, M. (2019). Ukraine. World Small Hydropower Development Report 2019, 55-60.
3. About establishment of "green" tariffs for the electric power and a surcharge to "green" tariffs for observance of a level of use of the equipment of the Ukrainian production for business entities. (2020). NEURC. Decree 25/03/2020 # 723. Available from <https://www.nerc.gov.ua/?id=50518>.
4. State Agency on Energy Efficiency and Energy Saving of Ukraine. Stat. information as of January 1, 2020, Available from https://saee.gov.ua/sites/default/files/VDE_2019.pdf.

5. State Agency on Energy Efficiency and Energy Saving of Ukraine. Stat. information as of April 1, 2020. Available from https://saee.gov.ua/sites/default/files/1_kv_2020_VDE.pdf.

6. Renewable assets. Energo.UA. Available from <https://www.energo.ua/en/assets>

7. Stefanyshyn, D.V. (2018). On peculiarities of hydropower development in the world and in Ukraine. Environmental safety and natural resources. 25 (1), 12-23: DOI: 10.32347/2411-4049.2018.1.12-23

8. Ukraine. Water resources. FAO of the UN. Available from http://www.fao.org/NR/water/aquastat/countries_regions/Profile_segments/UKR-WR_eng.stm

9. Pritchard S. (2019). European insights: hydropower, climate change and EU law. International Water Power and Dam Construction Available from <https://www.waterpowermagazine.com/features/featureeuropean-insights-hydropower-climate-change-and-eu-law-7502217/>

10. Milly P.C.D., Betancourt, J., Falkenmark, M., et al. (2008). Stationarity is dead: whither water management? Science, 319, 573-574: DOI: 10.1126/science.1151915.

UDC 620.91; 626/627; 504.062

ENABLERS AND BARRIERS FOR SMALL HYDROPOWER DEVELOPMENT IN UKRAINE

D.V. Stefanyshyn, A.G. Petrosian

*Institute of Telecommunications and Global Information Space
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv
«Hydroenergetica LLC», Kyiv*

*The report presents key enablers and barriers for the
sustainable development of small hydropower in Ukraine.*

Keywords: *environmental issues, feed-in-tariff, small
hydropower, good case practices.*

СТИМУЛИ ТА БАР'ЄРИ ДЛЯ РОЗВИТКУ МАЛОЇ ГІДРОЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ

Д.В. Стефанишин, А.Г. Петросян

*Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного
простору НАН України, м. Київ;
«Hydroenergetica LLC», м. Київ*

*Розглянуто ключові стимули та бар'єри для
сталого розвитку малої гідроенергетики в Україні.*

Ключові слова: *екологічні проблеми, зелений
тариф, мала гідроенергетика, передові практики.*

ORCID: 0000-0002-7620-1613, 0000-0002-0025-4938.

Ukraine has hydropower potential for the development of small hydropower (SHP). First of all, it is attributed to the large number of small and medium-sized rivers flowing through its territory (more than 55,000) [1]. There are also 1103 reservoirs in Ukraine with a total water volume of about 55,500 million m³, and 50,793 artificial ponds (a pond has capacity not exceeding

1.0 million m³) with a total volume of 3,969 million m³ [2, 3]. The recent results of the market assessment of SHP rehabilitation in Ukraine study from World Bank shows the total feasible potential for Ukraine's SHP development including 118.26 MW developed [4] of about 280 MW [5]. However, the key enabler for the development of SHP in Ukraine should still be considered its state support, in particular through its eligibility to benefit from the feed-in-tariff (FIT) [6, 7].

Overall, Ukraine's current regulatory framework keeps providing good opportunities for the SHP development in the country. However, Ukraine's SHP develops spontaneously, without due regard for environmental issues, local needs and without feasibility assessment of many SHP projects. Primarily, it is because there is no national SHP development programme in Ukraine yet. It could be a significant challenge in the future. As the WWF in Ukraine emphasises, "despite the high impact of SHP on the river environment and ecosystem services, public money in the shape of green tariffs is driving further development and the provision of financial support is not linked to environmental and social conditions" [8, 9]. It should also be noted that environmental impact assessments conducting in Ukraine for new SHP projects turn out to be often inadequate and insufficiently comprehensive [10].

Ukraine needs such Programme. It should be developed with the involvement of all stakeholders including scientists, local community and non-governance organizations to ensure coordination of different concerns, making of knowledge-based decisions and finding of feasible trade-offs. When developing such programme it will be possible to determine "no-go" areas [8] for hydropower development, and also ensure unlocking so-called "hidden hydropower potential". It relates to a lot of non-powered dams in the country, municipal and industrial reservoirs and ponds, sewage and wastewater treatment runoff pipes infrastructure and other man-made water infrastructure for the distribution of water for agricultural or other purposes. This hidden hydropower potential has not been explored in the country yet. Its usage might boost the implementation of

successful SHP projects without harming largely the environment and local communities [8, 9].

There have already been two good case practices relating to SHP in wastewater treatment facilities in Ukraine, which are pilot projects in the country. One small hydraulic installation is located in the city of Poltava at the Suprunivska sewage treatment plant [4]. The hydropower unit using treated wastewaters has a capacity of 190 kW and produces up to 1.24 million kWh of electricity per year. This project was supported by the Ukrainian office of the WWF and was implemented in 2018. The second case was also implemented in 2018 in the city of Zaporizhzhia on the Kapustyansky reservoir [4]. The main structures of the reservoir were built in the 60s of the last century to accumulate sludge from wastewaters and water clarification before discharging to the river. That small hydropower plant has a capacity of 480 kW and generates up to 2.1 million kWh of electricity per year.

References:

1. Vas'ko, P., and Ibragimova, M. (2019). Ukraine. World Small Hydropower Development Report 2019, 55–60.
2. Ukraine. Water resources. FAO of the UN. Available from http://www.fao.org/NR/water/aquastat/countries_regions/Profile_segments/UKR-WR_eng.stm.
3. Khilchevskiy, V., Grebin, V., Zabokrytska, M., Zhovnir, V., Bolbot, H., and Plichko, L. (2020). Hydrographic characteristic of ponds distribution in Ukraine – Basin and regional features. *Journal of Water and Land Development*. No. 46 (VII–IX) p. 140–145. DOI: 10.24425/jwld.2020.134206.
4. Renewable assets. Energo.UA. Available from <https://www.energo.ua/en/assets>.
5. The Executive Summary – Market assessment of Small Hydropower Plants in Ukraine. P161875. World Bank Document. Public Disclosure Authorized. Available from <http://documents1.worldbank.org/curated/en/472871561153957631/pdf/The-Executive-Summary-Market-Assessment-of-Small-Hydro-Power-Plants-in-Ukraine.pdf>.

6. Vlasiuk, Yu.S., and Stefanyshyn, D.V. (2018). On problems and prospects of small hydropower engineering in Ukraine. *Math. modeling in economy*, 1 (10), 126–138. (In Ukrainian):
<http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/161996>.

7. Renewable energy in Ukraine Q&A. DLF. Available from <https://dlf.ua/en/renewable-energy-in-ukraine-q-a/>.

8. WWF position paper on small hydropower development in Ukraine. (2018). Available from <https://energyukraine.org/wp-content/uploads/2018/05/position-SHPPs-eng.pdf>.

9. The lack of environmental standards in small hydropower poses a threat to Ukrainian rivers. (2019). WWF Ukraine. Available from <https://wwf.ua/?uNewsID=354457>.

10. Stefanyshyn, D.V., and Vlasiuk, Yu.S. (2019). Some critical comments on the quality of environmental impact assessment reports for small hydropower plants in Ukraine. *Environmental Safety and Natural Resources*, 32 (4), 43–59: DOI: 10.32347/2411-4049.2019.4.43-59.

УДК 620.9

МОДЕЛЮВАННЯ МОДУЛЯ ПОПЛАВКОВОЇ МІНІЕЛЕКТРОУСТАНОВКИ

В.С. Іванов¹, М.С. Тригуб², А.Ф. Дяденчук³

*Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного*

Виготовлено та апробовано модуль поплавкової хвильової енергоустановки. Виготовлена установка являє собою систему, що складається зі статичного корпусу та двох рухомих тягарців, один з яких відіграє роль якоря, а інший – поплавок. Для підсилення генерованого струму використано спеціальну електричну схему, яка складається з трьохфазного випрямляча змінного струму та автогенератора на транзисторі.

Ключові слова: енергія хвиль, електроустановка.

MODELING MODULE OF THE FLOATING MINI ELECTRICAL INSTALLATION

V.S. Ivanov¹, M.S. Trigub², A.F. Dyadenchuk³

Dmytro Motorny Tavria State Agrotechnological University

The module of the float wave power plant is made and tested. The manufactured installation is a system consisting of a static body and two movable weights, one of which plays the role of an anchor, and the other - a float. To amplify the generated current, a special electrical circuit is used, which consists of a three-phase AC rectifier and an autogenerator on a transistor.

Keywords: wave energy, electrical installation.

ORCID: ¹0000-0002-6104-6809, ²0000-0002-7968-5182,
³0000-0002-6625-9985.

Постановка проблеми. Стрімко зростаюча екологічна криза та потреба в електричній енергії зумовлюють необхідність широкого використання відновлюваних традиційних і нетрадиційних джерел енергії [1]. Наразі найбільш динамічно розвиваються сонячна та вітрова енергетика [2]. Однак як вітрову, так і сонячну енергію значно перевершує за питомою потужністю хвильова енергія морів та океанів. Тому актуальним є питання моделювання та розробки хвильових електроустановок, здатних стійко працювати в будь-яких реальних умовах експлуатації.

Мета роботи полягає у виготовленні та апробації поплавкової мініелектроустановки.

Основні матеріали дослідження. Виготовлена установка являє собою систему, що складається зі статичного корпусу та двох рухомих тягарців, один з яких відіграє роль якоря, а другий – поплавок. Кінематичний зв'язок з електрогенератором виконано у вигляді гвинтової передачі з редуктором. Рух тягарців, з'єднаних між собою мотузкою, здійснюється перпендикулярно осі корпусу. На рис. 1 наведено осьовий переріз виготовленої установки.

Поплавкова хвильова електроустановка містить трьохфазний генератор змінного струму (1), обмотки якого з'єднано трикутником. Через шків ротора перекинута нерозтяжна мотузку (2), один кінець якої прикріплено до поплавка (3). Другий кінець мотузки з'єднано з тягарем-якорем (4).

Рис. 1. Осьовий переріз розробленої поплавкової хвильової електростанції

Для підсилення генерованого струму використано спеціальну електричну схему, яка складається з трьохфазного випрямляча змінного струму та автогенератора на транзисторі. За основу автогенератора взято класичну схему з трансформаторним зворотним зв'язком. Така компоновка схеми дозволяє отримувати напругу на виході близько 50 В залежно від кількості витків в первинній (15 витків) та вторинній (25 витків) обмотках імпульсного трансформатора.

Фізичні принципи роботи хвильової енергоустановки. Під дією морської хвилі поплавок виводиться зі стану спокою й починає здійснювати коливальні рухи, перебуваючи під дією сили тяжіння Землі та Архімедової сили. Частота коливань поплавка визначається його масою і площею поперечного перерізу. Поплавок, перебуваючи за допомогою гвинтової передачі в зачепленні з віссю ротора електрогенератора, розкручує ротор. Ротор, обертаючись, індукуює ЕРС, яка передається на схему. Генератор при цьому працює як котушка. Використання конденсатора дозволяє створювати запас енергії в періоди неповного навантаження

електрогенератора, а в періоди максимального навантаження або морського затишшя підтримувати його обертання.

Пропоноване технічне рішення, завдяки розробленій схемі, передбачає максимальну адаптацію до інтенсивності морського хвилювання.

Висновки. Виготовлено та апробовано модуль поплавкової хвильової енергоустановки. Встановлено, що завдяки принципу дії, виготовлений перетворювач здатний забезпечити найкращі умови для відбору енергії шляхом підстроювання й узгодження його параметрів із зовнішнім хвильовим полем. Хвильові електростанції, створювані на базі запропонованого технічного рішення, можуть розглядатися як ефективні, стабільні та надійні елементи загальної багатокомпонентної системи енергопостачання прибережних регіонів.

Література:

1. Аврамов В. О., Дяденчук А. Ф. Оцінка потенціалу хвильової енергії в Україні. *Перспективи розвитку територій: теорія і практика: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених*. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. С. 344–346.
2. Бурячок Т. О., Буцьо З. О., Варламов Г. Б. та ін. Енергетика: історія, сучасність і майбутнє. Кн. 5 : Електроенергетика та охорона навколишнього середовища. Функціонування енергетики в сучасному світі [Електронний ресурс]. Київ, 2006. URL: <http://energetika.in.ua/ua/books/book-5/part-4/section-4/4-1>.

УДК 620.91

**ПРЕЗЕНТАЦІЯ ПРОЄКТУ ПРИСТРІЙ І ТЕХНОЛОГІЯ
«ТРУБО-ГВИНТОВИЙ РОТОР» (ТГР) «PIPE-SCREW
ROTOR» (PSR) ЯК НОВОГО ТИПУ ПОВІТРЯ-ГІДРО-
ТУРБИНИ ТА СПОСОБУ ДИНАМІЧНОЇ КОНЦЕНТРАЦІЇ
ПОТОКУ Й ОРГАНІЗОВАНОГО ВИХОРОУТВОРЕННЯ**

**О.К. Денисов¹, Р. Васильчук², О. Корнилов³,
О. Трифонов⁴**

*Суспільно-наукове об'єднання «Сприяння винаходам
(СВІІТ)», тел.: +38(095)352-8786,
e-mail: dalko133@gmail.com*

У роботі наведено особливості обертання вільно-поточної повітряної і гідротурбіни за принциповою схемою прототипу №2 винаходу «Трубо-гвинтовий ротор» та розглянуто спосіб динамічної концентрації потоку.

Ключові слова: вода, вихор, концентрація, повітря, потік, спосіб, турбіна.

**PRESENTATION OF PROJECT IS DEVICE AND
TECHNOLOGY OF "PIPE-SCREW ROTOR" (PSR) AS A
NEW TYPE OF AIR HYDRO TURBINE AND METHOD OF
DYNAMIC CONCENTRATION OF STREAM AND
ORGANIZED WHIRLWIND OF FORMATION**

O. Denisov¹, R. Vasilchuk², O. Kornilov³, O. Trifonov⁴
*Publicly-scientific association of "Assistance to the inventions
(СВІІТ)", tel.: +38(095)352-8786, e-mail: dalko133@gmail.com*

Features over of rotation are in-process brought in the free stream of air and hydro turbines on the fundamental chart of prototype №2 inventions "Pipe-screw rotor" and the method of dynamic concentration of stream is considered from anymore on a less plane.

Keywords: *water, vortex, concentration, air, flow, method, turbine.*

ORCID: 0000-0002-6513-5542.

Винахід «Трубо-гвинтовий ротор» (патент UA 93025, пріоритет 13 червня 2006 р., реєстрація 1 жовтня 2011 р.) є ротаційним пристроєм, робочим органом якого являє собою трубчастий канал конфузотно-дифузотної конструкції, стінки якого мають гвинтовий профіль, що встановлений під кутом до осі обертання та має осьову орієнтацію входу і варіативні орієнтації виходу (для різних окремих модифікацій пристрою) від осьової до радіально-тангенціальної із застосуванням, у тому числі, принципу сегнерова колеса.

Дослідження роботи пристрою в програмі ANSYS та натурні експерименти наведені на :

<http://inventionpipescrewrotorp2.blogspot.com/>

<https://youtu.be/D5xqkF5o39M>,

<https://youtu.be/-67w0qkepL8>,

<https://www.youtube.com/watch?v=qsHyDid8BI>,

<https://youtu.be/uLlnEDSPM>.

Другим прототипом трубо-гвинтового ротора є конструкція з безплечовим сегнеровим колесом, здатним обертатися у вільному потоці: <https://youtu.be/T1Z7dFaWRs>.

Особливістю його аеро- та гідродинамічних характеристик є мінімальний лобовий опір від супротивного потоку при високому коефіцієнті заповнення площини робочого колеса. Вихідний потік має форму вихрового кільця (замкнутого) у вигляді тора.

Усе це дає змогу при роботі пристрою як вітротурбіни отримувати не тільки потужність на валу, а й прискорений потік радіальної спрямованості на виході. Якщо у звичайній вітротурбіні швидкість потоку за гвинтом падає в 3 рази і відбирається 2/3 первісної енергії вітру, то в даному випадку відбирається більше:

<http://inventionpipescrewrotorp2.blogspot.com/2017/12/2.html>)

Найбільш наочно такі переваги проявляються при використанні пристрою як напірної гідротурбіни: <http://inventionpipescrewrotor2.blogspot.com/2018/09/2-90.html>).
<https://drive.google.com/file/d/0B4mwRuuXJsfiU0NsX1pOU2NaWTY5OXByY3dNTGxJdXRtOEpn/view?usp=sharing>.

Реалізація технології турбогвинтового ротора відкриває нові можливості у вітро- і гідроенергетиці.

Література:

1. База патентів України UAPATENTS.COM:
<https://uapatents.com/3-93025-trubo-vintovijj-rotor.html>
2. <http://newwindturbine.blogspot.com/>
3. <http://pipe-screwrotor.blogspot.com/>
4. <http://inventionnewwindturbine.blogspot.com/>

УДК 621.311.21.001.2

ПІЛОТНИЙ ПРОЄКТ МАЛОЇ ГЕС НА СТИЧНИХ ВОДАХ МІСЬКИХ ОЧИСНИХ СПОРУД НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ

А.О. Бриль¹, П.Ф. Васько², А.В. Мороз³,
*Інститут відновлюваної енергетики НАН України,
02094, вул. Гната Хоткевича, 20а, м. Київ, Україна.*

Висвітлено додаткові можливості збільшення потенціалу малої гідроенергетики в результаті використання скидного потенціалу зворотних вод технологічних процесів. Наведено технічні параметри та умови функціонування першої на території України малої ГЕС на стічних водах міських очисних споруд.

Ключові слова: *гідроелектростанція мала, електроенергія, стічні води, "зелений" тариф.*

PILOT PROJECT OF A SMALL HPP ON WASTE WATER OF MUNICIPAL TREATMENT FACILITIES ON THE TERRITORY OF UKRAINE

A. Bril¹, P. Vasko², A. Moroz³,
*Institute for Renewable Energy of the National Academy of
Sciences of Ukraine, 02094, 20A Hnata Khotkevycha St.,
Kyiv, Ukraine.*

Is showed additional opportunities to increase the potential of small hydropower as a result of using the waste potential return water of technological processes. Is given technical parameters and conditions of functioning of the first small hydroelectric power station on the territory of Ukraine on urban waste water treatment facilities.

Keywords: *electricity, green tariff, waste water, small hydropower plant.*

ORCID: ¹0000-0002-5134-0393, ²0000-0001-8807-7173,
³0000-0002-9284-3624.

Гідроенергетичний потенціал малих річок країни, з урахуванням природоохоронних обмежень на використання води стоку річки для виробництва електроенергії та використання територій для спорудження малих ГЕС, сягає рівня 375 МВт з річним обсягом виробництва електроенергії близько 1270 млн кВт·год/рік [1–3]. Станом на 2021 рік перебуває в експлуатації 117 МВт потужностей малих ГЕС. Існують додаткові можливості збільшення потенціалу малої гідроенергетики в результаті використання гідроенергетичного потенціалу зворотних вод технологічних процесів (водопостачання питної води, водовідведення, зворотні води гірничо-збагачувальних комбінатів, очисних споруд міст та підприємств).

Використання мікро-, міні- та малих гідроелектростанцій (МГЕС) на вже існуючих перепадах рівнів води на різних об'єктах водного господарства активно впроваджується у світі як проєкти відновлюваної енергетики та всіляко підтримується державними установами, зокрема шляхом встановлення спеціальних «зелених» тарифів або зелених сертифікатів для реалізації виробленої електроенергії [4]. Генерування електроенергії здійснюється за відсутності негативного впливу на флору і фауну, оскільки у зворотних водах відсутня риба, річні тварини, рідкісні птахи. Немає потреби в побудові греблі, нового водосховища, не затоплюються навколишні території. Будівництво МГЕС на введених в дію спорудах водопостачання та водовідведення сприяє модернізації існуючого об'єкта (ремонт або заміна окремих елементів) та підвищенню його надійності в результаті встановлення сучасної автоматизованої системи управління та моніторингу.

Пілотний проєкт МГЕС на зворотних водах міських очисних споруд побудовано біля м. Полтава [5]. Станція функціонує і призначена для виробництва електроенергії

виключно в результаті використання потенціальної енергії водного потоку, що утворюється природнім перепадом висоти між місцями водозабору та зливу води. МГЕС складається із сукупності гідротехнічних споруд, що забезпечують необхідну концентрацію потоку води і створення напору, а також з енергетичного устаткування, яке перетворює енергію рухомої під напором води в механічну енергію обертового руху, яка потім перетворюється в електричну енергію. Витрати води регламентуються режимом роботи очисних споруд. Станцію обладнано високотехнологічним обладнанням, що працює в автоматичному режимі паралельної роботи з загальнодержавною електросистемою без штатного експлуатаційного персоналу. Встановлена потужність генератора дорівнює 193 кВт, розрахунковий напір - 36 м, довжина дериваційного напірного трубопроводу – 520 м.

Керування МГЕС здійснюється за допомогою сучасних технологій бездротового доступу. Автоматична система керування та моніторингу дає змогу дистанційно отримувати інформацію щодо миттєвої потужності та обертів генератора, фактичного рівня води у верхньому б'єфі та інші дані для оцінки стану гідроелектростанції. Узгодження значення генерованої потужності з наявними обсягами стічної води здійснюється шляхом зміни відкриття напрямного апарату гідротурбіни типу Кроссфло (Cink, Чехія). Загальний вигляд гідроелектричного агрегату в машинній залі станції показано на рис.1.

**Рис. 1. Гідроелектричний агрегат МГЕС
«ПОЛТАВА ГІДРО»**

Література:

1. Васько П.Ф., Бриль А.О., Мороз А.В., Озорин Д.Ф. Расчёт теоретического значения гидроэнергетического потенциала малых рек с учётом обеспеченности стока воды // Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE). 2012. №7. С.126–132. (ISSN1608–8298).
2. Васько П.Ф., Мороз А.В. Потенціал використання гідроенергетичних ресурсів основних малих річок України. Відновлювана енергетика. 2016. № 3. С. 50–56.
3. Бриль А.О., Васько П.Ф., Мороз А.В. Технічний потенціал гідроенергетичних ресурсів малих річок України з урахуванням природоохоронних обмежень. Гідроенергетика України. 2019. №3-4. С.47–51.

4. Bousquet C., Samora I., Manso P., Rossi L., Heller P., Schleiss A.J. Assessment of hydropower potential in wastewater systems and application to Switzerland. International Journal Renewable Energy. Elsevier. 2017. 113. P. 64–73.

5. Обґрунтування щодо прийняття постанови НКРЕКП «Про встановлення «зеленого» тарифу ТОВ «ПОЛТАВА ГІДРО» (ГЕС Полтавська обл., Полтавський р-н., с. Горбанівка, вул. Набережна, буд. 99) від 09.07.2019 [Електронний ресурс]. [URL: https://nerc.gov.ua/data/filearch/Materialy_zasidan/2019/lypen/%2009.07.2019/p11_09-07-19.pdf](https://nerc.gov.ua/data/filearch/Materialy_zasidan/2019/lypen/%2009.07.2019/p11_09-07-19.pdf) (дата звернення 01.02.2021).

УДК 621.22.004.14

**ОСНОВНІ НОРМАТИВНІ ДОКУМЕНТИ ЩОДО
РЕГЛАМЕНТАЦІЇ ЗАСТОСУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ,
РЕСУРСІВ ТА ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД МАЛОЇ
ГІДРОЕНЕРГЕТИКИ**

А.П. Вербовий

*Інститут відновлюваної енергетики НАН України,
вул. Гната Хоткевича, 20а, м. Київ, 02094, Україна,
тел.: +38(044)206-28-09, e-mail: andver@ukr.net*

*Розглянуті основні нормативні документи, що
регламентують застосування гідроенергетичного
обладнання, ресурсів та гідротехнічних споруд.*

Ключові слова: документ, гідроелектростанція,
гідроакумулювальна електростанція.

**MAIN REGULATORY DOCUMENTS REGARDING THE
REGULATION OF APPLICATION OF EQUIPMENT,
RESOURCES AND HYDROTECHNICAL STRUCTURES OF
SMALL HYDROPOWER ENGINEERING**

A. Verboviy

*Institute of Renewable Energy, National Academy of Science
of Ukraine, 20a Hnata Khotkevicha str., Kyiv, Ukraine, 02094.*

*The main normative documents regulating the use of
hydropower equipment, resources and hydraulic structures are
considered.*

Keywords: document, hydroelectric power plant,
pumped storage hydro station.

ORCID: 0000-0003-2838-6032.

Останніми роками питання розвитку малої
гідроенергетики отримали підтримку на державному рівні у

вигляді введення "зеленого" тарифу на вироблювану електроенергію, юридичного права на оренду та приватизацію існуючих малих гідроелектростанцій (ГЕС). Будівництво нових станцій затримується через наявність суб'єктивних і об'єктивних причин [1].

Подальший розвиток малої гідроенергетики неможливий без скоординованої державою схеми розміщення малих ГЕС, розробки процедур землевідведення, дозволів на спеціальне водокористування, налагодження співпраці з громадськими організаціями екологічного та природоохоронного напрямків, оновлення нормативної бази [1, 2]. Існуюча нормативна база не сприяє розвитку малої гідроенергетики, оскільки для виконання проєкту малих ГЕС (ГАЕС) необхідно затвердити таку саму кількість нормативної документації і висвітлити ті самі питання, що й для будівництва великої ГЕС (ГАЕС). Реформування потребує існуюча нормативно-технічна база проєктування, будівництва та експлуатації ГЕС та ГАЕС.

Основні нормативні документи, що регламентують застосування гідроенергетичного обладнання, ресурсів та гідротехнічних споруд.

- Водний кодекс України (ВКУ);
- Правила улаштування електроустановок (ПУЕ);
- Галузевий керівний документ (ГКД) 34.20.507-2003.

Технічна експлуатація електричних станцій і мереж. Правила;

- Галузевий керівний документ (ГКД) 34.03.106-2003. Безпека гідротехнічних споруд і гідротехнічного обладнання електростанцій України. Положення про галузеву систему нагляду.

Водний кодекс України набув чинності 20 липня 1995 року та складається з 6 розділів, 24 глав та 112 статей.

Водним кодексом України регулюються відносини щодо збереження, науково обґрунтованого, раціонального використання вод для потреб населення та різних галузей

економіки, охорони вод від забруднення, відтворення водних ресурсів, запобігання засміченню, шкідливим діям вод та усуненню їх наслідків, покращення стану водних об'єктів, а також охорони прав громадян, установ, підприємств, організацій на водокористування.

Правила улаштування електроустановок замовлено Міністерством енергетики та вугільної промисловості України. Наказом від 21.07.2017 № 476 їх затверджено й надано їм чинності. ПУЕ складаються із 6 розділів.

Нова редакція ПУЕ враховує вимоги національних стандартів, будівельних норм і правил, галузевих нормативів та інших документів.

Згідно з ПУЕ всі споживачі електричної енергії поділяються на три категорії.

До першої категорії електропостачання належать найважливіші споживачі, перерва в електропостачанні яких може призвести до нещасних випадків, великих аварій, нанесення великої матеріальної шкоди через вихід з ладу цілих комплексів обладнання.

До другої категорії постачання належать споживачі, при відключенні живлення яких, зупиняється робота важливих міських систем, на виробництві виникає масовий брак продукції, є ризик виходу з ладу великих взаємопов'язаних систем.

Третя категорія електропостачання споживачів включає в себе всіх інших споживачів, які не ввійшли в перші дві категорії. Зазвичай це невеликі населені пункти, міські установи, системи, перерва в електропостачанні яких не тягне за собою наслідків.

ГКД 34.20.507-2003. Технічна експлуатація електричних станцій і мереж. Правила. Цей нормативний документ затверджено Міністром палива та енергетики С.Ф. Єрміловим та надано йому чинності 13 червня 2003 року. Він складається з 13 розділів і додатку. Правила установлюють основні організаційні та технічні вимоги до експлуатації всіх об'єктів енергетики.

Дія цього документу поширюється на всі електростанції України (гідравлічні, гідроакумулявальні, атомні, теплові та ін.), що будуються та експлуатуються, і є обов'язковою для всіх підприємств і організацій, які здійснюють проектування, будівництво та експлуатацію гідротехнічних споруд і гідромеханічного обладнання електростанцій, а також виконують науково-дослідні, налагоджувальні, ремонтні та інші роботи, в тому числі роботи з нагляду за безпекою цих споруд.

ГКД 34.03.106-2003. Безпека гідротехнічних споруд і гідротехнічного обладнання електростанцій України. Положення про галузеву систему нагляду. Документ затверджено наказом Міністра палива та енергетики України №198 21 квітня 2003 року. Документ складається з 5 розділів. Він визначає завдання, функції та структуру галузевої системи нагляду за безпекою гідротехнічних споруд і гідромеханічного обладнання електростанцій України, тих, що будуються, й тих, що експлуатуються, права і обов'язки її учасників.

Для малих ГЕС та ГАЕС відсутні нормативні документи, які регламентують проектування, спорудження та експлуатацію таких електростанцій, та створення обладнання на основі сучасних технологій і матеріалів для них [3]. Для зміни ситуації в галузі розвитку малої гідроенергетики слід прийняти підзаконні акти, необхідні для функціонування системи державної підтримки відновлюваної енергетики; створити сучасну нормативну базу з державних будівельних норм (ДБН) та стандартів (ДСТУ) для проектування, будівництва та експлуатації малих ГЕС та ГАЕС

Література:

1. Васько П.Ф., Мороз А.В. Законодательные стимулы и природоохранные ограничения использования гидроэнергетических ресурсов малых рек Украины. Альтернативная энергетика и экология. 2014. № 15. С. 82–92.

2. А.О. Бриль, П.Ф. Васько, А.В. Мороз. Технічний потенціал гідроенергетичних ресурсів малих річок України з урахуванням природоохоронних обмежень. Гідроенергетика України. 2019. № 3-4. С. 47–51.

3. P. Vasko, A. Verbovij, A. Moroz, S. Pazych, M. Ibragimova and L. Sahno, "Concept of Accumulation of Energy from Photovoltaic and Wind Power Plants by Means of Seawater Pumped Hydroelectric Energy Storage," 2019 IEEE 6th International Conference on Energy Smart Systems (ESS), Kyiv, Ukraine, 2019, pp. 188–191. [Електронний ресурс]. URL: <https://doi.org/10.1109/ESS.2019.8764167>. (дата звернення: 23.11.20).

УДК 621.224.001.3

ЗАСТОСУВАННЯ ДВОВИМІРНИХ СПЛАЙН-ФУНКЦІЙ ДЛЯ АПРОКСИМАЦІЇ УНІВЕРСАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГІДРОТУРБІН

П.Ф. Васько

*Інститут відновлюваної енергетики НАН України,
02094, вул. Гната Хоткевича, 20а, м. Київ, Україна.*

Розглянуто сплайн-апроксимацію сукупності дискретних залежностей універсальної характеристики гідротурбіни неперервними поверхнями.

Ключові слова: *гідротурбіна, сплайн, універсальна характеристика.*

APPLICATION OF TWO-DIMENSIONAL SPLINE FUNCTIONS FOR APPROXIMATION OF UNIVERSAL CHARACTERISTICS OF HYDROTURBINES

P. Vasko

*Institute of Renewable Energy of the National Academy of
Sciences of Ukraine, 02094, 20A Hnata Khotkevycha St., Kyiv,
Ukraine.*

The spline approximation of the set of discrete dependences of the universal characteristic of a hydroturbine by continuous surfaces is considered.

Keywords: *hydroturbine, spline, universal characteristic.*

ORCID: 0000-0001-8807-7173.

Універсальні характеристики слугують основним документом, на підставі якого здійснюється вибір всіх параметрів проєктованих турбін та оцінка їх енергетичних властивостей. Вони визначають залежність ККД, критичного кавітаційного коефіцієнта, відкриття напрямного апарата і

кута встановлення лопатей робочого колеса гідравлічної турбіни від зведених витрати і частоти обертання гідравлічної турбіни (ДСТУ 2842-94).

Взаємний зв'язок між ККД, зведеними витратами Q^1 і зведеними числами обертів n^1 графічно зображується у вигляді сімейства кривих постійних значень ККД в координатах площини ($Q^1 * n^1$). Крім кривих $\eta = \text{const}$ також наносяться криві постійних значень відкриття лопатей напрямного апарата α , коефіцієнта швидкохідності n_s , криві граничної потужності $N_{\text{гран}}$ і 95 % $N_{\text{гран}}$, а для поворотно-лопатевих турбін, крім цього, і криві кутів встановлення лопатей робочого колеса (рис. 1).

Рис. 1. Універсальна характеристика радіально-осьової гідротурбіни

Універсальні характеристики моделей гідротурбін наведені в номенклатурі турбін і слугують вихідною інформацією для вибору параметрів натурних зразків та визначенні режимів їх ефективної експлуатації. Вони дозволяють встановити: діаметр робочого колеса, що

забезпечує отримання заданої потужності; номінальне число обертів турбіни; значення ККД і допустимі висоти відсмоктування при всіх напорах і потужностях; відкриття напрямного апарату, що відповідає будь-якому навантаженню турбіни, а для поворотно-лопатевих турбін – також кут встановлення лопатей робочого колеса [1]. Проведення багатоваріантних розрахункових досліджень потребує цифрового оброблення вихідної графічної інформації для подальшого використання. Наприклад, оскільки сукупність залежностей $\eta_i = f_i(Q^1, n^1)$ інтерпретує в даному випадку гладку поверхню, то для її математичного опису ефективно застосування кубічних сплайн-функції [2, 3]:

$$S_{3,3}^{i,j}(\eta, Q, n) = \sum_{(m,z)=0}^3 k_{m,z}^{i,j} (Q - Q_i)^m (n - n_j)^z.$$

де S - сплайн-функція, k - коефіцієнти сплайна.

Метод просторового перетину двох поверхонь може бути застосований для геометричного визначення сімейства необхідних для дослідження одно- та двопараметричних залежностей універсальної характеристики. Геометрична інтерпретація методу наведена на рис. 2, де параметри представлені у відносних одиницях стосовно своїх номінальних значень (візуалізацію виконано М.Р. Ібрагімовою). Так само можна отримати й інші необхідні одно- та двопараметричні залежності для універсальної характеристики.

Рис. 2. Ілюстрація методу перетину двох поверхонь

Література:

1. Кривченко Г.И. Гидравлические машины: Турбины и насосы. Учебник для вузов. М. Энергия. 1978. 320 с.
2. Завьялов Ю.С., Леус В.А., Скорospelов В.А. Сплайны в инженерной геометрии. М. Машиностроение. 1985. 224 с.
3. Васько П.Ф., Васько В.П., Озорін Д.Ф. Двовимірний сплайн-апроксимація гідромеханічних та енергетичних характеристик гідромашин в режимах насос-турбіна за змінної частоти обертання. Відновлювана енергетика. 2010. № 3. С. 64–72.

УДК 62-83-52.003(082)

ЕЛЕКТРОПРИВІД НАСОСНОЇ УСТАНОВКИ З МЕХАНІЧНИМ РЕГУЛЮВАННЯМ ГІДРОМУФТОЮ

О.О. Закладний¹, В.В. Прокопенко², Т.В. Гребенюк³
*Національний технічний університет України «Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
вул. Борщагівська, 115, м. Київ, 03056, Україна,
тел. +38(096)984-87-83, e-mail: zakladniy@gmail.com*

У доповіді показано, що використання гідromуфти має такі переваги: регулювання простими засобами спожитої потужності й швидкості виконавчого механізму, швидкодія, стабільність і автоматичність спрацьовування при заданому значенні обертального моменту; надійний захист двигуна, вузлів трансмісії та машини в цілому від неприпустимих і небезпечних навантажень у режимах пуску й екстреного гальмування.

Ключові слова: *гідromуфта, енергоефективність, електромеханічна система, асинхронний двигун.*

ELECTRIC DRIVE OF THE PUMP INSTALLATION WITH MECHANICAL ADJUSTMENT BY HYDRAULIC COUPLING

O. Zakladnyi¹, V. Prokopenko², T. Hrebeniuk³

*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv
Polytechnic Institute", prosp. Peremohy, Kyiv, Ukraine, 03056*

The report shows that the use of the clutch has the following advantages: control by simple means of power consumption and speed of the actuator, speed, stability and automatic operation at a given value of torque; reliable protection of the engine, transmission units and the car as a whole from inadmissible and dangerous loadings in the modes of start and emergency braking.

Keywords: *hydraulic clutch, energy efficiency, electromechanical system, induction motor.*

ORCID: ¹0000-0003-2813-3692, ²0000-0002-5518-5802,
³0000-0002-9287-2919.

У 1910р. професор Фетінгер (Німеччина) запропонував вилучити направляючий апарат з їм же створеного гідротрансформатора. Таким чином, був зроблений крок від більш складної гідродинамічної передачі до більш простої, що і стало початком створення гідромуфти.

При включенні двигуна насос своєю лопастною системою захоплює в обертання робочої рідини (РР) і, відкидаючи до периферії робочої порожнини, направляє її на лопатки турбіни. У турбіні кінетична енергія РР, запасена в насосі, перетворюється в механічну енергію обертання, необхідну для подолання сил опору руху й інерції махових мас машини. РР, протікаючи в напрямку осі обертання уздовж лопаток, впливає на них і, віддавши енергію, всмоктується насосом на його найменшому радіусі. І знову РР "заряджається" у насосі новою порцією енергії.

У гідромуфті (гідропередача без зовнішньої опори) момент на турбіні завжди дорівнює моменту на насосі, але передача енергії в ній відбувається з визначеними втратами, які характеризуються в робочому режимі значенням ккд. Оскільки моменти коліс рівні, то ккд дорівнює відношенню частоти обертання турбіни n_2 до частоти обертання насоса n_1 , тобто передатному відношенню $i = n_2/n$. Обертальний момент гідромуфти передається завжди при деякому відставанні швидкості турбіни від швидкості насоса. Це значить, що гідромуфта працює з ковзанням

$$s = (n_1 - n_2) / n_1$$

Ковзання відображає частку втрат потужності, що йдуть на нагрівання РР і деталей гідромуфти.

Гідромуфта має ряд властивостей:

- регулювання простими засобами спожитої потужності й швидкості виконавчого механізму, дистанційне й автоматичне керування;
- швидкодія, стабільність і автоматичність спрацьовування при заданому значенні обертального моменту;
- надійний захист двигуна, вузлів трансмісії та машини в цілому від неприпустимих і небезпечних навантажень у режимах пуску й екстреного гальмування;
- ефективне демпфірування зусиль у механічній передачі й двигуні при коливаннях навантаження широкого спектра частот і амплітуд;
- можливість застосування короткозамкнутих електродвигунів, у тому числі зі зниженим пусковим моментом;
- рівномірний розподіл навантаження на двигуни при багатодвигунній системі привода машини і можливість почергового пуску двигунів з метою зниження величини пікових струмів у електромережі.

До цього доцільно додати також такі особливості як високий ккд гідромуфти (0,96–0,98), простота конструкції та налаштування, відсутність силових пар тертя, які передають обертальний момент. Зміна наповнення РР і введення в порожнину гідромуфти простого дроселювального диска дозволяють розширити діапазон переданої потужності.

Регульовані гідромуфти призначені зазвичай для відносно неглибокого (до 30–40 %) регулювання частоти обертання провідного вала привода. Найдоцільнішим таке регулювання є для машин, у яких потужність навантаження в процесі роботи змінюється пропорційно кубу частоти обертання турбіни, тобто

$$N_2 = (i^3) * N_H,$$

де N_n – номінальна потужність при повній швидкості і n_1
 $= \text{const}$.

До таких машин належать потужні відцентрові насоси, турбогенератори, вентилятори. Менш економічним регулювання за допомогою гідромуфт є тоді, коли потужність змінюється пропорційно квадрату частоти обертання, тобто

$$N_2 = (i^2) * N_n.$$

Максимальні втрати потужності $N_{\text{пот.}}$ у першому випадку складають $N_{\text{пот.}} = 0,148 N_n$ при $i = 0,666$, а в другому випадку $0,25 N_n$ – при $i = 0,5$. Для багатьох лопатевих машин регулювання гідромуфтою має ряд переваг у порівнянні з іншими способами регулювання швидкості.

Література:

1. Прокопенко В.В., Закладний О.О. Кульбачний П.В. Енергетичний аудит: Навчальний посібник. – Київ, Вид-во «Політехніка», 2018. – 400 с.

УДК 621.548: 621.316

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМАХ ОПРІСНЕННЯ ВОДИ

П.Ф. Васько¹, С.Т. Пазич², Б.А. Кромпляс³

*Інститут відновлюваної енергетики НАН України, вул.
Гната Хоткевича, 20а, м. Київ, 02094, Україна, тел.:
+38(044)206-28-09, e-mail: hydro@ive.org.ua*

Проведено аналіз способів опріснення морської води, означено особливості використання енергії відновлюваних джерел в опріснювальних установках.

Ключові слова: *опріснення, морська вода, продуктивність, собівартість, відновлювані джерела енергії.*

TECHNICAL AND ECONOMIC ASPECTS OF USE ENERGY OF RENEWABLE SOURCES IN TECHNOLOGICAL SCHEMES OF WATER DESALINATION

P. Vasko¹, S. Pazych², B. Kromplyas³

*Institute of Renewable Energy, National Academy of Science
of Ukraine, 20a Hnata Khotkevicha str., Kyiv, Ukraine, 02094*

The analysis of ways of desalination of sea water is carried out, features of use of energy of renewable sources in desalination installations are defined.

Keywords: *desalination, sea water, productivity, cost, renewable energy sources.*

ORCID: ¹0000-0001-8807-7173, ²0000-0002-6310-9842,
³0000-0001-7164-8056.

Дефіцит питної води у світі зростає, особливо в країнах, розташованих на узбережжі морів та океанів, що зумовлює широке застосування в цих регіонах опрісненої морської води. Для її опріснення використовуються хімічні, термічні та фізичні способи (на основі осмосу) очищення води від солі.

Процеси термічного знесолення засновані на зміні фаз стану морської води, до яких належать: мультиступенева дистиляція (МСД), мультиефективна дистиляція (МЕД), дистиляція стисненням пари (ДСП), а також колекторні концентратори (КК) при використанні енергії сонячного випромінювання.

Фізичні способи знесолення засновані здебільшого на використанні мембран з різними властивостями, зокрема: іонна селективність в електродіалізі (ЕД), ємнісна деіонізація (ЄДІ), напівпроникність при зворотному осмосі (ЗО) та мембранна дистиляція (МД), зворотний електродіаліз (ЗЕД), механічне стиснення пару (МСП).

Великомасштабне промислове застосування різних технологій опріснення води з використанням енергії потужних теплових та атомних електростанцій спостерігається в Ізраїлі, Сінгапурі, Саудовській Аравії, ОАЕ, Кувейті, Іспанії, США та Китаї. Для виробництва прісної води у значних обсягах використовуються технології МСД, МЕД та ЗО. Споруджено значну кількість установок та заводів з опріснення води, найбільші з яких мають продуктивність на рівні 100–300 тис. м³ за добу та собівартість виробленої продукції близько 0,5 \$/м³ [1, 2, 3].

Рис. 1. Використання енергії відновлюваних джерел в технологічних процесах опріснення води

Опріснювальні установки з використанням відновлюваних джерел енергії характеризуються меншою продуктивністю та більшою собівартістю виробленої продукції, що зумовлено стохастичним надходженням первинної енергії. Так, реалізація термічного процесу з використанням колекторних концентраторів (КК) потребує накопичення теплоти для продовження опріснення за несприятливих погодних умов або в нічні години. Мембранні опріснювальні установки мають функціонувати за певного сталого тиску води, який створюється електронасосами, що накладає певні обмеження на параметри електроенергії фото- та вітроелектричних джерел живлення і зумовлює застосування акумуляторів електроенергії. Тому найпоширеніші опріснювальні

установки з використанням енергії відновлюваних джерел характеризуються продуктивністю менше 1000 м³ за добу та собівартістю прісної води в межах (2–10) \$/м³. Сучасний стан використання енергії відновлюваних джерел в технологічних процесах опріснення води показано на рис. 1 відповідно до даних публікації [4].

Один із можливих шляхів підвищення техніко-економічної ефективності застосування опріснювальних установок з енергозабезпеченням від відновлюваних джерел полягає в комплексному використанні енергії вітру та сонячного випромінювання, які в прибережних регіонах мають хорошу взаємодоповнюваність в часі, зокрема і на Азово-Чорноморському узбережжі території України.

Література:

1. Hafez A., El-Manharawy S. Economics of seawater RO desalination in the Red Sea region. Egypt. Part 1. A case study. *Desalination*. No 153. 2002. Pp. 35–347.
2. Dreizin Y., Tenne A., Hoffman D. Integrating large scale seawater desalination plants within Israel's water supply system. *Desalination*. No 220. 2008. Pp. 132–149.
3. Ghaffour N., Missimer T.M., Amy G.L. Technical review and evaluation of the economics of water desalination: Current and future challenges for better water supply sustainability. *Desalination*. No 309. 2013. Pp. 197–207.
4. Mohammad Ali Abdelkareem, M. El Haj Assad, Enas Taha Sayed, Bassel Soudan. Recent progress in the use of renewable energy sources to power water desalination plants, *Desalination*. Volume 435. 2018. Pp 97–113. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2017.11.018>.

УДК 621.31

HYBRID EXCITED SYNCHRONOUS MACHINE FOR MICROHYDROPOWER UNIT

M. Ostroverkhov¹, V. Chumack², E. Monakhov³

*Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 37, Peremohy Ave.,
Kyiv, Ukraine, 03056*

tel.: +38(044)204-82-39, e-mail: n.ostroverkhov@hotmail.com

The hybrid excited synchronous machine with axial magnetic flux for microhydropower unit and its operation mode is considered in this paper. A mathematical model of synchronous machine with hybrid excitation in the rotor coordinate was obtained to simulate voltage stabilization process depending on drive speed and load. To validate the results of simulation an 8-pole prototype was tested.

Keywords: *hybrid excited synchronous machine, axial flux, stabilization.*

СИНХРОННА МАШИНА З ГІБРИДНИМ ЗБУДЖЕННЯМ ДЛЯ МІКРОГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

М. Островерхов¹, В. Чумак², Є. Монахов³

*КПІ ім. Ігоря Сікорського, просп. Перемоги, 37, м. Київ,
03056, Україна, тел.: +38(044)204-82-39,*

e-mail: n.ostroverkhov@hotmail.com

У роботі розглядаються режими роботи синхронної машини гібридного збудження з осьовим магнітним потоком для мікрогідроелектростанції. Отримано математичну модель синхронної машини з гібридним збудженням в координатах ротора для імітації процесу стабілізації напруги залежно від швидкості обертання та навантаження. Для перевірки результатів моделювання був протестований 8-полюсний прототип.

Ключові слова: синхронна машина з гібридним збудженням, осьовий магнітний потік, стабілізація.

ORCID: ¹0000-0002-7322-8052, ²0000-0001-8401-7931,
³0000-0001-8408-8051.

INTRODUCTION. The part of renewable sources generated energy is growing every year. In particular, hydropower has a high energy resource, the lowest cost of electricity production, high reliability indicators. On the territory of Ukraine there are over 60000 small rivers and watercourses flow with a total length of 185.8 thousand kilometers. Today in Ukraine there are 84 small hydropower plants with a total capacity of about 107 MW in operation. At that time, as in Sweden, hydropower plants produce about 40% of electricity. General forecast for the development of small hydropower in Ukraine is 1,240 MW, which is almost 11 times more than the realized potential.

Permanent magnet generators are widely used in small hydropower plants and windgenerators due its high efficiency, reliability and simplicity. The usage of axial flux permanent magnet generators is more likely in hydropower units due small axial size, possible gearless design etc. The main disadvantage in permanent magnet generators is the inability to control the magnetic flux.

Hybrid excited synchronous generator have advantages of both electromagnetic and permanent magnet excitation systems. They have higher efficiency than machines with electromagnetic excitation (including brushless synchronous generators) and still have ability to change the magnetic flux value in air gap in some defined range. Frequently hydropower unit consists of turbine (with or without speed drive controller), charge controller, accumulators and inverter. The price of inverter is comparable with the cost of generator, e.g. 20 kW inverte costs about \$5000, while the price of synchronous permanent magnet generator is about \$4800.

The total price of hydropower unit can be reduced and simplified by using hybrid excitation synchronous generator that runs on unmanaged rectifier. This article deals with issue to maintain the value of output generator voltage depending on drive speed and load coefficient.

EXPERIMENTAL PART AND RESULTS OBTAINED. To validate the simulation results an 8-pole prototype was designed and tested. The general view of it is presented at the fig. 1.

Fig. 1. A hybrid excited synchronous generator with axial flux

The experimental load characteristics depending on different drive speed are shown at the fig. 2.

Fig. 2. Load characteristics at different drive speed

At fig. 2: blue line – relative speed – 0,8; red line – relative speed – 1; orange line – relative speed – 1,2.

The voltage difference in no-load is about 45% and almost 40% at overload. The issue to maintain the reference voltage depending on drive speed and load was practically solved with help of Arduino Nano and voltage, current and speed sensors. The maximum excitation power to generator power ratio is 25% to provide reference voltage – 24V in a range of $\pm 50\%$ load factor. The error between experimental and simulation results is explained by unaccounted magnetic losses and non-linear dependences.

CONCLUSIONS. The use of synchronous generators with hybrid excitation allows to reduce the cost of the entire microhydropower unit in the case of work on an unmanaged rectifier compared to a machine that runs on an inverter. The reference voltage in a specific machine (prototype) is possible to obtain within of $\pm 50\%$ load changes in $\pm 20\%$ speed range with a maximum excitation power to generator power ratio is less than 10%.

The use of high coercive permanent magnets in machines with hybrid excitation increases the weigh-to-power ratio, but at

the same time reduces the range of regulation of the total magnetic flux. The growth of control region is should be made at the design stage for a specific task by changing the ratio of constant (permanent magnets) and variable magnetic fluxes (field excitation current) by varying the volume of permanent magnets with respect to the zone of electromagnetic excitation.

The mathematical model of synchronous hybrid excited machine in the rotor coordinate system allows to simulate processes of stabilizing the voltage depending on drive speed and load that is important for specific areas of industry such as microhydropower units or auxiliary power units. The comparison between simulation data and experimental results shows low error.

УДК 621.224.35

**РОЗРАХУНОК ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ
ПОВОРОТНО-ЛОПАТЕВОЇ ГІДРОТУРБИНИ ПРИ ЗМІННИХ
ВИТРАТАХ ВОДИ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ
ЧАСТКОВИХ ГІДРОМЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК**

Р.Ю. Семененко¹, В.І. Міхалін²

*Факультет електроенерготехніки та автоматики
НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря
Сікорського», вул. Політехнічна, 37, навчальний корпус 20
м. Київ 03056, Київ, Україна, тел.: +380506247513,
e-mail: Semenenko, roman@ill.kpi.ua*

У роботі проведено розрахунок енергетичної ефективності поворотно-лопатевої гідротурбіни типу К-245 при змінних витратах води на основі використання часткових гідромеханічних характеристик. Було визначено номінальний робочий режим. Було досліджено вплив зміни частоти обертання турбіни на ККД при різних витратах води.

Ключові слова: поворотно-лопатева гідротурбіна (Каплана), енергетична ефективність, гідромеханічні характеристики.

**ENERGY EFFICIENCY CALCULATION OF KAPLAN
HYDRO TURBINE AT VARIABLE WATER FLOW RATES
BASED ON THE USE OF PARTIAL HYDRO MECHANICAL
CHARACTERISTICS**

R.Y. Semenenko¹, V.I. Mikhalin²

*Faculty of Electric Power Engineering and Automatics,
NTUU «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»,
Politechnichna street, 37, Kyiv, Ukraine*

The paper presents the calculation of the energy efficiency of Kaplan hydro turbines K-245 at variable water flow rates based on the use of partial hydro mechanical characteristics. The nominal operating mode was determined. The effect of changing the turbine speed on the efficiency was investigated.

Keywords: *Kaplan hydro turbines, energy efficiency, hydro mechanical characteristics.*

ORCID: ¹0000-0003-4737-7836, ²0000-0002-4216-5706.

Аналіз енергетичної ефективності гідротурбіни залежно від витрат води або навантаження виконується у відносних одиницях стосовно номінальних значень основних параметрів.

Особливий інтерес викликає визначення номінального режиму роботи поворотно-лопатевої турбіни на основі часткових гідромеханічних характеристик, а також визначення оптимальних оборотностей для різних витрат води турбіни.

Для надійної роботи турбіни прийнято вважати номінальним режим, для якого потужність становить $0,95N'_{max}$, тому приймемо такий режим за номінальний [1]. При фіксованих кутах повороту лопатей для різних відкриттів напрямного апарата α було побудовано залежності потужності від приведеної витрати води та визначено параметри номінального режиму роботи: приведена витрата води $Q'_i = 1710 \frac{\text{л}}{\text{с}}$, приведений ККД $\eta'_i = 0,79$, приведена частота обертання турбіни $n'_i = 127 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$, приведена потужність $N'_i = 13,25 \text{ кВт}$, кут повороту лопатей турбіни $\varphi_{\text{ном}} = 15^\circ$, відкриття напрямного апарата $\alpha_{\text{ном}} = 21 \text{ мм}$.

Рис. 1. Залежності приведених потужностей турбіни від приведеної частоти обертання при фіксованих кутах повороту лопатей $\phi=+15^\circ$ та $\phi = +10^\circ$ для різного відкриття напрямного апарата

Відомо що ККД турбіни є найбільшим у номінальній робочій точці й падає при менших або більших витратах води [2]. Ввівши декілька фіксованих оборотностей можна отримати декілька точок максимальної ефективності, при чому вони будуть різнитися потужністю. В такий спосіб можна підняти ефективність турбіни на всьому діапазоні її роботи. Для цього при різному навантаженні, а відповідно і

витраті води застосовували такі оберти, що дають максимальну ефективність. Зміну обертів можна здійснювати за допомогою редуктора або мультиплікатора.

Залежність ККД турбіни від приведеної витрати води для частот обертання 0,9; 1,0; 1,1 зображено на рис. 2.

Рис. 2. Залежність ККД турбіни від приведеної витрати води для різних оборотностей

Для турбіни К-245 перехід від номінальної частоти обертання на частоту більшу на 10 % забезпечує збільшення ККД на величину до 1 % для витрат води 0,24...0,49 (в. о.) та 0,7..0,89 (в. о.).

Література:

1. Г.І. Кривченко (1983). *Гідравлічні машини*. Київ, Україна: Author.

2. Renewables first. (2020, November). Kaplan Turbines. Retrieved from <https://www.renewablesfirst.co.uk/hydropower/hydropower-learning-centre/kaplan-turbines/>

УДК 621.224.35

РОЗРАХУНОК ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ГІДРОТУРБІНИ КАПЛАНА ЗА УНІВЕРСАЛЬНОЮ ГІДРОМЕХАНІЧНОЮ ХАРАКТЕРИСТИКОЮ

В.І. Міхалін¹, Р.Ю. Семененко²

*Факультет електроенерготехніки та автоматики
НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря
Сікорського», вул. Політехнічна, 37, навчальний корпус 20
м. Київ 03056, Київ, Україна, тел.: +380 68 209 05 11,
e-mail: vlad.1.mihalyn@gmail.com*

*Представлено методику визначення номінального
режиму роботи поворотно-лопатевої турбіни, а також
побудови комбінаторної характеристики турбіни на
основі її універсальної гідромеханічної характеристики.*

Ключові слова: *гідроенергетика, гідротурбіна,
комбінаторна залежність, універсальна характеристика.*

V.I. Mikhalin¹, R.Y. Semenenko²

*Faculty of Electric Power Engineering and Automatics,
NTUU «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»,
Politechnichna street, 37, Kyiv, Ukraine*

*The paper presents the method of calculating the
nominal working mode of Kaplan turbine as well as the method
of plotting of the combinatory characteristic of the turbine using
the turbine's universal hydromechanical characteristic.*

Keywords: *hydropower, turbine, combinatory
characteristic, hydromechanical characteristic.*

ORCID: ¹000-0002-4216-5706, ²0000-0003-4737-7836.

У роботі запропоновано алгоритм визначення параметрів номінального режиму роботи турбіни та побудови залежностей $\eta'_i = f(Q'_i)$, $\alpha = f(Q'_i)$ і комбінаторної залежності за допомогою універсальної гідромеханічної характеристики.

Рис.1. Залежність приведеної потужності турбіни від частоти обертання

За номінальний режим роботи прийнято економічно доцільний режим, в якому турбіна видає 95 % від своєї номінальної потужності. Для турбіни К-70 параметри номінального режиму роботи, визначені цим способом, становлять: $Q'_i = 2250 \frac{\text{л}}{\text{с}}$, $\eta'_i = 0,79$, $n'_i = 193 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$, $N'_i = 18,13 \text{ кВт}$, $\varphi_{\text{ном}} = 7^\circ$, $\alpha_{\text{ном}} = 40 \text{ мм}$.

Для турбіни К-70 зменшення частоти обертання на 10 % дозволяє збільшити ККД на 0,2 %.

Рис. 2. Залежність ККД турбіни від витрат води для різних частот обертання

У номінальному режимі роботи ККД турбіни є найбільшим. Він зменшується при зміні витрат води [1].

Якщо прийняти кілька сталих частот обертання турбіни (залежно від редуктора, з яким вона працює), то можна підняти ефективність турбіни на всьому діапазоні її роботи. Для цього при різному навантаженні, а відповідно і різній витраті води необхідно працювати з частотами, які дають максимальну ефективність.

Побудуємо графіки комбінаторних залежностей $\alpha = f(\varphi)$ в абсолютних одиницях для трьох сталих частот

обертання турбіни. Для цього пропонується такий алгоритм:

1. Провести ізолінії частот, для яких потрібно побудувати комбінаторні залежності (рис. 3).
2. Відмітити точки на перетині ізоліній частот та ізоліній кутів повороту лопаток турбіни.
3. Побудувати комбінаторні залежності.

Рис. 3. Точки перетину ізоліній частот обертання турбіни з ізолініями кутів повороту лопаток напрямного апарату

У даному разі побудовано три комбінаторні характеристики, які відповідають частотам 0,8; 0,9; 1,0 від

номінальної. За номінальну частоту прийнята частота 190 об/хв.

Рис. 4. Комбінаторна залежність для турбіни К-70

Література:

1. Шапов Н.М. Турбинное оборудование гидростанций. Госэнергоиздат. Ленинград, 1961. – С. 162–196.

УДК.621.482+621.565.58

ТЕХНОЛОГІЧНІ СХЕМИ ГЕОТЕС НА ГЕОТЕРМАЛЬНИХ РОДОВИЩАХ З АНОМАЛЬНО ВИСОКИМ ПЛАСТОВИМ ТИСКОМ

Ю.П. Морозов¹, С.В. Дубовський²

¹Інститут відновлюваної енергетики НАН України
02094, м. Київ, вул. Г.Хоткевича, 20а,
тел./факс: 206-28-09, e-mail: geotherm@ukr.net

²Інститут технічної теплофізики НАН України
03057, м. Київ, вул. М.Капніст, 2а,
тел.: 456-62-82, факс: 456-60-91, e-mail: admin@ittf.kiev.ua

Представлені результати термодинамічного та гідравлічного моделювання технологічних варіантів виробництва електричної енергії з використанням теплової, механічної та хімічної енергії флюїду геотермальних родовищ з аномально високим пластовим тиском (АВПТ).

Ключові слова: геотермальна енергетика, геотермальна свердловина, аномально високий пластовий тиск, турбіна Пелтона, органічний цикл Ренкіна.

TECHNOLOGICAL SCHEMES OF GEOTPP ON GEOTHERMAL DEPOSITS WITH ABNOMALLY HIGH LAYER PRESSURE

Y.P. Morozov¹, S.V. Dubovskyi²

¹Institute of Renewable Energy of NAS of Ukraine
Hnata Khotkevych str., 20a, 02094, Kyiv, Ukraine
tel./fax: +38-044-206-28-09, e-mail: geotherm@ukr.net
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine
M. Kapnist str., 2a, 03057, Kyiv, Ukraine
tel.: 456-62-82, fax: 456-60-91, e-mail: admin@ittf.kiev.ua

The results of thermodynamic and hydraulic calculation of technological variants of electric energy production using thermal, mechanical and chemical energy of fluid of geothermal deposits with abnormally high formation pressure (AVPT) are presented.

Keywords: *geothermal energy, geothermal well, abnormally high formation pressure, Pelton turbine, organic Rankin cycle.*

ORCID: ¹0000-0003-1632-9735, ²0000-0001-9418-2092.

За даними буріння пошуково-розвідувальних свердловин на геотермальній площі Мостиська встановлено аномально високий пластовий тиск геотермального теплоносія, який значно перевищує гідростатичний [1]. На глибині 3660 м тиск становить 525 бар, розрахункова пластова температура 130–135 °С, інтервал продуктивної підземної зони – 3610–3660 м.

Підвищена температура та відсутність необхідності у заглибних насосах визначають перспективність використання свердловин АВПТ для виробництва електричної енергії. Однак через високий тиск на гирлі свердловини потрібно використовувати товстостінні та дорогі трубопроводи, арматуру і теплообмінні апарати, що створює загрозу для довкілля в разі розгерметизації.

У зв'язку з цим поряд з традиційним варіантом використання бінарних ГеоТЕС на органічному циклі Ренкіна (ORC) під повним тиском флюїду, що прийнятий як базовий, у роботі розглянуті інші технологічні схеми виробництва електричної енергії на базі АВПТ, які передбачають зниження тиску флюїду на виході зі свердловини з його наступним збільшенням перед зворотним закачуванням у пласт. Окрім можливості зниження капітальних витрат на наземну частину контуру флюїду, зниження тиску дозволяє вивільнити і корисно використати у технологічному циклі ГеоТЕС хімічну

енергію метану, розчиненого у флюїді під пластовим тиском [2, 3].

Згідно з узагальненою технологічною схемою ГеоТЕС (рис.1), флюїд з видобувних свердловин через механічний фільтр подається на гідравлічну турбіну Пелтона, де його тиск знижується до тиску насичення з виробництвом електричної енергії та виділенням метану в газовідділювачі. Рідина флюїду охолоджується у теплообмінниках паротурбінної установки ORC і закачується у пласт. Метан після очищення подається у когенераційну газопоршневу електростанцію для виробництва електричної енергії та теплоти, що використовується частково у технологічному циклі ГеоТЕС та/або відводиться до зовнішніх споживачів.

Рис. 1. Технологічна схема ГеоТЕС

Деякі результати теплових та гідравлічних розрахунків варіантів технологічних схем ГеоТЕС (табл. 1) на базі свердловини з АВПТ за розглянутими технологічними схемами наведені у таблиці.

Показник	Розм.	Варіанти*		
		1	2	3
Глибина свердловин	м	3700	3700	3700
Температура у пласті	оС	140	140	140
Вміст метану	нм3/м3	0	0	1
Об'ємна витрата	м3/год	250	250	250
Тиск на поверхні	бар	148,7	148,7	148,7
Електрична потужність	кВт	2122	1725	2325
Теплова потужність	кВт	0	0	690

* 1 – бінарна ГеоТЕС під повним тиском; 2 – з гідротурбіною, без відділення метану; 3 – з використанням розчиненого метану.

Результати розрахунків показують, що редукування тиску флюїду супроводжується зниженням вихідної електричної потужності ГеоТЕС на 18,7 %, а використання розчиненого метану 1 нм³/м³ – підвищенням вихідної потужності на 28 % відносно базового варіанту з додатковим одержанням теплової енергії.

Література:

1. Ладыженский Н.Р., Антипов В.И. «Геологическое строение и газонефтеносность Советского Предкарпатья», Гостоптехиздат, Москва, 1961, 266 с.
2. Аникиев К.А. Аномально высокие пластовые давления в нефтяных и газовых месторождениях.– Л. : Недра, 1964. – 168 с.
3. Басок Б.И., Резакова Т.А., Чалаев Д.М. Перспективные когенерационные теплонасосные схемы геотермальной энергетики // Пром. теплотехника, 2006, т 28, № 2, с.35-40.

УДК.621.482+621.565.58

ПІДВИЩЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ГЕО- ТЕРМАЛЬНОГО ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ АДСОРБЦІЙНОГО ТИПУ

Ю.П. Морозов¹, Д.М. Чалаєв², В.Г. Олійніченко³

*Інститут відновлюваної енергетики НАН України,
вул. Гната Хоткевича, 20а, м. Київ, 02094,
тел./факс: +38(044)206-28-09, e-mail: geotherm@ukr.net*

*Розглянуто метод вилучення геотермального
тепла із законсервованих свердловин шляхом
використання теплових насосів адсорбційного типу.*

Ключові слова: геотермальна енергетика,
геотермальна свердловина, адсорбційний тепловий
насос.

INCREASING THE TEMPERATURE POTENTIAL OF A GEOTHERMAL ENERGY SOURCE USING ADSORPTION- TYPE HEAT PUMPS

Y.P. Morozov¹, D.M. Chalaev², V.G. Oliynichenko³

*Institute of Renewable Energy of NAS of Ukraine,
20a Hnata Khotkevicha str., Kyiv, Ukraine, 02094,
tel./fax: +38(044)206-28-09, e-mail: geotherm@ukr.net*

*The method of geothermal heat extraction from
abandoned wells by using adsorption type heat pumps is
considered.*

Keywords: geothermal energy, geothermal well,
adsorption heat pump.

ORCID: ¹0000-0003-1632-9735, ²0000-0002-5154-4257,
³0000-0003-4651-9628.

Останніми роками в багатьох країнах велика увага приділяється питанню вилучення геотермального тепла за рахунок використання окремих свердловин, зокрема законсервованих і ліквідованих нафтових та газових свердловин.

В Україні більшість геотермальних родовищ мають невисокі пластові температури, тому теплова потужність і температура теплоносія на виході односвердловинних систем вилучення геотермальної енергії є досить помірними.

Найбільш освоєними в експлуатації є абсорбційні бромистолітієві теплові насоси (АБТН). Однак для односвердловинних геотермальних систем промислові АБТН за рядом факторів (велика потужність, високі робочі температури тощо) не підходять [1].

Для геотермальних систем малої потужності нами розроблений підвищувальний адсорбційний тепловий насос на нових композитних сольових адсорбентах. Як сорбційний матеріал у композитних адсорбентах використовуються солі лужних і лужноземельних металів, які введені в пористий носій [2].

Технологічну схему підвищення температурного потенціалу геотермального джерела енергії за допомогою адсорбційного теплового насоса представлено на рис. 1.

Адсорбційний тепловий насос є машиною періодичної дії, не містить рухомих частин і складається з послідовно з'єднаних паропроводами генератора-адсорбера (4) з гранульованим адсорбентом, конденсатора (3) і випарника (2), що обладнані теплообмінними контурами. Теплообмінний контур випарника через триходові вентиля (7) підключений до контуру циркуляції геотермального теплоносія (1), а теплообмінний контур генератора-адсорбера за допомогою триходових вентилів (5) підключений до контуру циркуляції геотермального теплоносія і до контуру теплопостачання споживача (6).

Рис. 1. Технологічна схема підвищення температурного потенціалу геотермального джерела енергії за допомогою адсорбційного теплового насоса:

- 1 – глибинний свердловинний теплообмінник (ГСТО);
- 2 – випарник; 3 – конденсатор;
- 4 – генератор-адсорбер; 5, 7 – триходові вентиля;
- 6 – споживач теплової енергії; 8 – циркуляційна помпа проміжного теплоносія; 9 – контур охолодження конденсатора

Робочі процеси в адсорбційному тепловому насосі здійснюються у дві стадії: десорбції (регенерації адсорбенту) і адсорбції (виробництва теплової енергії). На стадії десорбції нагрівальний теплоносій циркулює по контуру свердловина–генератор-адсорбер (4). Теплоносій

помпою (8) подається в ГСТО (1), де за рахунок теплообміну з гірським масивом нагрівається до температури 65...70 °С. Нагрітий в ГСТО теплоносіє через триходові вентиля (5) надходить в генератор-адсорбер (4) і охолоджується в ньому до 55...60 °С, віддаючи теплову енергію адсорбенту. З генератора-адсорбера охолоджений теплоносіє за допомогою помпи повертається на нагрів в ГСТО, після чого цикл повторюється.

У процесі нагрівання адсорбенту з нього виділяється пара холодоагенту, яка конденсується в конденсаторі (3) при температурі 25...30 °С, а теплота конденсації відводиться за допомогою контуру охолодження (9), підключеного до градирні або до повітряного охолоджувача. Сконденсований холодоагент стікає в випарник (2) і накопичується в ньому.

Для переходу до стадії адсорбції (виробництва теплової енергії) циркуляція нагрівального теплоносія переключається на контур свердловина–випарник (2), а генератор-адсорбер за допомогою триходових вентилів (5) підключається до контуру теплопостачання споживача (6). При цьому холодоагент кипить у випарнику при 55...60 °С, а пара, що утворюється при кипінні, надходить до генератора-адсорбера і поглинається адсорбентом. Поглинання пари супроводжується нагрівом адсорбенту до 95...100 °С за рахунок виділення теплоти адсорбції, яка відводиться в контур теплопостачання.

На рис. 2 в діаграмі lgP-1/T Клапейрона показані температурні режими роботи підвищувального адсорбційного теплового насоса. З діаграми видно, що при температурі геотермального теплоносія 60 °С за допомогою адсорбційного теплового насоса можна підвищити його температуру до 90 °С, що достатньо для використання теплоносія в ORC електрогенераторах для виробництва електричної енергії.

Рис. 2. Термодинамічний цикл підвищувального адсорбційного теплового насоса на базі сорбційної пари $\text{CaCl}_2 - \text{H}_2\text{O}$

Тепловий розрахунок термодинамічного адсорбційного циклу показав, що коефіцієнт перетворення теплоти при даних режимах роботи підвищувального теплового насоса становить 0,49.

Література:

1. Олейниченко В.Г. Геотермальна холодильна установка. Альтернативна енергетика и екологія (ISJAEЕ). 2014;(15):68–70.
2. Чалаєв Д.М., Снежкін Ю.Ф., Шаврин В.С., Дабіжа Н.О., Воспітаников Г.К. АДСОРБЦІЙНИЙ ТЕПЛОВИЙ НАСОС. Матеріали XI міжнародної науково-практичної конференції «Відновлювана енергетика XXI століття», АР Крим, смт. Миколаївка, 13–17 вересня 2010 р. – Крим-2010. – С. 319–322.

УДК 661.961; 661.931

ВИКОРИСТАННЯ ГЕОТЕРМАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ ВОДНЮ

Ю.П. Морозов¹, Н.В. Ніколаєвська²

*Інститут відновлюваної енергетики НАН України
02094, м. Київ, вул. Г.Хоткевича, 20а,
тел./факс: +38(044)206-28-09, e-mail: geotherm@ukr.net*

Розглянуто способи отримання водню шляхом використання геотермальної води та супутнього газу.

Ключові слова: *геотермальна енергетика, верхні проникні шари землі, водневі технології, конверсія природного газу, електроліз води, закачування вуглекислого газу.*

USE OF GEOTHERMAL ENERGY SOURCES FOR PRODUCTION AND USE OF HYDROGEN

Y. Morozov¹, N. Nikolaievskaya²

*Institute of renewable energy of NAS of Ukraine,
20a Hnata Khotkevych str., Kyiv, Ukraine, 02094,
tel./fax: +38(044)206-28-09, e-mail: geotherm@ukr.net*

Methods for producing hydrogen by using geothermal water and associated gas are considered.

Keywords: *geothermal energy, upper penetrating balls of the earth, hydrogen technologies, natural gas conversion, water electrolysis, carbon dioxide injection.*

ORCID: ¹0000-0003-1632-9735, ²0000-0002-9997-4627.

Використання водню в геотермальній енергетиці може дати значний поштовх у розвитку цього напрямку відновлюваної енергетики.

Використання водневих технологій у геотермальній енергетиці було висвітлено в збірнику тез нашої конференції в 2020 році. Там було викладено метод інтенсифікації дебіту свердловин шляхом використання електролізера високого тиску для забезпечення технології газліфту [1].

Запропонована також система використання водню й кисню для підвищення енергетичних показників геотермальних електростанцій, які використовують супутній паливний газ геотермальних родовищ [2]. У системі за допомогою електролізера відбувається отримання водню який використовується для стимулювання дебіту геотермальної свердловини, і кисню, який накопичується в ресивері та застосовується в газовій котельні. Внаслідок процесу горіння цієї суміші відбувається нагрів робочої рідини, яка поступає в турбіну Гео ТЕС, для подальшого використання.

Геотермальні джерела енергії в Україні – це в основному обводнені газові родовища. При експлуатації цих родовищ супутнім продуктом є природний паливний газ, який здебільшого складається з метану.

Основною технологією виробництва водню у світі в наш час є паровий риформінг природного газу (конверсія природного газу) при впливі різних окиснювачів (CO_2 , H_2O , O_2 , повітря і їх суміші) з утворенням продукту з високим вмістом H_2 і CO . Недоліком такого методу отримання водню є наявність великої кількості двоокису сірки.

У виробництві водню при паровому риформінгу природного газу метан спочатку піддається риформінгу за підвищених температур (зазвичай $500\text{--}950\text{ }^\circ\text{C}$) і тиску (близько 3 МПа) у присутності каталізатора (зазвичай Ni) [3].

На рис. 1 наведено схему виробництва водню при паровому риформінгу з використанням геотермальних технологій.

Рис. 1. Схема виробництва водню при паровому риформінгу з використанням геотермальних технологій

Отриманий при паровому риформінгу газ складається переважно з H_2 (70–80 %) з невеликими кількостями CH_4 (2–6 %), CO (7–10 %) і CO_2 (6–14 %).

Нещодавно запропоновано підвищувати ефективність парової конверсії за допомогою сорбенту (окис кальцію), який сприяє видаленню CO_2 і CO , що утворюються при конверсії, і підвищенню вмісту водню.

При всіх способах отримання водню проводиться його очищення, ступінь якого залежить від сфери можливого його застосування [4].

Технологія видобування геотермального енергоносія дає змогу провести закачування вуглекислого газу в підземні проникні пласти. Це дозволяє вирішити проблему

негативного впливу викидів вуглекислого газу на забруднення атмосферного повітря.

Література:

1. Патент 125824 Україна, МПК (2018.01) F03G 7/00, F03B 13/10, C25B 1/04. Система використання водню для підвищення енергетичних показників геотермальної електростанції / Морозов Ю.П., Ніколаєвська Н.В., Кушнір І.О.; заявник та патентовласник Інститут відновлюваної енергетики НАН України – № у 2017 12664; заявл. 20.12.2017; опубл. 25.05.2018, Бюл. № 10.

2. Патент 145063 Україна, МПК (2020.01) F03G 7/00, F03B 13/10, C25B 1/04. Система використання водню і кисню для підвищення енергетичних показників геотермальних електростанцій, які використовують супутній паливний газ геотермальних родовищ / Морозов Ю.П., Ніколаєвська Н.В., Кушнір І.О.; заявник та патентовласник Інститут відновлюваної енергетики НАН України – № у 2019 11094; заявл. 12.11.2019; опубл. 25.11.2020, Бюл. № 22.

3. Holladay J. D., Hu J., King D L., Wang J. Overview of hydrogen production technologies // Catalysis Today. – 2009. – 139, No. 4. – P. 244–260.

4. Balat M. Possible methods for hydrogen production // Energy Sources. Part A. – 2009. – 31. – P. 39–50.

УДК 620.9:621.482

ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ НИЗЬКОЕНТАЛЬПІЙНИХ ПІДЗЕМНИХ ВОД НАДР УКРАЇНИ

А.А. Барило

*Інститут відновлюваної енергетики НАН України,
вул. Гната Хоткевича, 20а, м. Київ, 02094,
тел./факс: +38(044)206-28-09, e-mail: geotherm@ukr.net*

На підставі даних ДНВП «Геоінформ України» виконано оцінку енергетичного потенціалу низькоентальпійних підземних вод надр України. Для визначення потенціалу пропонується послуговуватися кількістю води, що відповідає невикористаним забалансовим експлуатаційним запасам підземних вод. Енергетичний потенціал верхніх водоносних горизонтів території України за нашими оцінками становить близько 900 млн т у. п.

Ключеві слова: енергетичний потенціал, низькоентальпійні підземні води, позабалансові запаси.

DETERMINATION OF LOW ENTHALPIES GROUNDWATER ENERGY POTENTIAL OF THE UKRAINIAN SUBSOIL

A.A. Barylo

*Institute of Renewable Enrgy of NAS of Ukraine,
20a Hnata Khotkevicha str., Kyiv, Ukraine, 02094
tel./fax: +38(044)206-28-09, e-mail: geotherm@ukr.net*

Based on the data of «Geoinform of Ukraine», the energy potential of low enthalpies groundwater in Ukraine has been assessed. To determine the potential, it is proposed to use the amount of water that corresponds to the unused off-balance operational reserves of groundwater. The energy

potential of the upper aquifers of the territory of Ukraine amounted to 900 million toe.

Keywords: *energy potential, low-enthalpy groundwater, off-balance reserves.*

ORCID: 0000-0001-7981-6464.

Під енергетичним потенціалом низькоентальпійних підземних вод розуміють максимальну кількість теплової енергії, яку можна отримати за допомогою теплонасосних технологій від загальних запасів нетермальних підземних вод України, глибина залягання яких не перевищує 50 м і які на даний час не застосовуються в економіці країни (не використовуються з господарсько-питною, виробничо-технічною, сільськогосподарською метою, для зрошення, промислового розливу, виготовлення напоїв тощо).

Оцінку запасів підземних вод в Україні виконують регіональні підприємства Державної служби геології та надр України та НАК «Надра України».

Для визначення кількості низькоентальпійних підземних вод, що потенційно можуть бути використані з енергетичною метою, було проаналізовано дані цих підприємств [1].

В табл. 1 наведено фактичні дані щодо запасів, видобутку та ступеня освоєння питних і технічних підземних вод за 2019 рік.

Розглянемо смислове значення окремих термінів, які наведені в цій таблиці.

Таблиця 1. Дані щодо експлуатаційних запасів, видобутку і ступеня освоєння питних і технічних підземних вод за 2019 рік по адміністративних областях України

Адміністра- тивна одинаця	Про- гнози ресур- си, тис. м³/добу	Експлуа- таційні запаси, тис. м³/добу	Видобуток, тис.м³/добу		Невикористані, тис. м³/добу	
			Всього	Балан- сові	Всього	Балансові
Винницька	885,5	153,278	42,061	14,702	843,439	138,576
Волинська	2586,3	354,089	139,029	72,503	2447,271	281,586
Дніпропетров- ська	1092,6	705,253	102,158	6,333	990,442	698,920
Донецька	2464,0	1084,234	256,594	70,798	2207,406	1013,436
Житомирська	628,6	209,699	37,964	9,904	590,636	199,795
Закарпатська	1081,6	349,55	62,489	31,671	1019,111	317,879
Запорізька	1550,7	316,273	79,059	45,416	1471,641	270,857
Івано- Франківська	754,4	292,065	16,660	6,709	737,740	285,356
Київська	4215,3	1895,700	216,575	169,821	3998,725	1725,879
Кіровоград- ська	404,6	224,911	47,564	6,946	357,036	217,965
Луганська	4790	1914,031	130,003	70,254	4659,997	1843,777
Львівська	3644,1	1329,402	386,787	307,669	3257,313	1021,733
Миколаївська	441,6	102,882	34,328	11,486	407,272	91,396
Одеська	736,7	487,275	74,699	28,582	662,001	458,693
Полтавська	4288,9	728,902	101,532	91,819	4187,368	637,083
Рівненська	3602,5	453,989	107,108	64,883	3495,392	389,106
Сумська	3432,2	622,607	110,704	85,407	3321,496	537,200
Тернопіль- ська	2206,0	295,320	68,066	45,737	2137,934	249,583
Харківська	4109,8	1090,245	63,096	33,826	4046,704	1056,419
Херсонська	4970,8	930,540	156,803	90,051	4813,997	840,489
Хмельницька	1963,7	367,292	107,840	89,705	1855,860	277,587
Черкаська	1806,5	334,564	102,097	28,044	1704,403	306,520
Чернівецька	405,3	174,061	53,410	16,516	351,890	157,545
Чернігівська	8326,7	560,850	102,563	67,013	8224,137	493,837
Всього по Україні	61689,2	16173,233	2599,189	1465,795	577896211	13511,217

«Прогнозні ресурси» оцінюються в межах великих гідрогеологічних структур на підставі загальних геолого-гідрогеологічних уявлень, теоретичних передумов тощо. За своєю суттю вони характеризують теоретично можливу

кількість підземних вод у надрах країни. Середня розвіданість цих ресурсів на території України зараз становить близько 26 %.

«Експлуатаційні запаси» розраховуються за даними геологічного вивчення водних родовищ з прив'язкою до конкретних водозаборів, режимів видобутку з урахуванням техніко-економічних показників і якісних характеристик підземних вод. Отже, експлуатаційні запаси – це розвідана й детально вивчена частина прогнозних ресурсів.

«Балансові запаси» – це та частина прогнозних та експлуатаційних запасів підземних вод, використання яких в даний час економічно доцільно й технічно і технологічно можливе.

Для визначення енергетичного потенціалу низькоентальпійних підземних вод пропонується послуговуватися кількістю води, що відповідає невикористаним позабалансовим експлуатаційним запасам підземних вод, тобто максимальній кількості підземних вод, яка на даний час не використовується у господарстві країни, але при цьому є технічно і геологічно обґрунтованою. Як видно у табл. 1, для усій території України вона складає 44,2 млн м³/добу.

В розрахунках приймалось, що вся кількість невикористаних позабалансових запасів підземних вод може бути залучена з енергетичною метою за допомогою теплонасосних установок.

Крім цього приймалось, що перепад температур на вході та виході з теплонасосної установки (Δt) дорівнює 5 °K, питома теплоємність природного теплоносія (c_v)

становить $4,19 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{K}}$, термін використання запасів

підземних вод становить 50 років, а опалювальний період (τ) – 4000 годин у рік.

Розрахунки енергетичного потенціалу верхніх водоносних шарів території України виконувались за такою формулою [2]:

$$E = Q \cdot c_{\epsilon} \cdot \Delta t \cdot \tau \quad (1)$$

де Q – кількість підземних вод, яка може бути залучена з енергетичною метою за допомогою теплонасосних установок, кв/с .

Визначений енергетичний потенціал верхніх водоносних горизонтів території України склав близько 900 млн т у. п.

Зазначимо, що теплонасосні технології передбачають закачування відпрацьованого теплоносія назад в продуктивний горизонт (за винятком аварійних витоків). Тому використання геотермального ресурсу верхніх водоносних горизонтів є екологічно безпечним і не впливає на загальні експлуатаційні запаси підземних вод України.

Література:

1. Стан підземних вод України, щорічник / Державна служба геології та надр України, Державне науково-виробниче підприємство «Геоінформ України» К. – 2020. – 127 с.
2. Морозов Ю.П., Барило А.А. Шляхи визначення енергетичного потенціалу геотермальних джерел енергії // Актуальні проблеми та перспективи розвитку геології: наука й виробництво. Матеріали Міжнародного геологічного форуму (19–24 червня 2017 р., м. Одеса, Україна). – К. : УкрДГРІ, – 2017. – С. 250–253.

УДК 551.36

ГЕОТЕРМІЧНІ УМОВИ І ДЕГАЗАЦІЯ ЗЕМНОЇ КОРИ ЗАКАРПАТСЬКОГО ПРОГИНУ

P.I. Kutas

*Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України,
Київ просп. Палладіна, 32, 424-03-00*

У цьому повідомленні наведено результати вимірювання температури й теплового потоку в Закарпатському регіоні. Аналіз цих даних використано для виділення найперспективніших ділянок для вилучення геотермальних ресурсів.

Ключові слова: *Закарпатський прогин, температура, тепловий потік, природні газу.*

GEOHERMAL CONDITIONS AND EARTH CRUST DEGASING IN TRANSCARPATHIAN DEPRESSION

P.I. Kutas

*Institute of Geophysics S.I.Subbotin NAS Ukraine,Kyiv
Palladin, av. 32*

This contribution presents the results of the temperature and the heat flow density measurements in the Ttanscarpathian region. The analysis of this data were used for identify the most promising areas for geothermal resources extraction.

Keywords: *Ttanscarpathian trough, temperature, heat flow, natural gases.*

ORCID: 0000-0002-3505-0599.

1. Закарпатський прогин відносно вузькою смугою (ширина 40–70 км) простягається вздовж внутрішньої сторони Карпатської гірської дуги. Він складається з трьох

западин: Східнославацької, Чоп-Мукачівської і Солотвинської. Перша виділяється на території Словаччини, інші дві — в межах України. Прогин заповнений кайнозойськими осадовими і вулканогенними породами, максимальна товщина яких в центральній частині прогину досягає 3500 м. В його основі лежать структури різного віку і походження, складені метаморфічними і магматичними породами. Земна кора лежа прогину розбита численними розломами на блоки. Прогин з північного сходу від Складчастих Карпат відділяє Закарпатський глибинний розлом, а з південного заходу від Панонського басейну — Припанонський розлом.

2. Закарпатський прогин відрізняється високою геотермічною активністю. Температури на глибині 1000 м в Солотвинській западині становлять 45–60 °С, а в Чоп-Мукачівській — 55–70 °С. На глибині 2000 м вони підвищуються відповідно до 75–100 °С і 90–115 °С і на глибині 3000 м — до 100–120 °С і 130–155 °С (рис. 1). Значення геотермічних градієнтів коливаються від 3,5 до 4,0 °С/100 м у Солотвинській западині і від 4,0 до 5,5 °С/100 м у Мукачівській, а густина теплового потоку відповідно від 70 до 100 мВт/м² і від 85 до 120 мВт/м² (рис. 2). Висока геотермічна активність регіону обумовлена підняттям у неогеновий час нагрітих і частково розплавлених мантійних порід і кайнозойською вулканічною активністю. Максимальне підвищення температур було в міоцені (11–16 млн років тому). Значний вплив на розподіл геотермічних параметрів мають динаміка підземних вод, геобаричні умови і газонасиченість порід та підземних вод.

Рис. 1. Розподіл температур в Закарпатському прогині на глибині 3000 м: 1 – ізотерми, °С; 2 – Закарпатський розлом (1), який розмежовує Складчасті Карпати і Закарпатський прогин; 3 – Центрально-Закарпатський (2) і Припанонський (3) глибинні розломи. ЧМЗ і СЗ – відповідно Чоп-Мукачівська і Солотвинська западини

3. Закарпатський прогин є унікальним басейном мінеральних вод, збагачених елементами мантійного походження і насичених вуглекислим газом, що вказує на їх надходження із надр Землі через розломні зони.

Водоносні горизонти виділяються тільки в осадових породах. У їх формуванні беруть участь як поверхневі, так і глибинні води. В породах ложа прогину водоносні горизонти відсутні. В населених пунктах Закарпаття, де були пробурені глибокі свердловини (Берегове, Косино, Велятино та ін.) термальні води використовуються для комунальних потреб.

Рис. 2. Розподіл теплових потоків в Закарпатському прогині. 1 – ізолінії теплового потоку (мВт/м^2), 2 – газові родовища, 3 – границі тектонічних елементів

4. На геотермічну ситуацію в Закарпатському прогині суттєво впливає дегазація земної кори. Газу різного складу насичують осадові породи прогину. Газонасиченість зростає в зонах глибинних розломів, підвищених температур і тисків. Вміст газів та їх склад залежать від особливостей геодинамічного розвитку земної кори. Домінують метан, азот, діоксид вуглецю. Як домішки присутні гомологи метану, гелій, водень, сірководень та ін. У зоні Припанонського розлому зростає вміст вуглекислого газу, в межах впливу Вигорлат-Гутинського вулканічного пасма збільшується вміст азоту, а в центральній частині прогину — метану. В Закарпатському прогині відкрито чотири родовища метану і одне — вуглекислого газу (рис. 2).

УДК 692+644.1

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМОВОЛОГІСНИХ ПАРАМЕТРІВ ПОВІТРЯ В СИСТЕМІ ГЕОТЕРМАЛЬНОЇ ВЕНТИЛЯЦІЇ

**Б.І. Басок¹, О.М. Недбайло², М.В. Ткаченко³,
І.К. Божко⁴**

*Інститут технічної теплофізики Національної академії
наук України, вул. Булаховського, 2, Київ, Україна,
тел. +38(063)325-22-20, e-mail: nan_sashulya@ukr.net*

*У роботі представлений аналіз експериментальних
досліджень температури та відносної вологості повітря
в повітряно-ґрунтових теплообмінниках у
квазістаціонарному режимі його цілорічної експлуатації.*

*Ключові слова: відновлювана теплота ґрунту,
повітряно-ґрунтовий теплообмінник, вентиляція.*

RESEARCH OF THERMAL & HUMIDITY PARAMETERS OF AIR IN THE GEOTHERMAL VENTILATION SYSTEM

B. Basok¹, O. Nedbailo², M. Tkachenko³, I. Bozhko⁴
*Institute of Technical Thermophysics of the National Academy
of Sciences of Ukraine, st. Bulakhovskogo, 2, Kyiv, Ukraine,
tel.: +38(063)325-22-20, e-mail: nan_sashulya@ukr.net*

*The paper presents an analysis of experimental studies
of temperature and relative humidity in air-ground heat
exchangers in the quasi-stationary mode of its year-round
operation.*

Keywords: *renewable heat of soil, air-soil heat
exchanger, ventilation.*

ORCID: ¹0000-0002-8935-4248, ²0000-0003-1416-9651,
³0000-0001-8345-1613, ⁴0000-0001-7458-0835.

Однією з найважливіших умов для комфортного

довготривалого перебування людей у будівлях є наявність якісного повітря в приміщеннях, що забезпечується експлуатацією системи вентиляції. Вентиляція виконує функцію обміну повітря в об'ємі приміщення для нормалізації значень його температури і вологості, а також видалення шкідливих та інших забруднювальних речовин з метою забезпечення допустимих параметрів мікроклімату й чистоти в зоні перебування людини. Нормативний повітрообмін в житлових та адміністративно-побутових приміщеннях визначений Державними будівельними нормами України і, відповідно, є обов'язковим при новому будівництві (зокрема й енергоефективних будинків) чи реконструкції або термомодернізації старих будівель.

Останнім часом велика кількість наукових досліджень присвячена вивченню та вдосконаленню технологій використання теплового потенціалу ґрунту для потреб опалення й кондиціонування приміщень [1, 2].

Метою роботи є експериментальні дослідження основних теплотехнічних параметрів повітряно-ґрунтового П-подібного теплообмінника (ПГТО) системи геотермальної вентиляції енергоефективного будинку в процесі її цілорічної експлуатації [3–7].

Експериментальний стенд із дослідження енергоефективності геотермальної вентиляції складається з приймального пристрою, що розташований у захищеному від прямого впливу інсоляції місці; трубопроводу П-подібної конструкції Ø110 мм, виготовленого з НПВХ, що заглиблений на 2,2 м в ґрунтовому масиві; осьового вентилятора Вентс ТТ200 для прокачування повітря по ПГТО та системі вентиляції будинку, а також вимірювальної системи: термоанемометра Testo 405-V1, напівпровідникових датчиків ВМЕ280, що реєструють температуру, відносну вологість і тиск повітря із вторинними приладами на основі мікроконтролерів ATMEGA-328.

Експериментальні дослідження, результати яких наводяться нижче, проводились протягом періоду з

20 березня по 18 квітня 2020 року. Експеримент тривав цілодобово з фіксацією значень температури та відносної вологості повітря кожні 10 хв. Швидкість повітря в ПГТО при цьому складала 5,5 м/с, що відповідала об'ємній витраті 37 $\text{дм}^3/\text{с}$.

На рис. 1 наведені експериментальні дані значень температури зовнішнього повітря на вході до ПГТО та на виході з нього.

Рис. 1. Зміна температури повітря на вході (хвиляста крива) й виході (гладка крива) з ПГТО

На рис. 2 наведені експериментальні дані значень відносної вологості зовнішнього повітря на вході до ПГТО та на виході з нього.

Рис. 2. Зміна відносної вологості повітря на вході (нижня крива) й виході (верхня крива) з ПГТО

Як видно на рис. 1, добові коливання температури повітря на вході до ПГТО практично не впливають на значення температури на виході з нього. Це пояснюється тим, що теплообмінник має значну площу теплообмінної поверхні. Це повністю зодовільняє його ефективне призначення [7].

Ознаки появи часткової конденсації водяної пари із зовнішнього повітря наведені на рис. 2. Конденсатоутворення мало місце у весняний період експлуатації ПГТО, коли значення середньої добової температури зовнішнього повітря майже збігалися з такими для ґрунтового масиву поблизу теплообмінника. При цьому відносна вологість вентиляційного повітря здебільшого перевищувала (на 20–25 %) таку зовнішнього повітря, а в окремі інтервали часу відбувалась конденсація водяної пари (100 %) на внутрішній поверхні трубопроводу (рис. 2).

Висновки: 1. В загальному розумінні на ефективність теплообміну в ПГТО можуть впливати такі фактори, як глибина розміщення теплообмінника, його геометричні розміри й конструкція, значення температури ґрунту і повітря, теплофізичні властивості ґрунту і матеріалу, з якого виготовлений теплообмінник, витрата повітря через систему, а також кліматичні особливості місцевості тощо.

2. В теплий період року, при значних добових коливаннях температури зовнішнього повітря, розглянутий теплообмінник працює в режимі регенератора.

Література:

1. Sanusi, Aliyah Nur Zafirah Low Energy Ground Cooling System for Buildings in Hot and Humid Malaysia. PhD thesis Demontfort University, 2012.
2. Krarti M., Kreider J. Analytical model for heat transfer in an underground air tunnel. Energy Conversion and Management. Vol. 37, No. 10, P. 1561–1574, 1996.
3. Benkert S, Heidt F., Scholer D. Calculation tool for earth heat exchangers GAEE. In: Proceeding of building

simulation, Vol. 2; 1997. Prague: Fifth International IBPSA Conference. Prague; 1997. P. 9–16.

4. Tkachenko M.V., Goncharuk S.M., Lysenko O.M., Novitska M.P., Nedbailo O.M. Experimental validation of numerical simulation of air-earth heat exchanger with round cross section. Book of abstract IV International Scientific - Technical Conference «Actual problems of renewable engineering, construction and environmental engineering» 6–8 February 2020, Kielce, Poland, 2020. P. 108–109.

5. Basok B., Nedbailo O., Tkachenko M., Bozhko I. Heat transfer during operation of air-ground heat exchangers of geothermal ventilation. Book of abstract IV International Scientific and Technical Conference «Actual problems of renewable engineering, construction and environmental engineering» 6–8 February 2020, Kielce, Poland, 2020. P. 11 and 2.

6. Басок Б.І., Недбайло О.М., Ткаченко М.В., Божко І.К., Новіцька М.П. Дослідження використання рекуперативної геотермальної вентиляції «Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті»: матеріали XXI міжнародної науково-практичної конференції (Київ, 14–15 травня 2020 р.). – К.: Інтерсервіс, 2020. С. 525–529.

7. Басок Б.І., Недбайло О.М., Божко І.К., Ткаченко М.В. Оптимальні теплотехнічні параметри повітряно-ґрунтових теплообмінників. Тези доповідей міжнародної науково-практичної конференції «Екологія. Ресурси. Енергія». Київ, КНУБА, 25–25 листопада 2020 р. С. 11–12.

УДК 620.92:621.482

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ГЕОТЕС В УКРАЇНІ

І.В. Нечай¹, К.В. Кириленко²

*Національний технічний університет України «Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», 03056,
м. Київ, просп. Перемоги, 37, тел./факс: +38(044)204-95-
19,*

e-mail: katakyr20@gmail.com

*У роботі розглянуто світовий досвід виробництва
електроенергії з низкопотенційних термальних вод і
можливості використання геотермальних ресурсів
України для будівництва геоТЕС.*

Ключові слова: Геотермальні ресурси, геоТЕС,
органічний цикл Ренкіна.

ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF GEOTHERMAL POWER PLANTS INTRODUCTION IN UKRAINE

I. Nechai¹, K. Kyrylenko²

*National technical university of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv
Polytechnic Institute", 37 Polytechnichna st., Kyiv, Ukraine,
03056, e-mail: katakyr20@gmail.com*

*The world experience in electricity generation from low-
potential thermal fluid and possibility of geothermal resources
utilization in Ukraine is considered in this paper.*

Keywords: Geothermal resources, geothermal power
plant, organic rankine cycle.

ORCID: ¹0000-0001-9624-6803, ²0000-0003-0353-8685.

Світові тенденція розвитку енергетики спрямована на
збільшення частки відновлюваних джерел у виробництві

електроенергії, що дозволить зменшити викиди CO_2 в атмосферу Землі і зменшити залежність від викопних видів палива, ресурс яких обмежений. Світовий досвід освоєння геотермальних ресурсів свідчить про перспективність використання низькопотенційних геотермальних вод для виробництва електричної енергії. Європейська рада з геотермальної енергетики прийняла перелік пріоритетів для досліджень та розробок у геотермальному секторі та стратегію досліджень в галузі геотермальної енергетики на 2008–2030 роки, згідно з якою основна увага в науково-дослідних роботах з виробництва електроенергії з геотермальних джерел має бути зосереджена на розробці технологій експлуатації геотермальних ресурсів, зокрема технологій генерації електроенергії з використанням низько температурних вод ($<120\text{ }^{\circ}\text{C}$) [1].

Згідно з даними ІВЕ НАНУ [2, 3], прогнозні ресурси геотермальної енергії в Україні на глибинах до 3 км складають $3,3 \cdot 10^{22}$ Дж або $1,12 \cdot 10^{12}$ т.у.п. На даний час, згідно з електронною базою геотермальних об'єктів, в Україні налічується близько 655 геотермальних об'єктів [4]. Розрахунки показують, що тепловий потенціал геотермальних родовищ, які були досліджені на підставі фактичних даних буріння, складає 9,4 млрд Гкал, або 67,7 млн т.у.п. на рік.

Можна виділити чотири найперспективніших регіони:

- Закарпатський внутрішній прогин;
- Прикарпатський передгірний прогин;
- Дніпровсько-Донецький артезіанський басейн;
- Причорноморський артезіанський басейн.

Закарпатський внутрішній прогин містить в собі 38 геотермальних об'єктів. Температура термальних вод на глибині близько 450 м становить $35\text{--}40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Якщо збільшити глибину до 1000–2000 м, то температура води коливається в діапазоні від 70 до $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ [5]. На глибинах 3–3,5 км спостерігається більш високий фон температур, які в районі Ужгорода досягають $160\text{ }^{\circ}\text{C}$. Прикарпатський передгірний прогин має на своїй території в загальному 283

геотермальних об'єкти з яких 129 – на території Івано-Франківської області, 18 – у Львівській області й 16 – у Чернівецькій області. На глибині 1000 м температура термальних вод становить всього 45–50 °С, на глибині 2000 м температура досягає 60–70 °С [4]. Дніпровсько-Донецький артезіанський басейн включає в себе 143 геотермальних родовища на території Полтавської області, 13 об'єктів – у Чернігівській області та 58 – у Харківській. На глибині від 1500 до 5000 м температура геотермальних об'єктів змінюється в межах від 60 до 110 °С. Причорноморський артезіанський басейн має 59 родовищ в Херсонській області, 3 – в Одеській та 25 – на території АР Крим.

Станом на сьогоднішній день використання термальних вод в Україні майже повністю обмежено бальнеологічними цілями на туристичних базах і оздоровчих комплексах Закарпаття (Берегове, Косино, Велятино та ін.) і Херсонщини (Щасливцеве, Облої). Але пряме використання теплової енергії термальних вод обмежується відстанню до споживача, що не дозволяє використовувати всі існуючі свердловини. Тому доцільно розглянути можливість будівництва ГеоТЕС на базі досліджених гідротермальних родовищ, сумарна потенційна потужність яких, за оцінкою [5], складає 2080 МВт.

Використання існуючих свердловин для виробництва електроенергії ускладнюється тим, що переважна більшість термальних вод, виявлених на території України належить до низькопотенційних (з температурою менше 150 °С). Виробіток електроенергії з низькопотенційних геотермальних вод може бути реалізований за допомогою бінарних геоТЕС. Бінарні геоТЕС використовують вторинну робочу рідину (н-пентан, ізопентан, ізобутан, фреони), яка має низьку температуру кипіння та високий тиск пари при низьких температурах. Основні характеристики таких рідин наведені в табл. 1.

В бінарній геотЕС геотермальна рідина віддає тепло вторинній рідині через теплообмінники, в яких вторинна рідина нагрівається й випаровується; вироблена пара приводить в дію турбіну, потім охолоджується і конденсується. Шляхом вибору вторинної рідини, а також температури бінарні системи можуть бути спроектовані для використання геотермальних вод у діапазоні температур від 85 до 170 °С. Верхня межа залежить від термостабільності органічної бінарної рідини, а нижня межа – від техніко-економічних факторів.

Таблиця 1. Характеристики найпоширеніших робочих тіл для реалізації органічного циклу Ренкіна

Сполука	Хімічна формула	$T_{кр}$ °С	$P_{кр}$ кПа	$T_{кип}$ °С за н.у.
Ізобутан	C_4H_{10}	135,9	36,8	-11,7
н-Пентан	C_5H_{12}	196,6	33,7	36,04
Ізопентан	C_5H_{12}	187,39	34,1	27,8
R134a	CH_2F-CF_3	101,2	40,65	-26,3
R152a	CH_3CH-F_2	113,5	45,8	-25,0
R401A	R22/R152a/R124	108,0	46,04	-48,5
R407C	R32/125/R134a	86,7	46,19	-44,0

Вторинна рідина працює за допомогою звичайного циклу Ренкіна: цикли Ренкіна для деяких з наведених в таблиці рідин мають вигляд, показаний на рис. 1. Дослідження показують, що чим вища критична температура рідини, тим вищий коефіцієнт корисної дії. Але низькопотенційна геотермальна вода не завжди придатна для роботи з вторинними рідинами з високою критичною температурою.

Рис. 1. T-s діаграми для деяких низькокиплячих рідин

В [6] показано, що для низькотемпературних геотермальних вод найбільш перспективними для виробництва електроенергії є низькокиплячі органічні рідини R143a та R154a. Підсумковий коефіцієнт корисної дії залежить від перепаду температур вхідної та скидної води й різниці температур органічного флюїда на вході та виході турбіни. З урахуванням витрат енергії на власні потреби ці перепади повинні мати оптимальне значення. При малих різницях температур кількість енергії, яка відбирається, незначна, а при великих значеннях збільшуються витрати на роботу охолоджувальних насосів, площа теплообмінника зростає, що робить процес економічно не вигідним.

Також нещодавно був розроблений новий цикл для бінарних рідин, який називається циклом Каліни і використовує як робочу рідину водно-аміачну суміш. Крім

того, по циклу Каліни можуть працювати подвійні та потрійні суміші органічних низькокиплячих рідин.

На 2007 рік малі бінарні електростанції були найширше використовуваними типами геотермальних електростанцій і нараховували 162 енергоблоки, які виробляли 373 МВт потужності в 17 країнах. Вони складали 32 % усіх геотермальних електростанцій за кількістю, але лише 4 % загальної генерації потужності [7]. Це свідчить про те, що геоТЕС на бінарному циклі мають малу потужність і можуть використовуватися як локальні джерела електроенергії.

Останніми роками було проведено багато досліджень щодо спроб підвищити ефективність використання бінарних електростанцій; вони зосереджувались переважно на поєднанні робочої рідини та циклу рекуперації тепла.

Ускладнюють вибір робочої рідини та циклу рекуперації тепла великі різниці температур, тиску та хімічного складу геотермального розсолу, а також розмір теплообмінних пристроїв (табл. 2). Проте з 2010 до 2015 року загальна встановлена потужність геотермальних бінарних енергоблоків у 25 країнах світу збільшилася більш ніж на 50 % [8] і досягла 1800 МВт електричної енергії [3].

Таблиця 2. Характеристики деяких бінарних електростанцій, що використовують низькотемпературні геотермальні ресурси

Місце розташування	T _{гео} (°C)	Цикл	Робоча рідина	Ел. потужність (кВт)	Споживання розсолу (кг/с)/МВт
Нігорікава, Японія	140	Ренкіна	R114	1000	50
Отаке, Японія	130	Ренкіна	Ізобутан	1000	14,7
Хусавік, Ісландія	124	Калини	NH ₃ -H ₂ O	1700	53
Нагчу, Китай	110	Ренкіна	Ізопентан	1000	69
Альтхайм, Австрія	106	Ренкіна	C ₅ F ₁₂	1000	86
Вабуска, США	104	Ренкіна	Ізопентан	1750	34,3
Чіна-Хот-Спрінгс, Аляска, США	74	Ренкіна	R134a	400	57,9
Кютахья-Сімав, Туреччина	145	Ренкіна з перегрівом	R124	2900	42

Аналіз табл. 2 показує, що за температурними характеристиками геотермальні джерела України придатні для виробництва електроенергії. Поки що порівняно висока вартість обмежує кількість бінарних установок для виробництва електроенергії з використанням геотермальних джерел. Для оцінки можливих потужностей геотермальних електростанцій потрібно враховувати не тільки температуру, а й продуктивність свердловин, ступінь мінералізації та інші фактори, які ускладнюють їх експлуатацію. Більше того, як було показано, навіть якщо їх масове виробництво і розвиток технологій приведе до зниження виробничих і експлуатаційних витрат, геотермальні геотЕС на базі існуючих в Україні свердловин перспективні в основному для локальних мереж.

Але, враховуючи світовий досвід, автори вважають, що незважаючи на потенційно малу потужність і низький ККД геотермальних електростанцій, які можна побудувати в Україні, дослідження в напрямку впровадження локальних бінарних геотЕС, які проводяться в ІВЕ НАНУ України та інших організаціях, що мають справу з відновлюваними джерелами енергії, є перспективними і заслуговують на підтримку й практичну реалізацію.

Література:

1. Council, E.G. (2008, September). Research Agenda For Geothermal Energy: Strategy 2008 to 2030. Retrieved January 9, 2009.
2. А.А. Барило, Ю.П. Морозов Оцінка енергетичного потенціалу окремих геотермальних родовищ України. Відновлювана енергетика. 2017. № 1. С 70–77.
3. Морозов Ю.П. Сучасні напрями розвитку геотермальної енергетики / Ю. П. Морозов // Збірник наукових праць УкрДГРІ. 2016. № 2. С. 107–118.
4. Барило А.А. Аналіз гідрогеологічних і геотермічних характеристик геотермальних об'єктів України/ А.А.Барило // Відновлювана енергетика. 2020. № 1. С. 74–84.
5. Шурчкова Ю.А. Ресурсная база для развития геотермальной энергетики в Украине / Ю.А. Шурчкова // Проблемы общей энергетики, 2019, № 3 (58) С. 24–29.
6. Saleh, Bahaa & Koglbauer, Gerald & Wendland, Martin & Fischer, Johann. (2007). Working fluids for low-temperature Organic Rankine Cycles. Energy. 32. 1210–1221.
7. Franco, Alessandro & Villani, Marco. (2009). Optimal design of binary cycle power plants for water-dominated, medium-temperature geothermal fields. Geothermics. 379–391.
8. Tomarov, G.V., Shipkov A.A. Modern geothermal power: Binary cycle geothermal power plants. Therm. Eng. 64, 243–250 (2017).

УДК 621.482:696.462

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ СЕЗОННИХ ГРУНТОВИХ АКУМУЛЯТОРІВ СОНЯЧНОЇ ТЕПЛОТИ

К.В. Кириленко, В.М. Кириленко

Національний технічний університет України «Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», 03056,
м. Київ, вул. Політехнічна, 37, тел.: +380442049519,
e-mail: vsemychkir@ukr.net

З використанням простої моделі сезонного
акумуляування сонячної теплоти в ґрунтовому
акумуляторі показано, що її втрати можуть сягати 30
відсотків.

Ключові слова: ґрунтовий акумулятор, сезонне
акумуляування теплоти, втрати енергії в ґрунтовому
акумуляторі.

EFFICIENCY EVALUATION OF SEASONAL SOIL ACCUMULATORS OF SOLAR HEAT

K.V. Kyrylenko¹, V.M. Kyrylenko²

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv
Polytechnic Institute", 37 Polytechnichna st., Kyiv, Ukraine,
03056 tel.: +380442049519, e-mail: vsemychkir@ukr.net

*It was shown by using a simple model of seasonal
accumulation of solar heat in a soil battery, that the losses of
heat can reach about 30 percent*

Keywords: soil accumulator, seasonal heat
accumulation, energy losses in the soil accumulator.

ORCID: ¹0000-0003-0353-8685, ²0000-0002-6168-2469.

Відновлювані джерела енергії здебільшого
характеризуються нестабільністю, в один період їх енергія
надлишкова, в інший – може бути повністю відсутньою, як,

наприклад, для сонячної енергії, а тому часто вимагають попереднього акумулювання. Для акумулювання сонячної енергії з перспективою її цілорічного використання часто застосовують сезонні ґрунтові акумулятори [1–3]. Однак питання збереження акумульованої енергії в літературі практично не розглядаються, хоча зрозуміло, що надлишкова теплота безперервно поширюється в землі від точки підведення-відбирання незалежно від того, поповнюєш ти її, чи відбираєш.

В даній доповіді з використанням простої моделі сезонного ґрунтового акумулятора показано, що втрати акумульованої сонячної енергії за сезон можуть досягати 30 %, що необхідно враховувати при розрахунках теплового режиму акумулятора і можливостей його використання для теплопостачання.

Розглянемо спрощено систему теплопостачання об'єкта за допомогою сонячних колекторів, температура води на виході яких сягає 40 °С. Надлишкова вода з цією температурою влітку з метою акумулювання теплоти по трубі поступає в ґрунтовий акумулятор на глибину 10–15 м і підігріває ґрунт, що має температуру 10 °С. Взимку ця теплота відбирається тепловим насосом з температурою в холодному контурі –2 °С і використовується для нагрівання опалюваного приміщення.

Для моделювання теплових процесів у ґрунтовому акумуляторі використаємо одновимірне нестационарне рівняння теплопровідності для напівобмеженого твердого тіла [4]

$$\frac{\partial v}{\partial t} = a^2 \frac{\partial^2 v}{\partial T^2} \quad (1)$$

при початкових умовах $v = 10$ °С при $t = 0$ і граничних $v = v_0$ при $x = 0$, якщо $0 < t \leq t_1$, і $v = v_1$, якщо $t > t_1$.

Розв'язок рівняння теплопровідності за наведених умов можна записати у вигляді

$$v = v_0 \Phi^* \left(\frac{x}{2a\sqrt{t}} \right) \text{ при } 0 < t \leq t_1, \quad (2)$$

$$v = v_0 \Phi^* \left(\frac{x}{2a\sqrt{t}} \right) + (v_1 - v_0) \Phi^* \left(\frac{x}{2a\sqrt{t-t_1}} \right) \quad (3)$$

Враховуючи параметри системи теплопостачання, маємо $v_0 = 40^\circ\text{C}$, тривалість літнього сезону приймемо $t_1 = 1,5 \cdot 10^6$ с, $v_1 = -2^\circ\text{C}$.

Загальні результати розрахунку за формулами (2) і (3) свідчать про те, що за $1,5 \cdot 10^6$ с за рахунок підведеної теплоти ґрунт прогріється на відстань до 4 м (рис. 1), а в процесі охолодження за такий же час теплота продовжує поширюватися до 6 м.

Рис. 1. Розподіл температури в ґрунті в процесі нагрівання і охолодження

Рис. 2. Розподіл температури в ґрунті в процесі нагрівання протягом $1,5 \cdot 10^6$ с через $1,5 \cdot 10^5$ с

Більш детально процеси прогрівання ґрунту при акумулювання теплоти відображені на рис. 2, на якому наведені ізотерми через $0,1t_1$, а при охолодженні – на рис. 3. Як впливає з даних, наведених на рис. 3, при відборі теплоти тепловим насосом протягом $1,5 \cdot 10^6$ с в ґрунті залишається приблизно близько 30 % теплоти, що акумулювалася.

Таким чином, акумулювання теплоти в ґрунтових акумуляторах супроводжується значними її втратам, які в рамках прийнятої моделі можуть досягати до 30 %.

Рис. 3. Розподіл температури в ґрунті в процесі охолодження через $1,5 \cdot 10^5$ с

Звичайно, отриманий результат може бути далеким від реального, але він свідчить про необхідність урахування втрат теплоти в процесі її сезонного акумулювання в ґрунтових акумуляторах.

Література:

1. Морозов Ю.П. Добыча геотермальных ресурсов и накопление тепла в подземных горизонтах. Киев. Наукова Думка. 2017. 197 с.
2. Морозов Ю., Чалаев Д., Олийниченко В., Величко В. Экспериментальное исследование ежедневного накопления холода с помощью воды подземных горизонтов в Киеве / Ю. Морозов, Д. Чалаев, В. Олийниченко, В. Величко // Відновлювана енергетика. – 2019. № 3 (58), С. 67–77.
3. Ковязін О.С. Дослідження функціонування теплообмінника у ґрунтах різної температуропровідності / О.С. Ковязін // Геофизический журнал. – 2018. Т. 40, № 2, С. 164–170.
4. Карслоу Г., Егер Д. Теплопроводность твердых тел. – М: Наука, 1964, – 488 с.

УДК 621.577

АНАЛІЗ ВИДІВ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ НИЗЬКОПОТЕНЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

М.В. Морозов

*Національний технічний університет України "Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського",
просп. Перемоги, 37, м.Київ, 03056, Україна,
тел.: +38(095)802-54-05,
e-mail: nikita.svet.morozov@gmail.com*

*Проаналізовано принцип роботи, переваги та
недоліки компресійних та абсорбційних теплових насосів
для використання теплоти ґрунту і водойм.*

Ключові слова: тепловий насос, низькопотенційні
джерела.

HEAT PUMPS TYPES ANALYSIS FOR THE USE OF LOW- POTENCY ENERGY SOURCES

M. Morozov

*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv
Polytechnic Institute", 37, Peremohy avenue, Kyiv, 03056,
Ukraine*

*The principle of operation, advantages and
disadvantages of compression and absorption heat pumps for
the use of soil and reservoirs heat have been analyzed.*

Keywords: heat pump, low-potency sources.

ORCID: 0000-0001-6222-8906.

У зв'язку з невинним розвитком людства потреби в електроенергії дедалі збільшуються. Беручи до уваги деякі проблеми з екологічною ситуацією, людство шукає

альтернативні джерела енергії; серед них окреме місце займають низькопотенційні джерела.

Джерелом низькопотенційної теплової енергії може бути теплота як природного, так і штучного походження. Як природні джерела низькопотенційної теплоти може бути використана теплота ґрунту й води у придонному шарі водойм, оскільки їх температура майже не змінюється протягом року та є достатньою для використання тепловими насосами [1]. Найбільш поширеними для використання низькопотенційної енергії на даний момент є компресійні та абсорбційні теплові насоси.

Рис. 1. Принцип дії компресійного теплового насоса

Основними елементами компресійного теплового насоса є компресор, випарник та конденсатор. Як теплоносій у замкненому контурі застосовується фреон, температура пароутворення якого має бути нижчою за температуру низькопотенційного джерела енергії. У випарнику відбувається пароутворення фреону, далі компресор стискає і перегріває пару, а в конденсаторі відбувається конденсація пари та відведення теплоти споживачу. Така система є досить ефективною: співвідношення між виробленою і спожитою енергією (COP)

становить близько 4 при температурі джерела 7°C [2]. Основні втрати енергії пов'язані з необхідністю перегрівати пару в компресорі. Цей недолік усунено в нижченаведеній технології.

Рис. 2. Принцип дії абсорбційного теплового насоса

Принциповою відмінністю абсорбційного теплового насоса є наявність двох контурів та використання спеціальних хімічних сполук, таких як аміак NH_3 або бромід літію LiBr . Основними елементами абсорбційного теплового насоса є випарник, абсорбер, генератор, конденсатор та електричний насос.

Розглянемо цикл з використанням аміаку. У випарнику відбувається підведення низькотемпературної теплоти, аміак випаровується. Потрапляючи в абсорбер, аміак реагує з водою з виділенням теплоти, яка передається споживачу, та утворенням водно-аміачної суміші. В генераторі ця суміш підігрівається за допомогою зовнішньої

високотемпературної теплоти та розділяється: випарований аміак потрапляє до конденсатора, а вода повертається до абсорбера. В конденсаторі аміак конденсується з виділенням теплоти для споживача [3]. Насос забезпечує циркуляцію водно-аміачної суміші. COP абсорбційного теплового насоса становить 1.4-2.

Висновки. Компресійний тепловий насос є ефективнішим за абсорбційний. Проте абсорбційний насос є простішим та надійнішим з точки зору механічної частини через наявність електричного насоса замість компресора, який потребує періодичного обслуговування. Також для роботи абсорбційного теплового насоса необхідно додаткове високотемпературне джерело теплової енергії, натомість компресійний використовує тільки низькопотенційне джерело. Простіша конструкція компресійного насоса обумовлює його більшу поширеність, але при наявності високотемпературного джерела теплової енергії доцільніше використовувати саме абсорбційний тепловий насос. Загалом технологія абсорбційного насоса має перспективи розвитку і вдосконалення та як наслідок підвищення ефективності.

Література:

1. Електронний ресурс
<http://www.tnu.in.ua/study/refs/d159/file1158629.html>
2. Електронний ресурс
<http://solarsystems.com.ua/teplovyye-nasosyi1.html>
3. Walter Grassi. Heat Pumps Fundamentals and Applications, 2018, p. 74.

УДК 621.355; 620.9

СПОСІБ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОХІМІЧНИХ АКУМУЛЯТОРІВ І ВІТРОСОНЯЧНИХ УСТАНОВОК у ГЕОТЕРМАЛЬНІЙ ЕНЕРГЕТИЦІ

**В.Ю. Скосар¹, С.В. Бурилов², О.С. Ворошилов³,
С.В. Комаров⁴**

*Інститут транспортних систем і технологій
НАН України, вул. Писаржевського, 5, м. Дніпро, 49005,*

¹тел.: 066-7318618, e-mail: skosarslava@gmail.com

²тел.: 096-1408170, ³тел. 095-8678256,

⁴тел.: 067-5678847

*Запропоновано спосіб використання
електрохімічних акумуляторів, вітроенергетичних
установок і сонячних батарей в установці для утилізації
енергії гарячих сухих гірничих порід.*

Ключові слова: *електрохімічні акумулятори,
вітроенергетичні установки, сонячні батареї,
геотермальна енергетика.*

METHOD OF USING ELECTROCHEMICAL BATTERIES AND WIND POWER PLANTS AND SOLAR BATTERIES IN GEOTHERMAL ENERGETICS

V.Yu. Skosar, S.V. Burylov, O.S. Voroshilov, S.V. Komarov
*Institute of Transport Systems and Technologies of the
National Academy of Sciences of Ukraine,
Pisargevskogo Street, 5, Dnipro.*

*A method of using electrochemical batteries, wind power
plants and solar batteries in an installation for energy
utilization of hot dry rocks is proposed.*

Keywords: *electrochemical batteries, wind power
plants, solar batteries, geothermal energy.*

ORCID: ¹0000-0002-2151-3417, ²0000-0001-8070-6764,

³0000-0002-9937-3637, ⁴0000-0002-6065-9478.

Сумарну потужність джерел внутрішньої енергії Землі оцінюють у 30–47 ТВт, але природа цієї енергії ще до кінця не відома. Це може бути енергія радіоактивного розпаду урану, торію, калію; екзотермічний процес кристалізації внутрішнього ядра Землі; дисипація енергії гравітаційної диференціації речовин у надрах Землі; дисипація приливної дії Місяця і Сонця; екзотермічний процес розпаду гідридів і карбідів заліза ядра планети; сукупність всіх зазначених процесів та інші явища. Наприклад, недавно встановлено, що кристалізація діоксиду кремнію в ядрі може бути джерелом як тепла, так і геомагнітного поля. Величина потоку геотермальної енергії нерівномірно розподілена поблизу поверхні планети, тому використання цієї енергії доцільно тільки там, де ця величина досить велика, або де доступ до цієї енергії досить простий. Це можуть бути зони геотермальної активності (зони тектонічних розломів, підвищеної сейсмічної активності й вулканізму, гідротермальні джерела) або гірничі виробки – шахти, рудники, де на глибині можна отримати доступ до геотермального тепла. Наприклад, в глибоких шахтах Донбасу температура гірничих порід досягає 50–52 °С. А на шахті ім. Сковинського на глибині 1200 м температура гірничих порід досягає 76 °С. Зазвичай геотермальні станції використовують енергію гідротермальних гарячих вод або петротермальну енергію гарячих сухих гірничих порід. І хоча потенціал петротермальної енергії на два порядки вище, ніж потенціал гідротермальної енергії (оскільки гарячі води не дуже поширені), але доступ до петротермальної енергії технічно утруднений, оскільки вимагає буріння свердловин до декількох кілометрів. Тому на практиці розвиток петротермальної енергетики – це більш віддалена перспектива, і на це претендують розвинені країни. Але якщо ми хочемо бачити Україну розвинутою країною, то розвиток петротермальної енергетики є актуальним завданням.

Ми маємо пропозиції. На відпрацьованих гірничих шахтах трапляються гарячі гірничі породи, тепло яких можна використовувати, якщо в цих шахтах розташувати систему захоплення енергії глибинного тепла Землі. Тому в нашому технічному рішенні в гірничу шахту, яка є відпрацьованою, монтують трубопровід для нагнітання води в котел і паропровід для відводу пара від котла. Трубопровід і паропровід складаються з частин, причому частини трубопроводу для нагнітання води в котел з'єднані з частинами паропроводу для відводу пара від котла жорсткими перемичками з формуванням секцій.

Оскільки шахта, найімовірніше, буде складної конфігурації, матиме вертикальні й похилі частини, то зазначені жорсткі перемички використовуватимуть також для фіксації трубопроводу й паропроводу до стінок шахти для забезпечення міцності конструкції. Останні секції трубопроводу й паропроводу з'єднують з котлом, а котел розміщують в зоні захоплення тепла, причому частину свердловини в зоні захоплення тепла заповнюють водонепроникним матеріалом, захищаючи їм котел, наприклад щільними глинистими породами. В такий спосіб забезпечують надійну роботу котла, запобігають ушкодженню котла глибинними водами.

Підключають до трубопроводу насос і накопичувальну ємність, за допомогою насоса нагнітають холодну воду з накопичувальної ємності по трубопроводу для нагнітання води в котел і відводять гарячу воду й пар по паропроводу для відводу пара від котла. Якщо гаряча вода (і пар) має досить високу температуру (наприклад, 80–90 °C), то її безпосередньо направляють споживачеві гарячої води. Якщо гаряча вода не досягає необхідної високої температури, то її від паропроводу направляють на додаткове нагрівання до теплового насоса, а потім уже споживачеві гарячої води.

Роботу теплового насоса забезпечують електроенергією, виробленою вітроенергетичними установками й сонячними батареями, надлишок

електроенергії направляють споживачеві електроенергії. Частина електроенергії накопичують в акумуляторних батареях і у разі необхідності (при відсутності вітру й у нічні години), використовують для роботи теплового насоса. Блок управління забезпечує злагоджену роботу електричних приладів. Вітроенергетичні генератори і сонячні батареї розташовують поблизу шахти.

Запропоноване технічне рішення може бути використано в гірничій промисловості та в геотермальній енергетиці, для забезпечення гарячою водою і електроенергією споживачів, розташованих поблизу відпрацьованих гірничих шахт.

УДК 621.311

ДОЦІЛЬНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ У СИСТЕМІ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ЖИТЛОВОЇ БУДІВЛІ

В.В. Дубровська, В.І. Шкляр, А.Ю. Рязанцев

НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського»,

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту

тел.: +38(044)204-96-90, e-mail: shklyar_vi@ukr.net

Розглянута можливість використання теплових насосів у системі теплопостачання багатоквартирного житлового будинку.

Ключові слова: система теплопостачання, тепловий насос, опалення, гаряче водопостачання.

FEASIBILITY OF USING HEAT PUMPS IN HEATING SYSTEMS OF A RESIDENTIAL BUILDING

V. Dubrovskaya, V. Shklyar, A. Riazantsev

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute,

Institute of Energy Saving and Energy Management

The possibility of using heat pumps in the heat supply system of an apartment building was considered.

Keywords: *heat supply system, heat pump, heating, hot water supply.*

ORCID: 0000-0001-6879-7501, 0000-0003-4765-0484.

В Україні більшість установ та багатоквартирні житлові будинки отримують теплову енергію від централізованих систем теплопостачання з використанням застарілого обладнання з низьким ККД, термін експлуатації якого давно закінчився.

Враховуючи тенденцію до зростання ціни на енергоносії для зменшення оплати за опалення та гаряче

водопостачання (ГВП) пропонується перейти від централізованого теплопостачання до індивідуального з використанням відновлюваних джерел енергії – теплових насосів.

Метою роботи є аналіз можливості використання теплових насосів у системі теплопостачання багатоквартирного будинку.

Об'єкт дослідження – 16-поверховий житловий будинок, що має два під'їзди та 128 квартир, де мешкає 340 людей. Загальна площа будинку – 7557 м², опалювальна – 4561 м².

Житловий будинок споживає теплову енергію для опалювання в холодний період року (рис. 1).

Рис. 1. Споживання теплової енергії за 2017–2019 роки

Вода використовується на технічні, санітарно-гігієнічні потреби та приготування їжі. Споживання гарячої води в будинку протягом трьох років показано на рис. 2.

Рис. 2. Споживання гарячої води за 2017–2019 роки

На рисунку видно, що споживання гарячої води не є рівномірним, в деякі місяці є зменшення її використання, що може бути обумовлено теплим періодом року або технічними проблемами: проривом труб та їх заміною.

На рис. 3 показано витрати коштів житловим будинком на різні види енергоресурсів.

Рис. 3. Витрати коштів на енергоресурси

На діаграмі (рис. 3) видно, що найбільше коштів йде на гаряче водопостачання – 44 % та опалення – 30 %.

Для зменшення витрат за гаряче водопостачання та на систему опалення після утеплення будівлі пропонується

встановити для забезпечення тепловою енергією теплові насоси.

Середнє споживання теплової енергії на опалення будинку за останні три роки становить 107 Гкал/місяць або 172 кВт, а потужність системи ГВП – 85 кВт.

Оскільки біля будинку немає великої земельної ділянки, розглядається використання для системи теплопостачання теплових насосів «повітря–вода».

У роботі для вибору необхідного теплового насоса, розрахунку періоду окупності та перевірки доцільності встановлення ТН розглядається два варіанти розрахунків:

- за програмою підбору теплових насосів MyCond [1];
- в програмному середовищі GeoTsol [2].

Результати розрахунку за програмою MyCond наведено у табл. 1. За розрахунками, сонячна система покриває 95 % теплового навантаження, а інші 5 % покривають вбудовані в бак ТН електричні ТЕНи [1].

Таблиця 1. Розрахункові дані [1]

	Назва ТН	Коефіцієнт покриття	COP	Кількість, шт.
ГВП	MCU 066 YHE	95 %	3	2
Опалення	MCU 066 YHE	95 %	3	4

Програма [2] має широкий вибір сучасних ТН , і після аналізу введених даних були обрані ТН Clitech CAR-20XB та Clitech CAR-24XB (табл. 2). Моделювання в GeoTsol показало, що вибрана система теплових насосів забезпечить 100 % потреб у гарячій воді та опаленні будівлі.

Таблиця 2. Розрахункові дані [2]

	Назва	COP	Кількість, шт
ГВП	Clitech CAR-24XB	3,58	4
Опалення	Clitech CAR-20XB	3,58	9

Фінансові витрати на ТН та загальні з урахуванням вартості додаткового обладнання, проєктних і монтажних робіт та економічна доцільність систем відображені в табл. 3.

Таблиця 3. Фінансові розрахунки

	MyCond		GeoTsol	
	Опалення	ГВП	Опалення	ГВП
Вартість ТН, тис. грн	1887	944	684	516
Загальна вартість системи, тис. грн	3504	1330	2831	1003
Річна вартість оплати теплоти, тис. грн/рік				
без теплового насосу	635	1398	635	1398
з тепловим насосом	322	521	240	437
Економія коштів, тис. грн./рік	313	877	395	961
Строк окупності, років	10	1,5	6,8	1,45

Для покриття теплового навантаження на опалення та ГВП в різних програмах змодельовані дві системи з різними тепловими насосами типу «повітря–вода». За результатами аналізу змодельованих систем можна зробити висновки, що система, розрахована в GeoTsol, має менші початкові інвестиції: ГВП – 1003 тис. грн і опалення 2831 тис. грн – і менший строк окупності: ГВП –1,45 року та опалення – 6,8 року. Крім того, ТН за мають більший COP і менші габарити та вагу, тому можуть бути встановлені на технічному поверсі [2].

Література:

1. Програма підбору теплових насосів MyCond [електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: mctn.aclima.ua.

2. Програма GeoTsol [електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://valentin-software.com/downloads/geotsol/latest>.

УДК 620.91

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИХ ГЕНЕРАТОРІВ ДЛЯ ПЕРЕТВОРЕННЯ ГЕОТЕРМАЛЬНОЇ ЕНЕРГІЇ ЗАНЕДБАНИХ ГАЗОВИХ ТА НАФТОВИХ СВЕРДЛОВИН

Ю.М. Лобунець, д-р техн. наук,
Інститут газу НАН України,
тел.: +38(0-67)466-90-79, e-mail: yurilobunets@yahoo.co.uk

Розглянуто техніко-економічні показники термоелектричних генераторів (ТЕГ) для перетворення низькопотенційної теплової енергії, що може видобуватись із занедбаних газових та нафтових свердловин. Приведено оцінки вирівняної вартості електроенергії таких генераторів. Показано, що ТЕГ мають суттєві переваги перед традиційними схемами з використанням ORC.

Ключові слова: геотермальна енергія; занедбані свердловини; термоелектричний генератор.

APPLICATION OF THERMOELECTRIC GENERATORS FOR THE CONVERSION OF GEOTHERMAL ENERGY FROM ABANDONED GAS AND OIL WELLS

Yu. Lobunets,
Gas Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine

The technical and economic indicators of thermoelectric generators (TEG) for the conversion of low-potential thermal energy that can be extracted from abandoned gas and oil wells are considered. Estimates of the Levelized Cost Of Electricity of such generators are given. It has been shown that TEGs have significant advantages over traditional schemes using ORC.

Keywords: geothermal energy; abandoned wells; thermoelectric generator.

ORCID: 0000-0002-3593-1687.

Термоелектричні генератори (ТЕГ) широко використовуються в особливих умовах, які потребують високої надійності та питомої потужності, великого ресурсу роботи. Передусім це стосується космічних застосувань, яскравими прикладами яких є термоелектричні генератори, що забезпечують багаторічне безвідмовне живлення марсоходів *Curiosity* та *Perseverance*. ТЕГ широко використовуються також у наземних умовах для живлення важливого автономного обладнання – станцій катодного захисту, ретрансляторів, систем зв'язку, збору інформації та ін. Така специфіка використання закріпила за цією технологією стійку репутацію щодо придатності лише для малопотужних застосувань. Однак розвиток технологій і масове виробництво термоелектричних комплектуючих (термоелектричних модулів) привели до значного зниження їх вартості, що дозволяє розглядати ТЕГ як серйозного конкурента існуючим технологіям перетворення теплової енергії в електричну для діапазону температур нижче 250 °С. Саме цей діапазон є характерним для геотермальної енергетики. Одним з перспективних напрямів геотермальної енергетики є використання існуючих свердловин з виснажених газових та нафтових родовищ. Це дозволяє суттєво знизити капітальні витрати на Гео-ТЕС і розширити межі їх застосування [1, 2]. В роботі [3] наведено детальний аналіз характеристик геотермального генератора, розташованого на покинутій нафтогазовій свердловині в провінції Альберта (Канада), який використовує обладнання, що працює на основі органічного циклу Ренкіна (ORC). Основні вихідні технічні дані, які було використано для аналізу:

- температура гарячого теплоносія $t_h = 122\text{ }^{\circ}\text{C}$
- температура холодного теплоносія $t_c = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$
- витрати гарячого теплоносія $W = 22,1$
л/с
- потужність насосів $P = 5\text{ кВт}$

- потужність ORC генератора $P_{ORC} = 100 \text{ кВт}$
- коефіцієнт завантаження 90%

Для проведення техніко-економічного аналізу використовувались такі дані:

- вартість ORC генератора \$ 420 тис.
- вартість труб \$ 300 тис.
- вартість циркуляційних насосів \$ 5 тис.
- монтажні роботи \$ 20 тис.
- Інше \$ 62 тис.
- **Загалом капітальні витрати:** \$ 807 тис.
- Ремонти й обслуговування \$ 16,14 тис.
- Заробітна плата \$ 40 тис.
- **Загалом операційні витрати:** \$ 56,14 тис.
- Ресурс ORC генератора 20 років
- Облікова ставка 5 %
- Інфляція 2 %

На основі оцінки капітальних та експлуатаційних витрат була визначена вирівняна вартість електроенергії LCOE для початкових температур в діапазоні $t_h = 77 - 122 \text{ }^\circ\text{C}$ (рис. 1). Було також визначено, що операційні витрати

суттєво впливають на економічність Гео-ТЕС – в разі відсутності цих витрат вартість LCOE могла б зменшитись від 0, \$/кВт-год до більш конкурентоздатної ціни 0 05 \$/кВт-год. На основі результатів цього дослідження було проведено аналіз характеристик ТЕГ в подібних умовах. Методологію розрахунків термоелектричних генераторів, за якою провадився аналіз, наведено в роботі [4]. На відміну від загальноприйнятої парадигми підвищення ефективності ТЕГ за рахунок пошуку нових термоелектричних матеріалів, ця методологія базується на методах оптимізації умов теплопереносу в системі джерело теплоти – термоелектричний перетворювач енергії – система охолодження, що надає можливість визначити оптимальні характеристики ТЕГ у реальних умовах використання. Економічна ефективність такого ТЕГ визначається насамперед ефективністю теплообмінних систем. Виходячи з питомої капітальної вартості системи ORC, взятої за базу порівняння ($G_o = 4,2$ \$/Вт), було розглянуто задачу побудови геотермального ТЕГ з капітальною вартістю $G_o < 4$ \$/Вт як передумови його конкурентоздатності для призначення, що розглядається. Визначальними

параметрами для такого аналізу є інтенсивність теплообміну в системах теплопередачі ТЕГ α_c , α_h , висота термоелементів h та питома вартість теплообмінників C_{HX} , \$/см². На рис. 2 наведено контурні графіки залежності між цими параметрами. Криві $C_{HX}=const$ обмежують в просторі $\alpha - h$ зони, в яких можливо виконання умови $Go < 4$ \$/Вт. Це означає, що лівіше кожної кривої $C_{HX}=const$ не існує можливих сполучень α та h , що забезпечують виконання поставленої умови, тоді як правіше цієї кривої завжди існує вирішення поставленої задачі. Слід зазначити, що реальна вартість теплообмінників складає $C_{HX}=0,01-0,1$ \$/см², що на два порядки нижче, ніж граничні значення для співвідношення технічних параметрів α та h оптимізованих конструкцій сучасних термоелектричних генераторів [5, 6]. Типові співвідношення цих параметрів для таких генераторів на графіку позначено зеленою зірочкою. Вартість ТЕГ потужністю 100 кВт для розглянутих умов складає приблизно \$ 200 тис. Для порівняння схем ORC та ТЕГ було розраховано LCOE за рівних вихідних умов. Ці результати наведено на рис.1. Видно, що в дослідженому діапазоні температур вирівняна вартість електроенергії термоелектричного генератора суттєво нижче вартості електроенергії традиційної схеми, тобто економічна ефективність ТЕГ перевищує ефективність ORC. Слід зазначити, що в реальних умовах операційні витрати ТЕГ практично дорівнюють нулю, що згідно з [3] є суттєвим резервом підвищення економічної ефективності геотермальної ТЕС.

Висновок.

Проведений порівняльний техніко-економічний аналіз підтверджує перспективність застосування термоелектричних генераторів енергії для перетворення низькопотенційної теплової енергії геотермальних джерел. Оцінка характеристик ТЕГ для реальних умов показала суттєві технічні та економічні переваги над традиційними схемами з застосуванням ORC, що відкриває перспективи

застосування термоелектричних перетворювачів енергії в геотермальній енергетиці.

Література:

1. Majorowicz J, Moore M. The feasibility and potential of geothermal heat in the deep Alberta foreland basin-Canada for CO savings. *Renew Energ.* 2014; 66: 541–549.
2. Marius Røksland, Tommy A. Basmoen, Dan Sui. Geothermal energy extraction from abandoned wells. *Energy Procedia* 2017, 105, 244–249.
3. Babkir Ali. Sustainability Assessment of Power Generation from an Abandoned Oil and Gas Well in Alberta, Canada. *Journal of Energy and Power Technology.* 2019, V. 1, 3. doi:10.21926/jept.1903002.
4. Yu. Lobunets. Improving the Economic Efficiency of Thermoelectric Generators by Optimizing Heat Transfer Conditions. *Journal of Electronic Materials*, 2021, 1–10.
DOI: 10.1007/s11664-021-08797-9 (SharedIt :<http://link.springer.com/article/10.1007/s11664-021-08797-9>).
5. Yu. Lobunets. Thermoelectric Generator for Utilizing Cold Energy of Cryogen Liquids. *Journal of Electronics Materials*, 2019, 48, p. 5491–5496. [/doi.org/10.1007/s11664-019-07392-3](https://doi.org/10.1007/s11664-019-07392-3)
6. Yuriy Lobunets, Ilya Abdurakhmanov. Results of an Experimental Study of the Thermoelectric Generator Integrated into a Plate Heat Exchanger. *Global Journal of Researches in Engineering: F Electrical and Electronics Engineering. F*, Vol 20, Is. 1, Vers. 1.0, 1–7 (2020).

УДК 621.484/484+556.33/34

**ГЕОЛОГІЧНА СКЛАДОВА В АНАЛІЗІ ГЕОТЕРМІЧНОГО
ПОТЕНЦІАЛУ ШАХТНИХ ВОД ЛЬВІВСЬКО-
ВОЛИНСЬКОГО ВУГІЛЬНОГО БАСЕЙНУ НА ПРИКЛАДІ
ТРАНСГРАНИЧНОГО РАЙОНУ УКРАЇНИ ТА ПОЛЬЩІ**

О.А. Панова¹, В.О. Привалов²

*Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення
ім. М.П. Семененка НАН України, просп. Академіка
Палладіна, 34, Київ, 03142, Україна,
тел.: +38(044)501-15-20, e-mail: olena.panova@gmail.com*

*Наведено комплексний геологічний аналіз
можливості використання теплового потенціалу
шахтних вод на прикладі Червоноградського гірничого
району у Львівсько-Волинському вугільному басейні.
Виділені основні геологічні компоненти, що обумовлюють
склад і стабільність притоків шахтних вод.*

Ключові слова: *геотермальна енергія, шахтні
води, геологічне середовище, низьковуглецева
енергетика.*

О.А. Panova¹, V.O. Pryvalov²

*M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and
Ore Formation of the National Academy of Sciences of
Ukraine, Akad. Palladina av., 34, Kyiv, Ukraine, 03142,
tel.: +38(044)501-15-20, e-mail: olena.panova@gmail.com*

*A comprehensive geological analysis of the possibility of
using the heat potential of mine waters on the example of the
Chervonohrad mining district in the Lviv-Volyn coal basin is
presented. The main geological components that determine the
composition and stability of mine water inflows are identified.*

Keywords: *geothermal energy, coal mine waters,
geological environment, low-carbon energy.*

ORCID: ¹0000-0002-3813-5125, ²0000-0002-1429-6960.

Вибір схеми видобутку енергії за рахунок використання тепла шахтних вод повинен базуватися на доброму розумінні геологічної характеристики шахтної ділянки [1]. Продуктивність системи водовідливу в значному обсязі контролюється водоносними горизонтами, літологією, стратиграфією та тектонічною будовою району вуглевидобутку.

На прикладі геологічного аналізу Червоноградського гірничопромислового району було оцінено потенціал шахтних вод. За показником щорічного обсягу шахтних вод була вибрана шахта «Степова». Середній загальний шахтний приток становить від 128 до 130 м³/год, температура 16 °С на глибині 500 м. У геологічному розрізі шахти підземні води виявлені в четвертинних, крейдових та кам'яновугільних відкладах. Найбільше значення для формування шахтних вод мають пісковики карбону, при проходці стволів шахти приток складав 80–85 м³/год.

Кам'яновугільні відклади на площі шахтного поля «Степова» характеризуються моноклінальним заляганням (падіння порід в основному 1–2°) [2]. Геолого-структурне моделювання (рис. 1) довело, що зони концентрованого розвитку малоамплітудної тектоніки на полі шахти «Степова» є результатом сколового механізму разлінзування масиву гірських порід площинами максимальних дотичних напружень та згруповані в субвертикальні тектоносмуги, що розбивають гірниче відведення на окремі ромбоїдальні блоки.

За результатами аналізу зразків шахтної води було зафіксоване значне перевищення нормативу для заліза (майже у дев'ять разів), хлоридів (більш ніж у сім разів), сульфатів (у два рази) та магнію, сухий залишок майже у 2,5 раза перевищує гранично допустиме значення. Що стосується мікроелементного складу, то концентрація у воді більшості елементів, що визначалися за методикою ІСР-

MS, – у межах допустимих величин. Винятком є вміст мангану (більш ніж у 12 разів перевищує ГДК) [3].

Рис. 1. Структурно-тектонічна позиція шахти «Степова»

Комплексний геологічний підхід дозволяє проаналізувати часові зміни показників стабільного водопритоку і складу шахтних вод для подальшої розробки технологічних схем із застосуванням теплонасосів.

Література:

1. Pryvalov V.O., Panova O.A., Pryvalov A.V. Geology in Environmental Management Issues of the Donbas within the Context of Its Forthcoming Restoration // Мінералогічний журнал. 2020. 42 (1). С. 76-85. URL: <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.42.01.076>
2. Дьяченко Н.А., Панова Е.А., Привалов В.А.

Сдвиговая тектоника и вращение блоков в пределах Межреченского месторождения Львовско-Волынского каменноугольного бассейна // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Сер.: Гірничо-геологічна. 2007. Вип. 6. С. 185–192.

3. Panova O.A., Pryvalov V.O., Krasnik V.G., Ulanov M. M. A step towards extraction renewable heat from mine waters in Ukrainian coal-mining environments. Від мінералогії і геогнозії до геохімії, петрології, геології та геофізики: фундаментальні і прикладні тренди XXI століття: збірник праць всеукраїнської конференції (MinGeoIntegration XXI), Київ, 23-25 вересня 2020 року. Київ: Навчально-науковий інститут «Інститут геології» КНУ ім. Тараса Шевченка. Київ, 2020. С. 207–211. URL: http://www.geol.univ.kiev.ua/docs/conf/Mingeo2020_materials.pdf

УДК 697.1

ВИЗНАЧЕННЯ НОРМОВАНОЇ ВАРТОСТІ ЦЕНТРАЛЬНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ЗА РАХУНОК СЕЗОННОГО АКУМУЛЮВАННЯ

О.В. Лусак

*Інститут відновлюваної енергетики НАН України,
вул. Гната Хоткевича, 20а, м. Київ, 02094,
тел./факс: +38(044)206-28-09, e-mail: geotherm@ukr.net*

Визначено, що вартість центрального теплопостачання систем сезонного акумулювання на даному етапі вже є нижчою за вартість центрального теплопостачання від традиційних джерел енергії. Наведено основні напрями роботи щодо подальшого аналізу моделей визначення вартості систем центрального теплопостачання.

Ключові слова: *акумулювання теплоти, геотермальне теплопостачання.*

DETERMINATION OF THE LEVELIZED COST OF ENERGY FOR A DISTRICT HEATING SYSTEM WITH SEASONAL THERMAL ENERGY STORAGE

O.V. Lysak

*Institute for Renewable Energy, 20a Hnat Khotkevych str.,
Kyiv, Ukraine, 02094, tel./fax: +38(044)206-28-09,
e-mail: geotherm@ukr.net*

It is defined that the cost of district heating of seasonal storage systems at this stage is already lower than the cost of district heating from traditional energy sources. The main directions of work on further analysis of models for determining the cost of central heating systems are presented.

Keywords: *thermal energy storage, geothermal district heating.*

ORCID: 0000-0002-4934-0685.

Однією з важливих задач сьогодні є боротьба зі змінами клімату, причиною яких стала промислова діяльність людей. Зокрема, це стосується й зменшення викидів CO_2 в атмосферу. Це є одним з факторів, що стимулюють споживачів застосовувати відновлювані джерела енергії, зокрема в системах центрального теплопостачання. Одним з найбільш перспективних напрямів екологічного центрального теплопостачання є застосування акумульованої в теплий період року сонячної енергії для забезпечення потреб споживачів у холодний період.

Існують різноманітні технології для сезонного акумулювання теплової енергії [1–3]. Але впровадження даної технології є економічно доцільним лише в тому разі, коли нормована вартість теплопостачання від зазначених систем $\text{LCOE}_{\text{сз}}$, грн/Гкал, є меншою за нормовану вартість теплопостачання від систем, що застосовують традиційні джерела енергії, зокрема природний газ, $\text{LCOE}_{\text{тр}}$, грн/Гкал.

Було зазначено, що $\text{LCOE}_{\text{сз}}$ окремих технологічних рішень систем сезонного акумулювання є дешевшим за технологічні рішення з використанням традиційних систем центрального теплопостачання [1]. Ця перевага стала ще істотнішою при нещодавньому підвищенні тарифів за використання традиційних систем центрального опалення [4]. Частково це підвищення пов'язане із застосуванням застарілих теплогенераційних установок деякими тепловими мережами.

Тому зараз актуальним є рішення з модернізації теплових мереж при частковому заміщенні традиційних теплогенераційних установок на системи з використанням сезонного акумулювання сонячної енергії. Здебільшого отримали застосування два технологічних рішення: з використанням свердловин та штучні «озера» [1].

Слід зазначити, що в літературі переважно наводять досить наближені дані щодо визначення $\text{LCOE}_{\text{сз}}$, грн/Гкал.

Це пояснюється тим, що дана технологія є експериментальною і має порівняно незначну кількість впроваджень, що призводить до дещо більших витрат у порівнянні зі стандартизованими рішеннями. Тому важливою задачею є уточнення складових вартості та попередження можливих похибок у розрахунку даних систем (заниження значень тепловтрат у сезонних акумуляторах, відмінність теплонадходження та теплоспоживання у порівнянні з запланованими тощо).

Вартість центрального тепlopостачання залежить від двох факторів: вихідних енергетичних даних та вартості обладнання й його встановлення [5]. Слід відзначити, що при розробці використовувались вартісні показники, що відповідають обладнанню, виробленому на території Західної Європи [5]. Тобто в умовах України ці показники можуть бути нижчими.

Іншим важливим напрямом є визначення частки теплоти, що має забезпечуватись системою сезонного акумулювання. Зазвичай її значення складає близько 50 %, але його збільшення, хоча й може дещо підвищити $LCOE_{сз}$, грн/Гкал, дозволить істотно зменшити викиди CO_2 .

Література:

1. Лисак, О.В. Аналіз системи центрального тепlopостачання за використання сезонного геотермального акумулювання в комбінації з системою виробництва та споживання водню [Текст] // Відновлювана енергетика. – № 3 (62). – С. 70–88. – doi: 10.36296/1819-8058.2020.3(62).70-88

2. Shah, S.K. Seasonal thermal energy storage system for cold climate zones: A review of recent developments / S. K. Shah, L. Aye, B. Rismanchi // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2018. – Vol. 97. – P. 38–49. – doi: 10.1016/j.rser.2018.08.025

3. Xu J., Wang R.Z., Li Y. A review of available technologies for seasonal thermal energy storage [Text]. Solar

Energy. – 2014. – Vol. 103. – P. 610–638. – doi: /10.1016/j.solener.2013.06.006.27.

4. Обґрунтування до прийняття постанов НКРЕКП щодо встановлення тарифів на виробництво теплової енергії на 2021 рік для ліцензіатів з виробництва теплової енергії на ТЕЦ та когенераційних установках [Електронний ресурс]. URL:

https://www.nerc.gov.ua/data/filearch/Materialy_zasidan/2020/gruden/23.12.2020/p16_23-12-20.pdf (дата звернення: 20.01.2021)

5. Mauthner F. IEA SHC Task 52: Solar Thermal and Energy Economy in Urban Environments: TECHNOLOGY AND DEMONSTRATORS Technical Report Subtask C – Part C1: Classification and benchmarking of solar thermal systems in urban environments. [Електронний ресурс]. URL: https://task52.iea-shc.org/Data/Sites/1/publications/IEA-SHC-Task52-STC1-Classification-and-Benchmarking_v02.pdf(дата звернення: 09.06.2020)

UDC 66.092-977

THERMAL DESTRUCTION OF COMPONENTS OF COMPOSITE FUEL FROM PLANT BIOMASS

V. Mykhailyk¹, T. Korinchevska²

*Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine,
2 Bulakhovskogo str., Kiev, Ukraine, 03164
tel.: +38(044)424-12-26, e-mail: mhlk45@gmail.com*

The study of thermal destruction of components of plant biofuel was carried out by the method of derivatography.

Keywords: *thermal destruction, plant materials, biofuel.*

ТЕРМІЧНЕ РОЗКЛАДАННЯ КОМПОНЕНТІВ КОМПОЗИЦІЙНОГО ПАЛИВА З РОСЛИННОЇ БІОМАСИ

В.А. Михайлик¹, Т.В. Корінчевська²

*Інститут технічної теплофізики НАН України,
вул. Булаховського, 2, м. Київ, 03164, Україна.*

Методом дериватографії виконано дослідження термічного розкладання компонентів рослинного біопалива.

Ключові слова: *термічне розкладання, рослинні матеріали, біопаливо.*

ORCID: ¹0000-0003-2712-1382, ²0000-0002-6638-4743.

Raw materials of plant origin are widely used as fuel, as it usually has a low ash content and high calorific value. Composite fuel from peat and plant raw materials has become widespread due to the increased ash content of peat from many deposits. However, predicting the impact of individual fuel components on the combustion process and its calorific value is difficult in developing the composition of fuel compositions.

Therefore, it is important to have information about the thermal decomposition of the constituent compositions. Derivatography is one of the most informative methods of thermal analysis. It combines thermogravimetry with differential thermal analysis. It allows you to simultaneously obtain information about the kinetics and heat of thermal destruction of organic substances in a dynamic mode. The study was performed in the range of 20...1000 °C at a heating rate of 7,4 K/min.

Samples of buckwheat husk, husk and straw of rice, peanut shells, bamboo wood and unsweetened sugar beet pulp after drying were subjected to thermal analysis. They can potentially be considered as fuel or components of composite fuel.

The obtained derivatograms reflect the endothermic effect of water removal in the range from the ambient temperature to 160–184 °C, depending on the type of material (table). Thermal destruction of organic substances is observed after dehydration. It is accompanied by a change in mass and heat release. The completion of the destruction process is determined by the invariability of the mass of the samples with a further increase in temperature. The temperature of destruction completion is in the range of 584–754 °C depending on the type of material (table).

The temperature range of destruction is divided into two periods (low-temperature and high-temperature) through the sequence of destruction of the main components of organic substances. Periods differ in heat of generation and rate of destruction. More than half of dry substances decompose in the low-temperature period.

Table. The results of the analysis of thermal destruction of the components of fuel compositions

Material	Water removal		Thermal destruction of substances				Ash
			organic		mineral		
	range, °C	moisture, %	range, °C	content, % DM	range, °C	content, % DM	% to mass of DM
Buckwhe at husk	21-184	10,49	184-754	98,63	-	-	1,37
Rice husk	22-178	9,58	178-615	85,32	615-1000	0,66	14,02
Straw rice	20-166	8,54	166-562	71,27	562-1000	0,87	27,86
Peanut shells	20-163	8,95	163-614	80,97	614-1000	0,77	18,26
Bamboo wood	20-164	10,03	164-584	98,67	584-1000	0,66	0,67
Sugar beet pulp	20-160	5,90	160-723	92,86	-	-	7,14
Note: DM – dry material							

According to the decreasing total content of organic substances, calculated on the dry weight, the materials can be placed in a row: bamboo wood → buckwheat husk → sugar beet pulp → rice husk → peanut shells → straw rice. From the given row it can be seen that the content of organic substances in plant tissues can vary over a wide range and depends on its type.

The most heat-resistant are buckwheat and rice husks. A slightly higher temperature is required to ignite them.

The ash content in the investigated materials is in reverse order in comparison with the total content of organic substances (table). The use of rice husks, rice straw and peanut shells as fuel is problematic due to the high ash content.

УДК 621.383+621.548+662.63

КЛАСИФІКАЦІЯ СПОСОБІВ ПІРОЛІЗУ БІОМАСИ

В.П. Ключ¹, С.В. Ключ²

*Інститут відновлюваної енергетики НАН України,
вул. Гната Хоткевича, 20а, м. Київ, 02094, Україна,
тел./факс: +38(044)206-28-09, e-mail: biomassa@ukr.net*

Наведена інформація щодо сучасних способів піролізу біомаси. Запропонована класифікація способів піролізу залежно від виду нагрівання сировини: сухий, окислювальний та комбінований піролізу. Розглянуті особливості, переваги і недоліки кожного зі способів.

Ключові слова: біомаса, піроліз, класифікація, біовугілля, піролізний газ.

CLASSIFICATION OF BIOMASS PYROLYSIS METHODS

V. Klius¹, S. Klius²

*Institute of Renewable Energy, National Academy of Science of Ukraine, 20a, Hnata Khotkevicha str., Kyiv, Ukraine, 02094,
e-mail: biomassa@ukr.net*

Information on modern methods of pyrolysis of biomass in fixed bed layer is given. The classification of pyrolysis methods depending on the type of raw material heating is proposed. Features, advantages and disadvantages of each of proposed method are considered.

Keywords: biomass, pyrolysis, classification, biochar, pyrolysis gas.

ORCID: ¹0000-0001-8536-3211, ²0000-0002-5804-4925.

Піроліз – термічний розпад складної органічної маси на прості сполуки та хімічні елементи під дією високої температури в інертному середовищі.

Залежно від температури піроліз поділяється на :

1. Низькотемпературний 400...500 °С (напів-коксування).
2. Середньотемпературний 500...800 °С.
3. Високотемпературний 800...1050 °С (коксування).

Залежно від швидкості нагрівання це може бути:

1. Швидкий піроліз дрібнодисперсної біомаси, швидкість нагрівання понад 1000 °С/с.
2. Повільний піроліз, швидкість нагрівання до 100 °С/хв.

Залежно від способу нагрівання сировини піроліз поділяється на сухий (СП), окиснювальний (ОП) та комбінований (КП).

На рис. 1 наведені типові схеми реакторів піролізу з нерухомим шаром біомаси.

Рис. 1. Схеми реакторів піролізу: а – сухого, б – окислювального, в – комбінованого. 1 – реактор; 2 – напрямок нагрівання сировини; 3 – піролізний газ; 4 – колосникова решітка; 5 – реторта;

6 – повітря; 7 – епюри температур у реакторах.

СП відбувається за рахунок зовнішнього нагрівання через стінки реактора. Через низьку теплопровідність біомаса в реакторі нагрівається нерівномірно. Біля стінок реактора відбувається перегрівання, а в центрі – недогрівання сировини. Внаслідок цього отримують біовугілля (деревне, рослинне) різної якості, тому що елементарний склад біовугілля залежить в основному від температури піролізу. Зазвичай СП проводять в низькотемпературному режимі для отримання енергетичного біовугілля. Піролізний газ СП висококалорійний, але насичений парами смоли, які конденсуються при охолодженні, що створює проблеми з утилізацією конденсату. Біомасу для СП необхідно підсушити до вологості не більше 25 %, розмір фракції біомаси – від лушпиння зернових (3...5 мм) до дров (1...1,5 м). Тривалість піролізу від – 6 годин до 3 діб залежно від розмірів реактора.

ОП – порівняно новий спосіб піролізу з внутрішнім нагріванням біомаси інертними газами [1]. ОП відбувається у вертикальних реакторах щільного шару палива з обмеженою подачею повітря. Оптимальний розмір фракції біомаси 5...25 мм, вологість – до 50 % [2]. Для початку піролізу розпалюється паливо, наприклад, ТЕН-ами. Виникає зона горіння летких речовин, яка рухається назустріч повітрю. В цій зоні кисень повітря повністю згорає. За зоною горіння залишається біовугілля. Процес автотермічний, додаткове паливо не використовується. Температурне поле в реакторі рівномірне. При температурі понад 600 °С з вологої біомаси отримується активоване біовугілля, шляхом суміщення в реакторі процесів карбонізації та активації вуглецю. Активоване біовугілля (біочар) доцільно вносити в ґрунт з метою підвищення врожайності або використовувати як промисловий адсорбент. Піролізний газ – низькокалорійний із вмістом N_2+CO_2 до 70 %, але малосмольний. Може використовуватися у двигунах внутрішнього згорання.

КП поєднує два види піролізу СП+ОП [3]. Для цього в реакторі ОП коаксіально розміщена реторта з відкритим верхом. У реторту завантажується біомаса різних фракцій вологістю до 30 %. У кільцеву камеру між стінками реактора і реторти завантажується паливо з розміром фракції 5...25 мм і вологістю до 35 %. У реактор подається обмежена кількість повітря і розпалюється паливо в кільцевій камері, де протікає процес ОП. Під дією теплоти, що виділяється при цьому, відбувається сухий піроліз палива в реторті. КП може використовуватися для карбонізації в реторті такої сировини, як безпідстилковий курячий послід, кісткові відходи, реактивації відпрацьованого активованого вугілля.

Висновок. Запропонована класифікація способів піролізу біомаси вносить вклад в пул інформації щодо методів термічного перероблення органічних відходів у корисні продукти – біовугілля та піролізний газ.

Література:

1. Патент Российской федерации № 2014882. Способ получения адсорбента. С.Р. Исламов, С.Г. Степанов, А.Б. Морозов, В.С. Славин. Опублик. 30.06.1994, Бюл. № 12.
2. Патент на корисну модель № 61303. Україна. Спосіб шарової газифікації кускового твердого палива. В.П. Ключ, С.В. Ключ, Д.С. Довженко. Опублік. 11.07.2011, Бюл. № 13.
3. Патент на корисну модель № 123882. Україна. Спосіб комбінованого піролізу. В.П. Ключ, С.В. Ключ. Опублік. 12.03.2018, Бюл. № 5.

УДК 662.612.5

ЗМІНА ТЕМПЕРАТУРИ ОДИНИЧНИХ ДЕРЕВНИХ ТА СОЛОМ'ЯНИХ ГРАНУЛ ПІД ЧАС ГОРІННЯ

М.М. Жовмір¹, Н.О. Маслова²

*Інститут відновлюваної енергетики НАН України,
02094, м. Київ, вул. Гната Хоткевича, 20а
тел./факс: +38(044)206-28-09, e-mail: biomassa@ukr.net*

Наведено результати експериментальних досліджень зміни температури одиничних деревних та солом'яних гранул під час їх горіння в умовах вільного доступу повітря в муфельній печі. Максимальна температура в частках досягається на їх осі перед завершенням вигорання вуглецю.

Ключові слова: гранули, горіння, температура частки.

TEMPERATURE CHANGING OF SINGLE WOOD AND STRAW PELLETS AT BURNING

M. Zhovmir¹, N. Maslova²

*Institute for Renewable Energy of NAS of Ukraine,
20A, Gnata Hotkevicha str., 02094, Kyiv, Ukraine
tel./fax: +38(044)2062809, e-mail: biomassa@ukr.net*

Experimental results on investigation of temperature change in single straw and wood pellets at their burning in conditions of free air access in a muffle furnace are described. Maximum temperatures in particles were achieved at their axis just before completion of carbon burnout.

Keywords: pellets, burning, particle temperature.

ORCID: ¹0000-0001-6514-7474, ²0000-0003-1465-1886.

Тверде біопаливо у вигляді гранул (пеллет) переважно використовують в опалювальних котлах потужністю до 500 кВт. Основними технологічними проблемами спалювання солом'яних пелет є спікання золи, підвищена емісія забруднювальних речовин, зниження теплопродуктивності та коефіцієнта корисної дії котельних установок.

Відомо, що спікання та розм'якшення золи палива визначається як характеристиками плавкості золи палива, так і термохімічними умовами, що створюються в топці при його спалюванні. У топках котельних установок, впливаючи на режими горіння та теплообміну часток палива, створюють температурні умови, сприятливі для отримання золи у твердому або рідкому стані залежно від поставленої задачі.

Метою роботи є експериментальні дослідження зміни температури в одиничних деревних та солом'яних гранулах при вільному доступі повітря в муфельній печі, а також виявлення впливу підвищеного вмісту золи на температуру частки, що палає.

Методика проведення експериментів. Дослідження проводилися методом спалювання індивідуальних гранул діаметром 8 мм у муфельній печі, розігрітій до заданої температури. Температуру всередині часток вимірювали за допомогою термопар з їх розміщенням на осі та на середині радіуса частки.

Отримані результати. В період виходу та вигорання летких температура по центру частки була меншою, ніж у проміжній точці між центром та поверхнею. При завершенні виходу летких температура по перерізу частки ставала рівномірною і становила близько 550 °С. У період окислення вуглецю з коксозольного залишку температура зростала, але по перерізу частки залишалася рівномірною. При досягненні фронту окислення вуглецю точки на середині радіуса частки температура в ній досягала певного значення і в подальшому знижувалась, а температура на осі частки продовжувала зростати і

безпосередньо перед згасанням досягала максимального значення.

На рис. 1 представлені отримані дані як залежність максимальної температури на осі частки, що палає, від температури печі при спалюванні деревних (соснових) гранул із вмістом золи $A_d = 0,4 \text{ \%мас.}$ та солом'яних гранул з $A_d = 9,0 \text{ \%мас.}$ Залежність має сідловидний характер.

Рис. 1. Максимальна температура на осі частки коксозольного залишку $t_{оч}$ залежно від температури в муфельній печі $t_{п}$: 1 – деревні (соснові) гранули з $A_d=0,4 \text{ \%мас.}$; 2 – солом'яні гранули з $A_d=9,0 \text{ \%мас.}$

При температурах печі від 400 до 500 °C спостерігалось збільшення максимальної температури на осі з досягненням значень 794 та 916 °C, для деревних та солом'яних гранул відповідно. При температурі печі 550 °C спостерігається локальний мінімум максимальної температури коксозольного залишку 760 °C для деревних гранул та 855 °C для солом'яних гранул. Зі зростанням температури печі від 550 до 800 °C спостерігалось

збільшення максимальних температур коксозольного залишку.

В усьому дослідженому діапазоні температур печі на осі коксозольного залишку солом'яних гранул максимальна температура була вищою на 130...60 градусів порівняно з коксозольним залишком деревних гранул.

Висновки.

Під час спалювання солом'яних гранул досягають більш високих температур всередині часток, що палають; це може вказувати на зростання максимальної температури коксозольного залишку, що палає, зі збільшенням вмісту золи в паливі.

Під час спалювання солом'яних гранул з метою запобігання розм'якшення та спікання золи доцільними можуть бути режими, при яких максимальна температура часток коксозольного залишку, що палає, є нижчою.

Література:

1. Jandačka J., Holubčík M., Papučik Š., Nosek R. Combustion of pellets from wheat straw. Acta Montanistica Slovaca. 2012. Vol. 17. Iss. 4. P. 283–289.].
2. Силин В.Е., Рыжков А.Ф., Надир С.М.Ш. Низкотемпературное сжигание биомассы // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2008, №5. – С. 9–15.

УДК 620.952

ВИКОРИСТАННЯ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОЇ ТЕПЛОТИ, УТИЛІЗОВАНОЇ З ПРОДУКТІВ ЗГОРАННЯ БІОМАСИ

М.М. Жовмір

*Інститут відновлюваної енергетики НАН України
02094, м. Київ, вул. Гната Хоткевича, 20а
Тел./факс. +38(044)2062809, e-mail: biomassa@ukr.net*

При глибокому охолодженні продуктів згорання біомаси отримують теплоту з температурним рівнем 40–50 °С, використання якої в системах теплопостачання проблематичне. При термомодернізації будівель та застосуванні активної теплової ізоляції можливе переведення систем опалення та теплопостачання в низькотемпературні режими з розширенням використання низькотемпературної теплоти.

Ключові слова: біомаса, димові гази, енергія, утилізація.

USAGE OF LOW-GRADE HEAT RECOVERED FROM FLUE GAS OF BIOMASS COMBUSTION

M. Zhovmir

*Institute for Renewable Energy of NAS of Ukraine
20A, Gnata Hotkevicha str., 02094, Kyiv, Ukraine
tel./fax: +38(044)2062809, e-mail: biomassa@ukr.net*

At deep cooling of flue gas of biomass burning the low-grade heat with a temperature level of 40–50°C can be recovered, which usage in heat supply systems is problematic. Energy modernization of buildings and application of active thermal insulation can facilitate transition of heating and heat supply

systems to low-temperature modes with expansion of the of low-temperature heat usage.

Keywords: *biomass, flue gas, energy, utilization.*

ORCID: 0000-0001-6514-7474.

З метою підвищення ефективності використання енергії палив застосовують додаткове охолодження продуктів згорання після котельної установки з використанням утилізованої теплоти для підігріву зворотної води системи опалення перед її подачею до котла або нагріву дуттьового повітря. Охолодження продуктів згорання до температур нижче точки роси дає можливість утилізувати частину теплоти конденсації водяної пари, наявної в продуктах згорання, що забезпечує досягнення вищого коефіцієнта корисної дії. Подібні схеми поширені в котельнях на природному газі. За такою схемою можливості утилізації теплоти димових газів, зокрема при спалюванні біомаси, обмежені зростанням температури води у зворотному трубопроводі системи опалення до 70 °C при зниженні температури атмосферного повітря до розрахункової, і, відповідно, стає неможливою конденсація водяної пари з продуктів згорання.

В роботі [1] показано, що в результаті здійснення термомодернізації будівель одночасно з поліпшенням теплоізоляційних характеристик огорожувальних конструкцій для забезпечення збалансованого обігріву доцільно знижувати температурний графік системи опалення. Наприклад, при термомодернізації дев'ятиповерхового житлового будинку теплове навантаження опалення знижується на 36 %, і можна застосувати низькотемпературний графік роботи системи опалення з розрахунковими параметрами 64/51 °C [2]. Низькотемпературний графік дозволяє застосовувати котли

з конденсацією водяної пари з продуктів згорання протягом всього опалювального сезону.

Однак навіть застосування низькотемпературного графіка не дозволить використати всю потенційно доступну теплоту конденсації водяної пари. Подальше охолодження продуктів згорання до температур нижче 30–50 °C можливе двома шляхами.

Для утилізації теплоти димових газів, що доступна при їх охолодженні до більш низьких температур, можна застосувати електропривідні високотемпературні теплові насоси для підвищення температури утилізованої теплоти до рівня необхідного в системі опалення. Завдяки тому, що температурний рівень теплоти, що утилізується тепловим насосом, становить 20 °C і вище, можна досягнути коефіцієнта перетворення теплового насосу від 3,4 до 6 при середньому значенні за опалювальний сезон 5,3 [3].

Використовувати теплоту, що виділяється при охолодженні продуктів згорання до температур нижче 20 °C, можна в системах активної теплоізоляції для компенсації теплових втрат будівлі. Наприклад, використовуючи в активній теплоізоляції теплоту при температурі 10 °C, завдяки підведенню 1 кДж низькотемпературної енергії, можна зменшити на 0,48 кДж споживання високотемпературної енергії системою опалення [4].

Висновок. Комплексний підхід до термомодернізації будівель дозволяє створити технічні передумови для ефективного використання низькотемпературної теплоти продуктів згорання палив в опалювальних котельнях.

Література:

1. Жовмир Н.М. Низкотемпературные режимы систем отопления как предпосылка эффективного применения конденсационных котлов и тепловых насосов // Промышленная теплотехника. 2008, т. 30, № 5. С. 62–68.
2. Жовмир Н.М. Экономия топлива при тепловой изоляции здания с переходом к применению конденсационных отопительных котлов // Промышленная теплотехника. 2009, т. 31, № 3. С. 84–90.
3. Жовмір М.М. Утилізація низькотемпературної теплоти продуктів згорання палив за допомогою теплових насосів // Промышленная теплотехника. 2008, т. 30, № 2. С. 90–98.
4. Жовмир Н.М. Использование низкопотенциальной теплоты для активной теплоизоляции зданий // Промышленная теплотехника. 2009, т. 31, № 5. С. 62–68.

УДК 620.951

ВИКОРИСТАННЯ ГАЗОВИХ ВИКИДІВ ДЛЯ ВИРОЩУВАННЯ МІКРОВОДОРОСТЕЙ В ПРОЦЕСІ ВИРОБНИЦТВА БІОПАЛИВА

Н.Б. Голуб¹, А.А. Вдовиченко²

Національний технічний університет України

"Київський політехнічний інститут

імені Ігоря Сікорського",

просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна,

тел.: +38(044)204-97-79, e-mail: avecobt@gmail.com²

Пропонується використання газових викидів та біогазу для біосеквестрації діоксиду карбону та інших домішок у процесі вирощування мікроводоростей з метою подальшого одержання біопалива (біодизелю, біоводню та метану).

Ключові слова: *мікроводорості, біомаса, біопаливо, біодизель, біогаз, газові викиди.*

USING GASEOUS EMISSIONS FOR MICROALGAE'S CULTIVATION IN THE PROCESS OF BIOFUEL PRODUCTION

N. Golub¹, A. Vdovychenko²

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

It is proposed to use gaseous emissions and biogas for biosequestration of carbon dioxide and other impurities in the process of growing microalgae with a view to obtaining biofuels (biodiesel, biohydrogen and methane).

Keywords: *microalgae, biomass, biofuel, biodiesel, biogas, gaseous emissions.*

ORCID: ¹0000-0003-1448-1872, ²0000-0002-7243-8488.

Використання мікроводоростей *Chlorella vulgaris* для утилізації газових викидів дозволяє вирішити дві задачі – екологічну, оскільки зменшуються викиди парникових газів, та енергетичну, оскільки підвищується вміст метану в біогазі при його очищенні та відбувається його збагачення киснем. Біомасу мікроводоростей, залежно від її компонентного складу, можна використовувати для одержання біогазу, біоводню та біодизелю.

Мікроводорості *Chlorella vulgaris* можна використовувати для очищення біогазу від домішок, які слугують поживними речовинами в процесі культивування.

Показано, що періодичне введення CO_2 підвищує приріст біомаси втричі. При цьому вихід біомаси має лінійну залежність від терміну надходження газової суміші, концентрації в ній CO_2 та кількості початкової біомаси. Рациональним вмістом CO_2 у газовій суміші є 5 %. При цьому збільшується вміст ліпідів в біомасі – джерела для одержання біодизельного палива, удвічі. Тобто для підвищення енергоемності біогазу залежно від початкової концентрації CO_2 , необхідно його розведення очищеним метаном. Для створення технології утилізації CO_2 при очищенні біогазу необхідно брати до уваги концентрацію сірководню, перевищення якої понад 1 % негативно впливає на розвиток мікроводоростей.

У разі використання газових викидів ТЕС, де концентрація CO_2 коливається на рівні 16 %, необхідно перед подачею до реактора або розбавляти викиди повітрям, або зменшувати частоту та термін подачі викидів. За таких умов мікроводорості одержують поживні елементи, як-от Карбон, Нітроген, Сульфур. Також підвищення вмісту CO_2 у викидах приводить до збільшення вмісту в ліпідах насичених жирних кислот, що підвищує якість біодизельного палива.

При невеликому вмісті ліпідної фракції одержану біомасу мікроводоростей можна використовувати для отримання біогазу або водню в процесі зброджування. Додавання мікроводоростей *Chlorella vulgaris* як добавки

при одержанні біогазу з сільськогосподарських відходів, підвищує вміст метану в біогазі на 10 %. При використанні чистої біомаси мікроводоростей вміст метану в біогазі досягає 78 ± 2 %. Високий вміст метану в біогазі можна пояснити наявністю вітамінів та інших біологічно активних речовин, що сприяють розвитку асоціації мікроорганізмів. При цьому поживні речовини, які містяться в мікроводоростях, є легкодоступними для ферментації.

При отриманні біоводню з мікроводоростей за умов мезофільного процесу зброджування та збагачення асоціації мікроорганізмами родів *Bacillus* та *Clostridium*, вміст біоводню в біогазі досягає 80 %. Очищення водню від CO_2 за допомогою водоростей можна проводити тільки в умовах низького освітлення для запобігання роботі фотосистеми II, в результаті роботи якої виділяється кисень, для запобігання створенню вибухонебезпечної суміші водню та кисню.

Отже, використання газових викидів підприємств дозволяє одержати екологічно чисте біопаливо одночасно з утилізацією оксидів карбону, сульфуру та нітрогену, що зменшує антропогенний вплив на довкілля.

УДК 579.088; 158.54

ТЕХНОЛОГІЯ ОДЕРЖАННЯ ВОДНЮ ІЗ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ВІДХОДІВ

Н.Б. Голуб¹, Д.І. Драпой², К.О. Щурська³

*Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут імені Ігоря
Сікорського", просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна,
тел.: +38(044)204-97-79, e-mail: golubnb@ukr.net*

Запропоновано технологію одержання водню з органічних відходів, яка дає змогу одержати енергоносії на рівні метаногенезу. Пропонується послідовне використання двох процесів – анаеробного зброджування та біоелектрохімічного процесу в мікробному паливному елементі, що дає можливість підвищити вихід водню з одиниці маси відходів.

Ключові слова: біомаса, біоводень, мікробний паливний елемент, зброджування.

TECHNOLOGY OF HYDROGEN PRODUCTION FROM AGRICULTURAL WASTES

N.B. Golub¹, D.I. Drapoi², K.O. Shchurska³

*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv
Polytechnic Institute"*

The technology of hydrogen production from organic wastes is proposed. The technology allows to obtain energy at the level of methanogenesis. It is proposed to sequentially use two processes - anaerobic fermentation and bioelectrochemical process in the microbial fuel cell, which makes it possible to increase the hydrogen yield per unit mass of waste.

Keywords: biomass, biohydrogen, microbial fuel cell, fermentation.

ORCID: ¹0000-0003-1448-1872, ²0000-0003-3181-8799,
³0000-0003-44403365.

Водень є екологічно чистим енергоносієм за умови його одержання у процесах, що не завдають шкоди навколишньому середовищу. Сучасні технології отримання водню є енерговитратними і, окрім електролізу сольових розчинів, супроводжуються значними викидами парникових газів та потребують викопного палива як вихідної сировини. При використанні електролізу водних розчинів енергетичні витрати на одержання водню перевищують енергію, яку одержують при його спалюванні.

Одержання водню з сільськогосподарських відходів проводили в мезофільному режимі за рН 6 і анаеробних умовах. Таке зниження рН дозволяє запобігти метаногенезу, оскільки одним із шляхів одержання метану є використання водню за рівнянням:

Вміст сировини в реакторі – 10 % за сухою органічною речовиною (COP). Для знешкодження метаногенних мікроорганізмів інокулянт попередньо обробляли за температури 90 °С протягом години. За таких умов вміст водню в біогазі не перевищує 40–50 % залежно від використаних відходів.

Для підвищення виходу водню запропоновано використовувати спеціально вирощені мікроорганізми родів *Clostridium* та *Bacillus* у співвідношенні 1:2,5. Додавання до асоціації мікроорганізмів таких водень продукуючих бактерій підвищує вміст водню в біогазі до 80 ±2 %. Окрім підвищення енергоємності біогазу також скорочується тривалість переробки сировини, що знижує енергетичні витрати процесу зброджування біомаси. Тверда маса, що залишається, використовується як добриво [1].

CO₂, що утворюється в процесі ферментації, можна утилізувати за допомогою мікрроводоростей [2].

Рідина спрямовується в мікробний паливний елемент, де на катоді відбувається утворення водню з чистотою 99,9 %. Для біоплівки, що сформована на аноді, поживними субстратами є органічні речовини, які утворилися з високомолекулярних сполук у процесі зброджування твердої біомаси (низькомолекулярні органічні кислоти, спирти тощо). Оскільки процес одержання водню відбувається під дією додаткової напруги у 0,6 В, в анодному просторі також виділяється водень. За таких умов відбувається знешкодження метаногенних бактерій, які присутні в анодному просторі [3].

Схему технології, що пропонується, наведено на рис.1.

Технологія отримання водню за запропонованою схемою є конкурентоспроможною та рентабельною, дає змогу збільшити вихід водню та зменшити його собівартість.

Рис. 1. Схема технології отримання водню з органічних відходів

Література:

1. Drapoi D., Golub N. Hydrogen production from cellulosic materials by natural microbial association from soil enriched by clostridium and bacillus microorganisms / The scientific heritage. – 2021. – No 60. – P. 3–8.
2. Голуб Н.Б., Хворостина А.В., Левтун И.И. Культивирование *Chlorella vulgaris* при использовании помета и газовых выбросов / Вода и экология. – 2014. – № 1. – С. 151–157.
3. Kuzminskiy Y., Shchurska K., Samarukha I., Lagod G. Bioelectrochemical hydrogen and electricity production Theoretical bases, description and modeling of the process Lublin: Politechnika Lubelska, 2013. – 102 p.

УДК: 662.636; 620.9

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОДУКТИВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК БІОПАЛИВНОЇ СИРОВИНИ БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ ТРАВ'ЯНИСТИХ ТА ДЕРЕВНИХ КУЛЬТУР

**Б.І. Басок, Б.В. Давиденко, Л.М. Кужель,
С.М. Гончарук, О.М. Лисенко,
В.П. Приємченко**

*Інститут технічної теплофізики НАН України,
м. Київ, Україна, тел.: 424-96-44,
e-mail: kuzhel_liliya@ukr.net*

Наведено результати проведеного аналізу даних, щодо наявного потенціалу вирощування енергетичних культур в Україні, їх застосування та обсяг традиційного палива, що можна замінити агропелетами. Визначено основні фізичні та енергетичні характеристики сировини з біомаси. З'ясовано особливості застосування агропелет в комунальному секторі, а також проаналізовані проблеми щодо використання агропелет в енергетичному секторі України. Проведено експериментальні дослідження теплоти спалювання деревних пелет і пелет аграрного походження. В результаті встановлено значення вищої та нижчої теплоти згоряння, вологості та зольності пелет із соломи.

Ключові слова: біопаливо, агропелети, сировина, солома, деревина, горіння, палик.

RESEARCH OF PRODUCTIVE CHARACTERISTICS OF BIOFUEL RAW MATERIALS OF BIOENERGETIC HERBACEOUS AND WOODY CROPS

**B. Basok, B. Davydenko, L. Kuzhel, S. Goncharuk,
O. Lysenko, V. Priemchenko**

*Institute of Engineering Thermophysics of the National
Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

The results of the analysis of the data on the existing potential for growing energy crops in Ukraine, their use and the volume of traditional fuel that can be replaced by agricultural pellets are presented. The main physical and energy characteristics of biomass feedstock have been determined. The features of the use of agricultural pellets in the communal sector are clarified, and the problems of the use of agricultural pellets in the energy sector of Ukraine are analyzed. Experimental studies of the heat of combustion of wood pellets and pellets of agricultural origin have been carried out. As a result, the value of the highest and lowest heat of combustion, moisture and ash content of straw pellets has been established.

Keywords: *biofuel, agricultural pellets, raw, straw, wood, combustion, burner.*

ORCID: ¹0000-0002-5481-4566, ²0000-0001-8738-7612,
³0000-0002-5481-4566, ⁴0000-0002-5609-7337,
⁵0000-0003-3981-9796, ⁶0000-0003-4785-4815.

Останніми роками в Україні відбуваються позитивні зміни в енергетичній політиці, спрямовані на просування біомаси як палива, чому сприяє усвідомлення технічної раціональності спалювання біомаси у вигляді паливної щепи, пелет та гранул. Відбувається становлення внутрішнього ринку твердих видів біопалива, що створює потребу в якісній сировині для їх виготовлення [1].

На кінець 2019 року потужність об'єктів відновлюваної електроенергетики в Україні становила майже 7000 МВт, з яких 5000 МВт – сонячні електростанції і тільки близько 200 МВт – біоенергетичні установки. На відміну від сонячних і вітрових електростанцій, установки на біомасі та біогазі виробляють прогнозований обсяг електроенергії, оскільки їх робота не залежить від часу доби й погоди, що не загрожує стабільній роботі енергосистеми [2].

За даними Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження (ДАЕЕ), близько 40 % аграрних відходів країни (близько 34 млн т соломи, відходів кукурудзи, соняшнику), використаних як паливо в біоенергетиці, дозволять замінити в еквіваленті до 10 млрд м³ газу в рік. Це відповідає обсягу природного газу, який наша країна змушена щороку імпортувати [2]. Підґрунтям для розвитку біопалива є законодавча база у даній галузі. ДАЕЕ запропоновані положення до законодавчої політики щодо підтримки вирощування енергетичних рослин [3].

Найближчими роками Україна може збільшити виробництво зернових і олійних культур до 100 млн т на рік [4]. Таким чином, можна констатувати, що країна має стабільно високі обсяги виробництва основних сільськогосподарських культур з перспективою подальшого росту, що є потужним джерелом різних видів відходів та побічної продукції [5]. Було проведено оцінювання, яке показало, що на сьогодні біомаса аграрного походження (солома зернових культур та ріпаку, побічні продукти виробництва кукурудзи на зерно та соняшника, лушпиння соняшника) залишається основною складовою енергетичного потенціалу біомаси в Україні. За даними 2017 року, економічний потенціал цих видів біомаси, доступний для виробництва енергії, складає майже 9 млн т.н.е., що становить 43 % загального потенціалу біомаси (20,9 млн. т.н.е.). Повне використання

енергетичного потенціалу агробіомаси може задовольнити близько 18 % кінцевого споживання енергії в Україні, яке у 2017 році склало 50,1 млн т.н.е. [6].

При спалюванні агропелет виникає проблема, яку створює низька температура плавлення отриманої золи. Внаслідок цього, виникає закупорка (заплавлення, закоксування) подових колосникових решіток традиційних котлів об'ємного спалювання в класичній топці. Такі властивості рослинних пелет (велика кількість золи та її низька температура плавлення) потребують використання пальників та котлів, призначених саме для такого виду палива. Успішна технічна реалізація процесу спалювання солом'яних пелет залежить від вибору раціональних технічних рішень та режимних параметрів роботи котла і пальника. Для визначення оптимальних конструктивних та режимних параметрів пристроїв, призначених для спалювання пелет із соломи та дерева, в ІТТФ НАН України були проведені відповідні експериментальні дослідження. В результаті встановлено значення вищої та нижчої теплоти згоряння, вологість та зольність пелет з соломи. Також визначено температуру розм'якшення золи, що утворюється після спалювання пелет з соломи та температуру її плавлення.

Література:

1. Енергетична верба: технологія вирощування та використання. Під загальною редакцією доктора сільськогосподарських наук В.М. Сінченка. – Вінниця : ТОВ «НіландЛТД», – 2015.– 340 с.

2. Энергия из отходов: сможет ли биоэнергетика сделать Украину энергонеависимой. Режим просмотра: <https://www.unian.net/economics/energetics/energiya-iz-othodov-smozhet-li-bioenergetika-sdelat-ukrainu-energonezavisimoy-11127413.html?fbclid=IwAR2EgSqZrIXRxp0HweVrbW43qhYoZ4AF9T2aMvgN2xGo6MZZZuSATiXKlg>

3. Законодавча політика щодо підтримки вирощування енергетичних рослин. Презентація «Законодавча політика щодо підтримки вирощування енергетичних рослин». Режим доступу: <http://saee.gov.ua/uk/documents/3504>

4. Україна до 2022 року може збільшити виробництво зернових і олійних до 100 млн.тонн. Режим доступу: <http://uga.ua/news/prezident-uza-ukrayina-2022-roku-mozhe-zbilshiti-virobnitstvo-zernovih-olijnih-100-mln-tonneksportuvati-blizko-70-mln-tonn/>

5. Гелетуха Г.Г., Железна Т.А., Драгнєв С.В. Аналіз бар'єрів для виробництва енергії з біомаси в Україні. Аналітична записка БАУ № 21. 41 с. Режим доступу: <https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/01/position-paper-uabio-21-ua.pdf>

6. Енергетичний баланс України за 2017 рік. Експрес-випуск ДССУ від 20.12.2018. Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua>

УДК 628.35

ВИЗНАЧЕННЯ МЕТАНОВОГО ПОТЕНЦІАЛУ ОРГАНІЧНИХ СУБСТРАТІВ

Г.О. Четверик¹, Н.О. Маслова²

*Інститут відновлюваної енергетики НАН України,
вул. Гната Хоткевича, 20а, м. Київ, 02094, Україна,
тел.: +38(044)206-28-09, e-mail: biomassa@ukr.net*

Визначено вихід і склад біогазу та деструкцію органічної речовини за умови внесення інокуляту до коров'ячого гною. Показано необхідність внесення інокуляту до субстрату та обґрунтовано його оптимальне значення для виконання тесту з визначення метанового потенціалу біогазової сировини.

Ключові слова: *біогаз, коров'ячий гній, інокулят, метановий потенціал.*

DEFINITION OF METHANE POTENTIAL OF ORGANIC SUBSTRATE

H. Chetveryk¹, N. Maslova²

*Institute of Renewable Energy of National Academy of Science of Ukraine, 20a Hnata Khotkevicha str., Kyiv, Ukraine, 02094
tel.: +38(044)206-28-09, e-mail: biomassa@ukr.net*

The yield and composition of biogas and the destruction of organic matter under the condition of adding inoculum to cow manure were determined. The necessity of adding the inoculum into the substrate is shown and its optimal value for performing the test to determine the methane potential of biogas raw materials is substantiated.

Keywords: *biogas, cow manure, inoculum, methane potential.*

ORCID: ¹0000-0001-9398-1968, ²0000-0003-1465-1886.

На етапі проектування біогазових комплексів, заводів та станцій важливим завданням є визначення метанового потенціалу біогазової сировини. Його визначають за допомогою проведення експериментів з анаеробного зброджування у періодичному режимі. Одним із чинників, який суттєво впливає на перебіг та інтенсивність бродіння, є співвідношення органічної речовини інокуляту та досліджуваного субстрату.

Поставлено завдання дослідження виходу біогазу залежно від співвідношення органічної речовини інокуляту і коров'ячого гною. Проведено експеримент з анаеробного зброджування коров'ячого гною, змішаного з інокулятом.

Було підготовлено чотири субстрати. Контрольний субстрат містив коров'ячий гній та воду (ICC-0), три інших містили коров'ячий гній, інокулят та воду (ICC-1, ICC-2 та ICC-4) за умови, що співвідношення органічної речовини інокуляту та коров'ячого гною (ICC) становило 1; 2 та 4 відповідно. Субстрати розводили водою до вологості 97 %. Інокулят попередньо адаптований до досліджуваного субстрату і умов бродіння. Експеримент проведений за температури 35 °C в анаеробних умовах.

Визначено вихід і склад біогазу та ступінь деструкції органічної речовини. Кумулятивний вихід біогазу наведено в перерахунку на одиницю свіжої (тобто на початок процесу зброджування) сухої органічної речовини, COP_{CB} . На 60-ту добу бродіння отримано такі результати:

- питомий вихід біогазу із свіжого субстрату становив 141,9 см³/г COP_{CB} ; 286,7 см³/г COP_{CB} ; 309,6 см³/г COP_{CB} і 315,4 см³/г COP_{CB} при переробці субстратів, в яких співвідношення органічної речовини інокуляту та коров'ячого гною було 1; 2 та 4 відповідно;

- склад біогазу був такий: 39,2 % CO₂, 58,8 % CH₄; 37,5 % CO₂, 60,5 % CH₄; 37,4 % CO₂, 60,6 % CH₄; 37,6 % CO₂, 60,4 % CH₄ при переробці субстратів, в яких значення ICC для інокуляту та коров'ячого гною було 1; 2 та 4

відповідно. Вміст інших газів (крім CO_2 і CH_4) в біогазі не перевищувало 2 %;

- ступінь розпаду органічного субстрату був такий: 33,5 %; 44 %; 44,3 % та 44,4 % при переробці субстратів, в яких значення ІСС для інокуляту та коров'ячого гною було 1; 2 та 4 відповідно.

Виявлено такі закономірності: інтенсивність зброджування в 1,9–2,3 раза нижча для субстрату, що містив власну клітинну біомасу коров'ячого гною у порівнянні з субстратами, які змішувались з інокулятом. Показано, що для значень ІСС, які перевищують 1, перебіг та інтенсивність процесу зброджування істотно не змінилась.

Підсумувавши отримані результати проведених експериментів, зроблено такі висновки: під час визначення метанового потенціалу біогазової сировини, по-перше, необхідно додавати інокулят до субстратів, у тому числі й до тих, які містять власну клітинну біомасу; по-друге, для органічних субстратів з вмістом тваринницької біомаси, достатнім та оптимальним значенням ІСС є 1.

Вибір значення ІСС залежить від компонентного складу органічного субстрату. Запропоновано розділити органічні субстрати на чотири групи згідно з двома критеріями: вміст власної клітинної біомаси та вміст легкозброджуваних компонентів у вихідному субстраті.

На основі власних експериментальних досліджень та аналізу отриманих результатів інших науковців рекомендовано необхідне значення співвідношення ІСС для різних видів органічних субстратів. Показано, що для виконання тесту з визначення метанового потенціалу органічних субстратів під час вибору треба керуватись тим, що для тих органічних субстратів, в яких переважають у складі легкозброджувані компоненти і які містять власну клітинну біомасу, співвідношення ІСС рівно 1; а для тих органічних субстратів, в складі яких переважають важкозброджувані компоненти і вони не містять власної

клітинної біомаси, співвідношення ІСС дорівнює 4; в інших випадках співвідношення ІСС дорівнює 2 [1, 2].

Перемішування субстрату безумовно сприяє покращенню ефективності процесу бродіння. Розпад переважної більшості органічних субстратів не залежить від перемішування оскільки здебільшого перемішування направлено на те, щоб вироблений біогаз проходив через шар субстрату без перешкод.

Показано, що для органічних субстратів, які легко зброджуються або досить розбавлені водою, достатньо струшувати вміст реактора вручну раз на добу, в противному разі перемішування обов'язкове, частоту та кількість обертів мішалки необхідно підбирати залежно від в'язкості середовища та вмісту сухої речовини [3, 4].

Висновки: 1. Для визначення метанового потенціалу органічних субстратів, які містять власну клітинну біомасу, обов'язково слід додавати інокулят до субстрату, причому співвідношення ІСС = 1 є достатнім і оптимальним для проведення тесту.

2. На основі власних експериментальних досліджень та аналізу отриманих результатів інших науковців, наведені рекомендації стосовно вибору значення ІСС та перемішування для різних видів органічних субстратів.

Література:

1. Pecorini I. Biochemical methane potential tests of different autoclaved and microwaved lignocellulosic organic fractions of municipal solid waste / I. Pecorini, F. Baldi, E. Carnevale, A. Corti // Waste Management. 2016. – No. 56. – P. 143–150.

2. Angelidaki I. Thermophilic: Anaerobic digestion of livestock waste: The effect of ammonia / I. Angelidaki, B. Ahring // Appl. Microbiol. Biotechnol, 1993. – Vol. 38. – P. 56–564.

3. Eshore S. Production of biogas from treated sugarcane bagasse / S. Eshore, C. Mondal, A. Das. // International Journal of Scientific Engineering and Technology. 2017. – Vol. 6. – Iss. 7. – P. 224–227.

4. Gaworski M. Enhancing biogas plant production using pig manure and corn silage by adding wheat straw processed with liquid hot water and steam explosion / M. Gaworski, S. Jablonski // Biotechnol. Biofuels. 2017. – Vol. 10. – P. 259–271.

УДК 628.4

АНАЕРОБНА ФЕРМЕНТАЦІЯ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ ЯК АЛЬТЕРНАТИВА ІСНУЮЧИМ МЕТОДАМ ЇХ УТИЛІЗАЦІЇ

З.В. Маслюкова

*Інститут відновлюваної енергетики НАН України,
вул. Гната Хоткевича, 20а, м. Київ, 02094, Україна,
тел./факс: +38(044)206-28-09, e-mail: biomassa@ukr.net*

Розглянуті питання пов'язані з необхідністю використання альтернативних методів утилізації твердих побутових відходів. Наведено приклади найвідоміших твердофазних технологій анаеробної ферментації відходів, які вже працюють у світі.

Ключові слова: *тверді побутові відходи, ферментація, біогаз.*

ANAEROBIC FERMENTATION OF SOLID WASTE AS AN ALTERNATIVE TO EXISTING METHODS OF THEIR UTILIZATION

Z. Masliukova

*Institute of Renewable Energy, National Academy of Science
of Ukraine, 20a, Hnata Khotkevicha str., Kyiv, Ukraine, 02094*

Have been considered the issues connected with necessity of use of alternative methods of solid household waste utilization. The examples of the most well-known solid-phase technologies of anaerobic waste fermentation which are already working in the world was given.

Keywords: *Solid household waste, fermentation, biogas.*

ORCID: 0000-0001-4180-7930.

В Україні спостерігається проблема збільшення забруднення довкілля побутовими та промисловими відходами. Методи переробки відходів, які сьогодні існують в Україні, на жаль, не відповідають сучасним екологічним вимогам. Автори праці [1], аналізуючи ситуацію поводження з ТПВ в Україні, вказують, що близько 93 % твердих побутових відходів (ТПВ) потрапляє на звалища та полігони. Беручи до уваги цей факт, можна стверджувати, що такий варіант поводження з відходами – не найкраще розв'язання проблеми утилізації відходів, тому що він негативно впливає на екологічну ситуацію. Водночас відомо, що органічна речовина твердих побутових відходів має великий енергетичний потенціал, використовуючи який за допомогою інноваційних енергетичних технологій можна отримувати альтернативні носії енергії. Враховуючи це, необхідно розробляти альтернативні методи переробки відходів, удосконалювати вже існуючі, а також використовувати досвід тих країн, де ця проблема вже вирішується.

У країнах далекого зарубіжжя отримала широкий розвиток технологія твердофазної анаеробної ферментації ТПВ. За рахунок зброджування органічної фракції цих відходів утворюється біопаливо (біогаз), який майже не містить токсичних домішок. Біогаз використовують як паливо, а також для отримання електроенергії в когенераційних установках.

На сьогодні до найвідоміших твердофазних технологій, які вже працюють у світі, належать технології Dranco, Valorga, Kompogas, Linde-KCA-Dresden GmbH, Super Blue Box Recycling (SUBBOR), Bekon, Biocel, Sequential Batch Anaerobic Composting (SEBAC) і Anaerobic Phased Solids (APS) [2]. Ці технології працюють як в мезофільному, так і в термофільному режимах, здійснюючи одностадійну або двохстадійну переробку відходів.

Висновки:

1. Органічна речовина твердих побутових відходів є енергетичною сировиною для виробництва енергії.
2. Для повноцінного отримання енергетичного потенціалу з органічної речовини ТПВ необхідно розробляти інноваційні методи їх переробки та удосконалювати вже існуючі.

Література:

1. Матвеев Ю.Б., Гелетуха Г.Г. Перспективи енергетичної утилізації твердих побутових відходів (ТПВ) в Україні. Аналітична записка БАУ № 22. 2019 – 48с. <https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/04/Position-paper-UABIO-22-190422-UA.pdf>.
2. Биотехнология и микробиология анаэробной переработки органических коммунальных отходов / А.Н. Ножевникова, А.Ю. Каллистова, Ю.В. Литти, М.В. Кевбрина / Под ред. А.Н. Ножевниковой. – М.: Университетская книга. 2016 – 320 с.

УДК 628.4

ВИКОРИСТАННЯ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ ЯК ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИРОВИНИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ

З.В. Маслюкова¹, Г.О. Четверик²

*Інститут відновлюваної енергетики НАН України,
вул. Гната Хоткевича, 20а, м. Київ, 02094, Україна,
тел./факс: +38(044)206-28-09, e-mail: biomassa@ukr.net*

*Розглянуті питання, пов'язані з використанням
твердих побутових відходів як сировини для
виробництва біогазу. Наведено та проаналізовано
сучасні технології твердофазної ферментації твердих
побутових відходів.*

Ключові слова: *тверді побутові відходи, твердо-
фазна метанова ферментація, біогаз.*

USE OF SOLID WASTE AS ENERGY SOURCE FOR BIOGAS PRODUCTION

Z. Masliukova¹, H. Chetveryk²

*Institute of Renewable Energy, National Academy of Science
of Ukraine, 20a, Hnata Khotkevicha str., Kyiv, Ukraine, 02094*

*Issues related to the use of municipal solid waste as raw
materials for biogas production are considered. The modern
technologies of solid-phase fermentation of solid household
waste are analyzed.*

Keywords: *Municipal solid waste, fermentation, biogas.*

ORCID: ¹0000-0001-4180-7930, ²0000-0001-9398-1968.

В Україні гостро постала проблема забруднення
довкілля побутовими та промисловими відходами.

У зв'язку з цим Кабінет Міністрів України в 2017 році схвалив Національну стратегію управління відходами до 2030 року. Стратегія передбачає збільшення кількості переробки побутових відходів до 50 % загального обсягу утворення [1]. Для виконання наміченої цілі необхідно провадити заходи щодо роздільного збирання відходів, введення в експлуатацію сміттесортувальних ліній, сміттєпереробних заводів та запровадження проєктів з біологічної стабілізації змішаних побутових відходів [2]. Технології аеробного компостування можуть бути відкритого та закритого типу; з пневматичною, механічною чи комбінованою системами аерації. Компостування у відкритій системі потребує значних розмірів земельної ділянки, а тривалість процесу – приблизно від 2 до 4 років [3].

Відходи, що біологічно розкладаються, не допускають до захоронення на полігонах згідно з Директивою ЄС в сфері поводження з відходами та Директивою 1999/31/ЄС про захоронення відходів. Органічна складова твердих побутових відходів є високоенергетичною сировиною для виробництва біогазу. Наприклад, теоретичний вихід біогазу з тонни кухонних відходів становить 180–200 м³. Для порівняння теоретичний вихід біогазу з тонни твердих побутових відходів становить 100 м³, з тонни гною ВРХ – від 50 до 70 м³, з тонни суміші гною та рослинної біомаси – до 150 м³ [4].

Одним зі способів енергетичної утилізації органічної частини твердих побутових відходів є технологія твердофазної анаеробної ферментації. Твердофазна анаеробна ферментація являє собою процес переробки органічних відходів, вологість яких не перевищує 80 %, дає змогу отримати біогаз та компост [5]. Ця технологія широко розвинута в країнах ЄС. Комерційними компаніями розроблені і впроваджені в промислових масштабах такі технології твердофазної анаеробної ферментації відходів:

«Dranco», «Valorga», «Kompogas», «Linde-KCA-Dresden GmbH», «Super Blue Box Recycling (SUBBOR)», «Bekon», «Biocel», «Sequential Batch Anaerobic Composting» та «Anaerobic Phased Solids».

Проаналізувавши сучасні технології твердофазної анаеробної ферментації, ми дійшли висновку, що вони за принципом роботи схожі на технології добування біогазу з полігонів та звалищ ТПВ. Проте використовуючи ці технології можна підтримувати сталу температуру та перемішувати субстрат, що в природних умовах полігонів не реально.

Ступінь утилізації відходів ТПВ є низьким і становить лише 30–40 %. Перевагою твердофазних технологій у порівнянні з технологіями видобування біогазу з полігонів ТПВ є те, що значно скорочується час переробки відходів у біогаз, зокрема час утримання субстрату в реакторах становить 2–4 тижні, тоді як ефективне добування біогазу на полігонах ТПВ триває 10–15 років [6].

Сутність розроблених технологій твердофазної ферментації полягає в тому, що субстрат завантажують в реактори, які являють собою бетонні ємності різної форми. Нижня частина реакторів перфорована для відводу перколяту, який збирають і накопичують внизу під реактором, щоб потім подавати його до розпилювачів у верхній частині реактора. Субстрат перемішують завдяки його руху з верхньої до нижньої частини. Технологія «Valorga» передбачає перемішування субстрату біогазом. Вихід біогазу становить 80–160 м³, 100–150 м³, 110–130 м³ і 110–175 м³ з тонни відходів для технологій «Valorga», «Dranco», «Kompogas» і «Dranco» відповідно [6].

Технологія «SUBBOR» принципово відрізняється від інших технологій анаеробної ферментації тим, що за рахунок проміжної обробки сировини паром між двома стадіями ферментації збільшується ступінь переробки органічної фракції ТПВ до 70–80 % та підвищується вихід

біогазу на 40 % [7]. Слід враховувати, що при цьому суттєво зростають енерговитрати й капітальні вкладення.

Щоб забезпечити стабільність виробництва електроенергії з біогазу протягом доби та року необхідно, щоб біогазові реактори працювали у безперервному режимі. Для твердофазної ферментації використовують кілька реакторів періодичного типу, робота яких рівномірно розподілена у межах часу утримання субстрату в реакторі.

На жаль, в Україні немає впроваджених промислових установок, в яких реалізована технологія твердофазної ферментації. Використання цієї технології для переробки ТПВ у біогаз та компост є перспективним напрямком скорочення та утилізації відходів.

Висновки: Використання технології твердофазної ферментації для переробки ТПВ у біогаз та компост є перспективним напрямком скорочення й утилізації відходів. Встановлено, що для технологій твердофазної ферментації на відміну від технологій добування біогазу з полігонів ТПВ можна забезпечити оптимальний температурний режим зброджування та перемішування субстрату, що дасть змогу підвищити ефективність переробки відходів.

Література:

1. Про схвалення Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.kmu.gov.ua/npras/250431699>
2. Стручок В. Аналіз Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року щодо проведення інфраструктурних заходів з перероблення твердих побутових відходів / В. Стручок, Д. Мудра // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій» – Т.: ТНТУ, 22–24 травня 2018 р. – С. 292–293.
3. Терещук, М., Ключ С., Цивенкова Н, Чуба В. Дослідження енергетичних параметрів процесу конверсії

біосировини в закритій камері ферментації. Відновлювана енергетика, вип. 1 (64), 2021, с. 87–97, [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2021.1\(64\).87-97](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2021.1(64).87-97).

4. Матвеев Ю.Б. Исследование потенциала образования биогаза при сбраживании пищевых отходов. / Ю.Б. Матвеев, Д.В. Куций // Відновлювана енергетика. – 2016. – № 3. – С. 73–80.

5. Голуб Г., Гайденок О. Сучасні тенденції розвитку біогазових установок [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://agro-business.com.ua/agro/idei-trendy/item/8386-suchasni-tendentsii-rozvytku-biohazovykh-ustanovok.html>.

6. Lutz P. Economic optimization of waste fermentation through additional energy exploitation [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.bekon.eu.references>

7. Ножевникова А.Н. Биотехнология и микробиология анаэробной переработки органических коммунальных отходов / А.Н. Ножевникова, А.Ю. Каллистова, Ю.В. Литти, М.В. Кевбрина. – М.: Университетская книга. – 2016. – 320 с.

УДК 620.95:34.096

**КРИТИЧНИЙ АНАЛІЗ ЗАКОНОПРОЕКТУ ЩОДО
ОБОВ'ЯЗКОВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ РІДКОГО
БІОПАЛИВА В ГАЛУЗІ ТРАНСПОРТУ**

М.І. Кобець

*Інститут відновлюваної енергетики НАН України
м. Київ, 02094, вул. Гната Хоткевича 20-а,
тел. +38 (098) 904-09-94, e-mail: kobets125@gmail.com*

*Проведено критичний аналіз проєкту Закону України
«Про внесення змін до деяких законодавчих актів України
щодо обов'язковості використання рідкого біопалива
(біокомпонентів) у галузі транспорту» (рег. № 3356-д від
05.11.2020).*

*Обґрунтовано необхідність подальшого
доопрацювання даного законопроєкту в частині
застосованої термінології та врахування вимог оновленої
Директиви ЄС про сприяння використанню енергії з
відновлюваних джерел і рекомендацій Енергетичного
Співтовариства країнам – учасникам Договору щодо
регулювання використання ВДЕ на транспорті.*

Ключові слова: *законодавче забезпечення,
термінологія та визначення, рідкі біопалива, біоетанол.*

**CRITICAL ANALYSIS OF THE DRAFT LAW ON THE
MANDATORY USE OF LIQUID BIOFUELS IN TRANSPORT
SPHERE**

M. Kobets

*Institute for Renewable Energy NAS of Ukraine
20a Hnata Hodkevicha str., 02094, Kyiv, Ukraine,
tel. +38 (098) 904-09-94, e-mail: kobets125@gmail.com*

*A critical analysis of the draft Law of Ukraine "On
Amendments to Certain Legislative Acts of Ukraine on the*

Mandatory Use of Liquid Biofuels (Biocomponents) in the Transport Industry" (Reg. № 3356-d of 05.11.2020).

The necessity to further refine this bill in terms of applied terminology and take into account the requirements of the updated Directive on the use of energy from renewable sources and the recommendations of the Energy Community to member states of the Treaty on the regulation of RES in transport is substantiated.

Keywords: legislative support, terminology and definitions, liquid biofuels, bioethanol.

ORCID: 0000-0003-4635-3154.

Відповідно до Закону України «Про альтернативні види палива» [1] одним з основних принципів державної політики у сфері альтернативних видів палива є поетапне збільшення нормативно визначеної частки виробництва і застосування біопалива та сумішевого палива моторного. На законодавчому рівні обов'язкове використання біопалив на транспорті вперше було запроваджено в 2012 році [2], проте в подальшому в ході процесів дерегуляції цю норму було скасовано [3].

Таке рішення було прийнято всупереч взятим Україною зобов'язанням в рамках членства в Європейському Енергетичному Співтоваристві та всупереч затвердженому Національному плану дій з розвитку відновлюваної енергетики [4].

З метою виправлення ситуації, що склалася, були розроблені нові законопроекти, що мали б врегулювати це питання. Останній такий законопроект за авторством 17 народних депутатів був зареєстрований наприкінці 2020 року [5].

За ствердженням авторів, цей законопроект спрямований на імплементацію положень Директиви Європейського Парламенту та Ради 2009/28/ЄС від 23 квітня 2009 року про заохочення до використання енергії, виробленої з відновлюваних джерел в частині

забезпечення Україною виконання міжнародних зобов'язань щодо частки енергії з відновлюваних джерел у валовому кінцевому обсязі споживання енергії на транспорті та виконання зобов'язань, які взяла на себе Україна із вступом до Енергетичного Співтовариства.

Проте поки Україна зводила із запровадженням ВДЕ в транспортній сфері наприкінці 2018 року, в Європейському Союзі була прийнята нова Директива про сприяння використанню енергії з відновлюваних джерел, відома під назвою RED-II (Renewable Energy Directive-2) [6].

Ця Директива вводить деякі нові визначення, як-от: «вдосконалені біопалива», «нехарчова целюозна сировина», «біорідина», «відновлюване рідке та газоподібне транспортне паливо небіологічного походження», «біопаливо з низьким ризиком непрямих змін землекористування» – та розмежовує такі поняття, як «біопаливо» та «паливо з біомаси». Крім того, запроваджуються суттєві обмеження на використання в транспортній сфері рідких моторних біопалив, що вироблені з продовольчих та кормових культур.

Ця Директива вводить обов'язкові наростаючі норми виробництва більш технологічних і «просунутих» (advanced) біопалив: від 0,5 % у 2022 році до 3,5 % в 2030-му. Директива про відновлювані джерела енергії (ДВДЕ) вимагає від країн – членів ЄС та країн-сторон за Договором про створення Енергетичного Співтовариства (до яких належить і Україна) запровадження.

Наприкінці 2021 року очікується прийняття рішення Міністерською Радою Енергетичного Співтовариства щодо обов'язковості виконання положень адаптованих Директиви про енергоефективність, Директиви про відновлювані джерела енергії та Положення про управління з цілями на 2030 рік для Договірних Сторін.

В 2020 році на запит Секретаріату Енергетичного Співтовариства експертною спільнотою ЄС були підготовані «Рекомендації країнам-учасникам для прискорення використання енергії з відновлюваних джерел в

транспортному секторі» сторін за Договором про створення Енергетичного Співтовариства (до яких належить і Україна) запровадження «режиму надання допомоги» для використання енергії з ВДЕ. Такий режим може включати заохочувальні заходи – скорочення або звільнення від сплати податків, відшкодування сплачених податків, допомога інвесторам (державне співінвестування), встановлення спеціальних закупівельних цін, виплата премій, запровадження пільг для користувачів енергії з ВДЕ або спонукальні заходи – встановлення зобов'язання виробникам виробляти або споживачам використовувати енергію з ВДЕ шляхом встановлення квот (мандатів) на її використання/споживання, запровадження системи «зелених» сертифікатів та системи їх обігу.

Даний законопроект регулює питання підтримки виробництва та споживання рідких моторних біопалив шляхом внесення змін та доповнень до вже існуючих законодавчих актів, а саме:

- Кодексу України про адміністративні правопорушення;
- Закону України «Про альтернативні види палива»;
- Закону України «Про основні засади державного нагляду (контролю) у сфері господарської діяльності».

Ключовими моментами законопроекту є такі:

- запровадження штрафних санкцій за невиконання його вимог;
- запровадження зобов'язальної системи (квот/мандатів) для виробників та імпортерів моторних палив;
- запровадження вимог сталості до рідкого палива з біомаси, а також біогазу, призначеного для використання в галузі транспорту.

Як виглядатиме запровадження штрафних санкцій на прикладі Шебелинського ВПГКН, де виробництво бензинів у 2017 склало 133,82 тис. т:

- на виконання вимог законопроекту (після його прийняття) завод має закуповувати 7 143 т біоетанолу щорічно;

- завод має понести додаткові витрати для забезпечення блендування (змішування) виробленого бензину з біокомпонентом (біоетанолом);
- повне невиконання вимог (після прийняття законопроекту) призведе до штрафу на посадових осіб Заводу, відповідальних за виробництво бензину в розмірі близько 323,6 млн. грн.

В законодавчому полі України спостерігається відсутність чіткого розуміння різниці між такими категоріями, як «паливо моторне», «паливо моторне сумішове» та «паливо моторне альтернативне». Ситуація стає ще незрозумілішою при відсутності встановленої чіткої різниці між «добавкою/присадкою», «добавкою на основі біоетанолу» та «компонентом моторного палива».

Положення законопроекту вимагають від усіх, хто пов'язаний з імпортом або виробництвом бензинів, перетворитися на виробників бензинів моторних сумішових. Але не всі можуть ними стати. Потрібно мати виробництво з усіма стадіями технологічного процесу з виготовлення нафтопродуктів, подання центрального органу виконавчої влади, що забезпечує реалізацію державної політики в паливно-енергетичному комплексі та відповідне рішення КМУ.

Для суб'єктів господарювання – імпортерів, які не мають можливості забезпечити технологічний процес блендування (змішування), існує лише один шлях – імпортувати вже готовий сумішевий бензин, який вже має певну частку вмісту біокомпонентів. Таким чином, з 01.01.2019 вони мають імпортувати сумішеві бензини, що містять не менше 5 % (об'ємних) біоетанолу, що відповідає 3,4 % (енергетичних), тобто вони мають імпортувати бензини Е5 та вище. Починаючи з 01.01.2020 вони мають імпортувати сумішеві бензини, що містять не менше 7 % (об'ємних) біоетанолу, що відповідає 4,8 % (енергетичних).

Література:

1. Закон України «Про альтернативні види палива» № 1391-VI від 21.05.2009 року. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1391-14#Text>
2. Закон України «Про внесення змін до деяких законів України щодо виробництва та використання моторних палив з вмістом біокомпонентів» № 4970-VI від 19.06.2012 року. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4970-17#Text>
3. Закон України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо спрощення умов ведення бізнесу (дерегуляція)» № 191-VIII від 12.02.2015 року. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/191-19#n573>
4. Розпорядження КМУ «Про Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року» № 902-р від 01.10.2014 року. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/902-2014-%D1%80#Text>
5. Проект Закону України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо обов'язковості використання рідкого біопалива (біокомпонентів) у галузі транспорту» (рег. № 3356-д від 05.11.2020 року). Режим доступу: http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=70345
6. Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources. Data source: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2018.328.01.0082.01.ENG

УДК 662.63 : 66.091

ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС ПРОЦЕСУ ПАРОПОВІТРЯНОЇ ГАЗИФІКАЦІЇ БІОМАСИ

Г.А. Голуб¹, Н.М. Цивенкова², В.В. Чуба³, С.В. Ключ⁴

^{1,2,3}*Національний університет біоресурсів і
природокористування України, 03041, м. Київ, вул. Героїв
Оборони, 15,*

⁴*Інститут відновлюваної енергетики НАН України,
02094, вул. Гната Хоткевича, 20а, м. Київ
тел.: +38(095) 311-50-50, +38(050) 313-89-03,
+38(095)-277-71-10, +38(097)987-29-92
e-mail: gagolub@ukr.net, vvchuba@ukr.net,
nataliyatsyvenkova@gmail.com, sergiy.klyus@gmail.com*

*Представлено методу розрахунку теплового
балансу процесу пароповітряної газифікації біомаси.*

Ключові слова: *газогенератор, процес газифікації,
матеріальний та тепловий баланс, рослинна сировина.*

HEAT BALANCE OF AIR-STEAM GASIFICATION OF BIOMASS

G. Golub¹, N. Tsyvenkova², V. Chuba³, S. Klius⁴

^{1,2,3}*National University of Life and Environmental Sciences of
Ukraine, 03041, 15 Heroyiv Oborony St., Kyiv,*

⁴*Institute of Renewable Energy of the National Academy of
Sciences of Ukraine, 02094, 20A Hnata Khotkevycha St., Kyiv,
Ukraine, tel.: +38(095) 311-50-50, +38(050) 313-89-03,
+38(095)-277-71-10, +38(097)987-29-92,
e-mail: gagolub@ukr.net, vvchuba@ukr.net,
nataliyatsyvenkova@gmail.com, sergiy.klyus@gmail.com*

*The method of calculating the heat balance of the steam-
air gasification process of biomass is presented.*

Keywords: *gas producer, gasification process, material and heat balance, vegetable raw materials.*

ORCID: ¹0000-0002-2388-0405, ²0000-0003-1703-4306,
³0000-0002-4119-0520, ⁴0000-0002-5804-4925.

Розрахунки теплового балансу виконані для газогенераторної установки, представленої в [1].

Вища теплотворна здатність q_1 газифікованого за годину палива, Дж/год:

$$q_1 = Q_p^B \cdot B / h, \quad (1)$$

де Q_p^B – вища теплотворна здатність робочого палива, Дж/кг; B – кількість палива, кг; h – час, год.

Фізичне тепло q_2 палива, Дж/год:

$$q_2 = B \cdot C_m \cdot t_m / h, \quad (2)$$

де C_m – теплоємність палива в інтервалі температур від 0 до t_m , Дж/(кг·°C); t_m – температура палива, яке завантажується до газогенератора, °C.

Тепловміст сухого повітря q_3 , введеного в газогенератор, Дж/год:

$$q_3 = G_{cn} \cdot (C_p)_{нов} \cdot t_{cm}, \quad (3)$$

де $(C_p)_{нов}$ – теплоємність повітря в інтервалі температур від 0 до t_{cm} , Дж/(кг·°C); t_{cm} – температура пароповітряної суміші біля входу до газогенератора, °C; G_{cn} – годинна кількість сухого повітря, кг/год.

Тепловміст пари q_4 в пароповітряній суміші, Дж/год:

$$q_4 = (G'_{пара} + d_{нов} \cdot G_{cn})(1 - X) \cdot i_{cm}, \quad (4)$$

де i_{cm} – тепловміст кілограма насиченої пари при температурі t_{cm} , Дж/кг; $G'_{пара}$ – годинна кількість пари, що фактично ввійшла до газогенератора, кг/год; $d_{нов}$ –

вологівміст повітря, кг/кг; X – вологість пари в суміші, %.

Тепловміст води, принесеної дуттям до газогенератора краплями q_5 , Дж/кг:

$$q_5 = (G_{\text{пара}} + d_{\text{нов}} \cdot G_{\text{сн}}) \cdot X \cdot t_{\text{см}}. \quad (5)$$

Витратні статті балансу складаються з вищої теплотворності сухого газу, його фізичного тепла, тепловмісту водяної пари в газі, теплотворності смоли, пилу, виносу, коксоподібного залишку та залишкового компонента, який містить втрати теплоти в середовище та усі невраховані втрати теплоти та помилки спостережень.

Вища теплотворна здатність годинної кількості газу q'_1 , Дж/год:

$$q'_1 = Q_{\text{гс}}^{c2} \cdot G_{\text{сг}}. \quad (6)$$

де $Q_{\text{гс}}^{c2}$ – вища теплотворна здатність газу, Дж/кг; $G_{\text{сг}}$ – годинна вагова кількість сухого газу, кг/год.

Фізичне тепло газу q'_2 , Дж/год:

$$q'_2 = G_{\text{сг}} \cdot (C_p)_{\text{газ}} \cdot t_{\text{газ}}, \quad (7)$$

де $(C_p)_{\text{газ}}$ – теплоємність при сталому тиску кілограма сухого генераторного газу в інтервалі температур від 0 до $t_{\text{газ}}$, Дж/(кг·°C);

Теплоємність газу визначається з теплоємностей компонентів, що входять до складу газу, Дж/кг. сух. газу:

$$\begin{aligned} (C_p)_{\text{газ}} = & (C_p)_{\text{CO}_2} \cdot \frac{\text{CO}_2^g}{100} + (C_p)_{\text{O}_2} \cdot \frac{\text{O}_2^g}{100} + (C_p)_{\text{C}_2\text{H}_4} \cdot \frac{\text{C}_2\text{H}_4^g}{100} + \\ & + (C_p)_{\text{CH}_4} \cdot \frac{\text{CH}_4^g}{100} + (C_p)_{\text{CO}} \cdot \frac{\text{CO}^g}{100} + (C_p)_{\text{H}_2} \cdot \frac{\text{H}_2^g}{100} + (C_p)_{\text{N}_2} \cdot \frac{\text{N}_2^g}{100} \end{aligned} \quad (8)$$

де CO_2^g та O_2^g – вагові відсотки газів у 1 кг газу.

Теплоємність метану та етилену визначається за [14].
 Тепловміст водяної пари в газі q'_3 , Дж/год:

$$q'_3 = d_{\text{газ}} \cdot G_{\text{сг}} \cdot i_{\text{н2}}, \quad (9)$$

$d_{газ}$ – вологовміст газу, кг/кг;

Оскільки водяна пара в газі перегріта, тепловміст кілограма пари $i_{пг}$ визначають за формулою, Дж/кг пари:

$$i_{пг} = i_{мп} + (C_p)_n \cdot t_g - t_{мп}, \quad (10)$$

де $i_{мп}$ – тепловміст кілограма насиченої пари при точці роси, відповідній насиченню газу, Дж/кг пари; $(C_p)_n$ – теплоємність пари в інтервалі температур від $t_{мп}$ до t_g , Дж/(кг·°C); $t_{мп}$ – температура точки роси, визначена пружністю водяної пари, визначеної за показами психрометра, °C.

Вища теплотворна здатність смоли q'_4 в газі, Дж/год:

$$q'_4 = Q_{пг}^{см} \cdot CM / h, \quad (11)$$

де $Q_{пг}^{см}$ – вища робоча теплотворна здатність смоли, Дж/кг; CM – загальна кількість смоли, кг.

Вища теплотворна здатність виносу з пиловловлювачів і каналів Дж/год:

$$q'_5 = Q_{пг}^{\Pi} \cdot \Pi / h, \quad (12)$$

де $Q_{пг}^{\Pi}$ – вища робоча теплотворна здатність виносу, Дж/кг; Π – загальна кількість виносу, кг.

Вища теплотворна здатність пилу в газі, q'_6 Дж/год:

$$q'_6 = Q_{пг}^{пл} \cdot \Pi_{л} / h, \quad (13)$$

де $Q_{пг}^{пл}$ – вища робоча теплотворна здатність пилу в газі, Дж/кг; $\Pi_{л}$ – загальна кількість пилу в газі, кг.

Теплота, втрачена у коксоподібних залишках біомаси q'_7 , Дж/год:

$$q'_7 = 81 \cdot C_R \cdot B / h, \quad (14)$$

де C_R – кількість вуглецю у коксоподібних залишках біомаси у % з ваги палива, %.

Втрати теплоти в середовище q'_8 , тощо, об'єднані в залишковий компонент, визначаємо з різниці прибутку

теплоти та підрахованих уже втрат:

$$q'_8 = \sum q_{1-5} - \sum q'_{1-7}. \quad (15)$$

Методика дозволяє виконати загально-енергетичну оцінку процесу пароповітряної газифікації біомаси в прямопотоковому газогенераторі. Зводячи підраховані величини теплового балансу до табл. 1, матимемо загальну картину енергетичного потоку в газогенераторі.

Таблиця 1. Тепловий баланс газогенератора

Надходження теплоти	Дж/год	%
Теплотворна здатність палива	q_1	59
Фізичне тепло палива	q_2	1
Тепловміст сухого повітря дуття	q_3	5
Тепловміст водяної пари дуття	q_4	15
Тепловміст крапельної води в дутті	q_5	0,5
Утилізація фізичного тепла газу	q_6	19,5
Разом	$\sum q_{1-5}$	100 %
Витрати теплоти	Дж/год	%
Теплотворна здатність газу	q'_1	73,7
Фізичне тепло газу	q'_2	21,5
Тепловміст водяної пари в газі	q'_3	1,5
Теплотворна здатність смоли	q'_4	0,3
Теплотворна здатність виносу	q'_5	1,3
Теплотворна здатність пилу	q'_6	1
Залишковий компонент	q'_8	0,7
Разом	$\sum q'_{1-8}$	100 %

Література:

1. Tsyvenkova N.M., Golubenko A.A., Kukharets S.M., Biletsky V.R. The research of downdraft gas producer heat productivity on straw. Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara, 2017. Vol. 15, Iss. 3. P. 213–218.

УДК 631.861, 631.171

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСУ ЗАКРИТОЇ КАМЕРИ ФЕРМЕНТАЦІЇ З ВИРОБНИЦТВА КОМПОСТУ

Н.М. Цивенкова¹, М.Б. Терещук²

Поліський національний університет, 10008, м. Житомир,
бульвар Старий, 7, Україна, тел.: +38(050)313-89-03,
+38(093)102-06-76, e-mail: nataliyatsyvenkova@gmail.com,
marischa3127@gmail.com

Представлено методику визначення балансової теплоти, необхідної для забезпечення оптимального температурного режиму активної фази процесу компостування субстратів з біосировини.

Ключові слова: *закрита камера, процес ферментації, тепловий баланс, біосировина, компост.*

HEAT BALANCE MODELLING OF A CLOSED FERMENTATION CHAMBER FOR COMPOST PRODUCTION

N. Tsyvenkova¹, M. Tereshchuk²,

Polissya National University, 10008, Zhytomyr, 7 Saryi
Boulevard, Ukraine, тел.: +38(050)313-89-03,
+38(093)102-06-76, e-mail: nataliyatsyvenkova@gmail.com,
marischa3127@gmail.com

The method of determining the balance heat required to ensure the optimal temperature of the active phase of the composting of substrates from biomaterials is presented.

Keywords: *closed chamber, fermentation process, heat balance, biological raw materials, compost*

ORCID: ¹0000-0003-1703-4306, ²0000-0002-3020-4528.

Вихідними даними до математичної моделі були конструктивні параметри камери, фізико-хімічні властивості ізоляційного матеріалу, параметри оточуючого середовища й температурні режими кожної з фаз процесу компостування [1]. Для спрощення моделі прийнято ряд припущень: субстрат – це однорідне середовище; повітря для аерації субстрату – ідеальний газ; матеріал утеплювача за теплоізолювальними властивостями є однорідним матеріалом. Прийняті припущення дозволили спростити математичну модель без втрати точності.

При складанні теплового балансу введено параметр «балансова теплота» – кількість теплоти, яку потрібно підвести/відвести до/з системи, щоб підтримувати оптимальний температурний режим на всіх фазах процесу компостування. Розглянемо лише активну фазу процесу компостування, а саме мезофільну та термофільну фази.

Тепловий баланс є рівністю прибуткової та видаткової частин:

$$\sum Q_{\text{надх}} = \sum Q_{\text{витрат}}, \quad (1)$$

де $Q_{\text{надх}}$, $Q_{\text{витрат}}$ – відповідно теплота, яка надходить та витрачається під час активної фази процесу, Дж.

Виконаємо аналіз обох частин балансу:

$$Q_{\text{суб}} + Q_{\text{пов.аерац}} + Q_{\text{баланс}} + Q_{\text{інш}} = Q_{\text{відп.пов.}} + Q_{\text{витрат}}, \quad (2)$$

де $Q_{\text{суб}}$ – кількість теплоти, яка виділяється при розкладанні субстрату протягом активної фази, Дж;

$Q_{\text{пов. аерац.}}$ – кількість теплоти, яка підводиться до камери з повітрям для аерації субстрату, Дж; $Q_{\text{баланс}}$ – балансова теплота, Дж; $Q_{\text{інш}}$ – теплота, що надходить з інших джерел (внаслідок тертя субстрату по поверхнях камери тощо), Дж. Складовою $Q_{\text{інш}}$ нехтуємо через її малі значення;

$Q_{\text{відп. пов.}}$ – кількість теплоти, яка відводиться від камери з відпрацьованим повітрям аерації субстрату, Дж;

$Q_{\text{витрат}}$ – втрати теплоти в довкілля через конвекцію та теплове випромінювання, Дж.

Досліджуваним параметром є балансова теплота $Q_{\text{баланс}}$, що приймає як додатні, так і від'ємні значення.

$$Q_{\text{баланс}} = Q_{\text{відп. пов.}} + Q_{\text{втрат}} - Q_{\text{суб}} - Q_{\text{пов. аерац}}, \quad (3)$$

Теплота, виділена при розкладанні субстрату під час активної фази процесу компостування, Дж:

$$Q_{\text{суб}} = m \cdot k \cdot I \cdot \Delta \tau / t, \quad (4)$$

де m – маса субстрату, кг; k – коефіцієнт, що враховує нерівномірність виділення теплоти під час активної фази процесу; I – питома тепловиділення з одного кілограма субстрату, Дж/кг; $\Delta \tau$ – інтервал часу активної фази, год; t – тривалість активної фази процесу компостування, год.

Теплота, яка підводиться до камери з повітрям для аерації субстрату $Q_{\text{пов. аерац}}$, Дж:

$$Q_{\text{пов. аерац}} = C_{\text{пов.}} \cdot \rho \cdot V_{\text{пов.}} (T_{\text{опт}} - T_{\text{пов. аерац}}) \Delta \tau t^{-1}, \quad (5)$$

де $C_{\text{пов.}}$ – питома теплоємність повітря, Дж/(кг·°C); ρ – щільність повітря, кг/м³; $V_{\text{пов.}}$ – об'єм повітря, необхідного для аерації субстрату протягом активної фази процесу компостування, м³; $T_{\text{опт}}$ – оптимальна температура активної фази процесу [2], °C; $T_{\text{пов. аерац}}$ – температура повітря, яке використовується для аерації субстрату, °C.

Кількість теплоти $Q_{\text{відп. пов.}}$, яка відводиться від камери з відпрацьованим повітрям аерації субстрату, Дж:

$$Q_{\text{відп. пов.}} = C_{\text{пов.}} \cdot \rho \cdot V_{\text{пов.}} (T_{\text{відп. пов.}} - T_{\text{зовніш}}) \Delta \tau t^{-1}, \quad (6)$$

де $T_{\text{зовніш}}$, $T_{\text{відп. пов.}}$ – відповідно температура навколишнього середовища й температура відпрацьованого повітря для аерації субстрату, яке відводиться від камери, °C.

Втрати теплоти в довкілля $Q_{\text{втрат}}$ через конвекцію й теплове випромінювання є найвищими. Рівняння для визначення величини цих втрат $Q_{\text{втрат}}$ таке, Дж:

$$Q_{\text{втрат}} = F(T_{\text{опт}} - T_{\text{зовніш}}) \Delta \tau / \sum_{i=1}^n R_i, \quad (7)$$

де F – площа поверхні теплообміну, м^2 ; $\sum_{i=1}^n R_i$ – сумарний коефіцієнт теплового опору, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$.

$$F = \pi \left(D + 2 \sum_{i=1}^n h_i \right) \left(0.5 \cdot D + \sum_{i=1}^n h_i + L \right), \quad (8)$$

де D – внутрішній діаметр барабана камери, м ; h_i – товщина i -ої стінки барабана камери з урахуванням утеплювача, м ; L – довжина барабана, м .

Сумарний коефіцієнт теплового опору для багат шарової стінки барабана камери ферментації [3]:

$$\sum_{i=1}^n R_i = \frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{h_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}, \quad (9)$$

де h_i – товщина i -го шару стінки барабана камери, м ; λ_i – коефіцієнт теплопровідності i -го шару барабана камери, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$; α_1 , α_2 – коефіцієнти тепловіддачі від субстрату до внутрішньої стінки барабана камери та від зовнішньої стінки в навколишнє середовище, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

Підстановкою виразів (4–7) в рівняння (3) маємо:

$$Q_{\text{баланс}} = m \cdot k \cdot I \cdot \Delta \tau t^{-1} + C_{\text{нов}} \cdot \rho \cdot V_{\text{нов}} (T_{\text{опт}} - T_{\text{нов.аерац}}) \Delta \tau t^{-1} - \left(\pi \left(D + 2 \sum_{i=1}^n h_i \right) \left(\frac{D}{2} + \sum_{i=1}^n h_i + L \right) (T_{\text{опт}} - T_{\text{зовнш}}) \Delta \tau \left[\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{h_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2} \right]^{-1} \right), \quad (10)$$

З рівняння (10) отримаємо:

$$\frac{dQ_{\text{баланс}}}{d\tau} = m \cdot k \cdot I t^{-1} + C_{\text{нов}} \cdot \rho \cdot V_{\text{нов}} (T_{\text{опт}} - T_{\text{нов.аерац}}) / t - \left(\pi \left(D + 2 \sum_{i=1}^n h_i \right) \left(\frac{D}{2} + \sum_{i=1}^n h_i + L \right) (T_{\text{опт}} - T_{\text{зовнш}}) \left[\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{h_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2} \right]^{-1} \right), \quad (11)$$

Відповідно до рівняння (11) балансова теплота залежить від температури навколишнього середовища,

температури повітря для аерації субстрату й товщини шару теплоізоляції. Щоб задати високу точність математичної моделі, такі входні параметри, як оптимальна температура відповідної фази компостування, тривалість циклу компостування та питоме тепловиділення субстрату, потрібно визначати для кожного певного складу субстрату.

Література:

1. G Golub et al. Determining of the influence of reactor parameters on the uniformity of mixing substrate components. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, Vol. 6, № 7 (108), 2020, p. 60–70.
2. O. Vechera, M. Tereshchuk, V. Chuba, N. Tsyvenkova. Investigation of aerobic solid fraction fermentation process parameters for organic material. Engineering for rural development 2020 : proceedings of the 19-th International scientific conference, May 20–22 2020. Jelgava, Latvia, 2020. P. 1450–1455.
3. Теплотехнический справочник, Т. 2. / Под ред. В.Н. Юренева, П.Д. Лебедева. М.: Энергия, 1976, 896 с.

УДК 663.142:631.333.92

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ВИХОДУ БІОГАЗУ

Г.А. Голуб¹, О.А. Яременко²

*Інститут відновлюваної енергетики НАН України,
вул. Гната Хоткевича. 20а, м. Київ, 02094, Україна,
тел.: +38(095)311-50-50, e-mail: gagolub@ukr.net*

Наведено послідовність розрахунку виходу біогазу при анаеробному зброджуванні на основі динаміки розкладу органічної біомаси для реакторів періодичного завантаження.

Ключові слова: *біометан, органічна біомаса, рівень розкладу.*

ORDER OF BIOGAS YIELD CALCULATION

G. Golub¹, O. Yremenko²

Institute of Renewable Energy, National Academy of Science of Ukraine, 20a Hnata Khotkevicha str., Kyiv, Ukraine, 02094

The order of biogas yield calculation during anaerobic fermentation based on the dynamics of decomposition of organic biomass in biogas reactors with periodic loading is given.

Keywords: *biomethane, organic biomass, decomposition level.*

ORCID: ¹0000-0002-2388-0405, ²0000-0001-5440-4682.

Важливим напрямом у відновлюваній енергетиці є виробництво біогазу як із рослинної біомаси [1, 2], так і з відходів тваринництва [3, 4]. У сучасній практиці біогазових технологій найбільшого поширення набули реактори періодичного завантаження [5, 6]. Реактори для виробництва біогазу періодичного завантаження характеризуються тим, що порції біомаси подаються в

реактор і видаляються з нього через визначений проміжок часу. Показником енергетичної та економічної ефективності біогазових реакторів є питомий вихід біогазу або біометану в перерахунку на нормальні умови за добу та в розрахунку на один кубічний метр біомаси в біогазовому реакторі [8]. Визначальними показниками інтенсивності процесу анаеробної ферментації є інтенсивність розкладу органічної біомаси за добу та вихід біометану в розрахунку на одиницю розкладеної органічної маси [7, 9, 10].

З урахуванням огляду досліджень процесу анаеробного зброджування та проведених досліджень було встановлено, що розрахунок питомого виходу біогазу під час роботи біогазового реактора в режимі періодичного завантаження та у перерахунку на нормальні умови доцільно проводити в такій послідовності: *визначення властивостей біомаси, яка надходить на анаеробне зброджування* (включає визначення густини та вологості біомаси; визначення вмісту органічної маси в сухій речовині біомаси) → *визначення кінетики процесу анаеробного зброджування біомаси* (включає визначення експериментальної залежності рівня розкладу органічної складової біомаси від часу анаеробного зброджування; максимального рівня розкладу органічної складової біомаси від часу анаеробного зброджування; швидкості розкладу органічної складової біомаси; залежності для апроксимації експериментальних даних зміни рівня розкладу органічної складової біомаси від часу анаеробного зброджування; виходу біогазу в розрахунку на одиницю розкладеної органічної маси та визначення об'ємного вмісту біометану в біогазі) → *визначення інтегрального значення рівня та швидкості розкладу органічної біомаси під час анаеробної ферментації біомаси* (включає визначення часу зброджування, як відношення робочого об'єму біогазового реактора до об'єму добового завантаження біогазового реактора; періодичності завантаження біогазового реактора та кількості завантажених порцій біомаси у біогазовий реактор як відношення загального часу перебування

біомаси в реакторі до періодичності завантаження біогазового реактора; визначення інтегральних значень рівня розкладу та швидкості розкладу органічної біомаси залежно від часу зброджування, періодичності завантаження реактора й температури зброджування під час анаеробної ферментації) → *визначення питомих показників анаеробного зброджування біомаси* (визначення питомого виходу біогазу й питомого виходу біометану з реактора під час анаеробної ферментації за нормальних умов).

Наведена послідовність розрахунку дозволяє із похибкою, що не перевищує 27 %, визначати питомий вихід біогазу під час роботи біогазового реактора в режимі періодичного завантаження та у перерахунку на нормальні умови, а тому запропонований алгоритм розрахунку питомого виходу біогазу під час роботи біогазового реактора в режимі періодичного завантаження може успішно застосовуватися в наукових дослідженнях та для оцінки процесу виробництва біогазу діючими установками.

Література:

1. M.R.A. Mamun, and S. Torii. "Anaerobic co-digestion of cafeteria, vegetable and fruit wastes for biogas production", 2014 IEEE International Conference on Renewable Energy Research and Application (ICRERA), Milwaukee, p. 369–374, 19–22 October 2014.
2. Y. Ulusoy, A.H. Ulukardesler, R. Arslan, and Y. Tekin. "Biogas production potential of olive-mill wastes in Turkey", 2017 IEEE 6th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA), San Diego, p. 664–668, 5–8 November 2017.
3. A.K.P. Meyer, E.A. Ehimen, and J.B. Holm-Nielsen. "Future European biogas: Animal manure, straw and grass potentials for a sustainable European biogas production", Biomass and Bioenergy, vol. 111, 018, p. 154–164, June 2017.
4. M.A. Sanz-Bobi, F.de Cuadra, and C. Batlle. "A review of key points of an industrial biogas plant. A European

perspective", 2012 IEEE International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA), Nagasaki, 11–14 November 2012.

5. K. Hlberg-Eliasson, E. Nadeau, L. Levén, and A. Schnürer. "Production efficiency of Swedish farm-scale biogas plants", *Biomass and Bioenergy*, vol. 97, p. 27–37, February 2017.

6. H.M. Morgan, W. Xie, J. Liang, H. Mao, H. Lei, R. Ruan, and Q. Bu. "A techno-economic evaluation of anaerobic biogas producing systems in developing countries", *Bioresource Technology*, vol. 250, p. 910–921, February 2018.

7. G. Golub, K. Szalay, S. Kukharets, and O. Marus. "Energy efficiency of rotary digesters", *Progress in Agricultural Engineering Sciences*, vol. 13 (1), p. 35–49, December 2017.

8. Y. Li, J. Lu, F. Xu, Y. Li, D. Li, G. Wang, and G. Li. "Reactor performance and economic evaluation of anaerobic co-digestion of dairy manure with corn stover and tomato residues under liquid, hemi-solid, and solid state conditions", *Bioresource Technology*, vol. 270, p. 103–112, December 2018.

9. N.K. Bulatov, D.K. Sarzhanov, S.Z. Elubaev, T.B. Suleymenov, K.S. Kasymzhanova, and O.T. Balabayev. "Model of effective system of processing of organic wastes in biogas and environmental fuel production plant", *Food and Bioproducts Processing*, vol. 115, p. 194–207, May 2019.

10. E. Surra, M. Bernardo, N. Lapa, I.A.A.C. Esteves, I. Fonseca, and J.P.B. Mota. "Biomethane production through anaerobic co-digestion with Maize Cob Waste based on a biorefinery concept: A review", *Journal of Environmental Management*, vol. 249, p. 1–21, November 2019.

УДК 620.92

ВПЛИВ ІОНІВ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ НА ВИХІД БІОГАЗУ

Н.Б. Голуб¹, А.В. Шинкарчук², О.А. Козловець³

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ,

¹*e-mail: golubnb@ukr.net,*

²*тел.: +38(068)002-95-07, ²e-mail: d.m.shav@gmail.com,*

³*тел.: +38(050)477-70-90, ³e-mail: aakozlovec@gmail.com.*

Показано вплив надлишку іонів металів на процес зброджування та вихід біогазу. Надлишок іонів феруму (III) підвищує вихід біогазу на 4,2 %, іонів цинку (II) та хрому (VI) – знижує на 2,8 та 3,5 відповідно, іони купруму (II) не впливають на вихід біогазу.

Ключові слова: *біогаз, метаногенез, іони важких металів, анаеробне зброджування.*

INFLUENCE OF METAL IONS ON BIOGAS OUTPUT

N. Golub¹, A. Shynkarchuk², O. Kozlovets³

*National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv*

The influence of excess metal ions on the fermentation process and biogas yield is shown. An excess of iron (III) ions increases the yield of biogas by 4.2%, zinc (II) and chromium (VI) ions - by 2.8 and 3.5, respectively, copper (II) ions - do not affect the yield of biogas.

Keywords: *biogas: methanogenesis, metals, fermented residue, anaerobic digestion.*

ORCID: 0000-0003-1448-1872, 0000-0002-4445-3816,
0000-0003-4583-8416.

Антропогенний вплив з кожним роком дедалі більше відчутний у навколишньому середовищі. Велика кількість земельних ділянок забруднена важкими металами, пестицидами та нафтопродуктами. Для їх очищення використовують такі способи, як фізико-хімічне очищення, біоремедіація та інші.

Проте, як і всі технології, вищенаведені способи пов'язані з відходами (сировина), які потрібно утилізувати. Одним з можливих варіантів утилізації такої продукції є анаеробне зброджування біомаси, яка утворилась в процесі біоремедіації.

Окрім біомаси джерелом металів при зброджуванні може бути вода, яку додають у процесі зброджування для отримання оптимальних параметрів вологості технологічного процесу отримання біогазу. Для цього зазвичай використовують воду з найближчої водойми та/або свердловини, де показники за вмістом металів можуть бути завищеними.

В процесі досліджень було проаналізовано вплив іонів таких металів: залізо (Fe^{3+}), цинк (Zn^{2+}), мідь (Cu^{2+}), хром (Cr^{6+}). Мінімальна концентрація іонів металів становила 20 мг/дм^3 і була обрана згідно з даними літератури [1].

Лабораторне зброджування проводили в мезофільних умовах за температури $37 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$; вміст сухих речовин в системі – 8 %, тривалість процесу зброджування – 21 доба [2]. Як субстрат використовували гній ВРХ, а як інокулят – зброджений залишок гною ВРХ (дигестат) з попередніх досліджень.

Результати виходу біогазу з лабораторного реактора об'ємом 1 дм^3 наведено на рис. 1.

Рис. 1. Вихід біогазу при концентрації іонів металів 20 мг/дм³

Як видно на графіку, іони металів мають як позитивний, так негативний вплив на вихід біогазу. Додавання іонів Zn²⁺ та Cr⁶⁺ у систему зброджування зменшує вихід біогазу на 2,8 та 3,5 % відповідно. При додаванні іонів міді (Cu²⁺) зміни у виході біогазу не спостерігалось, що свідчить про відсутність впливу за такої концентрації.

Додавання іонів Fe³⁺ приводить до позитивного ефекту, а саме збільшення виходу біогазу на 4,2 %.

Вміст метану в біогазі за наявності підвищеного вмісту іонів металів у середньому становив: для Fe³⁺ – 78 %, Zn²⁺ – 70, Cu²⁺ – 73,5, Cr – 61,8 %.

Отже, підвищення вмісту важких металів у середовищі при одержанні біогазу впливає як на його вихід, так і вміст метану. Підвищений вміст іонів феруму призводить до збільшення виходу метану, що пов'язано з участю елемента в багатьох біохімічних процесах перетворення органічних речовин. Підвищення вмісту іонів

хрому та цинку має негативний вплив на вихід біогазу через зниження приросту біомаси мікроорганізмів у процесі ферментації. Відсутність впливу на розвиток мікроорганізмів та вихід біогазу за надлишку іонів купруму може відбуватись внаслідок утворення хелатних комплексів з речовинами, що містяться в субстраті.

Література:

1. Hussein I. Abdel-Shafy. Biogas production as affected by heavy metals in the anaerobic digestion of sludge / Hussein I. Abdel-Shafy, Mona S.M. Mansour // *Egyptian Journal of Petroleum*. – 2014. – vol. 23. – P. 409–417.
2. Голуб Н.Б. Шляхи підвищення продуктування біогазу при зброджуванні жиромісних відходів шкіряного виробництва / Н.Б. Голуб, М.В. Шинкарчук, О.А. Козловець // *Вісник Хмельницького національного університету*. – 2018. – № 2. – С. 103–107. ISSN 2307-5732.

УДК 536.4

РОЗРОБКА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО СПОСОБУ ДИНАМІЧНОГО ПЛАВЛЕННЯ СУМІШЕЙ ВУГЛЕВОДНІВ

**А.А. Долінський, Т.Л. Грабова¹, Д. В.Посунько²,
Р.Е. Базєєв³**

*Інститут технічної теплофізики НАН України ,
вул. Булаховського, 2, Київ-164, 03164, Україна,
¹тел.: +38(096)294-16-42, e-mail: Grabova@nas.gov.ua*

Запропоновано інноваційний спосіб динамічного термоконтактного плавлення для широкої лінійки сумішей вуглеводнів, що дозволяє оптимізувати теплові потоки та зменшити енерговитрати на процес плавлення.

Ключові слова: термоконтактний, динамічний, плавлення, тверді вуглеводні, енергоефективність.

THE DEVELOPMENT OF ENERGY EFFICIENT METHOD OF DYNAMIC MELTING OF MIXTURE OF HYDROCARBONS

**A.A. Dolinsky, T.L. Grabova¹, D.V. Posunko²,
R.E. Bazieiev³**

*Institute of Engineering Thermophysics of the National
Academy of the Sciences of Ukraine,
str. Bulakhovsky, 2, Kyiv-164, 03164, Ukraine,
¹tel.: +38(096)294-16-42, e-mail: Grabova@nas.gov.ua*

The innovative method of dynamic thermal contact melting for a wide range of hydrocarbon mixtures were proposed. It allows to optimize heat circulation and reduce melting process energy consumption.

Keywords: thermocontact, dynamic, melting, solid hydrocarbons, energy efficiency.

ORCID: ¹0000-0002-5194-2474, ²0000-0003-3496-4257,
³0000-0002-6515-3492.

Тверді вуглеводні широко використовуються в хімічній, легкій, харчовій, електротехнічній, фармацевтичній та інших галузях промисловості, і сфера їх застосування розширюється з появою нових продуктів на їх основі.

Збільшення молекулярної маси вуглеводнів приводить до утворення нових речовин, які за термодинамічними властивостями відрізняються від сусідів по гомологічному ряду. За стандартних термобаричних умов нижчі члени ряду вуглеводнів – гази, середні – рідини, інші перебувають у твердому стані. Зазвичай реальні системи є складними сумішами вуглеводнів, у яких немає однієї точки міжфазного переходу. Для них характерна наявність температурних інтервалів. Так, стан суміші при міжфазному переході тверде тіло↔рідина обмежена кривими солідуса і ліквідуса, і стан її на нижній межі визначається температурою краплепадіння [1–3]. Фазові перетворення сумішей вуглеводнів визначають енергоємність тепломасообмінних процесів, на яких ґрунтуються технології отримання продуктів на їх основі.

Хоча існує безліч способів реалізації методів термоконтактного плавлення сумішей з важкими вуглеводнями зі стаціонарним підведенням теплової енергії [4–6], пошук нових енергоефективних способів залишається актуальним завданням.

В ІТТФ НАНУ запропонований інноваційний спосіб термоконтактного плавлення сумішей вуглеводнів з динамічним фронтом теплопідводу [7–9].

Спосіб полягає в тому, що в зоні контакту вуглеводневої суміші з термодіском, в якому циркулює теплоносіє (30...120 °C), відбувається зміна агрегатного стану суміші, шар розплаву видаляється, диск під дією

сили тяжіння опускається й оновлюється зона термоконтакту (рис. 1).

Рис. 1. Схеми плавильного блоку: 1 – термодиск; 2 – насос шестерний; 3 – насос гвинтовий

Для ефективної реалізації першої схеми термоконтактного плавлення (рис. 1, зліва) ключовим фактором є узгодження швидкості видалення розплаву зі швидкістю його утворення, тобто вуглеводнева суміш доводиться до стану розплаву (точка ліквідуса) і постійно підтримується товщина шару в цьому стані. Неузгодженість швидкостей може привести до збільшення енергоспоживання на нагрів суміші і до її перегріву з деструкцією. Така схема добре зарекомендувала себе при

плавленні сумішей з невисоким вмістом твердих вуглеводнів.

Реалізація другої схеми (рис.1, справа) дозволяє обмежитися доведенням суміші до стану розм'якшення, тобто нижче точки ліквідуса, і забезпечити її транспортування з високою швидкістю (до 0,42 л/с) до наступних технологічних операцій. Що дозволяє створити оптимальний динамічний стан суміші й одночасно – динамічне пересування фронту термоконтакту для широкої лінійки вуглеводневих сумішей.

Висновки: Запропонований спосіб реалізований в ряді інноваційних проєктів на фармацевтичних підприємствах у Латвії та Україні.

Значення питомих енеговитрат при використанні термоконтактного методу за першою схемою становить 46...48 Вт/кг при оптимальній температурі термоконтактної поверхні 85...95 °С. Реалізація другої схеми в порівнянні з першою дозволяє знизити енерговитрати на 12...15 %.

Література:

1. Аймбетова И.О., Сулейменов У.С., Камбаров М.А. и др. Теплофизические свойства фазопереходных теплоаккумулирующих материалов, применяемых в строительстве // Успехи современного естествознания. – 2018. – № 12 (1). – С. 9–13. <https://www.natural-sciences.ru/ru/article/view?id=36966>
2. Li Hengde, Higashi Hidenori, Tamura Kazuhiro Estimation of boiling and melting points of light, heavy and complex hydrocarbons by means of a modified group vector space method // Fluid Phase Equilibria. 2006, vol. 239, pp. 213–222. <http://hdl.handle.net/2297/6633>
3. Engineering ToolBox, (2017). Hydrocarbons - physical data. https://www.engineeringtoolbox.com/hydrocarbon-boiling-melting-flash-autoignition-point-density-gravity-molweight-d_1966.html
4. Пропозиції BriskHeat® <https://www.briskheat.com/products/heaters>

5. Пропозиції LMKTHERMOSAFE®

<http://www.lmkengineering.co.uk/>

6. Пропозиції Tempco®

<https://www.tempco.com/Tempco/Products.htm>

7. Грабов Л.Н., Мерщій В.И., Ващенко В.Н., Писаренко Т.В Оптимизация процессов термоконтактного плавления материалов // Промышленная теплотехника. – 2000. – т. 22, № 1. – С. 94–99.

8. Пат. 31435 Україна, МПК7 В 01 J 6/00. Спосіб плавлення речовини та пристрій для його здійснення/ Грабов Л. М. та інші; заявник та патентовласник: Грабов Л.М., Мерщій В.І., Бондарь С.І. – № 98094668; заявл. 01.09.98; надр. 17.12.01, Бюл. № 11

9. Долінський А.А., Грабова Т.Л. та інш. Створення та впровадження ефективних технологій та устаткування для виробництва лікарських засобів. Частина 1 // Промислова теплотехніка. – 2015. – Т. 37, № 4. – С. 31–43.

УДК 664.723.047

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СУШІННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР

Ю.Ф. Снежкін¹, В.М. Пазюк², Ж.О. Петрова³
Інститут технічної теплофізики НАН України

Проведено порівняння коефіцієнта використання первинної енергії палива серед традиційних способів підготовки теплоносія та схем з тепловим насосом. На основі проведеного аналізу вибраний енергоефективний спосіб підготовки теплоносія за допомогою встановлення парокомпресійного теплового насоса з тепловим двигуном із коефіцієнтом використання первинної енергії палива 1,37–2,3. На основі обґрунтування доцільності використання нових методів сушіння розроблена схема сушіння насіння зернових культур на базі газового двигуна генератора ДвГА-315 із тепловим насосом в шахтній зерносушарці.

Ключові слова: коефіцієнт, тепловий насос, метод сушіння, енергоефективність.

IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF GRAIN DRYING

Y.F. Snezhkin¹, V.M. Paziuk², Zh.O. Petrova³
*Institute of Technical Thermophysics of the National Academy
of Sciences of Ukraine*

A comparison of the primary energy utilization factor of fuel among traditional methods of heat carrier preparation and schemes with heat pump is carried out. Based on the analysis, an energy-efficient method of coolant preparation was selected by installing a steam-compression heat pump with a heat engine with a primary energy efficiency of 1.37 - 2.3. Based on the substantiation of the expediency of using new

drying methods, the scheme of drying of grain seeds on the basis of the gas engine of the DvGA - 315 generator with the heat pump in the mine grain dryer is developed.

Keywords: *coefficient, heat pump, drying method, energy efficiency.*

ORCID: ¹0000-0001-7871-8774, ²0000-0002-4955-1941,
³0000-0001-7385-8495.

Створення енергоефективної зерносушильної техніки пов'язана з вирішенням комплексу проблем, спрямованих на зменшення енергетичних витрат на процес сушіння зі збереженням якості насіння. Проведений аналіз існуючих зерносушарок показав, що для сушіння зерна здебільшого використовуються зерносушарки з теплогенераторами, які працюють на рідкому паливі та газі. Також відомі теплогенератори на соломі, відходах с/г виробництва та деревопереробної промисловості, що дозволяє знизити вартість теплової енергії за рахунок меншої вартості названих вище відходів виробництва.

Вирішення проблеми зменшення енергетичних витрат на процес сушіння зерна – головне завдання сьогодення. Основним узагальнювальним критерієм ефективності є коефіцієнт використання первинної енергії палива. Він визначається як відношення корисної теплоти до теплотворної здатності витраченого палива (звичайно умовного, 7,0 Гкал/т. у. п.) (табл. 1).

Таблиця 1. Коефіцієнт використання первинної енергії палива.

Вид палива	Коефіцієнт використання
Електропідігрівання	0,27 – 0,35
Спалювання палива в теплогенераторі	0,75 – 0,95
Парокомпресійний тепловий насос з електроприводом	0,6 – 1,35
Парокомпресійний тепловий насос з тепловим двигуном	1,37 – 2,3

Зіставлення альтернативних варіантів нагріву теплоносія за ступенем використання первинної енергії показує, що найменш ефективним є прямий електричний нагрів (Кел. = 0,27–0,35), тому що на тепловій електростанції при виробленні електричної енергії та транспортуванні мережами втрачається в середньому 70 % первинної енергії.

Нагрів теплоносія в теплогенераторі шляхом прямого спалювання палива в котельні призводить до втрат у середньому близько 15 % первинної енергії. Значне коливання коефіцієнту первинної енергії залежить від конструкції теплогенератора і виду палива.

Для парокомпресійних теплових насосів (ТН) з електроприводом коефіцієнт використання первинної енергії ($K_{\text{ТН}}$) дорівнює добутку коефіцієнту перетворення ТН μ і коефіцієнту використання первинної енергії при виробленні електроенергії (Кел):

$$K_{\text{ТН}} = \mu \cdot K_{\text{ел}}$$

Коефіцієнт перетворення ТН (μ – відношення теплоти, що віддається, до використаної первинної енергії) залежить від різниці необхідної температури теплоносія ($T_{\text{т}}$) і температури холодного джерела ($T_{\text{д}}$),

термодинамічних властивостей робочої речовини і особливостей термодинамічного циклу ТН, технічної досконалості конструкції ТН. У першому наближенні можна вважати, що коефіцієнт перетворення μ залежить тільки від різниці температур ($T_t - T_d$). Чим менша ця різниця, тим вищий коефіцієнт μ , і знаходиться він у межах 2...5 %.

ТН з приводом від теплового двигуна, наприклад газової турбіни або дизельного двигуна, виявляється більш економічними. Хоча ККД залежно від типу дизель-генератора коливається і перевищує 35–40 %, при роботі у складі ТН більша частина теплових втрат, які сприймаються мастилом, охолоджуючою двигун рідиною і вихлопними газами, може бути утилізована та спрямована в загальний потік теплоносія. В результаті коефіцієнт використання первинної енергії зростає майже в 1,5 рази.

Теплогенератор на основі газового двигуна генератора ДвГА-315 (рис. 1) забезпечує вироблення електричної енергії на двигуні генераторі в кількості 315 кВт та теплової енергії 477 кВт. Вироблена електрична енергія розподіляється між електричною енергією, яка витрачається на приводи (вентиляторів, насоса системи охолодження двигуна, елеваторів та ін.), у кількості 35 кВт, та електричною енергією на роботу компресора теплового насосу в кількості 280 кВт.

Рис. 1. Перерозподіл електричної та теплової енергії на схемі парокompресійного теплового насоса з газовим двигуном генератора ДвГА-315:

Дв – газовий двигун генератора;

Км, Кд, В – відповідно компресор, конденсатор та випарник теплового насосу

Розподілення виробленої теплової енергії на базі газового двигуна генератора ДвГА-315 можна представити за такою формулою:

$$Q_T = Q_{O.D.} + E \cdot Q_{B.G.} + Q_{K.D.} = 0,41 + 0,7 \cdot 0,20 + (2,1 \dots 4,5) \cdot 0,39 = (1,37 \dots 2,3) Q_P$$

де: Q_T – загальна кількість виробленої теплової енергії;
 $Q_{O.D.}$, $Q_{B.G.}$, $Q_{K.D.}$ – вироблення теплової енергії від охолодження двигуна, від викидів газів та на конденсаторі теплового насосу;
 E – ефективність рекуператора викидних газів.

З наведених даних видно, що застосування ТН в процесах сушіння зерна дозволяє значно підвищити коефіцієнт використання палива, і тим самим підвищити енергоефективність зерносушарки.

УДК 631.371: 620.92

**АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ ВИКОРИСТАННЯ
ВІДНОВЛЮВАНИХ ТА АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ
ЕНЕРГІЇ В СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ**

О.М. Сукманюк¹, С.М. Кухарець²

*Поліський національний університет, Старий бульвар, 7,
Житомир, Житомирська обл., 10002, Україна,*

¹тел.: +38(067)411-64-70,

¹e-mail: sukmanyukolena@gmail.com,

²тел.: +38(067)665-35-48, ²e-mail: kikharets@gmail.com

Аграрне виробництво може бути джерелом електричної та теплової енергії. Енергію можна отримувати, використовуючи біопаливо. Таким біопаливом є біогаз, дизельне біопаливо, тверді види біопалива тощо. В матеріалах конференції розглядаються актуальні способи отримання біопалива на основі сільськогосподарської продукції.

Ключові слова: *біогаз, дизельне біопаливо, паливні гранули, водорості, біореактор.*

**TOPICAL ISSUES OF USING RENEWABLE AND
ALTERNATIVE ENERGY SOURCES IN AGRICULTURE**

O. Sukmanyuk¹, S. Kukharets²

*Polissia National University, Staryi Boulevard, 7, Zhytomyr,
Zhytomyr Region, 10002, Ukraine,*

¹tel.: +38(067)411-64-70,

¹e-mail: sukmanyukolena@gmail.com,

²tel.: +38(067)665-35-48, ²e-mail: kikharets@gmail.com

Agricultural production can be a source of electricity and heat. Energy can be obtained using biofuels. Such biofuels are biogas, diesel biofuels, solid biofuels, etc. The conference

materials consider current methods of obtaining biofuels based on agricultural products.

Keywords: *biogas, diesel biofuel, fuel pellets, algae, bioreactor.*

ORCID: ¹0000-0003-2485-488X, ²0000-0002-5129-8746.

З кожним роком запаси невідновлюваних джерел енергії стають важкодоступними, дороговартісними й економічно неефективними. Крім того, при спалюванні викопного палива в атмосферу викидається велика кількість шкідливих речовин, які негативно впливають на здоров'я людей та інші організми, а також сприяють зміні клімату на Землі.

В навколишньому середовищі завжди існували потоки відновлюваних джерел енергії, які включають в себе використання вторинних ресурсів, утилізацію відходів, а також рекуперацію енергії того, що дозволяє економити природні ресурси та уникати забруднення довкілля.

Непоганою базою для використання відновлюваних джерел енергії слугують агропромислові комплекси, де відходи рослинництва та тваринництва є основною сировиною для отримання біогазу, твердого і рідкого палива, а також виробництва добрив.

Нині на багатьох тваринницьких фермах при правильному вирішенні проблеми утилізації гнойових мас можна отримати додатковий прибуток і одночасно, перетворити господарство практично у безвідходне виробництво.

Технологія анаеробної переробки органічних відходів дозволяє найбільш раціонально й ефективно конвертувати енергію хімічних зв'язків органічних відходів в енергію газоподібного палива (біогазу), виробництво якого дозволяє запобігти викиду метану в атмосферу, що впливає на парниковий ефект у 21 раз сильніше, ніж CO₂ і перебуває в атмосфері 12 років [1].

Крім того, біогазові установки вирішують проблему утилізації органічних відходів і очищення стічних вод. Перероблені органічні відходи використовуються як добриво у сільському господарстві, що дозволяє знизити використання хімічних добрив, що своєю чергою знижує навантаження на ґрунтові води.

Анаеробна переробка органічних відходів рослинництва та тваринництва в 10 разів прискорює їх розкладання порівняно з традиційними методами перепрівання у буртах. У результаті процесу зброджування розпаду піддаються органічні речовини, які містяться у гноєві, з утворенням газоподібних продуктів у вигляді суміші 50÷70 метану і 30÷50% біогазу з теплотворною властивістю 21–25 МДж/м. При цьому вони частково або повністю знезаражуються, дезодоруються і дегельмінтизуються [2].

Однак незважаючи на позитивні наслідки анаеробної обробки органічних відходів, вона має ряд суттєвих недоліків – великі енергетичні затрати на технологічні потреби обладнання (для забезпечення температурного режиму в біогазовій установці потрібна значна кількість виробленого біогазу – до 50 %) [3]. Досвід використання підігріву субстрату в системах теплопостачання біогазової установки незначний, а відомості, що наведені в науково-технічній літературі, не дозволяють створити ефективні енергоощадні установки.

Також слід відмітити, що в Україні немає жодної програми стимулювання будівництва біогазових установок, і поки що не налагоджено серійне виробництво їх, навіть невеликих.

За нашого часу сільське господарство само собою використовує не більше 5 % кінцевого попиту на енергію і не є значним емітером CO₂ [4] та водночас перед цим сектором ставляться завдання зниження викидів парникових газів, забезпечення продовольчої безпеки в умовах зміни клімату, зростання чисельності населення і урбанізації, вирощування нових видів енергетичних

культур, а також опанування нових технологій, що використовуватимуться сільськогосподарськими машинами та механізмами [5].

Актуальні задачі підвищення ефективності енерговіддачі біомаси і зниження вартості виробництва біопалив безпосередньо пов'язані з успішними науковими дослідженнями і розробками, пошуком нових видів рослин.

Серед різних видів сировини значні переваги перед іншими видами біомаси для виробництва біоетанолу має лігноцелюлоза, яка забезпечує більш високий вихід енергії при переробці та менші виробничі витримки. В наш час використання біоетанолу на основі лігніцелюлози як альтернативи традиційним видам моторного палива залежить від прогресу в сфері біотехнології рослин.

Все транспортне біопаливо за використовуваною сировиною, технологією її виробництва і використання класифікують за умовними «поколіннями». Перше покоління біопалива являє собою етанол і рослинне масло, вироблене з харчової сировини (цукровий буряк, тростина, кукурудза і т. ін. – для етанолу; рапс, соя тощо – для масла) за класичними «харчовими» технологіями. Друге покоління біопалива – це етанол, що виробляється з біологічних відходів, які містять целюлозу (стебла, лушпиння, листя та ін. – все, що залишається після вилучення їстівної частини рослини), а також біодизельне паливо, що виробляється з відходів тварин і рослинних жирів. Третє покоління біопалива – етанол і біодизель, що виробляється зі спеціально вирощеної біологічної сировини на невикористаних сільськогосподарських територіях. Четверте покоління біопалива – це синтетичні аналоги бензину і дизельного палива, що виробляються з біомаси, отриманої за технологіями, аналогічними тим, що застосовуються для отримання біопалива другого і третього покоління. Ці технології усувають необхідність модернізації двигунів автомобілів і палива заправної інфраструктури [6].

Багаторічні рослини як біоенергетична сировина є

важливим джерелом лігноцелюлозної біомаси. Гібрид міскантусу, зокрема міскантус гігантський, є однією з багаторічних рослин, що використовуються як біомаса для біоенергетики, і має велику популярність в Європі. Ця рослина невибаглива й стійка до низьких температур. Урожайність міскантусу гігантського, за окремими даними, складає від 7 до 38 ц/га в рік. Ще одним джерелом сировини для біоенергетики є просо, яке має високу ефективність за біомасою та фотосинтетичну C-4 ефективність і раціонально споживає воду та азот; урожайність проса становить 10–25 ц/га в рік.

У наших широтах використовуються як сировина для виробництва біодизелю однолітні маслянисті культури, такі як соя, рапс і соняшник. Для цих культур середній вихід енергії із зерна становить близько 10–40 ГДЖ/га/рік.

Біодизель в Україні виробляється у незначних обсягах (до 20 000 т на рік), практично для задоволення технічних потреб агрофірм. Станом на 2016 рік вартість інвестицій у біодизельну установку в Україні становить 95 000 євро/2 млн л = 95 000 євро/1513 т н. е. = 62 євро/т н. е. Операційні витрати: 360 євро/1 т н. е [7].

В Україні до 2014 року найбільшими виробниками біодизелю були «Оріана-Галев» (м. Калуш; сировина – ріпак), «Лібер» (м. Херсон; сировина – ріпак), «Стирол» (м. Горлівка; сировина – насіння соняшника). У фермерських господарствах країни було збудовано 300 установок з виробництва біодизелю загальною потужністю близько 500 000 т на рік, а біодизель використовували для власних потреб [8]. Виробництва біодизелю в Україні у промислових обсягах немає через відсутність сировини та попиту на нього. Єдиним винятковим проєктом став запуск у Самбірському районі Львівської обл. у 2014 році заводу потужністю 28 000 л біодизелю на добу [5].

Існують також інші альтернативні види рослин для отримання сировини для біоенергетики, наприклад трави (бородач), дерева (верба, тополя) і водорості [9].

В Україні близько 10 років тривають дослідження

виробництва біодизелю з мікроводоростей. Вітчизняна компанія «Біодизель-Дніпро» вперше в Україні почала експлуатацію установки з культивування мікроводоростей та отримання з них олії [5, 10]. Також зелені водорості будуть широко використовуватися для виробництва водню, який вважають найважливішим біопаливом третього покоління і який може бути джерелом різних видів енергії.

Водорості для виробництва біомаси розводять на спеціальних морських плантаціях фітопланктону або мікроводоростей (біомаса 3-го покоління).

Фітопланктон – мікроорганізми, клітини яких подібні до клітин наземних рослин, але за продуктивністю та «маслянистістю» фітопланктон набагато переважає традиційні технічні культури. Річний об'єм масла, синтезованого з фітопланктонної плантації, може досягнути 15 000 л/га, що в 10 разів більше в порівнянні з рапсом. Крім того, водорості дають урожай практично щоденно [11].

Водорості не потребують родючих ґрунтів, їх можна культивувати в морській, прісній воді або в стічних водах, а також їх можна вирощувати в гарячих озерах біля теплових станцій.

До більш традиційних технологій отримання біопалива з водоростей (спиртів, метану, біодизелю, водню з синтегазом, брикетів твердої біомаси) можна віднести екстракцію (зокрема ультразвукову), переетерифікацію, ферментацію, анаеробну переробку, газифікацію і сушку [12].

Переробка біомаси з мікроводоростей здійснюється в біореакторах та закритих резервуарах. Реактори можна встановлювати як вертикально, так і горизонтально, що дозволяє значно економити площу, можна використовувати закриті керовані автоматизовані системи, системи самоочистки реактора. Водорості ростуть на 30 % швидше, коли споживають CO_2 [11]. Так, у Кременчуцькому університеті ім. М. Остроградського розроблена технологія

отримання біогазу з отруйних водоростей, які забруднюють річки. З 50 л водоростей вдалось отримати 200 л біогазу [13].

Електричну енергію можна також отримувати шляхом вивільнення водневовмісного газу із синьозелених водоростей з наступною трансформацією в біореакторі, що являє собою аноднокатодний паливний елемент, розділений іонною мембраною. Існуючі пристрої мають малу продуктивність, низький ККД і складну конструкцію [14]. Поки що в промисловому масштабі в Україні ці технології не використовуються [15].

Література:

1. Ковалев А.А., Ковалев Д.А., Харченко В.В. Система теплоснабження биогазовой установки блочно-модульной конструкции с использованием рекуперации теплоты эффлюента для фермы на 400 голов КРС // Альтернативная энергетика и экология. 2013. № 5. С. 61–67.
2. Дубровський В.С. Метановое сбраживание сельскохозяйственных отходов / В.С. Дубровский, У.Э. Виестур. Рига : Зинатне, 1988. 204 с.
3. Баадер В., Биогаз: теория и практика / В. Баадер, Е. Доне, М. Бреиндерфер. М. Колос, 1999. 148 с.
4. 4 Ukraine's Greenhouse Gas Inventory 1990-2015. Annual National Inventory Report for Submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol. – Режим доступу: http://unfccc.int/files/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/application/zip/ukr-2017-nir-24may17.zip
5. «Перехід України на відновлювану енергетику до 2050 року» / О. Дячук, М. Чепелєв, Р. Подолець, Г. Трипольська та ін.; за заг. ред. Ю. Огаренко та О. Алієвої // Пред-во Фонду ім. Г. Бьолля в Україні. – Київ: Вид-во ТОВ «АРТ КНИГА», 2017. – 88 с.

6. Каперзов А.О., Герасимов В.С. Применение биоэтанола в сельском хозяйстве / А.О. Каперзов, В.С. Герасимов // Инновации в сельском хозяйстве. ФНАЦ ВИМ, 2 (31). 2019. С. 25–31.

7. <http://www.eubia.org/cms/wiki-biomass/biofuels-for-transport/biodiesel/>

8. Ukraine could export biofuel instead of rape. 27.11.2009:

[http://www.biofuels.ru/bioethanol/news/ukraine could export biofuel instead of rape](http://www.biofuels.ru/bioethanol/news/ukraine%20could%20export%20biofuel%20instead%20of%20rape)

9. [https://www.ppv.net.ua/uploads/work_attachments/Studies of Forest-based and Energy Crops Biomass-for-Energy Use in Northern Oblasts of Ukraine PPV 2018 U A.pdf](https://www.ppv.net.ua/uploads/work_attachments/Studies%20of%20Forest-based%20and%20Energy%20Crops%20Biomass-for-Energy%20Use%20in%20Northern%20Oblasts%20of%20Ukraine%20PPV%202018%20U%20A.pdf)

10. Установки для выращивания водорослей. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://biodiesel.dp.ua/>.

11. Гринюк І. Біопаливо з водоростей // Агросектор – 2009 – № 6 (36).

12. https://www.researchgate.net/publication/283553261_VODOROSTI_AK_ALTERNATIVNE_DZERELO_ENERGII

13. Ученые Кременчугского университета создали технологию добычи биогаза из ядовитых водорослей 27.05.2010 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://fuelalternative.com.ua/>

14. Шумаков Ф.Т. О перспективах использования сине-зеленых водорослей в системах энергосбережения Украины // Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского. Серия: География. 2010. Т. 23 (62). № 1. С. 286–295.

15. Трипольська Г. С. Агробіоенергетичний ринок України / Монографія. НАН України ; Ін-т економіки та прогнозування. – К., 2011. – 264 с. ISBN 978-966-02-6077-1

УДК 66.092-977

ВПЛИВ ТЕРМІЧНОЇ АКТИВАЦІЇ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ НА ТЕРМІЧНЕ РОЗКЛАДАННЯ ПАЛИВНИХ ГРАНУЛ

Т.В. Корінчевська¹, В.А. Михайлик²

*Інститут технічної теплофізики НАН України,
вул. Булаховського, 2, м. Київ, 03164, Україна,
тел.: +38(044)424-12-26, e-mail: tvkorin@gmail.com*

Методами термогравіметрії та диференціально-термічного аналізу виконано дослідження гранульованого біопалива з тирси деревини сосни, лушпиння насіння соняшника та міскантуса. Розглянуто вплив термічної активації сировини на процес термічного розкладання.

Ключові слова: термічне розкладання, біопаливо, гранулювання, термічна активація.

INFLUENCE OF THERMAL ACTIVATION OF PLANT RAW MATERIALS ON THERMAL DESTRUCTION OF FUEL GRANULES

T. Korinchevska¹, V. Mykhailik²

*Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine,
2 Bulakhovskogo str., Kiev, Ukraine, 03164*

Methods of thermogravimetry and differential thermal analysis were used to study granulated biofuel from pine wood sawdust, sunflower seed husks and miskantus. The influence of thermal activation of raw materials into the process of thermal decomposition is considered.

Keywords: thermal destruction, biofuels, granulation, thermal activation.

ORCID: ¹0000-0002-6638-4743, ²0000-0003-2712-1382.

Серед відновлюваних джерел енергії рослинна біомаса з кожним роком посилює свої позиції як паливо. Використання такого палива несе позитивну екологічну складову поряд з економічною вигодою виробників. До найпоширеніших джерел біомаси можна віднести деревину та її відходи після обробки й переробки, відходи сільськогосподарського виробництва та спеціально вирощені рослини.

Для поліпшення паливних властивостей біомаси її гранулюють. Отримання гранул з підвищеними якісними показниками потребує активації сировини, зокрема механічної (часткове або повне подрібнення до часток розміром $\leq 0,2$ мм) та термічної (пресування за температури 150°C).

Визначення впливу активації на термічне розкладання біопалива проведено методами термічного аналізу в модернізованому в ІТТФ НАН України дериватографі Q–1000 системи Paulik-Paulik-Erdey (фірма «МОН», Угорщина) в діапазоні $19\text{--}1009^{\circ}\text{C}$ при швидкості нагрівання $7,4\text{ K/хв}$.

Дослідженню були піддані гранули з тирси деревини сосни, лушпиння соняшнику та стебел міскантуса. Для виготовлення гранул використана подрібнена сировина з вмістом 30 % мікрофракції ($\leq 0,2$ мм) та 70 % крупної фракції (2...3 мм). Гранули діаметром 8 мм та висотою 2,5–3,0 мм були отримані при тиску 100–120 МПа.

Аналіз результатів досліджень (табл. 1) показав, що для всіх зразків біопалива характерні стадії видалення води, термічного розкладання органічних та мінеральних речовин. Гранули мали досить низьку рівноважну вологість ~6–9 % (табл. 1).

**Таблиця 1. Результати термічного аналізу
 гранульованого палива з рослинної сировини**

Умови отримання гранул	Видалення води		Термічне розкладання речовин				Зола
			органічних		мінеральних		
	інтер- вал, °C	вологість, %	інтер- вал, °C	вміст, % СМ	інтервал, °C	вміст, % СМ	% до маси СМ
Тирса сосни							
Холодне пресування	23-188	8,89	188-510	98,51	510-1009	0,61	0,88
Термічна активація	19-185	8,41	185-547	98,30	547-1002	0,57	1,13
Лушпиння соняшнику							
Холодне пресування	22-158	6,90	158-481	96,16	481-1007	0,73	3,11
Термічна активація	20-169	7,64	169-550	95,74	550-1002	0,93	3,33
Стебла міскантуса							
Холодне пресування	20-177	7,22	177-528	95,27	528-1006	0,10	4,63
Термічна активація	19-176	7,78	176-526	95,02	526-1001	0,29	4,69

Термічне розкладання органічних речовин гранул супроводжувалось зміною маси та екзотермічним тепловим ефектом. Стадію термічного розкладання органічних речовин умовно можна розділити на низько- та високотемпературний періоди, які розділені етапом зниження швидкості розкладання та спадом тепловиділення.

Термічна активація суміші тирси сосни викликає розширення діапазону термічного розкладання органічних речовин, що виявляється в зниженні температури початку розкладання на 3 °C та підвищенні температури завершення їх розкладання на 64 °C. Спостерігається інтенсивний викид газів у низькотемпературному періоді з втратою теплоти розкладання.

Результати термічного аналізу гранул з лушпиння соняшнику показали, що термічна активація сировини розширює температурний інтервал розкладання органічних

речовин на 58 °С та знижує інтенсивність розкладання в низькотемпературному періоді.

Термічна активація суміші подрібнених стебел міскантуса має незначний вплив на процес розкладання органічних сполук – спостерігається незначне звуження інтервалу розкладання. Проте отримані результати свідчать про зниження тепловиділення в високотемпературному періоді розкладання. Окрім того, для гранул з міскантуса переважно з попередньою термічною активацією матеріалу при термічному розкладанні в інтервалі температур 320–440 °С відбуваються мікрровибухи, які супроводжуються наростанням тепловиділення та різкою зміною маси зразків.

Отримані результати свідчать, що внаслідок термічної активації тирси сосни та лушпиння соняшника утворюється більш щільна та міцна, в порівнянні з холодним пресуванням, структура гранул, розширюються інтервали термічного розкладання органічних речовин, швидкість розкладання таких гранул зменшується.

Водночас для гранул з міскантуса інтервали термічного розкладання органічних речовин та швидкість розкладання залишаються практично незмінними.

Енергетична ефективність термічної активації сировини перед пресуванням вимагає додаткових досліджень.

УДК 662.6

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ САМОЗАЙМАННЯ ТВЕРДОГО ПАЛИВА

В.М. Чмель¹, І.П. Новікова²

*Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Марії
Капніст, 2а, м.Київ, 03052, Україна,
тел.: +38(066)780-00-07, +38(044)453-28-65,
e-mail: chmel.valerii@gmail.com*

У роботі наведені результати визначення температури самозаймання твердих відходів, з метою використання як альтернативного палива.

Ключові слова: *тверді відходи, самозаймання, температура.*

DETERMINATION OF SELF-IGNITION TEMPERATURE OF SOLID FUELS

V.N. Chmel¹, I.P. Novikova²

*Institute of Engineering Thermophysics of National Academy
of Science of Ukraine, 2a Marii Kapnist str., Kyiv, Ukraine,
03052, e-mail: chmel.valerii@gmail.com*

The paper presents the results of determining the self-ignition temperature of solid waste, for use as an alternative fuel.

Keywords: *solid waste, spontaneous combustion, temperature.*

ORCID: ¹0000-0003-1394-7239, ²0000-0001-9612-286X.

Процес горіння складається з процесу підготовки твердого палива – доведення його до температури самозаймання, яка є однією із важливих складових кінетичних особливостей палива, і забезпечує його

займання та подальше горіння. Існують технології спалювання палива. Самозаймання палива є однією зі складових процесу горіння.

До цих технологій можна віднести метод термохімічної обробки. Він полягає в тому, що за рахунок тепла додаткового палива підвищується реакційна здатність основного палива доведенням до температури самозаймання, що веде до повного його вигорання [1].

Незалежно від механізму згоряння палива – теплокінетичного або ланцюгово-кінетичного – самозаймання досягається підвищенням його температури шляхом підігріву. При цьому через деякий час – період індукції, внаслідок розвитку реакції окислювання і виділення завдяки їй додаткового тепла – паливо самозаймається. Температура при якій починається процес горіння – температура самозаймання. Температура самозаймання може бути визначена для палива при його спалюванні, як в шарі, так і в потоці окислювача.

Рис. 1. Процес самозаймання твердого палива:

- а) діаграма процесу самозаймання твердого палива;
- б) установка для визначення температури самозаймання твердого палива в шарі;
- в) діаграма зміни температури лузги проса: температура окислювача 610 °С.

Процес самозаймання виглядає так (рис.1, а). Після подачі в окислювач твердого палива його температура підвищується і з часом досягає температури окислювача.

Підвищення температури відбувається внаслідок як кондуктивної теплопередачі, так і розвитку реакції окислення, яка може протікати за різними механізмами. Залежно від розвитку реакції окислення температура твердого палива може досягти тільки температури окислювача – 1 або її перевищити, але при цьому може не відбутись самозаймання палива – 2. Самозаймання палива відбувається тільки після досягнення температури самозаймання, внаслідок чого починається бурхливий розвиток окислення і паливо займається – 3. Далі відбувається процес горіння палива. На кривій 3 нижча точка перегину кривої зміни температури палива відповідає температурі самозаймання. Максимум кривої відповідає температурі горіння.

Таблиця 1. Результати дослідів із визначення температури самозаймання палива

№	Вид палива	Температура самозаймання, °C
1	Тирса дуба	290–350
2	Лузга гречки	310–340
3	Лузга проса	315–340
4	Лузга вівса	315–345
5	Костра льону	480–500
6	Солома	450–470
7	Антрацитовий штиб – АШ	790–810
8	Кам'яне вугілля	500–610

З огляду на це була створена установка для визначення температури самозаймання твердого палива в шарі (рис. 1, б). До складу установки входять: піч з електричним підігрівом (1), дві малоінерційні термопари (3 та 4), тримач твердого палива (5) та двоканальний потенціометр КСП-4 для реєстрації температури окислювача та палива (2). Як окислювач використовується повітря, яке перебуває в печі і може нагріватись до температури 950 °С. На внутрішньому боці дверцят встановлені тримач твердого палива (5) та обидві термопари. Кількість палива визначається з урахуванням того, що після його згоряння температура всередині печі не підвищується. В цьому разі внутрішній простір печі виступає до нависки твердого палива як безкінечний.

Потенціометр реєструє на діаграмній стрічці зміну температури палива та окислювача в часі (рис. 1, в). Після вигорання палива за діаграмною стрічкою, згідно з методикою, визначають температуру самозаймання.

При проведенні дослідів з визначення температури самозаймання твердого палива використовувались такі види викопного палива, як антрацит та кам'яне вугілля, а також відходи біомаси, що мають дрібнодисперсну структуру: лузга гречки, вівса та проса.

Види палива відрізнялись ступенем метаморфізму, вмістом летючих та мінеральної частки, що дозволило визначити їх вплив на температуру самозаймання. Результати дослідів з визначення температури самозаймання різних видів палива, наведені в табл. 1. Антрацит, який характеризується найвищим ступенем метаморфізму й найменшою кількістю летючих, відповідно, і являє собою майже чистий вуглець, має найвищу температуру самозаймання [2]. Лузга, яка зовсім не вуглефікована, займається при найнижчій температурі [2].

Можна зробити висновок, що в умовах безмежного простору, а він моделюється в дослідній установці, за відсутності струменевої течії температура самозаймання твердого палива в шарі є сталою величиною і не залежить

від розміру його часток, їх кількості в шарі та температури окислювача. Отже, і в умовах реального використання палива також буде відсутня залежність температури самозаймання від вказаних величин.

Література:

- 1.Повышение эффективности сжигания низкосортных топлив методом термохимической обработки / Чмель В.Н. и др. – Известия вузов. Энергетика. 1985, № 3, с.96–100.
2. Яворский И.А. Физико-химические основы горения твердых ископаемых топлив и графитов. Наука. Новосибирск, 1973, с. 254.

УДК 66. 047; 541. 18. 053

РОЗРОБКА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ВІДХОДІВ БІОМАСИ НА ПРИКЛАДІ ТРІСКИ ПАЛИВНОЇ

А.В. Ляшенко

*Інститут технічної теплофізики НАН України
вул. Марії Капніст, 2а, Київ, 03057*

У роботі представлені експериментальні дослідження з процесу конвекційного сушіння відходів біомаси на прикладі тріски паливної. Результати досліджень необхідні для подальшої розробки енергоефективної технології та обладнання з переробки подібних матеріалів.

Ключові слова: *біомаса, органічні відходи, тріска паливна, енергоефективна технологія.*

DEVELOPMENT OF AN ENERGY EFFICIENT TECHNOLOGY FOR THE PROCESS OF DRYING THE ENTRANCE TO THE BIOMASS ON THE BUTT OF THE FIRE

A. Liashenko

*Institute of Engineering Thermophysics of the National
Academy of Sciences of Ukraine
str. Mary Kapnist, 2a, Kiev, 03057*

In the article, there is an experimental investigation of the process of convection drying from the entrance to the biomass on the butt of the fire. The results are necessary for the further development of energy-efficient technology and the possession of the processing of additional materials.

Keywords: *biomass, organic inputs, fire-fighting, energy-efficient technology.*

ORCID: 0000-0001-8212-8179.

У результаті господарської діяльності лісових господарств утворюються відходи деревинної біомаси, які можна використовувати, зокрема, для отримання теплової енергії. Отже, постає питання щодо розробки енергоефективних способів з підготовки та сушіння тріски паливної для подальшого її використання в народному господарстві.

Як досліджуваний матеріал були використані дерева різних порід, що розташовані на території ІТТФ НАНУ. Тріску паливну заготовляли безпосередньо перед початком проведення експериментів за допомогою гілкоподрібнювача. Як сировину використовували зрублені паростки довжиною від 1,5 до 2,5 м й товщиною від 0,5 до 2,5 см.

Для експериментального дослідження процесу конвекційного сушіння тріски паливної на першому етапі був використаний існуючий експериментальний стенд та розроблена методика проведення експерименту. Існуючий стенд має затверджений в ІТТФ НАНУ паспорт: «Експериментальний стенд по дослідженню сушки в киплячому стані».

Перед проведенням експериментальних досліджень з сушіння вологої тріски паливної на експериментальному стенді були проведені експерименти з визначення особливостей поведінки матеріалу залежно від зміни швидкості руху теплоносія у дослідній камері. Швидкість руху теплоносія в дослідній камері вимірювалась за допомогою анемометра чашкового. Як модельний матеріал використовувалась тріска паливна з вологістю $W=15-20\%$.

Для проведення серії експериментальних досліджень використовувався матеріал з початковою вологістю $W=50...60\%$; температура теплоносія була в межах $t=120...140\text{ }^{\circ}\text{C}$; швидкість руху теплоносія $v=1...1,5\text{ м/с}$; початкова висота шару матеріалу становила $h=30...50\text{ мм}$.

На основі отриманих експериментальних даних були вибрані оптимальні режими швидкості руху теплоносія в

експериментальній ємності та висота початкового шару досліджуваного матеріалу, а саме вологої тріски паливної. Результати роботи показали ефективність вибраного способу сушки для даного виду матеріалу.

На другому етапі досліджень автором була проведена розробка технічного завдання на експериментальний пристрій для сушіння твердих дисперсних матеріалів у щільному шарі в умовах вертикального примусового спрямування газоподібного агента сушіння відносно шару матеріалу з періодичною зміною напрямку на протилежний.

Запропоновані вимоги і технічні рішення щодо згаданої модернізації здійснюватимуться на існуючому стенді: «Експериментальний стенд по дослідженню сушки в киплячому стані».

Висновки

Енергоефективна переробка відходів діяльності лісових господарств дасть можливість отримувати якісний кінцевий продукт (тріску паливну) з подальшим її використанням в народному господарстві.

Аналіз результатів експериментальних досліджень показав, що можливо організувати такий режим процесу сушіння, при якому витрати тепла можна звести до мінімуму ($q=3000...3500$ кДж/кг випареної води) з отриманням кінцевого готового продукту високої якості.

УДК 664.8.047

ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОЄМНОСТІ ТЕПЛОТЕХНОЛОГІЙ У ВИРОБНИЦТВІ СУШЕНИХ ПРОДУКТІВ

Ю.Ф. Снежкін¹, Р.О. Шапар², О.В. Гусарова³
Інститут технічної теплофізики НАН України
вул. М.Капніст, 2а, м. Київ, Україна, 03057
тел.: +38(066)232-78-74, e-mail: r.sh@ukr.net

Проведено аналіз поточних витрат у технологіях сушіння різними методами. Показана перевага конвективного способу зневоднення на стрічкових та тунельних сушильних установках і доцільність використання теплогенераторів, що працюють на альтернативних і відновлюваних енергоресурсах.

Ключові слова: енергоємність процесу, сушильні установки, теплогенератор, енергетичні рослини.

REDUCTION OF ENERGY CONSUMPTION OF HEAT TECHNOLOGIES IN THE PRODUCTION OF DRIED PRODUCTS

Yu. Sniezhkin¹, R. Shapar², O. Husarova³
Institute of Engineering Thermophysics
of NAS of Ukraine, 2a, Marii Kapnist Str., Kyiv, 03057, Ukraine

The analysis of current expenses in technologies of drying by various methods is carried out. The advantage of the convective method of dehydration on belt and tunnel drying installations and the expediency of using heat generators operating on alternative and renewable energy sources are shown.

Keywords: energy consumption of the process, drying installations, heat generator, energy plants.

ORCID: ¹0000-0001-7871-8774, ²0000-0001-6448-8760,
³0000-0001-7622-9168.

Основним процесом у теплотехнологіях перероблення сільськогосподарської сировини на сушені продукти є зневоднення. Термічне зневоднення, як і будь-який тепловий процес, характеризується високою енергоемністю та підвищеними вимогами до якості готового продукту та його безпечності. Споживання енергії на процеси сушіння в агропромисловому секторі України коливається від 15 до 25 % загальних потреб у промисловості.

З огляду на обмеженість і безперервне зростання вартості традиційних енергетичних ресурсів, відповідно до Енергетичної стратегії України на період до 2035 року, одним із напрямів її реалізації є зменшення енергоемності вітчизняної продукції за рахунок впровадження енергоощадних технологій та обладнання.

Є різні методи сушіння рослинних матеріалів, які обумовлені особливостями зневодненої сировини, видами зв'язку вологи з матеріалом, економічними показниками.

В Інституті створено три покоління енергоресурсоощадних теплотехнологій та зонні сушильні установки тунельного і стрічкового типів, що входять до технологічних ліній, які постійно вдосконалюються й оновлюються сучасними засобами керування процесом, контролю виробництва та пристроями для автоматизації.

На рис. 1 наведено спрощену схему технології перероблення матеріалів на сушені продукти, в основу якої покладено різні методи сушіння сировини [1]. Як об'єкт дослідження обрано яблучне пюре й яблука як найбільш доступні та розповсюджені продукти.

Рис. 1. Схема технологічних процесів: 1 – мийна машина; 2 – інспекційний транспортер; 3 – апарат для одержання пюре; 4 – машина для нарізання; 5¹ – піносушарка; 5² – сублімаційна сушарка; 5³ – вальцюва сушарка; 5⁴ – розпилювальна сушарка; 5⁵ – стрічкова сушарка; 6 – подрібнювач; 7 – розсіювач; 8 – пакувальна машина

Кожному етапу будь-якої технології властиві певні витрати, що визначають собівартість кінцевого продукту. Розрахунки поточних витрат по п'ятьох вищезазначених технологіях одержання яблучного порошку, за умови прийняття найбільш дорогої за одиницю (технологія II, сублімаційне зневоднення), показують, що інші мають показники: I піносушіння – 0,46; IV розпилювальне сушіння – 0,43; III вальцюве сушіння – 0,42; V конвективне сушіння на стрічкових або тунельних сушарках – 0,32.

Порівняльний аналіз показує перевагу технології конвективного сушіння, V, з використанням стрічкових або тунельних сушарок. Незважаючи на використання в технологіях й інших способів [2], таких як сушіння ІЧ випромінюванням, з використанням НВЧ-нагрівання або шляхом змішаного теплопідводу чи поєднанням способів і відповідного сушильного обладнання, стрічкові та тунельні

сушарки затребувані, оскільки мають резерви для інтенсифікації тепломасообмінних процесів, широкий діапазон продуктивності, модульні автономні теплові зони. Вони надійні в експлуатації та прості в обслуговуванні.

Зневодненню піддають цільні плоди й овочі, нарізані на шматочки різної форми без додаткового перетворення до пасто- або пюреподібного стану, завдяки чому скорочуються теплові витрати та ступінь термічного впливу на термолабільний матеріал, що позитивно впливає на якість кінцевого продукту.

Сушіння проводять за обґрунтованими ступеневими режимами в середовищі чистого гарячого повітря без оброблення інертними або хімічно синтезованими речовинами. Нагрівання чистого повітря здійснюють безконтактно у теплогенераторах.

Одночасно з застосуванням енергоефективних ступеневих режимів, істотне зниження енергоємності процесу сушіння досягається використанням теплогенераторів різної потужності, що працюють на відновлюваних та альтернативних джерелах енергії: відходах сільськогосподарських культур, енергетичній деревині, торфобрикетах тощо за рахунок нижчої, у 1,6...3,3 вартості одиниці енергії з біомаси, порівняно з вартістю одиниці енергії з природного газу [3]. Все вищезазначене зумовлює одержання неенергоємних сушених продуктів.

Враховуючи тенденцію використання енергетичних деревних рослин як альтернативного джерела енергії, результатами наших досліджень [4] з вивчення кінетики вологообміну енергетичної верби під час низькотемпературного зневоднення, встановлено умови та раціональні режими її сушіння до низької та рівномірно розподіленої кінцевої вологості. Застосування такого матеріалу в технологічному циклі отримання твердого біопалива як альтернативного енергоресурсу, гарантуватиме надійну роботу спалювального агрегату впродовж тривалого часу.

Література:

1. Снежкін Ю.Ф., Шапар Р.О. Тепломасообмінні технології переробки пектиновмісної сировини. К.: Сік Груп Україна, 2018. – 228 с.
2. Бідюк Д.О., Пономарьова Л.М., Перцевой Ф.В., Маренкова Т.І. Аналітичне обґрунтування та моделювання технологій сушеної харчової продукції з органічної овочевої та плодово-ягідної сировини. – Вісник НТУ «ХПІ» – 2017. – № 33 (1255). – с. 99–107.
3. Снежкін Ю.Ф., Шапар Р.О. Енергоефективне обладнання для зневоднення термолабільних матеріалів // Теплофізика та теплоенергетика – 2020. – Т. 42. – № 2. – С. 5–17. <https://doi.org/10.31472/tpe.2.2020.1>
4. Шапар Р.О., Гусарова О.В. Аналіз процесу сушіння енергетичних рослин під час виробництва твердого біопалива. Енергетика і автоматика. – 2020. – № 5. – С. 110–122. <http://dx.doi.org/10.31548/energiya2020.05.110>.

УДК 66. 047; 541. 18. 053

**ЕНЕРГОЕФЕКТИВНА ТЕХНОЛОГІЯ СУШКИ
ВИСОКОВОЛОГИХ ТЕРМОЛАБІЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ,
СУМІСНИХ З ОДНОЧАСНИМ ДИСПЕРГУВАННЯМ У
РОТОРНИХ АПАРАТАХ**

А.В. Ляшенко

*Інститут технічної теплофізики НАН України
вул. Марії Капніст, 2а, Київ, 03057*

У роботі представлені результати обґрунтування вибору методу сумісних процесів сушіння та диспергування в одній камері за допомогою механічного ротора при обробці високовологих термолабільних матеріалів.

Ключові слова: енергоефективна технологія, сумісний процес, ротор, камера, термолабільні матеріали.

**ENERGY EFFICIENT DRYING TECHNOLOGY OF VISCOUS
THERMOLABIAL MATERIALS FROM SUMS WITH ONE-
HOUR DISPERSION IN ROTARY APPARATUS**

A. Liashenko

*Institute of Engineering Thermophysics of the National
Academy of Sciences of Ukraine
str. Mary Kapnist, 2a, Kiev, 03057*

In this article presents the results of the coating by the method of summarized drying processes and dispersion in one

chamber for the addition of a mechanical rotor in the processing of viscous thermolabial materials.

Keywords: *energy efficient technology, summarized process, rotor, chamber, thermolabial materials.*

ORCID: 0000-0001-8212-8179.

Огляд літератури й аналіз показують перспективність застосування установок, які працюють з одночасним сушінням і диспергуванням в одній робочій камері. В них створюються великі поверхні тепломасообміну, збільшується в порівнянні, наприклад, з барабанними установками питома продуктивність, зменшуються капітальні витрати й енерговитрати на випаровування води. На основі отриманих результатів експериментальних досліджень при різних режимах сушіння термолабільних матеріалів (курячого посліду, рибного борошна тощо) розроблено технології та обладнання для їх обробки.

Автор експериментально доводить можливість досягнення таких теплотехнічних величин у камері: початкова температура теплоносія – у межах 600–800 °С; коефіцієнт тепловіддачі – у межах 900–1200 Вт/(м² • град); середня кількість теплоти на випаровування води – у межах 3500–4000 кДж/кг випареної води; середня напруга камери по випареній воді – 350–400 кг/(м³ • год).

Підсумком обробки та узагальнення отриманих результатів стала розробка методики інженерного розрахунку камери установки, підібрано обладнання для формування технологічних ліній з виробництва різних видів органічних термолабільних матеріалів.

Висновки.

1. Автором експериментально доведено, що розпорошення оброблюваного матеріалу на елементи малих розмірів, яке організовано в одній камері, дозволить штучно підтримувати температуру поверхні матеріалу близькою до температури мокрого термометра, тим самим зводячи перебування матеріалу в другому періоді до мінімуму.

2. Отримані орієнтовні термодинамічні показники вказують на перспективність застосування камер одночасного сушіння і диспергування при обробці термолабільних матеріалів.

3. Результати роботи авторів можуть бути використані при проектуванні енергоефективного сушильного обладнання для технологічних ліній з переробки органічних термолабільних матеріалів.

УДК 628.336.3

ГРАНУЛЮВАННЯ ТРИКОМПОНЕНТНИХ КОМПОЗИЦІЙ ІЗ ЗАСТАРІЛИХ МУЛОВИХ ОСАДІВ, ТОРФУ ТА БІОМАСИ

Ж.О. Петрова¹, Ю.П. Новікова²

*Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Марії
Капніст, 2а, м. Київ, 03057, Україна,
тел.: +38(050)355-16-10, e-mail: bergelzhanna@ukr.net*

*У роботі наведені матеріали про створення
трикомпонентних гранул на основі застарілих мулових
осадів, торфу та біомаси.*

Ключові слова: застарілі мулові осади, торф, біомаса.

GRANULATION OF THREE-COMPONENT COMPOSITIONS ON THE BASIS OF OBSOLETE MUD SEDIMENTS, PEAT AND BIOMASS

Zh.O. Petrova¹, Yu.P. Novikova²

*Institute of engineering thermophysics, National Academy of
Sciences of Ukraine, 2a Maria Kapnist str., Kyiv, Ukraine,
03057, tel.: +38(050)355-16-10, e-mail: bergelzhanna@ukr.net*

*The paper presents materials on the creation of three-
component granules based on obsolete sludge, peat and
biomass.*

Keywords: obsolete sludge, peat, biomass.

ORCID: ¹0000-0001-7752-4345, ²0000-0002-6705-1000.

В процесі очищення стічних вод утворюється муловий осад. Необроблений муловий осад протягом декількох десятків років зливається на переповнені мулові майданчики, що призводить до погіршення екології та умов життя в Україні [1].

Переповнені мулові майданчики є актуальною проблемою населених пунктів України. На цих майданчиках часто лежить муловий осад, якому може бути понад 30 років. Обмежене використання мулових осадів обумовлене наявністю великої кількості мінеральних та токсичних речовин. Тому для України актуальна проблема переробки мулових осадів на вторинні матеріали [2].

Метою роботи є дослідження переробки мулового осаду та створення гранул на основі композиції з осаду, торфу та біомаси.

У роботі представлено процес гранулювання трикомпонентних композицій з мулових осадів, яким декілька десятків років, та торфу. Дослідження з гранулювання проводили на сумішах із застарілих мулових осадів вологістю 63 %, торфу вологістю 75 % та біомаси вологістю ~10 %. Композиції замішували у різних співвідношеннях. Після замішування композиції залишали на деякий час для усереднення.

а

б

Рис. 1. Трикомпонентна композиція із :
а – застарілих мулових осадів, торфу, тирси;
б – застарілих мулових осадів, торфу, лузгою гречки

Композиції з тирсою у різних співвідношеннях мали вигляд розсипчастої маси (рис.1, а). Композиції з лузгою гречки у різних співвідношеннях комкувалися (рис.1, б).

а

б

Рис. 2. Сформовані гранули із:

- а* – застарілих мулових осадів, торфу, тирси;
б – застарілих мулових осадів, торфу, лузги гречки

При гранулюванні було використано гідравлічний прес HLR-12. Композиції сгранулювано під тиском 1,961–3,923 МПа. Гранули формували діаметром 6 мм. Деякі гранули, сформовані із сумші, зображеної на рис.1, *а*, та із суміші, зображеної на рис. 1, *б*, після формування при малих навантаженнях розсипались.

Отже, дослідження показало, що при відповідному співвідношенні деякі гранули руйнуються, тому такі гранули треба використовувати за місцем виробництва.

Література:

1. Petrova Zh., Pazyuk V., Novikova Yu., Stetsyuk V. Granulation of compositions from obsolete sludge and peat. – Міжнародна науково-практична конференція «ПРОБЛЕМИ СУЧАСНОЇ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ», присвячена 100-річчю професора Бориса Харлампійовича Драганова. 10–11 грудня 2020 р., Київ: НУБіП, 2020. С. 109–111.

2. Новікова Ю.П., Петрова Ж.О. Формування гранул з застарілих мулових осадів та торфу. – Збірник тез доповідей IV Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених «ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТЕРИТОРІЙ: ТЕОРІЯ І ПРАКТИКА» 19–20 листопада 2020 р., Харків, 2020. – С. 378– 79

УДК 620.92

ЕНЕРГІЯ БІОМАСИ ЯК СКЛАДОВА «ЗЕЛЕНОГО» ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПЕРЕХОДУ УКРАЇНИ

Т.А. Желєзна¹, А.І. Баштовий²

Інститут технічної теплофізики НАН України

Зміна клімату є наразі глобальною проблемою, яка стосується всіх країн світу. Одним з дієвих інструментів стримування глобального потепління є декарбонізація енергетики. Біоенергетика може зробити значний внесок у процес декарбонізації, оскільки біомаса є вуглецево-нейтральним паливом. В Україні найбільшими складовими енергетичного потенціалу біомаси є сільськогосподарські залишки та енергетичні культури. Використання саме цих видів біомаси є перспективним напрямком розвитку біоенергетичного сектора країни як складової «зеленого» енергетичного переходу.

Ключові слова: *біоенергетика, біомаса, агробіомаса, енергетичні рослини.*

BIOMASS FOR ENERGY AS CONSTITUENT OF UKRAINE'S GREEN ENERGY TRANSITION

T.A. Zheliezna¹, A.I. Bashtovyi²

Institute of Engineering Thermophysics, NAS of Ukraine

Climate change is currently a global challenge that affects all countries of the world. One of the effective measures to mitigate global warming is the decarbonization of energy. Bioenergy can make a significant contribution to the decarbonization process, as biomass is a carbon-neutral fuel. In Ukraine, the largest components of the energy potential of biomass are agricultural residues and energy crops. The use of these types of biomass is a promising area of the development

of the country's bioenergy sector as part of the green energy transition.

Keywords: *bioenergy, biomass, agrobiomass, energy crops.*

ORCID: ¹0000-0002-9607-3022, ²0000-0002-1510-2945.

Енергетика є основним джерелом викидів парникових газів у глобальній та національних економіках. Так, у світі на частку енергетики припадає 73 % загальних викидів парникових газів, в ЄС – більше 75 %, в Україні – 65 % [1]. Отже, використання відновлюваних джерел енергії та низьковуглецевого палива робить вагомий внесок у процес декарбонізації економіки.

Цьому напрямку приділено значну увагу в Європейському зеленому курсі, представленому Єврокомісією у грудні 2019 року. Європейський зелений курс є дорожньою картою переходу до сталої економіки, чистої енергетики й кліматичної нейтральності Європи до 2050 року. Цей курс визначає такі пріоритетні напрями розвитку біоенергетики: стале виробництво біогазу і біопалива з сільськогосподарських залишків, а також використання біопалива в секторах економіки, які важко піддаються декарбонізації шляхом «зеленої» електрифікації.

Зазначені напрями є актуальними і для України, оскільки вона має значний потенціал агробіомаси, доступний для енергетичних потреб. За оцінками 2019 року, економічний потенціал складає (млн т н. е.): солома зернових та ріпаку – 4,65, побічні продукти виробництва кукурудзи на зерно (стебла, стрижні – кукурудзиння) – 3,57, побічні продукти виробництва соняшнику (стебла, кошики) – 1,66, лушпиння соняшнику – 1,08, енергетичні рослини для отримання твердих біопалив – 4,88 (за умови вирощування на 1 млн га), кукурудза на біогаз – 2,57 (за умови вирощування на 1 млн га).

Використання пожнивних решток для виробництва біопалив та енергії обов'язково передбачає врахування критеріїв сталості. Це означає, що більша частина даних видів біомаси споживається на потреби рослинництва і тваринництва. Для енергетичних потреб з поля рекомендується видаляти лише до 30-40% загального обсягу в залежності від виду пожнивних решток та умов конкретного аграрного господарства. На обсяг можливого видалення біомаси впливає стан ґрунту та існуюча практика внесення органічних і мінеральних добрив. Окремого дослідження потребує питання впливу пожнивних решток як добрива на утворення і викиди закису азоту. Це пов'язано з необхідністю внесення до ґрунту додаткового обсягу азоту для кращого розкладання соломи та інших аналогічних видів біомаси.

В Україні є багато прикладів використання тюкованої соломи як палива для котлів та теплогенераторів в складі зерносушильних комплексів. Видається, що подальший розвиток даного напрямку може бути пов'язаний із залученням побічної продукції виробництва кукурудзи на зерно. Кукурудзиння має кращі паливні характеристики у порівнянні з соломою – вищу температуру плавлення золи (1050-1200 °С, що є близьким до деревної біомаси) і менший вміст хлору (0,2% проти 0,4-0,75% у «жовтій» соломі).

Проведені дослідження показують, що для заготівлі стебел кукурудзи в умовах України найбільш ефективною є трипрохідна система із отриманням великих прямокутних тюків. При виході біомаси 3,5 т/га (суха речовина) і ціні продажу тюків 30 євро/т с.р. (з ПДВ) простий термін окупності такої діяльності складає близько 5 років (IRR 24%). При виході 5,0 т/га (суха речовина) простий термін окупності – 4 роки (IRR 35,5%) [2].

В подальшому рекомендується також досліджувати і розвивати технології заготівлі і енергетичного використання побічної продукції виробництва соняшнику.

Література:

1. Стратегія низьковуглецевого розвитку України до 2050 р.

https://mepr.gov.ua/files/docs/Proekt/LEDS_ua_last.pdf

2. Гелетуха Г.Г., Драгнєв С.В., Желєзна Т.А., Баштовий А.І. Аналіз виробництва пелет та брикетів з побічної продукції кукурудзи на зерно. Аналітична записка Біоенергетичної асоціації України № 23, 2020.

<https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/04/position-paper-uabio-23-ua.pdf>

УДК 620.952

ВПЛИВ ЗАСТОСУВАННЯ БІОЧАРУ ЯК ОРГАНІЧНОГО МЕЛІОРАНТУ НА ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ҐРУНТІВ ТА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ

Г.Г. Дідківська¹, З.В. Маслюкова², Є.Г. Новицька³

*Інститут відновлюваної енергетики НАН України,
вул. Гната Хоткевича, 20а, м. Київ, 02094, Україна,
тел./факс: +38(044)206-28-09,
e-mail: biomassa@ukr.net*

Розглянуто екологічні аспекти використання карбонізованої біомаси як органічного меліоранту. Показано, що внесення біочару в ґрунт благотворно впливає на поліпшення його фізичних властивостей.

Ключові слова: біочар, парникові гази, вуглекислий газ, оксид азоту.

THE INFLUENCE OF BIOCAR APPLICATION AS AN ORGANIC AMELIORANT ON IMPROVING SOIL QUALITY AND ENVIRONMENT

G. Didkivska¹, Z. Masliukova², E. Novitska³

*Institute of Renewable Energy, National Academy of Science
of Ukraine, 20a, Hnata Khotkevicha str., Kyiv, Ukraine, 02094*

The ecological aspects of the use of carbonized biomass as an organic ameliorant are considered. It is shown that the adding of biochar in the soil has a beneficial effect on improving its physical properties.

Keywords: biochar, greenhouse gases, carbon dioxide, nitric oxide.

ORCID: ¹0000-0002-8314-9606, ²0000-0001-4180-7930,
³0000-0001-9217-4099.

У результаті антропогенної діяльності в атмосфері нашої планети збільшується концентрація парникових газів, що негативно впливає на зміну клімату.

Істотно збільшують емісії парникових газів в атмосферу сільськогосподарські заходи (обробка ґрунтів, внесення меліорантів, мінеральних та органічних добрив, заорювання пожнивних залишків тощо) з порушенням аграрних технологій. Тому необхідно використовувати новаторські технології обробки ґрунтів, які сприяють зменшенню викидів парникових газів та зберігають сприятливі мікробіологічні та фізичні властивості ґрунтів.

Одним з перспективних способів підвищення якості ґрунтів, зменшення втрат азоту, а також зменшення викидів парникових газів є застосування біочару [1]. Біочар являє собою пористий вуглецевий адсорбент з розвиненою внутрішньою поверхнею, отриманий методом повільного піролізу рослинної біомаси при відносно низькій температурі (від 300 до 600 ° C), низькій швидкості нагріву сировини (до 100 °C/хв) та без доступу повітря.

Вплив використання біочару на підвищення якості ґрунтів.

Завдяки внесенню біочару в ґрунт поліпшується його фізичні властивості та фільтраційна здатність, що також сприяє створенню необхідного запасу вологи, доступної для рослин. Внесення біочару в ґрунт змінює на краще його агрегатний склад. Завдяки своїй нейтральній або лужній кислотності біочар здатний підвищувати рН кислих ґрунтів [2]. Це сприяє, по-перше, оптимізації доступності поживних речовин та їх використанню рослинами, а по-друге – зниженню вмісту токсичних елементів у ґрунті.

Взаємодія біочару з деякою фауною, наприклад дощовими черв'яками, покращує просторовий розподіл ґрунту і доступність поживних речовин. Це може привести до зростання споживання рослинами неорганічного азоту, що в результаті покращить їх продуктивність. Крім того, корисні мікроорганізми, які утворюються на внутрішній

поверхні біочару активно живлять сільськогосподарські культури, що підвищує їх врожайність.

Вплив використання біочару на зменшення викидів парникових газів у атмосферу.

Основними парниковими газами, що надходять з ґрунту, є:

- вуглекислий газ CO_2 ;
- оксид азоту N_2O .

Вуглекислий газ. Виділяється з сільськогосподарських ґрунтів при мікробіологічному розкладанні рослинного опаду та органічної речовини ґрунту.

При внесенні біочару в ґрунт він мінералізується набагато повільніше, ніж вихідна біомаса, що забезпечує довгострокову секвестрацію основного парникового газу CO_2 . Це може знизити зростання концентрації вуглекислого газу в атмосфері [3], а також пом'якшити наслідки викидів інших парникових газів [4].

Оксид азоту. Виділяється здебільшого внесеними в ґрунт органічними й неорганічними добривами. Тільки половина внесеного азоту вловлюється біомасою сільськогосподарських культур, решта втрачається шляхом вилугування та газоподібних втрат.

Біочар позитивно впливає на зниження емісії N_2O з ґрунтів. Внесення біочару поліпшує водний та повітряний режими ґрунту і знижує його високу щільність. Завдяки цьому з'являється велика кількість пор з низьким вмістом кисню, що сприяє зниженню процесу денітрифікації. Також вуглець, що міститься в біочарах і добривах, сприяє посиленому поглинанню азоту рослинами, що приводить до зниження доступного мінерального азоту для формування N_2O .

Висновок. Застосування біочару як органічного меліоранту поліпшує фізичні властивості ґрунту, що впливає на урожайність сільськогосподарських культур, а також сприяє зниженню емісії парникових газів.

Література:

1. Ajayi A.E. Modification of chemical and hydrophysical properties of two texturally differentiated soils due to varying magnitudes of added biochar / A.E. Ajayi, R. Horn // Soil and Tillage Research. 2016. – Vol. 164. – P. 34 – 44. – doi: 10.1016/j.still.2016.01.01.
2. Литвинович А.В. Мелиоративные свойства и удобрительная ценность 137 различных по размеру фракций биоугля (по данным лабораторных экспериментов) / А.А.М. Хаммам, А.В. Лаврищев, О.Ю. Павлова // Агрохимия. – 2016, – № 9. – С. 46–53.
3. Sohi S. A. Review of biochar and its use and function in soil / S. Sohi, E. Krull, E. Lopez-Capel, R. Bol // Advances in Agronomy. 2010. – Vol. 105. – P. 47–82. – doi: 10.1016/S0065-2113(10)05002-9.
4. Серия руководств по TNA. Технологии для смягчения климата, сельскохозяйственный сектор. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://tech-action.unepdtu.org/wp-content/uploads/sites/2/2019/06/5-technologies-for-climate-change-mitigation-agriculture-russian-final-2.pdf>.

УДК 662.7:661.9

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ГАЗИФІКАЦІЇ ТВЕРДИХ ВІДХОДІВ АГРОПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

В.М. Чмель¹, І.П. Новікова²

*Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Марії
Капніст, 2а, м. Київ, 03052, Україна,
тел.: +38(066)780-00-07, +38(044)453-28-65,
e-mail: chmel.valerii@gmail.com*

*У роботі наведені результати досліджень
газифікації твердих відходів агропромислових
підприємств з метою використання їх як
альтернативного палива.*

Ключові слова: *тверді відходи, газ, газифікація.*

RESEARCH OF THE PROCESS OF GASIFICATION OF SOLID WASTE OF AGRICULTURAL ENTERPRISES.

V.N. Chmel¹, I.P. Novikova²

*Institute of Engineering Thermophysics of National Academy
of Science of Ukraine, 2a Marii Kapnist str., Kyiv, Ukraine,
03052, e-mail: chmel.valerii@gmail.com*

*The paper presents the results of research gasification a
solid waste of agro-industrial enterprises, for use as an
alternative fuel.*

Keywords: *solid waste, gas, gasification.*

ORCID: ¹0000-0003-1394-7239, ²0000-0001-9612-286X.

В Україні є велика кількість відходів переробки продуктів сільського господарства і деревини, які складають так звану біомасу і забруднюють довкілля, але, завдяки їх паливним особливостям вони можуть бути

використані як альтернативне паливо в промисловій енергетиці [1].

Недоліки у біомаси практично ті самі, що й у низькоякісного низькорекційного вугілля: невисока теплота згоряння, а вміст води може бути високий (більше 60 %) [2]. Це значно ускладнює процес її спалювання.

Одним зі способів ефективного використання відходів є повна їх газифікація: отримання паливного газу та наступне його спалювання в топці котла.

При проведенні експериментальних досліджень використовували такі агропромислові відходи: послід + солома, послід + лушпиння соняшника, сухий гранульований продукт, торф, костра льону, гранули з лушпиння соняшника, гранули з деревини. Вони відрізняються за складом і, відповідно, густиною. Але вони як біомаса мають майже однаковий елементний склад, подібний до елементного складу деревини.

Експериментальна установка (рис. 1), на якій проводились дослідження процесу газифікації твердих

Рис.1. Експериментальна установка

відходів агропромислових підприємств складається з таких головних елементів: 1 – повітряний компресор; 2 – колосникова коробка з запальним пристроєм та колосником – 3; 4 – шахта газифікації, яка виконана з кварцової трубки; 5 – стабілізатор горіння газів газифікації та зонти – 6, для видалення продуктів згоряння газів газифікації.

Працює установка таким чином. В шахту з гори завантажуються агропромислові відходи до рівня 150 або 250 мм, залежно від мети дослідів. У запальний пристрій колосникової

коробки вкладається просочена рідким паливом ганчірка. Після її підпалювання сірником, включається повітряний компресор, і повітря при малому перепаді тиску подається в колосникову коробку. Після займання агропромислових відходів на колосниковій решітці й досягнення сталого процесу горіння, встановлюється необхідний перепад тиску повітря, і проводять експериментальні дослідження.

Рис. 2. Зміна температури в шарі гранул з лушпиння соняшника при їх газифікації

Після отримання в шахті газів газифікації, їх підпалюють на виході з шахти з метою знешкодження. Виміри необхідних параметрів та відбір необхідних проб здійснюють за допомогою зондів, які вводять в шахту. Зміна температури в шахті газифікації відповідала прямому газогенераторному процесу (рис. 2).

Таблиця 1. Склад сухого газу, отриманого при газифікації різних агропромислових відходів

№ з/п	Назва	Склад газу					
		O ₂ , %	CO ₂ , %	CO, %	H ₂ , %	CH ₄ , %	N ₂ , %
1	Гранули з лушпиння соняшника	2,3	7,5	26,8	15,0	0,3	48,1
2	Послід + лушпиння соняшника	3,8	7,1	23,1	13,4	0,8	51,8
3	Гранули деревини	6,3	5,5	22,3	11,7	0,2	54,0
4	Торф	5,2	7,2	18,5	9,7	0,9	58,5

За результатами дослідів визначено залежність висоти зон – кисневої та затисненого шару – від коефіцієнта надлишку повітря в зоні газифікації та вплив висоти шару палива на склад генераторного газу.

Отриманий газ при газифікації різних агропромислових відходів за складом горючих газів і їх вмістом майже однаковий (табл. 1). Це пояснюється тим, що вони як біомаса мають майже однаковий елементний склад, подібний до елементного складу деревини.

Завдяки високому вмісту CO та H₂ в газах газифікації агропромислових відходів вони мають теплоту згоряння, яка дозволяє залучити їх в паливно-енергетичний баланс для заміщення частки традиційних видів палива.

За результатами проведених досліджень можна зробити такі висновки:

1. Під час дослідження процесу газифікації різних агропромислових відходів при реалізації прямого газогенераторного процесу визначено залежність висоти зон – кисневої та затисненого шару – від коефіцієнта надлишку повітря в зоні газифікації та вплив висоти шару палива на склад генераторного газу.

2. Отримані в результаті досліджень газифікації агропромислових відходів горючі гази за своїм складом та теплотою згоряння дозволяють замінити в паливно-енергетичному балансі підприємств природний газ.

Література:

1. В.Н. Чмель. Использование биомассы в качестве альтернативного топлива. Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» // Альтернативная энергетика и экология. – 2012. – № 08 (112) – С. 60–65. – ISSN 1608-8298
2. Чмель В.М., Новікова І.П. Дослідження паливних характеристик відходів біомаси // Відновлювана енергетика. 2006, №4 (7) – с. 107–113.

УДК 579.222

**НАКОПИЧЕННЯ БУТАНОЛУ ШТАМАМИ-
ПРОДУЦЕНТАМИ НА ВІДХОДАХ ЛІГНОЦЕЛЮЛОЗНОЇ
СИРОВИНИ**

**О.О. Тігунова¹, В.В. Братішко^{2*}, Г.С. Андріяш³,
С.М. Шульга⁴**

*ДУ «Інститут харчової біотехнології та геноміки» НАН
України, вул. Осиповського, 2а, м. Київ, 04123, Україна,
тел.+38044 4344577; , e-mail:Shulga5@i.ua*

**Національний університет біоресурсів та
природокористування України, вул. Героїв Оборони, 15,
м. Київ, Україна, 03041*

*У роботі наведено результати дослідження
накопичення бутанолу при культивуванні продуцентів
бутанолу на різних субстратах.*

Ключові слова: *бутанол, лігноцелюлозна сировина,
культивування, відходи.*

**BUTANOL ACCUMULATION BY STRAIN-PRODUCERS ON
LIGNOCELLULOSE SUBSTRATES**

O.Tigunova¹, V. Bratishko^{2*}, G. Andriiash³, S. Shulga⁴
*SE "Institute of Food Biotechnology and Genomics" NAS of
Ukraine, 2a Osypovskogo st., Kyiv, 04123, Ukraine, tel.
+380444344577; e-mail:Shulga5@i.ua*

*National University of Life and Environmental Sciences of
Ukraine, 15 Heroyiv Oborony st., Kiev, 03041, Ukraine.*

*The paper presents the results of a study of the
accumulation of butanol during the cultivation of butanol
producers on varieties substrates.*

Keywords: *butanol, lignocelluloses substrates,
cultivation, waste.*

ORCID: ¹0000-0002-1041-5723, ²0000-0001-8003-5016,
³0000-0001-7647-4091, ⁴0000-0003-1080-8583.

Відомо, що основним макрокомпонентом багатьох відходів сільського господарства та деревообробної промисловості є лігноцелюлоза. Хоча частина відходів утилізується (використовується як паливо), значна кількість залишкової біомаси потенційно може бути перероблена на різноманітну продукцію, зокрема на біопаливо [1]. Біоконверсія лігноцелюлозних відходів – істотний внесок у подолання багатьох екологічних та економічних проблем і підґрунтя для створення нових видів біопалива [2, 3].

Мета даної роботи було вивчити накопичення бутанолу при культивуванні штамів-продуцентів на альтернативних субстратах – лігноцелюлозних відходах.

Для досліджень використовували штам-продуцент бутанолу *Clostridium sp.* IMB B-7570 (IFBG C6H 5M) з «Колекції штамів мікроорганізмів та ліній рослин для сільськогосподарської та промислової біотехнології» ДУ «Інститут харчової біотехнології та геноміки НАН України»; та субстрати, які відносили до лігноцелюлозних відходів (солома ріпаку, сої, пшениці, дроговидного проса, тирса різних порід дерев, скоп, опале листя).

Показано, що найбільше накопичення бутанолу (2,3 г/л) було при використанні подрібненої біомаси ріпаку як субстрату (штам *Clostridium sp.* IMB B-7570), при цьому ацетон і етанол були присутні у незначній кількості (0,5 і 0,1 г/л відповідно). Показано, що культура *Clostridium sp.* IMB B-7570 використовувала усі лігноцелюлозні відходи як субстрат, і визначено накопичення бутанолу на необроблених субстратах.

Оброблення сировини за допомогою кислотного гідролізу практично не впливало на накопичення розчинників у процесі ферментації. Лужна та лужно-ензиматична попередня підготовка сировини знижувала накопичення бутанолу в культуральній рідині в порівнянні з використанням необробленої сировини. Найбільше

накопичення бутанолу було отримано при попередній кислотно-ензиматичній обробці біомаси ріпаку та становило 2,7 г/л у порівнянні з необробленою біомасою – 1,7 г/л.

Оптимізація технологічних параметрів культивування з урахуванням попередньої підготовки субстрату дала змогу підвищити накопичення цільового продукту на 50%.

Література:

1. *Malherbe S., Cloete T.E.* Lignocellulose biodegradation: fundamentals and applications: A review. *Environ Sci Biotechnol* – 2003. – 1. – p. 105–114.
2. *Adegboye M..F, Ojuederie O.B., Talia P.M., Babalola O.O.* Bioprospecting of microbial strains for biofuel production: metabolic engineering, applications, and challenges. *Biotechnol Biofuels* – 2021. – 14 (1). doi:10.1186/s13068-020-01853-2
3. *Tigunova O.O., Kamenskyh D.S., Tkachenko T.V., Yevdokymenko V A., Kashkovskiy V.I., Rakhmetov D.B., Blume Y.B., Shulga S.M.* Biobutanol Production from Plant Biomass. *Open Agriculture Journal*. – 2020. – 14. – 187–197. DOI: 10.2174/1874331502014010187

УДК 579.222

**ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ ЗБЕРІГАННЯ НА
НАКОПИЧЕННЯ БУТАНОЛУ ЛІОФІЛІЗОВАНИМ
ШТАМОМ-ПРОДУЦЕНТОМ**

**О.О. Тігунова¹, Д.Б. Рахметов^{2*}, Г.С. Андріяш³,
С.М. Шульга⁴**

*ДУ «Інститут харчової біотехнології та геноміки»
НАН України, вул. Осиповського, 2а, м. Київ, 04123,
Україна, тел.+38044 4344577; , e-mail:Shulga5@i.ua*

**Національний ботанічний сад імені М.М.Гришка
НАН України, вул. Тимірязєвська, 1, м. Київ, 01014, Україна*

*У роботі наведено результати дослідження
накопичення бутанолу при культивуванні ліофілізованого
штаму після зберігання на незерновій біомасі чотирьох
сортів сорго цукрового (*Sorghum saccharatum*) як
субстрату.*

***Ключові слова:** бутанол, сорго, незернова біомаса,
ліофілізація.*

**EFFECT OF STROCAGE TEMPERATURE ON
BUTANOL ACCUMULATION BY PRODUCER-STAIN**

**O.Tigunova¹, D. Rakhmetov^{2*}, G. Andriiash³,
S. Shulga⁴**

*SE "Institute of Food Biotechnology and Genomics" NAS
of Ukraine, 2a Osypovskogo st., Kyiv, 04123, Ukraine,
tel. +380444344577; e-mail:Shulga5@i.ua*

*M.M. Gryshko National Botanic Garden NAS of Ukraine,
1 Tymiryzhevskaya st., Kyev, 01014, Ukraine.*

*The paper presents the results of a study of the accumulation of butanol during the cultivation of lyophilized culture on non-grain biomass of 4 varieties of sugar sorghum (*Sorghum saccharatum*) as a substrate.*

Key words: *butanol, non-grain biomass, lyophilization*

ORCID: ¹0000-0002-1041-5723, ²0000-0001-7260-3263,
³0000-0001-7647-40-91, ⁴0000-0003-1080-8583.

Однією з основних проблем колекцій мікроорганізмів є збереження їхньої активності [1]. При зберіганні на штучних поживних середовищах мікроорганізми знижують або втрачають свої фізіологічні та ферментативні властивості й навіть гинуть, [2, 3].

даної роботи було визначити накопичення бутанола ліофілізованим штамом після зберігання при культивуванні на незерновій біомасі чотирьох сортів сорго цукрового (*Sorghum saccharatum*) як субстрату.

Для досліджень використовували штам-продуцент бутанолу *Clostridium* sp. IMB B-7570 (IFBG C6H 5M) з «Колекції штамів мікроорганізмів та ліній рослин для сільськогосподарської та промислової біотехнології» ДУ «Інститут харчової біотехнології та геноміки НАН України» та біомасу чотирьох сортів цукрового сорго (Національний ботанічний сад ім. М.М. Гришка НАН України). Наявність етанолу, ацетону та бутанолу в культуральній рідині визначали за допомогою газового хроматографа з полум'яно-іонізаційним детектором. Використовували набивну колонку довжиною 3 м, фаза – карбовакс 1500 на хроматоні N-A-W-DMSC (0,20–0,25 мм). Температура колонки 60±2 °C, випарювача – 160±5 °C. Співвідношення потоків азот–водень–повітря 1:1:10.

Температурні умови зберігання ліофілізованих штамів мікроорганізмів впливають на їхню активність. Підвищення температури зберігання культур, впливає на кількість життєздатних мікроорганізмів та їх продуктивність.

Зберігання зразків ліофілізованих бактерій протягом одного місяця за температури 4 °C практично не впливало на кількість життєздатних клітин, проте, з підвищенням температури зберігання кількість клітин поступово знижувалась. За температури 30 °C втрачалось приблизно 40 % колонієутворювальних одиниць, що свідчило про відмирання бактерій.

Показано, що зберігання ліофілізованих мікроорганізмів за температури 4 °C протягом шести місяців практично не впливало на накопичення бутанолу в культуральній рідині.

Література:

1. *Tigunova O.O., Beyko N.E., Andriiash G.S., Priyomov S.I., Shulga S.M.* Lyophilization effect on productivity of butanol-producing strain. *Biotechnol. Acta.* – 2016. – 9 (5). – p. 67–75
2. *Heba M.* Lyophilized probiotic lactic acid bacteria viability in potato chips and its impact on oil oxidation. *Foods.* – 2020. – 9 (586). – p. 1–12.
3. *Grzegorzczuk, M., Kancelista, A., Łaba, W., Piegza M., Witkowska D.* The effect of lyophilization and storage time on the survival rate and hydrolytic activity of *Trichoderma* strains. *Folia Microbiol.* – 2018. – 63. – 433–441

УДК 579.222

**НАКОПИЧЕННЯ БУТАНОЛУ ШТАМАМИ-
ПРОДУЦЕНТАМИ БУТАНОЛУ ПРИ ВИКОРИСТАННІ
ЯБЛУЧНИХ ВИЧАВОК**

О.О. Тігунова¹, Г.С. Андріяш², С.М. Шульга³

*ДУ «Інститут харчової біотехнології та геноміки»
НАН України, вул. Осиповського, 2а, м. Київ, 04123,
Україна, тел.+38044 4344577; , e-mail:Shulga5@i.ua*

*У роботі наведено результати дослідження
накопичення бутанолу при культивуванні штамів-
продуцентів на яблучних вичавках.*

Ключові слова: *бутанол, яблучні вичавки,
культивування*

**ACCUMULATION OF BUTANOL BY BUTANOL-
PRODUCING STRAINS ON APPLE POMACE**

O.Tigunova¹, G. Andriiash², S. Shulga³

*SE "Institute of Food Biotechnology and Genomics" NAS
of Ukraine, 2a Osypovskogo st., Kyiv, 04123, Ukraine, tel.
+380444344577; e-mail:Shulga5@i.ua*

*The paper presents the results of a study of the
accumulation of butanol during the cultivation of culture-
producers on apple pomace.*

Keywords: *butanol, apple pomace, cultivation.*

ORCID: ¹0000-0002-1041-5723, ²0000-0001-7647-4091,
³0000-0003-1080-8583.

Відходи рослинного походження та відходи переробки сільськогосподарської сировини, які щорічно утворюються в значних об'ємах, негативно впливають на стан навколишнього середовища. Проблеми їх подальшого використання або утилізації знайшли відображення в прийнятій Національній стратегії управління відходами в Україні до 2030 року [1, 2]. Переробка вторинної сировини рослинного походження і спосіб вирішення екологічної проблеми, пов'язаної з забрудненням навколишнього середовища, – нагальне й актуальне завдання в Україні [3].

Метою даної роботи було вивчити накопичення бутанолу штамами-продуцентами при використанні яблучних вичавок як субстрату.

Для досліджень використовували штами-продуценти бутанолу *Clostridium sp. IMB B-7570* та *IFBG C7P* з «Колекції штамів мікроорганізмів та ліній рослин для сільськогосподарської та промислової біотехнології» ДУ «Інститут харчової біотехнології та геноміки НАН України» та біомасу вичавок (загальна вологість 4 %) після виробництва яблучного соку.

Для культивування використовували середовище, яке містило 25 г/л яблучних вичавок і водопровідну воду. Середовище стерилізували автоклавуванням у режимі 0,5 атм протягом 30 хв.

Визначено відсотковий склад компонентів, які входили до складу яблучних вичавок, та показано, що біомаса мала такий склад (%): цукри – 39,2; целюлоза –

16,6; лігнін – 12,83; зола – 2,6; волога – 4,17; пектин – 11,9; білок – 4,5; віск – 1,7; лігноцеллюлози – 6,5. Отримані дані свідчать, що яблучні вичавки є перспективним субстратом для використання, містять високий відсоток цукрів та низкий відсоток лігніну, який не ферментується.

Культивування проводили при використанні гідрокислотних затворів, штамів продуцентів *Clostridium sp.* IMB B-7570 та IFBG C7P за температури 35 °C; середовищем слугували яблучні вичавки. Культивування тривало 72 год. Після закінчення процесу було визначено, що в культуральній рідині накопичувалось 1 г/л бутанолу (при використанні *Clostridium sp.* IMB B-7570) та 3 г/л етанолу (при використанні *Clostridium sp.* IFBG C7P), а інші спирти були присутні у слідовій кількості. Культура *Clostridium sp.* IFBG C7P при використанні яблучних вичавок пріоритетно накопичувала в основному етанол. Було проведено культивування також і на подрібнених вичавках. Показано, що при цьому в культуральній рідині накопичувалось 2 г/л бутанолу в разі використання штаму *Clostridium sp.* IMB B-7570 та 5 г/л етанолу в разі використання *Clostridium sp.* IFBG C7P, інші спирти були присутні у слідовій кількості. З отриманих даних видно, що підвищення накопичення розчинників відбувається при використанні подрібненого субстрату. Результати дослідження можуть бути використані в подальшому для розроблення технології біопалива при використанні відходів переробки яблук в процесі отримання яблучного соку.

Література:

1. *Shulga S.M., Tigunova O.O., Blume Ya.B.* Lignocellulose as an alternative source for obtaining of biobutanol. *Biotechnol. Acta.* – 2013. – 6(2). – p.9–20.
2. Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 року. Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2017 р. № 820-р. URL <https://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-p> (дата звернення 15.01.2020).
3. *Wijaya Ch. J., Ismadji S., Gunawan S.* Review A Review of Lignocellulosic-Derived Nanoparticles for Drug Delivery Applications: Lignin Nanoparticles, Xylan Nanoparticles, and Cellulose Nanocrystals. *Molecules* – 2021. – 26 (676). – p. 1–22
<https://doi.org/10.3390/molecules26030676>

УДК662.767.2:662.636+633.174.1

БАГАСА ЦУКРОВОГО СОРГО ЯК СИРОВИНА ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ

**Н.А. Савицька¹, Т.С. Іванова^{2*}, Г.І. Кулічкова²,
О.І. Володько², С.П. Циганков²**

¹ – Навчально-науковий центр «Інститут біології та медицини» Київського національного університету імені Тараса Шевченка, просп. Акад. Глушкова, 2, м. Київ, 02000, тел.: +38(044)521-35-98

² – Державна установа «Інститут харчової біотехнології та геноміки Національної академії наук України», вул. Осиповського, 2а, м. Київ, 04123, тел.: +38(044)462-72-58
*e-mail: ivanova_ts@nas.gov.ua

Цукрове сорго – це енергетична рослина, що має високий вміст цукрів, швидко росте та добре пристосовується до посушливих умов, коливання температур, засолених та кислих ґрунтів. Пропонується застосування багаси сорго як залишку після вичавлювання соку зі стебел для оптимізації поживних речовин та іммобілізації мікроорганізмів при анаеробному ферментуванні стічних вод бурякової вінаси.

Ключові слова: біогаз, цукрове сорго, багаса, енергетична культура, бурякова вінаса.

SWEET SORGHUM BAGASSE AS A SUBSTRATE FOR BIOGAS PRODUCTION

**N.A. Savytska¹, T.S. Ivanova², G.I. Kulichkova²,
O.I. Volodko², S.P. Tsygankov²**

¹ – Educational and Scientific Centre "Institute of Biology and Medicine" at Taras Shevchenko National Kyiv University

² – *Institute of Food Biotechnology and Genomics of the NAS of Ukraine*

Sweet sorghum is a sugar-rich, fast-growing, highly resistant to drought, temperature fluctuations, salinity and alkalinity of the soils energy crop. The present work proposes sweet sorghum bagasse application as a left-over after squeezing juice from stalks for the balancing of nutrient composition and immobilization of microorganisms in anaerobic fermentation of beet vinasse wastewater.

Key words: *biogas, sweet sorghum, bagasse, energy crops, beet vinasse.*

ORCID: 0000-0001-8264-2303, 0000-0002-5219-8034, 0000-0001-6909-391X, 0000-0003-1465-9271, 0000-0002-4166-4124.

Цукрове сорго (*Sorghum saccharatum* (L.) Moench) – це трав'яниста рослина родини злакових, стебла якої містять сік, що містить 12–20 % цукрів [1]. Ця рослина добре пристосовується до посушливих умов, коливання температур, засолених та кислих ґрунтів, а тому вирощується як енергетична культура для виробництва біоетанолу та біогазу, в тому числі на маргінальних землях [2].

Однією з основних тенденцій у розгортанні екологічно безпечного виробництва продукції рослинництва є розвиток комплексних технологій з використанням процесів метанового бродіння при утилізації біомаси, в результаті якого утворюється відновлюване паливо та джерело енергії – біогаз [3]. Зауважимо, що промисловий розвиток технологій анаеробного зброджування розпочався як процес очищення стічних вод [4]. Зокрема, бурякова вінаса – це залишок після дистиляції біоетанолу із меляси цукрових буряків, що має високе хімічне споживання кисню та забруднює навколишнє середовище леткими

речовинами з неприємним запахом. Процес анаеробного очищення стічних вод вінаси відбувається досить швидко, проте є нестабільним через високий вміст Нітрогену та Сульфуру, низьке співвідношення Карбону до Нітрогену, недостатній вміст макро- та мікроелементів, а також через вимивання з біореактора метаногенних організмів. Для подолання бар'єрів у анаеробному очищенні бурякової вінаси пропонується додавання ко-субстрату – подрібненої багаси цукрового сорго, що утворюється після відтискання соку зі стебел.

Насіння цукрового сорго сорту Ботанічний було отримано з Національного ботанічного саду ім. М.М. Гришка НАН України. Рослини вирощувалися у Шосткінському районі Сумської обл., у географічній зоні Полісся, на дерново-підзолистому ґрунті. Сік висушених та очищених від листя стебел вичавлювали на роликовому пресі та використовували для отримання біоетанолу, а багасу подрібнювали та зберігали при кімнатній температурі.

Вологість багаси сорго визначали висушуванням наважки при температурі 105 °С у сушильній шафі до постійної маси, зольність досліджували шляхом спалювання у муфельній печі при температурі 550 °С до повного озолення з наступним визначенням кількості неспаленого залишку.

Вміст сухих речовин (СР) у багасі сорго становив $90,52 \pm 0,09 \%$, на 4 % більше, ніж у стеблах сорго. Зольність багаси сорго була також вищою (у 1,5 раза), ніж стебел сорго і складала $2,67 \pm 0,14 \%$ СР. Отже, багаса сорго має досить високий вміст органічних СР (близько 88 %), які переважно складаються з лігноцелюлози. На відміну від багаси сорго, бурякова вінаса містить 10–13 % СР. Слід зазначити, що додавання лігноцелюлозного ко-субстрату до вінаси вимагає ретельного подрібнення та перемішування. Разом з тим це призводить до іммобілізації метаногенних мікроорганізмів на твердих часточках субстрату, що збільшує час утримання продуцентів біогазу у ферментері. Додатково, багаса сорго є джерелом мікро- та

макроелементів, а також оптимізує співвідношення C/N. За розрахунками, при вхідних компонентах 500 т/добу вінаси та 30 т/добу подрібненої багаси сорго утворюється 2500 м³ біогазу та 510 т біодобрива за добу.

Література:

1. Khalil S.R.A., Abdelhafez A.A., Amer E.A.M. Evaluation of bioethanol production from juice and bagasse of some sweet sorghum varieties. *Ann AgricSci* 2015. 60 (2): 317–324.
2. Volodko O.I., Ivanova T.S., Kulichkova G.I., Lukashevych K.M., Blume Ya.B., Tsygankov S.P. Fermentation of sweet sorghum syrup under reduced pressure for bioethanol production. *Open Agric J* 2020. 14: 235–245.
3. Енергетична стратегія України на період до 2035 року "Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність". Додаток до розпорядження Кабінету міністрів України від 18 серпня 2017 р. № 605-р, м. Київ. – 73 с.
4. Kulichkova G.I., Ivanova T.S., Köttner M., Volodko O.I., Spivak S.I., Tsygankov S.P., BlumeYa.B. Plant feedstocks and their biogas production potentials. *Open AgricJ* 2020. 14: 219–234.

УДК 661.097.36

ОЧИЩЕННЯ БІОГАЗУ ВІД СІРКОВОДНЮ ХІНГІДРОННИМ МЕТОДОМ

А.В. Слюзар, канд. техн.наук, доцент
Національний університет «Львівська політехніка»,
Кафедра хімії і технології неорганічних речовин,
вул. Ст. Бандери, 12, м. Львів, Україна, 79013,
тел.: +38(067)673-05-57, e-mail: Andrii.V.Sliuzar@lpnu.ua

Описано технологію очищення біогазу від сірководню на АТ «Гудвеллі Україна» та показані недоліки діючого методу біологічної очистки. Рекомендовано застосовувати хінгідронний метод очищення. Запропоновано основне обладнання процесу.

Ключові слова: біогаз, очищення, сірководень, хінгідронний каталізатор, дрібнодисперсна сірка.

BIOGAS PURIFICATION FROM HYDROGEN SULFIDE BY QUINHYDRONE METHOD

A.V. Slyuzar, PhD, associate professor,
Lviv Polytechnic National University, Department of Chemistry
and Technology of Inorganic Substances,
S. Bandera str., 12, Lviv, Ukraine, 79013,
tel.: +38(067)673-05-57, e-mail: Andrii.V.Sliuzar@lpnu.ua

The technology of biogas purification from hydrogen sulfide at the JSC "Goodvalley Ukraine" is described and the disadvantages of the biological treatment method are shown. It is recommended to use a quinhydrone purification method. The main equipment of the process is offered.

Keywords: biogas, purification, hydrogen sulfide, quinhydrone catalyst, fine sulfur.

ORCID: 0000-0003-4136-4030.

Біогаз, який одержують анаеробним бродінням органічної маси, є одним з перспективних джерел енергії в Європі. Ріст біоенергетичної галузі зумовлює розвиток нових технологій очищення біогазів і їх застосування.

Біогаз, крім метану (50...70 %) і вуглекислого газу (45...30 %), містить домішки аміаку, сірководню, азоту й кисню. Його використовують в основному для спалювання в котлах та двигунах внутрішнього згоряння з одержанням теплової та електричної енергії. Очищенням біогазу від CO_2 одержують біометан – паливо для автомобілів, паливних елементів тощо. Тобто необхідність і ступінь очищення біогазу зумовлена переважно забезпеченням відповідності вимогам до паливних газів, що застосовується у тому чи іншому обладнанні (двигунах внутрішнього згоряння, котлах, паливних елементах тощо). Найнижчі вимоги до чистоти біогазу є при застосуванні його для спалення в котлах, а найсуворіші – при подачі в мережу паливного газу та при прямому використанні як моторного палива.

На біогазовому заводі ТзОВ «Гудвеллі Україна» (Івано-Франківська обл.) переробляють 130...150 тис. м^3 гноївки (свині), 15 тис. т силосу (кукурудза) і 600 т гною (корови) в рік шляхом мезофільної ферментації з одержанням ~ 12 тис. $\text{м}^3/\text{добу}$ біогазу (480...500 $\text{м}^3/\text{год}$) і біоорганічного добрива. Очищений біогаз подають у двигун внутрішнього згоряння для виробництва електроенергії. Очищення біогазу від сірководню здійснюють біологічним методом у волокнистому біофільтрі висотою 8 м і діаметром 2 м. Неочищений біогаз після ферментаторів містить до 2500 ppm сірководню. На виході з біофільтра біогаз містить, % об. (дані на 03 серпня 2017 р.): 52,3 метану, 41...43 вуглекислого газу, решта – азот, кисень, сірководень.

Відомо, що основними недоліками біологічних методів очищення газів від сірководню є: низька інтенсивність очищення газів, необхідність дозування кисню (до 3 % об.) у паливний газ та ретельного

дотримання технологічних умов процесу для нормального функціонування бактерій. Кількість сімей бактерій, які зростають на волокнах, на підприємстві контролюють періодичним їх зрошуванням і змиванням рідкою фазою з ферментатора. Очевидно, що коливання вмісту сірководню в очищеному біогазі і його збільшення до 314 ppm (попри заявлені 0...100 ppm), зумовлене зміною умов «нормального життя» бактерій.

Для цього підприємства розроблено проєкт очищення біогазу (12 000 м³/добу) від сірководню хінгідронним методом. Метод полягає у хемосорбції сірководню з газу карбонатним (содовим) розчином і рідинно-фазному окисненні сірководню хінгідронним каталізатором до сірки. Для регенерації хінгідронного розчину (каталізатора) запропоновано напівелектрохімічний метод регенерації.

Згідно з розробленою технологією біогаз подають у нижню частину абсорбера, а на зрошення колони (у верхню частину абсорбера) – хінгідронний поглинальний розчин з вмістом, г/дм³: Na₂CO₃ – 20, хінгідрону – 20 і NaHCO₃ – 10. Очищений від сірководню газ направляють на виробництво електроенергії.

Насичений до концентрації сірководню 2...3 г/дм³ хінгідронний розчин направляють у трубний змішувач. Сюди подають також регенований розчин з електролізера. Під час змішування і транспортування двох розчинів відбувається окиснення хемосорбованого сірководню окисною формою хінгідронного каталізатора з утворенням сірки. Одержану сірку відділяють від поглинального розчину на фільтрі й подають на переробку, а розчин розділяють на два потоки направляють в електролізер з катіонообмінною мембраною. В анодному просторі електролізера хінгідронний каталізатор окиснюється на аноді (регенується). Регенований розчин з анодної зони направляють у змішувач. У катодній зоні електролізера на катоді відбувається розряд молекули води з одержанням газового водню і підключення хінгідронного розчину. Розчин повертають на хемосорбцію

сірководню в абсорбер. Газовий водень після охолодження подають на змішування з біогазом.

Сірка, яка є супутнім продуктом очищення, дрібнодисперсна (частинки розміром 1...10 мкм), і тому її варто переробляти до сільськогосподарських препаратів, наприклад фунгіциду «Сірка, 80 %, змочуючий порошок» ТУ 113-04-327-90 чи «Сірка, колоїдна паста» ТУ 113-04-322-90.

Розроблена технологія є простою та високоефективною. Для очищення газу запропоновано використовувати барботажний абсорбер з провальними тарілками (діаметр 0,6 м і висота 5 м), а для регенерації розчину – трубний змішувач і мембранний електролізер.

УДК 606:621.3+ 620.951/952+574.46

ВИКОРИСТАННЯ БІОТЕХНОЛОГІЇ РОСЛИННО-МІКРОБНИХ ПАЛИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ДЛЯ ОТРИМАННЯ БІОЕЛЕКТРИКИ

І.Б. Русин,

*Кафедра екології та збалансованого
природокористування, Інститут сталого розвитку імені
В'ячеслава Чорновола, Національний університет
«Львівська політехніка», вул. Степана Бандери, 12,
м. Львів, 79013, Україна
e-mail: rib7@i.ua*

*Проаналізовано суть, сучасний стан, проблематику
та перспективи технології рослинно-мікробних паливних
елементів як інноваційного джерела відновлювальної
енергетики.*

Ключові слова: біоелектрика, відновлювальна
енергія, електродні системи, рослини, мікроорганізми.

BIOTECHNOLOGY OF PLANT-MICROBIAL FUEL ELEMENTS TO OBTAIN BIOELECTRICITY

I.B. Rusyn,

*Department of Ecology and Sustainable Environmental
Management, Viacheslav Chornovil Institute of Sustainable
Development, Lviv Polytechnic National University,
12, Stepan Bandera Str., Lviv, 79013, Ukraine,
e-mail: rib7@i.ua*

*The paper presents essence, current state, problems and
prospects of technology of plant-microbial fuel cells as an
innovative source of renewable energy.*

Keywords: bioelectricity, renewable energy, electrode
system, plant, microorganism.

ORCID: 0000-0002-6041-1245.

Біотехнологія рослинно-мікробних паливних елементів передбачає використання інноваційного типу біоенергетичних ресурсів. Дана технологія полягає в експлуатації живих рослин та зборі біоелектрики, яку продукують мікроорганізми, зосереджені в області кореневої системи рослин, стимульовані кореневою екскрецією органічних сполук, а також продуктами розкладу рослинних залишків. Біотехнологія рослинно-мікробних паливних елементів є потенційно енергоефективнішою, ніж спалювання біомаси або анаеробне розщеплення рослин аналогічної площі, і водночас безпечнішою для середовища, оскільки відсутні викиди токсичних та парникових газів, що є побічними продуктами експлуатації невідновлювальних джерел енергії. Єдиним втручанням в довкілля при цьому є інсталяція електродних систем у середовище, де розвиваються рослини: ґрунт чи заболочена територія. За розрахунками нідерландських науковців теоретичним максимумом рослинно-мікробної біотехнології є повне енергозабезпечення цілих оселищ, який можна буде досягнути за умови вдосконалення технології. 100 м² рослинності зможе забезпечити енергією цілий будинок, який споживає 2800 кВт*год на рік.

Проте на даному етапі розвитку технологія може слугувати поки що лише для низькоенергоспоживальних устаткувань, таких як світлодіодне освітлення, різного роду сенсорні системи, підзарядка радіо та мобільних телефонів. Основними проблемами, з якими стикається біотехнологія отримання біоелектрики з живих рослин та пов'язаних з ними прикореневих мікроорганізмів та які необхідно вирішити для її широкого впровадження, є загалом недостатня енергоефективність, оскільки теоретичний максимум технології поки що не досягнутий, вартість матеріалів та істотні сезонні втрати біоелектрики, оскільки під час посушливих періодів та суворих зим електропродуктивність знижується. Ефективність

функціонування електро-біосистеми залежить як від її технічних структурних компонентів, так і біологічних, а також, від зовнішніх факторів. Шляхами оптимізації технології рослинно-мікробних паливних елементів є розробка різних схем електродних систем з нових бюджетних матеріалів, дослідження нових видів стійких рослин та субстратів. Електродні системи є одними з найбільш важливих факторів роботи рослинно-мікробних паливних елементів. Нові електродні матеріали та їхня оптимальна конфігурація можуть суттєво підвищувати електропродуктивність рослинно-мікробних електро-біосистем.

Перші дослідження електропродуктивності природних екосистем були здійснені *in situ* безпосередньо на заболочених рисових плантаціях Японії та Індонезії, в заболочених лісах Південної Кароліни, США, а також, в лабораторних умовах із заболоченими рослинами. Вибір заболочених екосистем для застосування технології обумовлений їхньою аноксигенністю та високою електропровідністю. Масштаб заболочених місцевостей у світі є досить великим і складає близько 15–16 млн км², тому їхній потенціал як джерела біоелектрики становить значний інтерес.

Біоелектротехнологічні установки, встановлені в природних екосистемах, мають перспективи використання для живлення польових автономних систем моніторингу за екосистемами, для влаштування бездротових станцій «зеленого» туризму в природних парках з можливістю підзарядки приладів. Біоелектротехнологія рослинно-мікробних паливних елементів є важливим напрямом у розробці новітніх методів енергозбереження та відновлювальної енергетики.

Література:

1. Deng H., Chen Z., Zhao F. (2012). Energy from Plants and Microorganisms: Progress in Plant–Microbial Fuel Cells. *ChemSusChem*, 5, 1006–1011. doi: 10.1002/cssc.201100257
2. Strik, D. P. B. T. B., Hamelers, H. V. M., Snel, J. F. H., & Buisman, C. J. (2008). Green electricity production with living plants and bacteria in a fuel cell. *International Journal of Energy Research*, 32 (9), 870–876. <https://doi.org/10.1002/er.1397>
3. Nitisoravut, R., & Regmi, R. (2017). Plant microbial fuel cells: A promising biosystems engineering. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76, 81–89. doi: 10.1016/j.rser.2017.03.064
4. Rusyn, I. B., & Hamkalo, Kh. R. (2020). Electro-biosystems with Mosses on Green Roofs. *Environmental Research, Engineering and Management*, 76 (1), 20–31. doi: 10.5755/j01.erem.76.1.22212
5. Wetser, K. (2016). Electricity from wetlands: Technology assessment of the tubular Plant Microbial Fuel Cell with an integrated biocathode. Part two: PMFCs applied in wetlands. Wageningen: Wageningen University. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.10.006>

УДК 62–662:62-69

ВПЛИВ СКЛАДУ ПЕЛЕТ НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПАРОГЕНЕРАТОРА ДЕ-10-14

І.Г. Бутенко¹, О.В. Коломієць²

ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний
університет», м. Дніпро, ¹тел.: +38(097)922-85-80,
¹e-mail: asmeil77712@gmail.com, ²тел.: +38(067)998-74-62,
²e-mail: lenysik.kol.ev@gmail.com

У роботі показано перспективність перевodu парогенератора ДЕ-10-14 на пелетне паливо. Розраховано тепловий баланс парогенератора на базовому паливі до встановлення економайзера і після. Показано, що збільшення горючої складової в пелетах на 4 % веде за собою збільшення ККД на 1 %. Річна економія від перевodu парогенератора на пелети становить близько 1 млн грн на рік.

Ключові слова: парогенератор ДЕ-10-14, пелети, енергоефективність.

INFLUENCE OF PELLET COMPOSITION ON OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF DE-10-14 STEAM GENERATOR

I.G. Butenko¹, E.V. Kolomiyets²

SHEI «Ukrainian State University of Chemical Technology»,
Dnipro, ¹tel.: +38(097)922-85-80,
¹e-mail: asmeil77712@gmail.com, ²tel.: +38(067)998-74-62,
²e-mail: lenysik.kol.ev@gmail.com

This paper shows the prospects for the transfer of the steam generator DE-10-14 to cross-country fuel. The heat balance of the steam generator on the base fuel before and after the installation of the economizer is calculated. It is shown that an increase in the combustible component in

pellets by 4% leads to an increase in efficiency by 1%. The annual savings from the transfer of the steam generator to pellets is about UAH 1 million. for a year.

Keywords: DE-10-14 steam generator, pellets, energy efficiency.

ORCID: ¹0000-0002-6143-0472, ²0000-0002-3216-649X.

Для забезпечення технологічних процесів, а також опалювання промислових та комунальних об'єктів масово застосовуються парові котли малої та середньої продуктивності, такі як ДЕ-10-14. Переваги від використання альтернативних видів біопаливних матеріалів мають комплексний характер. По-перше, це вигідні технологічні властивості: висока об'ємна щільність, можливість повної автоматизації подачі палива в зону горіння, не вибухонебезпечні, не схильні до самозаймання і не розкладаються у відповідних умовах зберігання, можливість застосування існуючого обладнання без модернізації та мінімальний вогнетривкий залишок. По-друге, наявність ряду економічних переваг: порівняно низька ціна при високому рівні теплотворення, незначні площа зберігання і витрати на транспортування. Також велике значення має й екологічна сторона, яка відображена в застосуванні поновлюваного біопалива і скорочення рівня забруднення компонентів довкілля.

Метою даної роботи є вивчення впливу складу пелет на ККД і витрату палива парогенератора ДЕ-10-14.

Розрахунок згоряння палива та ККД здійснювався за нормативним методом [1]. Результати розрахунку при роботі на природному газу та базових пелетах наведено на рис. 1.

Рис. 1. Тепловий баланс парогенератора

ККД склало 73,42 %, а витрата палива – 0,407 кг/с; після установки економайзера ККД – 81,87 % а витрата палива – 0,367 кг/с, тобто 31 675,16 кг на добу. Природного газу витрачали 0,227 м³/с, тобто 19 612,8 м³ на добу. Хоча за обсягом пелет витрачається більше, але, враховуючи різницю в ціні (3300 грн за 1 т пелет і 8820 грн за 1000 м³ газу), річна економія від переведення парогенератора на пелети становить близько 1 млн грн на рік.

Оскільки в Україні не існує чітких вимог до складу пелет, то їхній склад і теплотворна здатність у різних виробників може змінюватись. Розрахункові ККД і витрата палива з урахуванням зміни елементного складу палива (табл. 1) наведено в табл.2.

Таблица 1. Елементний склад пелет

	C, %	H, %	N, %	O, %	S, %	A, %
Базові	51,3	5	0,6	42,3	-	0,8
Пелети 1	49,3	5	0,6	44,3	-	0,8
Пелети 2	53,3	6	0,6	39,3	-	0,8

Таблиця 2. Вплив складу пелет на ККД і витрату палива

Пелети	Без економайзера		З економайзером	
	ККД, %	Витрата палива, кг/с,	ККД, %	Витрата палива, кг/с
Базові	73,42	0,407	81,87	0,367
Пелети 1	73,03	0,417	81,32	0,374
Пелети 2	74,51	0,382	82,27	0,346

Як бачимо з табл. 2, збільшення горючої складової в пелетах на 4 % веде за собою збільшення ККД на 1 %.

Література:

1. Тепловой расчет промышленных парогенераторов / Под редакцией В.И. Частухина. - Киев: Вища школа, 1980. – 182 с.

УДК 620.95:34.096

НЕОБХІДНІСТЬ ПЕРЕОСМИСЛЕННЯ БАЗОВОГО ЗАКОНУ УКРАЇНИ «ПРО АЛЬТЕРНАТИВНІ ВИДИ ПАЛИВА»

М.І. Кобець

*Інститут відновлюваної енергетики НАН України
м. Київ, 02094, вул. Гната Хоткевича, 20а,
тел. +38 (098) 904-09-94, e-mail: kobets125@gmail.com*

Проведено критичний аналіз чинного Закону України «Про альтернативні види палива» №1391-VI від 21.05.2009 року. Обґрунтовано необхідність його заміни новим законом з урахуванням законодавчих змін у сфері регулювання відновлюваних джерел енергії в Європейському Союзі.

Ключові слова: *відновлювана енергетика, відновлювані / альтернативні види палива, законодавче забезпечення, термінологія та визначення.*

THE NEED TO RETHINK THE BASIC LAW OF UKRAINE "ON ALTERNATIVE FUELS"

M. Kobets

*Institute for Renewable Energy NAS of Ukraine
20a Hnata Hodkevicha str., 02094, Kyiv, Ukraine,
tel. +38 (098) 904-09-94, e-mail: kobets125@gmail.com*

A critical analysis of the current Law of Ukraine "On Alternative Fuels" №1391-VI of 21.05.2009. The necessity of its replacement by a new law taking into account legislative changes in the field of regulation of renewable energy sources in the European Union is substantiated.

Keywords: *renewable energy, renewable/alternative fuels, legislation, terminology and definitions.*

ORCID: 0000-0003-4635-3154.

Відсутність скоординованого, теоретично обґрунтованого і цілісного підходу до процесу вдосконалення законодавства не дає можливості налагодити впорядковану, послідовну і виважену державну політику в енергетичній сфері.

Важливою складовою якості законодавчих актів є дотримання єдності термінології, її несуперечливості й логічної впорядкованості, відповідності національним і міжнародним термінологічним стандартам. Порушення вимог щодо термінів та їх визначень у законодавчих документах спричиняє неузгодженість і невпорядкованість, призводить до нечіткості та неоднозначності у розумінні та застосуванні законодавчих приписів.

Потенційно небезпечним є також порушення правил побудови дефініцій термінів у законодавчих актах. Їхнє призначення полягає в тому, щоб через чітку й однозначну дефініцію певного спеціального поняття забезпечити його правильне розуміння і практичне використання, запобігти будь-яким хибним тлумаченням.

Аналіз чинної нормативно-правової бази свідчить про наявність різноманітних термінологічних вад у сучасному українському законодавстві через недотримання вимог щодо термінів та їх визначень, ігнорування елементарних правил формальної логіки в процесі побудови законодавчих дефініцій.

Деякі положення Закону не виконуються не лише тому, що не розроблені механізми їх виконання, а просто тому, що вони взагалі не мають сенсу. Як приклад, вимоги Ст. 8: «Суб'єкти господарювання, внаслідок діяльності яких утворюється біомаса, що використовується для виготовлення біопалива та біокомпонентів, зобов'язані вести облік такої біомаси в порядку, встановленому Кабінетом Міністрів України». По-перше, суб'єкт господарювання, внаслідок діяльності якого утворюється біомаса (зазвичай це сільгоспвиробник), не зобов'язаний

знати, з якою метою хтось скуповує в нього так звану біомас», а по-друге, за 12 років після прийняття Закону України Кабмін так і не спромігся розробити зазначений Порядок.

Чинний Закон України «Про альтернативні види палива» демонструє повне нерозуміння законодавцем, що є схеми підтримки виробництва відновлюваних видів палива, запровадження яких вимагають обидві редакції Директиви ЄС про відновлювані джерела енергії (2009 та 2018 року). Певний час в Україні існували податкові пільги на імпорт обладнання для виробництва біопалив (які наразі скасовані). Проте стаття 7 Закону містить таке положення: «До техніки, обладнання, устаткування, що використовуються для реконструкції існуючих та будівництва нових підприємств з виробництва біопалив та таких, що використовуються для виготовлення та реконструкції технічних і транспортних засобів з метою споживання біопалив, відносяться товари, які класифікуються за кодами УКТ ЗЕД 8402, 8403, 8404, 8405, 8406, 8416, 8417, 8419, 8422 40 00, 8423 20 00 00, 8423 30 00 00, 8423 81, 8423 82, 8423 89 00 00, 8423 90 00 00, 8514».

По перше, не можна такого роду преференції встановлювати саме Законом України, а по-друге – більшість з вказаних кодів УКТ ЗЕД не має жодного стосунку до виробництва біопалив. Для довідки, наприклад, код 8423, це - обладнання для зважування, а код 8514 це – електричні печі та камери.

УДК 338.28

ПОТЕНЦІАЛ І ЗАГРОЗИ ВИКОРИСТАННЯ БІОПАЛИВ ЯК РІДКИХ МОТОРНИХ ПАЛИВ

О.С. Кофанов, О.В. Кофанова

*Національний технічний університет України "Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"*
м. Київ, вул. Борщагівська, 115, 02000, Україна
тел. +38(044) 204-99-17,
e-mail: alexina555@gmail.com

Стаття присвячена дослідженню перспектив розвитку біоенергетики як напрямку для виробництва рідких моторних палив в Україні. Запропоновано удосконалену технологію отримання біодизельного палива за рахунок заміни звичайного лужного каталізатора на комплексний, що містить поверхнево-активні речовини.

Ключові слова: відновлювані джерела енергії, біопаливо, біоенергетика, енергія біомаси.

The article is devoted to the study of prospects for the development of bioenergy as a direction for the production of liquid motor fuels in Ukraine. An improved technology for obtaining biodiesel fuel by replacing a conventional alkaline catalyst with a complex one containing surfactants was proposed.

Keywords: renewable energy sources, biofuels, bioenergy, biomass energy.

ORCID: 0000-0003-2181-9288, 0000-0002-9851-6392.

Для України розвиток біоенергетики (БЕ) є одним із пріоритетних напрямків розвитку економіки країни, особливо враховуючи її значну залежність від імпорту енергоносіїв. БЕ охоплює різні напрямки економічної діяльності людини, які можуть значно відрізнятися один від

одного як технічними, так і екологічними, економічними та соціальними показниками. Міжнародні зобов'язання України щодо зменшення викидів парникових газів і, зокрема CO₂, а також ініціатива з глобального реагування на зміни клімату на планеті є вагомим підґрунтям для розвитку в нашій країні БЕ технологій [1, 2]. Однією з основних цілей Енергетичної стратегії України на період до 2035 року є скорочення споживання викопного (нафтового, традиційного, вуглеводневого) видів палив і перехід на альтернативні джерела енергії, у тому числі й в автотранспортному секторі.

У загальному випадку енергію з органічної сировини та органічних відходів виробництва можна отримати декількома способами, основними серед яких є фізичний, хімічний та мікробіологічний. Вважається, що одним з основних шляхів впровадження БЕ технологій в Україні є залучення іноземних інвесторів при, можливо, частковому фінансуванні БЕ проєктів державою [3].

Серед енергетичних культур найбільш відомими і широко вживаними є окремі види швидкоростучих дерев та багаторічних трав (зокрема, міскантус, шавнат тощо), а також однорічні трави, такі як сорго, тритикале та інші. До енергетичних рослин належать також ріпак, соняшник, соя, арахіс, плоди пальми, з яких добувають біодизельне паливо; кукурудза і пшениця – використовуються для виробництва біоетанолу й біогазу (в основному, кукурудза).

Можливість використання рослинних олій (РО) як сировини для добування моторного палива (МП) встановлена досить давно ще наприкінці XIX століття. У процесі роботи двигунів на біодизельному пальному (БП), отриманому з рослинних олій, порівняно з традиційним дизельним паливом (ДП), значно скорочуються викиди чадного газу, вуглеводнів та сажі в атмосферу. Майже зовсім відсутні викиди сульфур(IV) оксиду [4].

У той самий час, деякі фахівці бачать загрозу продовольчій безпеці з боку бурхливого розвитку БЕ і

виращування технічних енергетичних культур. Це пов'язано з тим, що, по-перше, для виробництва біопалив людством використовуються ті самі природні ресурси, що й для виробництва продуктів харчування, а, по-друге, виращування енергетичних культур спричинює виснаження земель, вилучення на свою користь посівних площ, вирубку лісів та інше.

Існує навіть думка, що розвиток БЕ може спричинити не тільки економічні, але і екологічні загрози й кризи. Це спричинено тим, що, наприклад, при заміні нафтового бензину на біоетанол, викиди потужного парникового газу CO_2 , можуть подвоїтися у найближчі 30 років, оскільки зростання площ земель, де вирощують технічні енергетичні культури, значно перевищує приріст рослин, які споживають під час фотосинтезу вуглекислий газ і виділяють кисень. Крім того, як зазначалось, неконтрольовано вирубаються ліси, значно збіднюються екосистеми, виснажуються ґрунти [5].

У роботі [6] нами описано удосконалену технологію отримання БП за рахунок заміни звичайного лужного каталізатора на комплексний, що містить поверхнево-активні речовини. Цей спосіб надає можливість ефективно добувати БП з відходів виробництва й споживання і тим самим не розширювати площі земель, які відведені під технічні енергетичні культури. Спосіб також надає змогу знизити енерговитрати на виробництво БП, а, отже, підвищити енергоефективність його виробництва.

Висновок. Таким чином, з одного боку, БЕ відіграє важливу роль у соціально-економічному розвитку країни, у забезпеченні її економіки відновлювальними джерелами енергії, однак її бурхливий розвиток несе й певні соціально-екологічні проблеми, які потрібно буде вирішувати найближчим часом.

Література:

1. Енергетична стратегія України на період до 2035 року: "Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність". Схвалена розпорядженням КМУ від 18.08.2017 р. № 605-р. 2017.

URL:<http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/docume nt?id=245239554> (дата звернення 21.04.2021 р.).

2. Паризька угода. Організація об'єднаних націй. 2015. URL: http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/995_l61 (дата звернення 21.04.2021 р.).

3. Мироненко М. Ю., Польова О. Л. Соціально-економічне значення біоенергетики та перспективи інноваційного прориву. Інвестиції: практика та досвід. 2016. № 7. С. 24–29.

4. Ковальський В., Голідников А., Григорак М., Косарєв А., Кузьменко В. Про підвищення рівня енергетично-екологічної безпеки України. Економіка України. 2000. № 10. С. 34–41.

5. Кофанова Е. В., Василькевич А. И., Кофанов А. Е., Степанов Д. Н. Ресурсосберегающая малоотходная технология производства биодизельного топлива. Горная механика и машиностроение. 2015. № 2. С. 96–102.

УДК 620.91

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТА ПРИЗНАЧЕННЯ МОБІЛЬНОЇ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ «СОНЯХ»

І.Д. Осокін

Комунальний позашкільний навчальний заклад «Станція юних техніків Покровського району» Криворізької міської ради, вул. Кирило-Мефодіївська, 4а, м. Кривий Ріг, 50031, Україна, тел.: +38(097)882-17-99, e-mail: jovtexnik@ukr.net

У роботі йдеться про мобільну сонячну електростанцію – пристрій для виробництва електроенергії в польових умовах, далеко від основних джерел електроенергії.

Ключові слова: мобільна сонячна електростанція «СОНЯХ».

FEATURES OF USE AND PURPOSE OF THE MOBILE SOLAR POWER PLANT "SONYAH"

I. Osokin

Municipal out-of-school educational institution "Station of young technicians of the Pokrovsky district" of Kryvyi Rih city council, 4a Kyrylo-Mefodiyivsk str., Kryvyi Rih, Ukraine, 50031

We are talking about a mobile solar power plant - a device for electricity production in the field, far from the main sources of electricity.

Keywords: mobile solar electric power station "SONYAH".

ORCID: 0000-0001-7258-0970.

Мобільна сонячна електростанція – це пристрій для виробництва електроенергії в польових умовах, далеко від основних джерел електроенергії. Вона може бути використана і як резервне (аварійне) джерело електроенергії. При повній зарядці акумуляторів (від сонячних батарей протягом 10 годин зарядки), така електростанція здатна забезпечувати споживачів електроенергією (потужністю до 3,5 кВт) протягом 50 годин.

Для зручності переміщення сонячної електростанції з одного місця роботи на інше ми запропонували розмістити її на колісній базі автомобіля високої прохідності. На вантажній платформі такого автомобіля можна розмістити три блоки сонячних електростанцій. Один блок сонячної електростанції розміщується над задньою віссю коліс автомобіля і може розгортати сонячні панелі та працювати безпосередньо на самій вантажній платформі. Він надійно кріпиться до вантажної платформи спеціальними кріпленнями, а для стійкості самої вантажної платформи під нею розміщені чотири гідравлічні опори, які зможуть висуватися вбік на відстань до трьох метрів і надійно фіксують автомобіль на поверхні землі.

Два інші блоки сонячних панелей також в транспортному положенні надійно закріплені на платформі спеціальними затискачами. Між ними розміщений гідравлічний кран-маніпулятор, який зможе підняти їх по черзі та опустити на ґрунт у встановленому місці. При цьому затискачі кріплення блоків сонячних батарей послаблюються, і блоки можна зняти. На землі блоки сонячних батарей фіксуються через отвори в нижніх станинах спеціальними довгими гвинтами зі спіральними ребрами, довжина гвинтів – 1,5 м. Після такого надійного фіксування блоку сонячних батарей на ґрунті вже можна розкривати і панелі сонячних батарей. Потім всі подальші

дії виконує автоматика. Інтелектуальна система керування сонячними панелями, поєднана з GPS, аналізує час доби, ступінь освітлення Сонцем панелей батарей, місцезнаходження Сонця відносно панелей та орієнтує їх строго перпендикулярно до сонячних променів. Така постійна орієнтація дає додатково 40 % електроенергії. Орієнтація по відношенню до Сонця виконує двовісний прилад – трежер.

Блок сонячних батарей розміщується на вантажній платформі автомобіля високої прохідності. Безпосередня технічна реалізація окремих модулів і підсистем сонячної електростанції може мати різні варіанти конструкторського виконання, але їх функціональне призначення зазвичай залишається незмінним. Сонячна електростанція складається з кількох обов'язкових елементів:

Сонячна панель – ключовий елемент, що відрізняє сонячну електростанцію від інших. Вона служить первинним перетворювачем світлової енергії Сонця в електричну енергію. Матеріал, типи, розміри і кількість сонячних панелей в одній електростанції може змінюватися залежно від призначення електростанції.

Акумулятори – пристрої, необхідні для налагодження електричної енергії від сонячних панелей. Через низку причин сонячні панелі далеко не завжди можуть видавати стабільний електричний струм, тому використання акумуляторних батарей є обов'язковим у будь-яких системах сонячної енергетики. Більш того, в темний та сутінковий час доби використання фотогальванічних елементів стає неможливим, тому споживачі мають отримувати електроенергію, запасену раніше, в світлий час доби.

Контролер (регулятор заряду) – це основний контрольний прилад, необхідний для керування роботою

фотогальванічних елементів, зарядки акумуляторів, підтримання заданого рівня вихідної напруги.

Інвертор – пристрій, який перетворює постійний струм фотоелементів у змінний струм, оскільки основне навантаження більшості споживачів розраховане на 220 В змінного струму. Інвертор практично завжди є обов'язковим елементом будь-якої сонячної електростанції.

Навантаження – це власне споживачі електроенергії. Багато чого в сонячній енергетиці запозичене в живій природи. Саме природа надихнула конструкторів на створення сонячних електростанцій, зовні схожих на сонях. Адже у світі флори спостерігається аналогічне явище. Так багато квітів повертаються за Сонцем. А особливо це помітно у соняшника. Навіть просто одним своїм виглядом наша сонячна батарея нагадує соняшник. Дванадцять великих пелюсток цієї «квітки» покриті фотоелектричними панелями на основі монокристалічного кремнію. Загальна площа «пелюсток» сонячної батареї становить 18 м². Залежності від конструкції вага такої сонячної установки становить від 800 до 1000 кг. Початкове положення установки – вертикальне. Пелюстки складені і прилягають до станини. Виносні установки з вантажної платформи знімають краном-маніпулятором та встановлюють в заданому місці на ґрунт.

Література:

1. Бабієв Г.М. Перспективи впровадження нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії в Україні. // Г.М. Бабієв, Д.В. Дероган, А.Р. Щокін // Електричний журн. – 1998. – № 1.
2. Дероган Д.В. Перспективи використання енергії та палива в Україні з нетрадиційних та відновлюваних джерел // Д.В. Дероган, А.Р. Щокін // Бюл. "Новітні технології в сфері

нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії: бюл. – 1999.
– № 2.

3. «Про альтернативні джерела енергії»: закон України
// Відомості Верховної Ради – України // – 2003. – № 24.

4. Сибикин Ю.Д. Нетрадиционные и возобновляемые
источники энергии: учебное пособие / Ю.Д. Сибикин,
М.Ю. Сибикин. – М.: КноРус, 2010. — 227 с

5. Види сонячних електростанцій. [Електронний
ресурс]. – Режим доступу:
http://ishop.sutem.com.ua/articles/topics/solar_energy/SES

6. Кудря С.О. та ін. Атлас енергетичного потенціалу
відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії України //
НАН України; Ін-т електродинаміки та ін. Київ, 2001. 41 с.

УДК 620.92

ЗАЛЕЖНІСТЬ ЕФЕКТИВНОСТІ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОГО МОДУЛЯ ВІД ВІБРАЦІЇ

М.М. Бережнюк

*Національний технічний університет України "Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", 03056,
м.Київ, просп. Перемоги, 37, e-mail: bermukola@gmail.com*

*У роботі розглянуто вплив вібрації на ефективність
та деградацію фотоелектричного модуля.*

Ключові слова: *п'єзоелектрика, фотоелектричний
модуль, вібрація.*

DEPENDENCE OF PHOTOELECTRIC MODULE EFFICIENCY ON VIBRATION

M.M. Berezhnyuk

*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv
Polytechnic Institute", 03056, Kyiv, 37 Peremohy Ave.,
e-mail: bermukola@gmail.com*

*The paper considers the influence of vibration on the
efficiency and degradation of the photovoltaic module.*

Keywords: *piezoelectricity, photoelectric module,
vibration.*

ORCID: 0000-0002-0863-9269/

Сонячний модуль як фотоелектричний перетворювач є невід'ємною частиною системи генерування електричної енергії. Його ефективність залежить від спектра та інтенсивності падаючого сонячного випромінювання, однак лише незначна частина енергії сонячної радіації, що потрапляє на модуль, перетворюється на електроенергію, а решта – перетворюється на теплоту, яке перегріває

фотомодуль і знижує його продуктивність. Тому пошук нових методів впливу на виробництво електроенергії сонячними панелями є першочерговим завданням при дослідженнях в сонячній енергетиці. На сьогоднішній день, п'єзоелектричний метод підвищення ефективності фотоелектричних панелей є новою технологією в галузі сонячної енергетики, який реалізований за допомогою наявних джерел вібрації навколишнього середовища. П'єзоелектрика, працює за принципом, що будь-яка деформація в матеріалі може бути перетворена на різницю потенціалів і навпаки, тобто існує у двох формах. Перша форма визначає здатність перетворювати механічну деформацію на електричний заряд, а друга форма відповідає за здатність створювати механічну деформацію від прикладеної напруги.

В наш час весь прогрес в сонячній енергетиці фокусується на збільшенні ефективності сонячного обладнання, здатного збирати максимум сонячної енергії з мінімальними втратами, що є важливим питанням досліджень у галузі фотоелектричної енергетики, проте не варто забувати, що слід зосередити увагу на параметрах, які можуть вплинути на загальний результат, а вібрація є одним з найважливіших критеріїв. Також необхідно підкреслити, що вібрація – це одна з причин розповсюдження тріщин на сонячній панелі, що погіршує її виробничі характеристики. Отже, оцінка ефективності та деградації сонячного елемента, спричиненої вібрацією, є ще одним важливим та малодослідженим завданням.

УДК 621.311.25

ФАСАДНЕ РОЗМІЩЕННЯ ФОТОМОДУЛІВ ЯК ІНЖЕНЕРНЕ РІШЕННЯ

I.С. Удод

*Студентка 4-го курсу НТУУ «Київський Політехнічний
Інститут імені Ігоря Сікорського», кафедра
відновлювальних джерел енергії,
вул. Політехнічна, 37, м.Київ, тел. +380966803536,
e-mail: iryna.udod9@gmail.com*

*У роботі представлені основні інформативні
відомості про можливості фасадного розміщення
сонячних фотомодулів.*

Ключові слова: *Сонячна електростанція,
фотомодуль.*

FACADE PLACEMENT OF PHOTOMODULES AS AN ENGINEERING SOLUTION

I.Udod

*Fourth-year student. NTUU "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic
Institute", department of Renewable Energy.*

The article presents basic information about fuel cells.

Keywords: *Solar power plant, photomodule.*

ORCID: 0000-0002-4425-151X.

У сонячній енергетиці звичне покрівельне чи наземне розміщення фотомодулів іноді є недоступним або ж недоцільним через низку факторів, таких як затінення, мала площа або ж орієнтація поверхні не на південь. У таких випадках для розміщення сонячних панелей можна використати фасад будівлі.

Вертикальне розміщення фотомодулів використовується значно рідше, ніж вищезазначені типи встановлення, оскільки виробіток електроенергії в порівнянні значно нижчий, проте воно має свої переваги.

Досить часто фасадне розміщення фотомодулів є одночасно архітектурним і технічним рішенням, оскільки це дозволяє використати незадіяну площу об'єкта для підвищення встановленої потужності СЕС.

Найчастіше фасадний тип розміщення використовують для гібридних чи автономних СЕС, адже він дозволяє отримати більший виробіток енергії в зимовий період, зберігаючи в такий спосіб стабільність зарядки акумуляторів. Важливим фактором іноді є те, що при вертикальному встановленні фотомодулів вони самоочищуються від снігу та бруду, що спрощує їх обслуговування.

Кут нахилу ФЕМ та азимут установки масиву фотомодулів є вирішальним фактором для фотоелектричної системи. Для фіксованих фотоелектричних масивів сонячні панелі зазвичай розташовані на південь, і кут нахилу установки приймається з урахуванням кута конструкції, а оптимальний кут нахилу установки тісно пов'язаний з регіональною широтою та довготою. Дійсно, оптимальною величиною кута нахилу сонячних фотомодулів прийнято орієнтовне значення 35, що сприяє отриманню найвищих показників генерації впродовж року. У разі фасадного розміщення сонячних перетворювачів кут встановлення зазвичай дорівнює 90, рідше використовуються конструкції, що дозволяють зафіксувати оптимальне значення.

Переваги:

- використання незадіяної площі для отримання максимальної встановленої потужності СЕС;
- самоочищення фотомодулів;
- вищі показники генерації в зимовий період.

Недоліки:

- порівняно низька генерація енергії;
- дорожча конструкція для кріплення;
- складність монтажу.

Література:

1. Dubey, Swapnil, Jatin Narotam Sarvaiya, and Bharath Seshadri. "Temperature dependent photovoltaic (PV) efficiency and its effect on PV production in the world—a review." *Energy Procedia* 33 (2013): 311–321. Breeze, P. (2017). *The Solid Oxide Fuel Cell. Fuel Cells*, 63–73. doi:10.1016/b978-0-08-101039-6.00007-8

УДК 620.92

БАЗА ОБЛІКУ ЗЕМЕЛЬ, НЕПРИДАТНИХ ДО ГОСПОДАРЮВАННЯ

В. Скрипчук

*Національний технічний університет України "Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", 37,
просп. Перемоги, Київ, 03056, Україна. E-mail:
skrypchukvladyslav@gmail.com*

*Запропоновано загальну концепцію «Бази обліку
земель, непридатних до господарювання», яка включає в
себе доступність, актуальність, повноту інформації та
захист приватних даних.*

Keywords: *відновлювана енергетика, облік земель,
раціональне використання земель.*

DATABASE OF ACCOUNTING LANDS THAT ARE UNSUITABLE FOR MANAGEMENT

V. Skrypchuk

*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv
Polytechnic Institute", 37, Peremohy Ave., Kyiv, 03056,
Ukraine. E-mail: skrypchukvladyslav@gmail.com*

*A general concept of the Database of accounting lands
that are unsuitable for management which includes
accessibility, relevance, complete information and protection of
private data.*

Keywords: *renewable energy, land accounting, rational
use of land.*

ORCID: 0000-0002-0503-4942.

Загальносвітова екологічна тенденція вимагає раціонального використання ресурсів. Тим часом території на місці зруйнованих радянських заводів, смітники, колишні кар'єри, об'єкти інфраструктури, які не використовуються, занедбані поселення є землями, на яких неможливо чи важко здійснювати господарську діяльність. У цій роботі запропоновано концепцію публічної «Бази обліку земель, непридатних до господарювання» (далі – БОЗеНеГо).

БОЗеНеГо подається у вигляді інтерактивної топографічної карти України з актуальними даними, на якій зображено найперше території, які передано у приватну власність, об'єкти загальномісцевого та загальнодержавного значення. Це дозволить виключити з розгляду території, на яких неможливо чи важко здійснювати господарську діяльність.

База також містить інформацію про землі, які є непридатними для господарювання. При цьому до БОЗеНеГо мають також належати такі дані, як площа території, дата внесення до реєстру, орган, який вніс дані у базу та здійснює облік, офіційний документ із рішенням спеціальної комісії про внесення даної землі у базу та актуальну інформацію про стан території.

На карту України на певну територію окремим шаром внесено інформацію про енергетичний потенціал відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії у даній місцевості. Під поняттям «певна територія» розуміється та територія, яка внесена до БОЗеНеГо як земля, що визнана непридатною до господарювання. Такий підхід може зацікавити інвесторів та допомогти залучити зазначені землі в обіг.

Варто також відмітити, що БОЗеНеГо не містить жодної приватної інформації та має тільки інформативний характер. Рекомендується інтегрувати БОЗеНеГо з публічною кадастровою картою України.

Література:

1. Optimal combination of bioenergy and solar photovoltaic for renewable energy production on abandoned cropland / [E. L. Malene, S. N. Jan, C. Otavio та ін.]. // Renewable Energy. – 2021. – № 168. – С. 45–56.
2. Стан сфери поводження з побутовими відходами в Україні за 2019 рік [Електронний ресурс]. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.minregion.gov.ua/napryamki-diyalnosti/zhkh/terretory/stan-sfery-povodzhennya-z-pobutovymy-vi/?fbclid=IwAR3PaRbiSu5jyEU1znvyc5DswYOFv89jWwBQM e379BJUsXxxAuWo4yTDKD0>.

УДК 620.93

ВИКОРИСТАННЯ АКУМУЛЯТОРА ТЕПЛОТИ НА ОСНОВІ РЕЧОВИН З ФАЗОВИМ ПЕРЕХОДОМ ДЛЯ ПІДТРИМАННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ В ТЕПЛИЦІ

О.В. Юраш

*Національний технічний університет України "Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"
тел. +38(099)404-57-15 , e-mail: ciyurash@gmail.com*

Запропонована ідея теплиці за принципом пасивного будинку. Використовується акумулятор тепла на основі матеріалів з фазовим переходом для зменшення витрат на опалення. Конструкція дозволить підтримувати оптимальну температуру як в холодні місяці, так і влітку.

***Ключові слова:** речовина з фазовим переходом, теплиця, оранжерея, акумулятор теплоти.*

USE OF A HEAT ACCUMULATOR BASED ON PHASE CHANGE MATERIALS TO MAINTAIN THE OPTIMAL TEMPERATURE IN A GREENHOUSE

O. Yurash

*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv
Polytechnic Institute"*

Proposed the idea of a greenhouse on the principle of a passive house. Heat accumulator based on phase change materials is used to reduce heating costs. The design will allow both maintaining the optimum temperature in the cold months and in summer.

***Keywords:** phase change material, greenhouse, heat accumulator.*

ORCID: 0000-0002-8607-8452.

Україна має значні території для ведення сільського господарства. Однак через зміну сезонів час для вирощування культур обмежений. Для ранньої посадки та пізнього збору врожаю використовують теплиці, а для цілорічного вирощування – оранжереї. Для підтримування оптимальної температури використовують різні системи опалення. В сучасних теплицях приблизно 40 % собівартості продукції припадає на опалення, а іноді ця цифра може доходити до 60 %. Пропонується ідея для зниження кількості електроенергії або природнього палива для обігріву оранжереї.

Основою є будова теплиці за принципом пасивного будинку. Будівля є частиною тора (1), вигнутого в бік півдня. З півночі розташована стіна з утепленням (3), з півдня, сходу та заходу – стіни з полікарбонату. Вдень для вентиляції теплиці використовуються вентилятори, одна частина яких бере повітря з південного боку й направляє його в теплицю. Поки повітря перебуває в ній, воно поступово нагрівається. Інша частина вентиляторів забирає повітря з теплиці й направляє через акумулятор теплоти (2) в оточуюче середовище. Вночі будівля не вентилюється.

Певні дослідження були проведені для використання речовин з фазовим переходом у теплицях, однак ідеї відрізняються [1, 2].

Як акумулятор теплоти виступає речовина з фазовим переходом, в якій температура фазового переходу близько 16–22 °С, залежно від вирощуваних рослин і необхідного температурного режиму. Вдень під дією теплого повітря речовина акумулює тепло і здійснює фазовий перехід. Вночі, коли температура опускається, речовина переходить початковий стан і виділяє при цьому теплоту, що обігрівляє оранжерею.

На графіку зміни температури повітря по осі абсцис – шлях у відносних одиницях. Умовно скажемо, що 0 – повітря на вулиці; 0,2–0,7 – повітря в теплиці; 0,7–0,9 – підігрівання речовини в акумуляторі теплоти; 0,9–1 повітря повертається у навколишнє середовище. Температура повітря в навколишньому середовищі – середня за листопад у Києві.

Важливою особливістю даного способу є можливість роботи для охолодження теплиці влітку. В такому разі вночі акумулятор теплоти зменшує свою температуру, а вдень речовина з фазовим переходом сприймає тепло і тим самим зменшує температуру в теплиці до необхідного рівня.

Отже, в холодні місяці ця система використовує теплоту повітря, що виходить з теплиці для підігріву вночі. Влітку є можливість охолодження повітря в теплиці вдень за рахунок охолодження акумулятора вночі. Теплиця буде мати більшу собівартість на початку, однак в процесі експлуатації витрати на утримання повинні бути менші, ніж в аналогів без даних систем.

Ескіз теплиці. Розміри в міліметрах
1 – основна частина теплиці; 2 – акумулятор теплоти;
3 – утеплена північна стіна

Література:

1. Performance of a greenhouse heating system with a phase change material

URL:

https://www.researchgate.net/publication/229388983_Performance_of_a_greenhouse_heating_system_with_a_phase_change_material (дата звернення: 09.03.2021)

2. Improving clean energy greenhouse heating with solar thermal energy storage and phase change materials

URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/est2.116> (дата звернення: 09.03.2021)

УДК 628.517

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ВСТАНОВЛЕННЯ ВІТРОЕЛЕКТРИЧНИХ УСТАНОВОК НА КИЇВСЬКОМУ ВОДОСХОВИЩІ

Я.О. Курмашов

*Національний технічний університет України «Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», 03056,
м.Київ,
просп. Перемоги, 37, тел./факс: +380442049519,
e-mail: yarikkurmashov@gmail.com*

*У роботі розглянуто ефективність встановлення
вітроенергетичних установок на території Київського
водосховища.*

Ключові слова: *Київське водосховище, офшорні
вітрові установки.*

ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF INSTALLING WIND ELECTRICAL INSTALLATIONS ON THE KYIV RESERVOIR

Y.O. Kurmashov

*National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic
Institute of Igor Sikorsky", 03056, Kyiv, Victory Square, 37,
tel./fax: +380442049519, e-mail: yarikkurmashov@gmail.com*

*The efficiency of installation of wind power plants on the
territory of Kyiv reservoir is considered in the work.*

Keywords: *Kiev reservoir, offshore wind turbines.*

ORCID: 0000-0002-1887-4836.

Сьогодні в Україні основні вітроелектричні потужності розташовані на півдні України через більшу середньорічну швидкість вітру в цих областях. По всій території Київської області спостерігається невеликий вітровий тиск, а швидкість вітру ніколи не перевищувала 25 м/с. Середньорічна швидкість вітру по області коливається від 2,5 до 5 м/с на висоті флюгера. Такий вітровий режим області не сприяє широкому використанню вітроустановок, проте в цьому регіоні є багато вільної території для забудови невеликими вітроагрегатами, що можуть працювати як на приватні будинки або підприємства, так і на регіональну електромережу. Територіально найбільш економічно та технологічно доцільними для побудови вітроагрегатів на Київському водосховищі будуть території між Сухолуччям та Страхоліссям, а також берегова лінія між селищами Ровжі та Лебедівка.

Рис.1. Показники швидкості та напрямку вітру на території Київського водосховища

Згідно з картами рельєфу дна річки Дніпро, вздовж берегової лінії західного узбережжя Київського водосховища спостерігається вагома частка мілководдя, що могло бути викликане замуленістю даних ділянок. Проте

ці ділянки могли б бути чудовим фундаментом для побудови вітроагрегатів.

Якщо взяти за основу карти рельєфу дна Київського водосховища, то вздовж приберегової лінії між селищами Страхолісся та Сухолуччя існує багато ділянок, де глибина річки не перевищує трьох метрів, що дасть змогу зменшити потенційні витрати на матеріал опори вітроагрегату. Така сама ситуація спостерігається і на східній прибереговій лінії Київського водосховища, на території між селищами Ровжі та Лебедівка, де немає об'єктів, яким могли б завдати шкоди побудова та експлуатація вітроагрегатів.

На північному узбережжі Київського водосховища лише один населений пункт – Страхолісся. Далі на захід простягається комплекс населених пунктів, які через своє місцезнаходження не піддаватимуться негативному звуковому впливу від вітрогенераторів. Зате ці селища міського типу обладнані місцевими повітряними лініями електропередачі, до яких можливо підключитись, не витрачаючи великих коштів на прокладку кабеля під землею.

На південь від Страхолісся, за дельтою річки Тетерів простягається берегова лінія, на якій за 15 км від вказаного вище населеного пункту розташоване селище міського типу Сухолуччя. Недалеко від дельти Тетерева на південь розмістилося однойменне мисливське угіддя, адміністрація якого, можливо, буде проти побудови шумних вітроагрегатів недалеко від його території. Однак між цим угіддям та Сухолуччям простягається вільна територія, на якій можуть бути тимчасові неофіційні точки для кемпінгу. До того ж по береговій лінії простягається автомобільна траса, вздовж якої теж побудована місцева повітряна лінія електропередачі, до якої можна підключитись після укладання договору з місцевою енергослужбою.

Якщо брати до уваги територію, що знаходиться на північ від Страхолісся, то, судячи з карти місцевості та карти рельєфу дна річки Дніпро, територія є дуже замуленою, через що фундамент може бути нестійким і виникне

небезпека втрати механічної цілісності конструкції вітроагрегату. Для того щоби зменшити вміст мулу на цій території, потрібно буде витратити певні кошти на його викачування, що значно збільшить капітальні витрати на будівництво.

Північну частину східного узбережжя Київського водосховища займають масив садових товариств "Дружба" та риболовні господарські угіддя, яким побудова вітроагрегатів може завдати збитків і які можуть бути проти цієї побудови. До того ж потрібно буде укласти договір про підключення до електромережі як з районною енергослужбою, так і з садовим товариством, що додасть бюрократичних труднощів та потенційно збільшить час загального виконання проєкту.

Далі на південь на невеликій відстані від берега Київського водосховища розташоване селище Ровжі, що могло б мінімізувати вплив від побудови та експлуатації вітроагрегату, але на самому березі розміщене закрите риболовне господарське угіддя "Нептун", яке покриває приблизно два кілометри берегової лінії. На південь від цього риболовного господарського простягається приблизно сім кілометрів місцевості, вільної від офіційних угідь, місць відпочинку та населених пунктів. До того ж уздовж цієї берегової лінії проходить дамба Київського водосховища, яка зв'язує селища Ровжі та Лебедівка. Вздовж дамби простягається районна повітряна лінія електропередачі, до якої можна також підключитися для забезпечення ефективної експлуатації побудованих вітроагрегатів.

УДК 620.95:662.767.2:631.563.2

ПОТЕНЦІАЛ РОЗВИТКУ БІОЕНЕРГЕТИКИ НА ТЕРИТОРІЇ ДНІПРОПЕТРОВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

V.V. Zaika

*Комунальний заклад загальної середньої освіти І-ІІІ
ступенів № 3 Жовтководської міської ради Кам'янського
району, вул. Івана Богуна, 50, м. Жовті Води, 52201,
Україна, тел.: +38(063)838-78-69,
e-mail: vlad40426@gmail.com*

У роботі наведено основні види біоенергетичного палива, способи його добування та визначено, скільки електроенергії виділяє кожен вид біопалива, розраховано кількість біоенергії, яку можна виробити та використати на території Дніпропетровської області.

Ключові слова: біоенергетика, біогаз, біопаливо, біомаса, пеллети.

POTENTIAL OF BIOENERGY DEVELOPMENT ON THE TERRITORY OF DNIPROPETROVSK OBLAST

V.V. Zaika

*Municipal institution of general secondary education of I-III
degrees №3 of Zhovtovodsk city council of Kamyansky district,
street Ivana Bohuna 50, Zhovti Vody, 52201*

The paper presents the main types of bioenergy fuel, types of its production and determines how much electricity is emitted by each type of biofuel, calculated how much bioenergy can be produced and used in the Dnipropetrovsk region.

Keywords: bioenergy, biogas, biofuel, biomass, pellets.

ORCID: 0000-0002-4329-2803.

Багатьом відомо, що біоенергетика – це найдавніший вид електроенергетики у світі. Біоенергетику у вигляді спалювання деревини використовували ще найперші люди на Землі. Отримати біопаливо можна з усіх органічних речовин, а тому біоенергетика буде існувати допоки існуватиме все живе.

Біопаливо поділяють на газоподібне (біогаз), рідке (біодизель, біомазут, ефіри, спирти), тверде (деревина), а тому його можна використовувати за різним призначенням.

У наш час біопаливо можна отримати з відходів сільського господарства, твердих побутових відходів, стічних вод, деревини, водоростей, а тому його можна роздобути у міській та сільській місцевості, на воді та на суші.

Біогазом називають газ, який складається на 55–75 % з метану йі утворюється під час бродіння біомаси метановим бродінням [1]. У промисловості використовують метод анаеробного бродіння в метантанках. Бродіння відбувається за принципом, що біомаса подається із складу до реактора, який є підігріваним резервуаром з лопатями. В реакторі є корисні бактерії, які, споживаючи біомасу, виділяють газ. Потім газ, вироблений бактеріями, подається до газгольдера, де проходить систему очистки, а потім подається до споживачів.

Продуктом такого процесу є біогаз, який іде на потреби споживачів, опалення, технологічні потреби та на підтримку температури в реакторі [2].

Біогаз є актуальним для міст, тому що стічні води та органічні тверді побутові відходи зможуть бути утилізовані та перероблені на корисну енергію.

Із 1 м³ біогазу можна отримати до 2 кВт/год електроенергії при тому, що із тонни сухої речовини виділяється в середньому 300–500 м³ [1].

Біодизель своєю чергою поділяється на три покоління, а саме 1 і 2 – переробка сільськогосподарських культур та жиромістких відходів, 3 – переробка мікрowodоростей. Виробництво біодизелю третього покоління є

найперспективнішим, тому що воно не займає сільськогосподарські площі.

Із 1м³ біодизелю можна отримати 30 кВт/год [1].

Останнім типом є тверде біопаливо, переважно паливні гранули (пеллети). Отримують пеллети з відходів сільського господарства й деревини, а також торфу.

Із 1 т пеллет можна отримати приблизно 3,5 кВт/год.

Дніпропетровська область – лідер з виробництва соняшнику в Україні. Тільки за 2020 рік в області зібрано 1 009 373 т соняшнику з яких 9 % – насіння [3].

$$1\,009\,373\text{ т} \times 0,09 = 90\,843,57\text{ т}$$

Із цього ж насіння виходить 20 % лушпиння.

$$90\,843,57\text{ т} \times 0,2 = 18\,168,714\text{ т}$$

Тому можна сказати, що Дніпропетровська область отримує 18 168,714 т лушпиння, яке в подальшому можна переробити на пеллети з мінімальними втратами маси.

При тому, що із 1 т пеллет можна отримати 3,5 кВт/год можна прорахувати те, що з 18 168,7 т лушпиння можна отримати 63,5905 МВт/год електроенергії.

$$18\,168,7\text{ т} \times 3,5\text{ кВт/год} = 63\,590,45\text{ кВт/год}$$

Енергії із лушпиння отримується приблизно на потреби в електроенергії для 40 кварталів.

Тому енергія з біогазу, яку отримують з твердих побутових відходів та стічних вод, є найефективнішою для біоенергетики Дніпропетровської області.

Література:

1. Баадер В., Доне Е., Бренндерфер М. . Биогаз: теория и практика – М.: Колос, 1982. – 148 с.
2. Эдер Б., Шульц Х. . Биогазовые установки. Практическое пособие. – Zorg Biogas, 2011. – 181 с.
3. www.dnestrstat.gov.ua

УДК 620.91

ПІД СОНЯЧНИМ ДАХОМ

І. Порфиленко, Є. Завгородня, О. Храменкова

Робота учнів ЗОШ № 30 м. Маріуполь

Використання альтернативних, відновлюваних джерел енергії з кожним десятиліттям стає все важливішим і актуальнішим. Розвиток альтернативної енергетики і пошук нових джерел енергії – головна світова тенденція нового тисячоліття. Причиною цього є зменшення запасів природних ресурсів і можлива перспектива енергетичної кризи, негативний вплив традиційної енергетики на довкілля й загроза екологічної катастрофи.

Вступивши до міжнародного енергетичного товариства, Україна взяла на себе зобов'язання довести частку відновлюваної енергетики в загальному балансі до 11% у 2020 році й подвоїти цей показник до 2035 року. Зараз частка так званої зеленої енергетики становить близько 2 %, що є дуже малим показником. Наприклад, в порівнянні з Німеччиною, де альтернативна енергетика покриває понад третину потреб в енергоспоживанні, більшість яких припадає на сонячну енергетику. Якщо порівняти рівні сонячної радіації для України і країн Північної Європи таких, як Польща, Германія, Данія то українські умови є значно вигіднішими для виробництва. При використанні сонячної радіації для виробництва сонячної енергії Україна має величезний потенціал дахів житлового фонду. Він складає 37 ТВт год на рік, що в грошовому еквіваленті 1 кВт год = 0,05 євро. Цей потенціал дорівнює 1,3–1,8 млрд/рік. Ми вирішили використати потенціал даху нашої школи для виробництва електроенергії, розрахувати вартість сонячної електростанції та термін її окупності.

В ході нашого дослідження ми вчилися добувати енергію сонячних променів за допомогою сонячної батареї. Чи можна вважати використання сонячної енергії

економічно вигідним? Як правильно встановити електростанцію, щоб використати весь ресурс світла, чи вистачить світла в зимовий період? Основне завдання нашої роботи – розрахувати потужність мережевої сонячної електростанції, яку можна встановити на ЗОШ № 30 для використання електроенергії для потреб школи, та для продаж за «зеленим» тарифом, створити можливості школі самій заробляти кошти. Для досягнення цієї мети найкраще підходять мережеві електростанції. Щоб розрахувати потужність сонячної електростанції, виміряли розміри сонячного боку даху школи й розраховували електроенергію, яку будуть виробляти сонячні панелі протягом року.

Сонячні панелі бувають двох типів – моно- і полікристалічні. Для наших широт більше підходять полікристалічні. Вони хоч і мають менший ККД, проте добре працюють під будь-яким кутом до сонця та виробляють електрику навіть із відбитого світла. За останні два роки ринок сонячних панелей в Україні виріс більше ніж у п'ятеро. На ринку вони представлені виробами з Китаю, Європи, Північної Америки. У рейтингу Tier 1 найпопулярніших виробників сонячних панелей стоять такі компанії: Canadian Solar, Trina Solar, Jinko Solar, Risen, Ja Solar, Energi, Lg Solar, Ameri Solar та інші. Зараз розрахункова вартість сонячних панелей складає 1 дол. за 1 Вт, і ціна весь час знижується. В Україні можна знайти надійні фірми, які пропонують сонячні потужності по 650 євро за 1 кВт. Орієнтовний кошторис будівництва – 70 тис. дол. США.

Для СЕС 92 кВт дахового типу термін окупності = $52\,145 / 15\,133,4 \approx 3,4$ років. При встановленні сонячних панелей за ціною до 3500 грн = 129,6 долара термін окупності станції збільшиться до $69\,536 / 15\,133,4 = 4,5$ року.

Висновок: на Донеччині функціонують 636 домашні сонячні електростанції, власники яких забезпечують «зеленою» енергією не тільки побутові потреби, але й заробляють на продажу державі її надлишку, з них 140 – у Маріуполі.

«Донецькі енергетичні послуги» щомісяця отримують від операторів системи розподілу даних про обсяг енергії, який виробляють домашні сонячні і вітрові електростанції. Далі постачальник за встановленим НКРЕКП «зеленим» тарифом, за яким держава купує електроенергію, вироблену з відновлюваних джерел (сонця, вітру, біомаси, води), здійснює нарахування і виплати на банківські рахунки клієнтів.

Продаючи вироблену у власних домоволодіннях електроенергію, ми робимо свій внесок в енергонезалежність України.

Таким чином, в результаті нашої роботи ми розрахували затрати на мережеву електричну станцію для ЗОШ № 30 потужністю 92 кВт, вибрали її основні затратні компоненти й провели розрахунок терміну окупності, який показав, що станція окупиться менше, ніж за 4 роки і далі приносить прибуток. Залишається тільки знайти інвестора.

УДК 620.91

**ЕКОФІТНЕС: НЕТРАДИЦІЙНІ МЕТОДИ ПЕРЕРОБКИ
ВІДХОДІВ НАФТОВОГО ПОХОДЖЕННЯ ЗА
ДОПОМОГОЮ ЕНЕРГІЇ, ДОБУТОЇ ПРИ ВИКОРИСТАННІ
ТРЕНАЖЕРІВ**

О. Барабаш¹, Д. Грещенко², С. Грещенко³
*Крижанівський НВК «ЗОШ I–III ступенів – ліцей – ДНЗ»,
Одеський район Одеської області, Україна
Керівник проєкту: Берднікова Оксана Ігорівна,
вчитель географії Крижанівського НВК «ЗОШ I–III
ступенів – ліцей – ДНЗ»,
тел.: +380672738916; e-mail: leto300776@gmail.com*

У проєкті наведено план утилізації пластикових та гумових відходів з подальшою переробкою за допомогою енергії від роботи тренажерів, яка знадобиться для дробильних, плавильних та інших пристроїв з переробки вторинного пластику і відпрацьованих автомобільних покришок та виготовлення з отриманої сировини дорожнього покриття.

Ключові слова: сортування сміття, пластикові відходи, відпрацьована гума (автомобільні покришки), альтернативна енергія.

**ECO-FITNESS: NON-TRADITIONAL METHODS OF
PROCESSING OIL WASTE USING THE ENERGY
GENERATED BY USING SIMULATORS.**

A. Barabash¹, D. Greshchenko², S. Greshchenko³
*Kryzhanivskiyi NVK "School of I - III degrees - lyceum", Odessa district of Odessa region, Ukraine;
Project leader: Oksana Ihorivna Berdnikova, teacher of geography at Kryzhanivskiyi NVK
The project provides a plan for the disposal of plastic and rubber waste with further processing using energy from*

the simulators, which will be needed for crushing, smelting and other devices for recycling plastic and used car tires and making from the obtained raw materials pavement.

Key words: *waste sorting, plastic waste, used rubber (car tires), alternative energy.*

ORCID: ¹0000-0003-4690-1560, ²0000-0002-0250-198X,
³0000-0002-9123-7243.

Актуальність роботи полягає в тому, що все наше життя залежить від багатства Землі та здорового стану живої природи.

Проблема смітників – одна з найважливіших і найактуальніших серед проблем забруднення навколишнього середовища. Наприклад, екологічні наслідки захоронення відходів проявляються через декілька чи навіть десятки років внаслідок забруднення підземних вод, ґрунтів і атмосфери. Під час спалювання відходів виробляється велика кількість високотоксичних хімічних речовин, які можуть накопичуватися в організмі людини, постійно отруюючи та повільно вбиваючи його.

Тому сортування сміття й подальша його переробка — один з щадних способів вирішення проблеми.

Мета дослідження:

- частково очистити навколишнє середовище від відходів нафтового походження;
- впровадити звичку сортувати сміття;
- доказати, що на сортуванні та переробці сміття можливо заробити гроші;
- отримати енергію від динаміки тренажерів та акумулювати її для подальшого використання при виготовленні дорожнього покриття.

Задачі дослідження: розробити проєкт з переробки пластикових та гумових відходів нетрадиційними методами та шляхом поліпшення стану здоров'я й завдяки накопиченню енергії.

Об'єкт дослідження – побутові пластикові відходи та відпрацьовані автомобільні покришки, які забруднюють навколишнє природне середовище та накопичуються на поверхні Землі.

Практичне значення даної роботи полягає у тому, що проєкт допомагає тримати людину у фізичному тонусі й одночасно очищати навколишнє середовище, та й акумулювати енергію, а не витрачати її зайвий раз, використовуючи природні ресурси.

Основа проєкту – фітнес-клуб, на базі якого буде збиратися енергія при використанні тренажерів для шредера (машина, яка дробить пластик та використані покришки) та для машини, що переробляє побутовий пластик і використану гуму (автомобільні покришки) у дорожнє покриття. Його родзинкою є велотренажери та бігові доріжки, які будуть виробляти електроенергію за допомогою динаміки.

Електроенергія, що виробляється в результаті роботи на тренажерах, накопичується в акумуляторі, а надходить в напружені 4 V, тому ми будемо використовувати комп'ютерний безперебійник.

Акумулятор розміщений в цеху біля фітнес-клуба. Електроенергія, яка була вироблена в результаті роботи фітнес-клуба, буде використовуватися для дроблення пластику та автомобільних покришок. Ця сировина піде як компоненти нового технологічного дорожнього покриття.

Вироблення енергії у фітнес-клубі: 1 година – 1 велотренажер – приблизно 1,3 кВт; 1 година – 1 бігова доріжка – приблизно 0,7 кВт. В залі 5 велотренажерів та 5 бігових доріжок. Фітнес-клуб працює з 7 ранку до 23 годин (16 годин в день). В день один акумулятор збирає з 5 велотренажерів за 16 годин праці 104 кВт, 5 бігових доріжок за 16 годин – 56 кВт. Всього 10 тренажерів за день (16 робочих годин) збирає 160 кВт. Шредер починає робити від 1,5 кВт, споживаючи за день 24 кВт). 4 шредера споживають енергії 96 кВт в день. Остаток енергії в акумуляторах буде розподілений за потребами.

Нещодавно створили біопластик, але проблема у тому, що при розпаді вивірюється метан. Весь пластик сортирується, і знайдений біопластик ми плануємо накопичувати в спеціальний контейнер, обладнаний метанозбірником. Весь метан буде використовуватися для підігріву води душових кабін та/або при приготуванні страв у фітнес-барі.

Що плануються досягти реалізацією даного проєкту:

- очищення від пластику та відпрацьованих автомобільних покришок прилеглих територій;
- оздоровлення населення;
- енергозбереження та накопичення енергії;
- отримання складової для дорожнього покриття;
- отримання метану.

Сам фітнес клуб було б доцільно розмістити неподалік від школи (в перспективі біля декількох шкіл). Тоді взагалі то на мінімум зйдуть кількість «холостих днів» (коли мало чи зовсім немає відвідувачів), бо як найменше пів дня більшість тренажерів буде зайнята школярами під час уроків фізичної культури.

Висновки: ми розробили спосіб утилізації відходів та удосконалення окремих ланок технологічного процесу, що підвищують його екологічну безпеку та доцільність сортування сміття для полегшення його подальшої переробки.

Рис. 1. Макет фітнес-клубу

Рис. 2. Пристрій для переробки пластику

Рис. 3. Макет пристрою для виготовлення дорожнього покриття

Література:

1. Енергозбереження та економіка України / Турченко Д. К. – Донецьк : ВІК, 2006. – 310 с. : табл. – Бібліогр.: с. 297-308. – ISBN 966-430-017-9.
2. Энергетика: История, настоящее и будущее. Т. 4. К., 2010.
3. Дикий М. О. Поновлювані джерела енергії. К., 1993.
4. Мхитарян Н. М. Энергетика нетрадиционных и возобновляемых источников. К., 1999.
<https://bahai.kiev.ua/ru/uglubleniya/dlya-podrostkovykh-grupp/arkhiv-pochemuchki/1304-spasite-prirodu-ot-plastikovykh-kryshek.html>
<http://hobiz.ru/ideas/izo/pererabotka-plastika-v-domashnix-usloviyax-vtoraya-zhizn-otxodam>

УДК 502.333

СОНЯЧНІ БАТАРЕЇ ЯК АЛЬТЕРНАТИВНЕ ДЖЕРЕЛО ЕНЕРГІЇ

О.В. Білоус¹, Т.В. Желтуха²

*Криворізький Покровський ліцей Криворізької міської ради
Дніпропетровської області, вул. Кропивницького, 63,
м. Кривий Ріг, 50096, тел: +38(067)6284649¹
+38(098)2097528², e-mail: beloussasa777@gmail.com¹
tvzh75@gmail.com²*

У роботі з'ясовано переваги та недоліки використання сонячної енергії та її видів, які існують в природі. Показано ефективність використання сонячної енергії як альтернативного джерела енергії. А також, розраховано вартість мережевих сонячних електростанцій різних потужностей та визначено термін, за який розглянуті станції почнуть приносити прибуток.

Ключові слова: енергія, світло, альтернативне джерело енергії, мережеві сонячні електростанції, сонячні батареї.

SOLAR BATTERIES AS AN ALTERNATIVE ENERGY SOURCE

O.V. Bilous¹, T.V. Zheltukha²

Krivorizkyi Pokrovskiy lyceum of the Krivorizkyi city council of the Dnipropetrovsk region, 63 Kropivnitskogo str., Kryvyi Rih, 50096

The work shows the advantages and disadvantages of using solar energy and its types that exist in nature. The efficiency of using solar energy as an alternative energy source is shown. Also, the cost of network solar power plants of various

capacities was calculated and the time span during which the stations will start to bring profits is determined.

Key words: *energy, light, alternative energy source, solar power plants, solar batteries.*

ORCID: ¹0000-0001-7785-2453, ²0000-0002-4303-0774.

На сьогоднішній день зі зростанням енергетичних потреб, з безпосереднім використанням вичерпних ресурсів збільшується рівень забрудненості навколишнього середовища. Отже, єдиним виходом із даної ситуації є використання альтернативних джерел енергії. Одним з таких джерел є сонячна енергія, яку за допомогою сонячного генератора можна перетворити в електричну.

Актуальність роботи полягає в проблемі впровадження альтернативних джерел енергії через те, що перешкодою для широкого впровадження таких джерел енергії є їх висока вартість.

Після ґрунтовного аналізу кожного виду існуючої енергії можна стверджувати, що з усіх доступних відновлюваних джерел енергії саме сонячна енергія і сонячні батареї завдають мінімальної шкоди навколишньому середовищу.

Однак існує і реально небезпечний ефект даного типу енергії, пов'язаний з отриманням певної кількості токсичних речовин і хімікатів, наприклад кадмію та миш'яку, які використовуються при виробництві сонячних батарей. Але загалом і ці негативні ефекти мінімальні за своїм обсягом, якщо є продумана політика щодо повторного використання матеріалів та утилізації.

Розрахунок кількості енергії, яку можна отримати в різні місяці року та суму прибутку

Як відомо, сонячне світло відіграє ключову роль, коли мова йде про сонячну енергію, і не у всіх регіонах створені рівні умови в цій сфері. Дуже важливо знати, скільки сонячного світла досягає землі в районі, де

розміщений наш потенційний сонячний будинок або сонячна станція.

Тобто одним із важливих показників є інсоляція – міра того, скільки сонячної радіації впаде на землю в тій чи іншій області в певний період часу. Це зазвичай вимірюється в кВт / м² / дні, і вона покаже нам, скільки сонячного світла буде доступно для наших сонячних батарей, щоб перетворитися в електрику. Чим вище значення інсоляції в нашому регіоні, тим більше електроенергії кожна з наших панелей зможе генерувати.

Оскільки м. Кривий Ріг розташований між такими обласними центрами як м. Кропивницький та м. Дніпро, то, скориставшись даними про рівень сонячної радіації для обласних міст України, визначили дані для м. Кривий Ріг, як середнє значення. Отримані результати представлені в табл 1.

Таблиця 1

Місто	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Дніпро	1,21	1,99	2,98	4,05	5,55	5,57	5,7	5,08	3,66	2,27	1,2	0,96
Кропивницький	1,2	1,95	2,96	4,07	5,47	5,49	5,57	4,92	3,57	2,24	1,14	0,96
Кривий Ріг	1,21	1,97	2,97	4,06	5,51	5,53	5,64	5	3,615	2,26	1,17	0,96

Ми бачимо, що найменш ефективним місяцем в плані інсоляції є грудень (з показником 0,96).

Для використання сонячної енергії сонячні панелі можна розташувати різним способом, як на даху будинків, так і рядами на землі. На території м. Кривий Ріг сонячні панелі доцільно встановлювати під кутом 42° до поверхні землі.

Для обчислення енергії, отриманої з однієї батареї W_1 , скористаємось формулою $W_1 = \frac{P \cdot E}{1000}$, де P – потужність однієї сонячної батареї; E – середній рівень сонячної радіації;

Для обчислення енергії, виробленої за один день W_d , скористаємось формулою $W_d = N \cdot W_1$ де N – кількість батарей в установці;

Для обчислення енергії, виробленої за один місяць W_m , скористаємось формулою $W_m = n \cdot W_d$, де n – кількість днів на місяць.

Для обчислення кількості енергії, яку можна використати W_i , скористаємось формулою $W_i = \frac{5W_m}{6}$, де W_i – кількість енергії, яку можна використати.

У роботі наведено детальний розрахунок прибутку на рік на прикладі мережевих сонячних електростанцій різної потужності, в основі яких є сонячні панелі Ameri solar 285 розміром $1640 \times 992 \times 35$ мм. Результати проведених розрахунків можна бачити в табл. 2.

Таблиця 2

Потужність, кВт	Кількість батарей	Мінімальна площа, м ²		Вартість	Термін, через який буде отриманий прибуток	Прибуток на рік, грн
		на даху	окремими рядами			
5	20	33	44	\$ 3950 (111943 грн)	4 роки 8 місяців	23954,45
10	40	66	88	\$ 7850 (222469 грн)	4 роки 6 місяців	49155,61
15	56	92	123	\$ 10950 310323 грн	4 роки 6 місяців	69316,54
20	72	118	158	\$ 14000 396760 грн	4 роки 5 місяців	89477,47
30	108	176	237	\$ 16500 (467610 грн)	3 роки 6 місяців	134839,56

Працюючи над роботою, ми ще раз впевнились у ефективності використання сонячної енергії як альтернативного джерела енергії. Незважаючи на деякі недоліки сонячних батарей, як-от: висока вартість сонячної електростанції, мінливість сонячної активності, різна кількість енергії залежно від пори року та часу доби – сонячні батареї доцільно використовувати як альтернативне джерело енергії.

Література:

1. <https://rent techno.ua/ua/solar/utility-scale.html>.
2. https://zhytlo.in.ua/ua/napryamok/chista_energy_a/perevagi_ta_nedolki_sonyachnih_kremnvih_batarej.html.
3. <https://teplosfera.com/sonyachni-batareyi-dlya-pryvatnogo-budynku-vydy-dotsilnist-perelik-obladnannya-perevagy-ta-nedoliky/>.
4. <https://smarteco.biz.ua/news/perevagy-ta-nedoliky-vstanovlennya-sonyachnyh-elektrostantsij/>.

УДК: 620.91:662.997: 621.315.592

ОСОБЛИВОСТІ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ ТА РОБОТИ СОНЯЧНОЇ ПАНЕЛІ

О.О. Богацька,

*Криворізька загальноосвітня школа І–ІІІ ступенів № 19,
м. Кривий Ріг, тел.: +380980423740, e-mail:
fox310815@gmail.com*

У запропонованій роботі розглянуто позитивні та негативні аспекти використання сонячної енергетики та особливості роботи головних пристроїв для перетворення сонячної енергетики в електричну.

Ключові слова: *сонячне випромінювання, сонячна енергія, сонячні панелі, фотоелемент, напівпровідниковий елемент.*

FEATURES OF SOLAR ENERGY AND SOLAR PANEL WORK

O.O. Bogatskaya,

*Kryvyi Rih comprehensive school of I-III degrees №19
Kryvyi Rih city council of Dnipropetrovsk region, tel.:
+380980423740, e-mail: fox310815@gmail.com*

The proposed work examines the positive and negative aspects of using of solar energy and the features of the main devices for the transformation of solar energy into electricity.

Keywords: *solar radiation, solar energy, solar panels, photo element, semiconductor element.*

ORCID: 0000-0003-3436-2061.

Зараз у світі найпоширенішими є ТЕС – теплові електростанції, що працюють на непоновлюваних природних ресурсах: вугіллі, нафті, газі тощо. Вичерпаність цих ресурсів та їх поганий вплив на навколишнє середовище роблять доречним питання, про перехід до відновлюваних та невичерпних джерел енергії.

Одним із найзручніших таких джерел є Сонце. Чому зручне?

1) **Тривалість життя.** Оскільки Сонце належить до зірок головної послідовності (за діаграмою Герцшпрунга – Рассела), його життя до стадії червоного гіганта складає 10 млрд років. Якщо вік нашої Сонячної системи – 4,5 млрд років, а зірки і планети коло них розвиваються одночасно, то наше головне світило буде з нами ще 5,5 млрд років.

2) **Екологічність.** Сонячна енергетика є екологічно чистою, тобто ніяк не забруднює навколишнє середовище.

3) **Мобільність.** Сонячні панелі без проблем можна встановити на дахах різних будівель у місті.

Найголовнішими недоліками СЕС (сонячні електростанції) є:

1) **Потреба у великих площах землі.** Через малу сонячну сталу виникає потреба у великих ділянках землі для електростанцій.

2) **Цикл роботи.** Сонячні електростанції не працюють вночі, та погано працюють зранку та ввечері. До того ж похмура погода погано позначається на ефективності.

Потік сонячного випромінювання, що проходить крізь площу 1 м^2 , розташовану перпендикулярно потоку випромінювання на відстані однієї астрономічної одиниці (відстань від Сонця до Землі) дорівнює 1367 Вт/м^2 (сонячна постійна). Через атмосферу Землі, максимальний потік сонячного випромінювання на рівні моря – 1020 Вт/м^2 .

Середньодобове значення потоку сонячного випромінювання принаймні втричі менше (через зміни дня і ночі і зміни кута Сонця над обрієм). Взимку в помірних широтах, це значення удвічі менше. Ця кількість енергії з одиниці площі визначає можливості сонячної енергетики.

Найрозповсюдженішим пристроєм для перетворення сонячної енергії на електричну є сонячна панель. Кожна сонячна панель влаштована як блок з n -ю кількістю модулів, які поєднують в собі послідовно з'єднані напівпровідникові фотоелементи. При падінні сонячних променів на фотоелемент у ньому генеруються нерівномірні електронно-діркові пари. У зовнішньому ланцюзі з'являється напруга. При цьому на p (нижньому)-шарі формується позитивний полюс, а на n (верхньому)-шарі – негативний. Фотоелементи підключені до акумулятора, утворюють з ним замкнуте коло, а акумулятор при цьому поступово набирає заряд. Перетікання у фотоелектричних перетворювачах відбувається тільки через один p - n -перехід з обмеженою за енергетикою фотонів зоною цього переходу, тобто кожний такий фотоелемент генерує електроенергію тільки від вузького спектра сонячного випромінювання. Уся інша енергія пропадає даремно. Для підвищення ККД, напівпровідникові елементи стали робити багатоперехідними. При роботі панель поступово нагрівається. Вся енергія, що не пішла на створення електричного струму, трансформується в тепло так, що температура поверхні панелі сягає 50–55 °С. І чим вона вище, тим менш ефективно працює панель.

Література:

1. Аристов, Г. А. Солнце [Текст] / Г. А. Аристов; под ред. Э. Р. Мустеля – Москва; Ленинград: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1950. – 53 с.: ил. – (Научно-популярная библиотека).
2. Сабади, П. Р. Солнечный дом [Текст] / П.Р. Сабади; перев. с англ. Н. Б. Гладковой. – Москва: Стройиздат, 1981. – 112 с.: ил.
3. Харченко, Н. В. Индивидуальные солнечные установки [Текст]/ Н. В. Харченко. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 208 с.: ил. – ISBN 5-283-00110-5
https://uk.wikipedia.org/wiki/Сонячна_енергетика
<https://sovet-ingenera.com/eco-energy/sun/princip-raboty-solnechnoj-batarei.html>

УДК 621.643

ГІДРАВЛІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАСОСНИХ СТАНЦІЙ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ

Бузовський В.П.¹, Вовкодав Г.М.², Неделку В.Є.³

¹Одеська національна академія харчових технологій,
вул. Канатна, 112, Одеса, 65039, Україна, тел.
+38(098)626-06-35, e-mail: buzovskiy.v@gmail.com

²Одеський державний екологічний університет вул.
Львівська, 15, Одеса, 65016, Україна, тел.
+38(063)625-74-29, e-mail:
galinakoptykova258@gmail.com

³ОЗОШ №28, вул. Ак. Філатова, 13В, Одеса, 65000,
Україна, тел. +38(095)939-66-46, e-mail:
vikinedelku@gmail.com

Представлено математичну модель для виведення аналітичної залежності напору насосної станції від продуктивності при паралельній роботі двох насосів. Застосовано метод Харді Кроса для ув'язки витрат через насоси, які з'єднані паралельно. Виконано приклад побудови напірної характеристики двох паралельно з'єднаних насосів за методом Харді Кроса.

Ключові слова: метод Харді Кроса, насоси, напірна характеристика, математична модель.

HYDRAULIC CHARACTERISTICS OF PUMP STATIONS WATER SUPPLY SYSTEMS

Buzovsky V.¹, Vovkodav G.², Nedelku V.³

¹Odessa National Academy of Food Technologies, st.
Kanatna, 112, Odessa, 65039, Ukraine, tel. +38 (098) 626-06-
35, e-mail: buzovskiy.v@gmail.com

²Odessa State Ecological University, 15 Lvivska Street,
Odessa, 65016, Ukraine, tel. +38 (063) 625-74-29, e-mail:
galinakoptykova258@gmail.com

³*School №28, str. Ak. Filatova, 13B, Odessa, 65000,
Ukraine, tel. +38 (095) 939-66-46, e-mail:
vikinedelku@gmail.com*

A mathematical model for deriving the analytical dependence of the pump station pressure on the productivity during parallel operation of two pumps is presented. The Hardy Cross method is used to link costs through pumps that are connected in parallel. An example of the construction of the pressure characteristic of two parallel pumps by the method of Hardy Cross is performed.

Key words: *Hardy Cross method, pumps, pressure characteristic, mathematical model.*

ORCID: ¹0000-0001-6718-5001, ²0000-0002-4953-9491,
³0000-0002-5518-5175

Розглянемо метод Харді Кроса ув'язки гідравлічної мережі з двома паралельно з'єднаними насосами (рис. 1).

Рисунок 1. Схема паралельного з'єднання насосів

Якщо нехтувати гідравлічними втратами у всмоктувальних і напірних трубопроводах, справедливо таке: сума напорів розвиваються насосами повинна дорівнювати нулю

Згідно з методом Харді Кроса, як початковий потокорозподіл приймається таке, що відповідає умові:

$$\sum_{i=1}^n q_i = 0, \quad (1)$$

Рівняння (1) вказує на те, що сума вхідних і вихідних витрат у вузлах повинна дорівнювати нулю. В ході ітераційного розрахунку до витрат на ділянках насосної станції додають поправки Q . Для загального випадку напір, що розвивається насосом з урахуванням поправки Q , дорівнюватиме:

$$H_i = a_i - b_i \cdot (q_i + \Delta Q)^n, \quad (2)$$

де знак Q вибирається з урахуванням напрямку обходу.

Використовуючи формулу бінома Ньютона, отримаємо такий вираз:

$$H_i = a_i - b_i \cdot (q_i^n + n \cdot q_i^{n-1} \cdot \Delta Q + \frac{n(n-1)}{2} q_i^{n-2} \cdot \Delta Q^2 + \dots). \quad (7)$$

Відкидаючи члени з поправкою Q другого ступеня і вище і підсумовуючи відповідно до (4), отримуємо:

$$\sum_{i=1}^p (a_i - b_i \cdot |q_i|^n) = \Delta Q \cdot \sum_{i=1}^p (b_i \cdot n \cdot |q_i|^{n-1}). \quad (4)$$

Підсумкова формула для визначення поправки Q :

$$\Delta Q = \frac{\sum_{i=1}^p (a_i - b_i \cdot |q_i|^n)}{\sum_{i=1}^p (b_i \cdot n \cdot |q_i|^{n-1})}. \quad (5)$$

Після внесення поправок до витрат насосів, заново визначають їх напори і перевіряють умову (1). У разі значної помилки, поправку слід заново визначити, в результаті чого ітераційний процес повторюється.

Описану математичну модель рекомендується використовувати при розробці комп'ютерних програм для побудови напірних характеристик насосних станцій і розрахунку їх коефіцієнта корисної дії.

Побудову спільної напірної характеристики двох паралельно з'єднаних насосів виконуємо в сучасному веб-застосунку Google Spreadsheets.

У результаті отримаємо сукупність точок, що являє собою графічну характеристику насосної станції, яка складається з двох паралельно з'єднаних насосів (рис. 2).

Напірна характеристика насосної станції

Рис. 2. Характеристика насосної станції

На рис. 2 представлена напірна характеристика насосної станції при паралельному з'єднанні двох насосів.

Література:

1. Брюханов О.М. Газопостачання : навч. Посібник для студ. вищ. навч. Закладів / О.М. Брюханов, В.А. Жила, А.І. Плужников. – М.: Видавничий центр «Академія», 2008. – 448 с.
2. Визначення ККД насосної станції / М.М. Кологривов, В.П. Бузовський // Актуальні проблеми енерго-ресурсозбереження та екології (м. Одеса, 11-12 грудня 2019 р.). – Одеса: Одеська державна академія будівництва та архітектури, 2019. – С. 53–56.

УДК 620.91

АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ ТА ПЕРСПЕКТИВ РОЗВИТКУ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ ДНІПРОПЕТРОВЩИНИ ТА МІСТА ЖОВТІ ВОДИ

В.Д. Козель,

*Комунальний заклад загальної середньої освіти І–
ІІІ ступенів № 3 Жовтоводської міської ради,
вул. Бульвар Свободи, буд. 43, кв. 53, м. Жовті Води,
Україна, тел.: +38(066)974-93-32, e-mail:
valeria04112003@ukr.net*

У роботі наведено географічні передумови оптимального розміщення сонячних електростанцій на території Дніпропетровської області, а також приведено переваги та недоліки використання СЕС. Показано вплив СЕС на температурний режим повітря в літній період у місті Жовті Води з урахування стану хмарності.

Ключові слова: сонячна енергетика, альтернативні джерела енергії, температура, сумарна сонячна радіація, сонячна електростанція.

ANALYSIS OF PROBLEMS AND PROSPECTS OF SOLAR ENERGY DEVELOPMENT IN THE DNIPROPETROVSK REGION AND ZHOVTY VODY

V.D. Kozel,

*Municipal Institution of General Secondary Education
of I-III Degrees № 3 of Zhovtovodsk City Council, st.
Freedom Boulevard, build. 43, apt. 53, Zhovty Vody,
Ukraine*

The article presents the geographical prerequisites for the optimal location of solar power plants in the Dnipropetrovsk region and also there are the advantages

and disadvantages of using SES are given. The influence of SES on the air temperature in the summer of Zhovti Vody is shown, taking into account the state of clouds.

Keywords: *solar power, alternative energy sources, solar power plant, temperature, total solar radiation.*

ORCID: 0000-0003-0308-8143.

У сучасних умовах, коли важливого значення набуває питання енергетичної незалежності України, розвиток геліоенергетики є перспективним напрямком використання природного потенціалу відновлюваних джерел енергії. Сьогодні енергетика України вимагає значного споживання традиційних джерел енергії (нафта, газ, вугілля, атомна енергія). Проте їх використання пов'язане з виникненням ряду проблем, як-от: вичерпність їх запасів і забруднення навколишнього середовища. Як наслідок, приріст потужностей ВДЕ, а зокрема і СЕС, дедалі прискорюється. А отже, постає питання, чи не призведе це знову до глобальної проблеми?

Сонячні станції є ще недостатньо вивченими об'єктами, тому віднесення їх до екологічно чистих не є обґрунтованим. У найкращому разі до екологічно чистої можна віднести кінцеву стадію експлуатації СЕС. Серед кліматологів існує думка, що широке впровадження сонячної енергетики може змінити відбивну здатність земної поверхні й привести до зміни клімату. Щодо сонячної енергії можна зауважити, що вона абсолютно безпечна для Землі, навколишнього середовища та людей. Сонячна енергетика включає виробництво енергоощадних і енергорегулювальних продуктів на екологічно безпечних заводах, а також переробку і повторне використання матеріалів. Її використання дає змогу значно скоротити прямі й непрямі викиди під час виробництва. Аморфний кремій, який використовується

як провідник, не спричиняє ніякої шкоди. При цьому термін дії носія вимірюється десятиліттями [2].

Переваги та недоліки використання сонячних електростанцій

Переваги	Недоліки
1. Невичерпність енергоносія, його безкоштовність. 2. Відсутність шкідливих викидів та відходів при експлуатації. 3. Не потребує транспортування пального. 4. У разі аварії чи катастрофи зумовлює незначні збитки. 5. Переробка і повторне використання матеріалів. 6. Включає виробництво енергоощадних і енергорегулювальних продуктів.	1. Повністю залежить від погодних умов і прозорості атмосферного повітря. 2. Займає великі площі під самою станцією. Затемнення земель. 3. Зумовлює зростання температури атмосферного повітря. 4. Висока вартість будівництва, значно матеріаломісткі. 5. Збільшення питомої землемісткості та збільшення небезпеки забруднення підземних вод розсолами та маслами. 6. Можливе забруднення підземних вод.

Отже, можна стверджувати, що будівництво СЕС має більше переваг щодо впливу на навколишнє середовище, ніж недоліків.

В ході аналізу переваг та недоліків сонячних електростанцій виявлено, що збудування СЕС може

привести до зростання температури атмосферного повітря. Тому вирішено прослідкувати зміну температурного режиму повітря міста Жовті Води у літні місяці, коли виробіток електричної енергії сонячними панелями особливо високий, за останні 6 років, починаючи з 2015 року. А сонячні станції були введені в експлуатацію у 2018 році.

З використанням середніх температур за день станції Комісарівка [4], автором було прораховано середні температури за місяці вказаних років (рис. 1). Аналізуючи створений графік, можна прослідкувати, що зміна температур була досить неоднорідною, тому автором роботи було розглянуто хмарність, як один із чинників, які впливають на пряме надходження сонячної радіації (рис. 2).

Рис. 1. Графік зміни середнього значення температур повітря літніх місяців за роками у місті Жовті Води

Рис.2 Графік зміни середнього значення хмарності літніх місяців за роками у місті Жовті Води

Використовуючи графіки (рис. 1, 2), можна довести, що така зміна температури повітря залежала від хмарності міста Жовті Води. Тому після аналізу температурного режиму повітря в літній період у місті Жовті Води з урахуванням стану хмарності автором роботи зроблено висновок, що вплив сонячних електростанцій на температуру міста є незначним і безпечним для екологічної ситуації Жовтих Вод.

На сьогоднішній день в Дніпропетровській області працюють більше ста двадцяти сонячних електростанцій, з яких близько двадцяти п'яти – дахові. Їх загальна потужність складає більше тисячі мегават. Саме завдяки цьому за кількістю сонячних електростанцій та їх потужністю Дніпропетровська область перша в Україні. Для порівняння: загальна потужність сонячних електростанцій в Україні в 2019 році складала 2640 МВт, а кількість СЕС – 514 [5].

Саме в Дніпропетровській області нині працює найпотужніша сонячна електростанція в Україні. Вона

розташована у Нікопольському районі, поблизу села Катеринівка. Завдяки її роботі викиди в атмосферу зменшаться на 400 тис. тонн щороку. Проте окрім даної СЕС у Нікопольському районі розташована ще одна сонячна електростанція біля села Старозаводське. Саме ці дві сонячні електростанції входять у трійку СЕС Європи. На даний момент Україну випереджає тільки Франція.

Чотирма найперспективнішими районами у розвитку сонячної енергетики є, звичайно, Нікопольський, Криворізький, Кам'янський та Дніпровський. Надходження сумарної сонячної радіації на цих територіях коливається у межах 4200 МВт 4600 МДж/м², що є причиною великої тривалості сонячного сяйва. Похмурих і туманних днів, у порівнянні з іншими трьома районами області, невелика кількість протягом року. Рельєф рівнинний, не перевищує 150 м. І один з найголовніших факторів – це великі площі еродованих земель, які не використовуються у сільському господарстві [3] та можуть бути використані під будівництво СЕС (30–80 %).

Також великою перспективою у Нікопольському, Кам'янському та Дніпровському районах є наявність Каховського, Кам'янського та Дніпровського водосховищ відповідно. Площа їхньої акваторії може бути використана під будівництво плавучої сонячної електростанції. Такі встановлені СЕС на дніпровському каскаді могли б ефективно взаємодіяти з існуючими там ГЕС. Такий тандем ідеально розподіляв би генерацію протягом доби без часової залежності.

Інші три райони – Новомосковський, Павлоградський та Синельниківський – характеризуються меншим потенціалом до будівництва сонячних електростанцій. Надходження сумарної сонячної радіації знизилося до 4000–4400 МДж/м², що зменшило тривалість сонячного сяйва протягом року. Підвищена хмарність і туманність території також

впливають на низький розвиток СЕС. Рельєф дещо вищий, проте також рівнинний, до 200 м. Як вже було зазначено, одним з найголовніших факторів розвитку будівництва сонячних електростанцій є площа еродованих земель, яка на територіях цих районів є невеликою. Вона коливається від 20 до 40 %. Тобто більшість земель використовується або може бути використано під сільське господарство, що перешкоджає економічно вигідному встановленню сонячних панелей на них.

Новомосковський, Павлоградський та Синельниківський райони не мають достатнього виходу до акваторій дніпровських водосховищ, що є ще одною причиною уповільнення активного розвитку сонячної енергетики на цих територіях.

Література:

1. С.А. Величко, О.С. Третьяков. Альтернативна енергетика України. Матеріали для уроків, факультативів, МАН. – Х.: Вид. група «Основа», 2010. – 128 с. – (Б-ка журн. «Фізика в школах України». Вип. 6 (78)).
2. Лаптінова Н., Григоренко М. Альтернативна енергетика України // Краєзнавство, географія, туризм № 21 (794), листопад 2013.
3. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Дніпропетровській області за 2018 рік. Затверджено: Р.О. Стрілець директор департаменту екології та природних ресурсів дніпропетровської облдержадміністрації, м. Дніпро, 2019.
4. https://rp5.ua/%D0%9F%D0%BE%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D0%B0_%D0%B2_%D0%96%D0%B5%D0%BB%D1%82%D1%8B%D1%85_%D0%92%D0%BE%D0%B4
5. https://www.saee.gov.ua/sites/default/files/R_E_II_2019.pdf

УДК 662.767.2

ВИКОРИСТАННЯ СМІТТЄВОГО ГАЗУ ЯК ДЖЕРЕЛА ВИДОБУТКУ ВОДНЮ ДЛЯ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

І.Є. Микитенко

*Комунальний заклад загальної середньої освіти І–ІІІ
ступенів № 3 Жовтководської міської ради,
вул. Богуна, 50, м. Жовті Води, 52201, Україна,
тел.: +38(095)514-72-43,
e-mail: igor0955147243@gmail.com*

*У роботі наведено дослідження потенціалу
використання біогазу, добутого з органічних відходів як
джерела водню для відновлюваної енергетики*

Ключові слова: *тверді побутові відходи, біогаз*

USE OF GARBAGE GAS AS A SOURCE OF HYDROGEN PRODUCTION FOR RENEWABLE ENERGY

І. Mykytenko

*Municipal institution of general secondary education of I-III
degrees №3 of Zhovti Vody city council, street Bohuna 50,
Zhovti Vody, 52201, Ukraine, e-mail:
igor0955147243@gmail.com*

*The article presents a study of the potential use of biogas
extracted from organic waste as a source of hydrogen for
renewable energy*

Keywords: *solid household waste, biogas.*

ORCID: 0000-0001-9440-9963.

Людина у середньому виробляє 1-2 кг твердих побутових відходів на день, щороку з'являється понад 4 трлн т сміття. Накопичення цих відходів негативно впливає на всі компоненти довкілля. На сьогодні в світі є яскраві приклади раціонального поводження з ТПВ як ресурсом.

Станом на 2020 рік населення України становило 41 902 416 осіб. Оскільки людина здатна продукувати 1-2 кг сміття в день, розраховано, що на день в Україні припадає 63 тис. т сміття, на рік – 23 млн т [1].

Населення Дніпропетровської області станом на 2020 рік становило 3 176 600 осіб, тож розраховано, що на день на Дніпропетровську область припадає 4800 т, на рік – 1,7 млн т.

Населення міста Жовті Води на 2020 рік становило 43 591 осіб, отже, розраховано, що на день на місто Жовті Води припадає 65 т сміття, а на рік – 24 тис. т.

За середнім морфологічним складом тверде побутове – 35–40 % харчових відходів. Розрахуємо кількість утворених органічних відходів за рік в Україні, на Дніпропетровщині та місті Жовті Води (1). Розрахуємо, скільки можна утворити біогазу з усіх перероблених органічних відходів (2)

$$M = \frac{N \cdot A \cdot 365}{1000} \cdot 0,375 \quad (1)$$

$$V_1 = M \cdot K \quad (2)$$

N – кількість населення, A – середня маса твердих побутових відходів на людину, M – кількість органічних відходів, т/рік, K – об'єм біогазу, що може виділятися з 1 кг органічних відходів [2], V₁ – об'єм можливого видобутого біогазу.

Таблиця 1. Розрахунки продукування біогазу та його подальшого використання

	Кількість органічних відходів, т/рік	Можлива кількість видобуто біогазу, м ³ /рік	Можлива кількість виробленої електроенергії, КВт/год/рік
Україна	8625000	$2,3 \cdot 10^9$	$4,6 \cdot 10^9$
Дніпропетровська область	637500	$168 \cdot 10^6$	$336 \cdot 10^6$
м. Жовті Води	9000	$2,4 \cdot 10^6$	$4,8 \cdot 10^6$

Отже, було встановлено, що Україна споживає на рік $7 \cdot 10^{11}$ КВт/год, тож за допомогою використання біогазу як ресурсу можна значно скоротити використання інших невідновлюваних джерел енергетики, таких як вугілля чи природний газ.

Література:

1. Державна служба статистики України
2. Єжи Дудек, Пьотр Клімек, Олег Гвоздевич, Юрій Стефаник. Використання звалищного газу в енергетичних цілях: економічні аспекти. С. 9.

УДК 620.91:662.997:631.563.2

ЗБЕРЕЖЕМО ЕНЕРГІЮ – ЗБЕРЕЖЕМО УКРАЇНУ!

Л.Д. Саєнко

*с. Шандриголове, вул. Лугова, 3, Лиманський район,
Донецька обл., Україна, тел.: +380502289148, e-mail:*

saenko_liliya@ukr.net

У роботі наведено дослідження можливості економії різноманітних видів енергії в домашньому господарстві та шляхів енергозбереження, якими можна скористатися для зменшення викидів парникових газів. Крім того, наведена оцінка втрат електричної та теплової енергії, також енергії, необхідної для нагрівання води.

Ключові слова: енергоефективність, енергозбереження, збереження довкілля, енергія.

SAVE ENERGY – SAVE UKRAINE!

L. Saenko

*Shandrigolovo village, Lugovaya str., 3, Limansky district,
Donetsk region, Ukraine*

The paper presents a study of the possibility of saving various types of energy in the household and ways to save energy, which can be used to reduce greenhouse gas emissions. And also the estimation of losses of electric and thermal energy, and also the energy necessary for heating of water is resulted.

Keywords: energy efficiency, energy saving, environmental protection, energy.

Актуальність обраної теми: активна і здебільшого непередбачена діяльність людини, супроводжувана знищенням природних ресурсів і забрудненням

навколишнього середовища, призвела до того, що нині біосфера планети перебуває в критичному стані, коли до глобальної катастрофи залишилися лічені кроки. Сьогодні людство витрачає дуже багато електроенергії. Економія ресурсів енергії – реальний спосіб зменшити витрати і зберегти довкілля для майбутніх поколінь.

Мета проєкту: розкрити питання енергозбереження; отримати знання про можливості економії різноманітних видів енергії в домашньому господарстві; оцінити втрати електричної, теплової енергії, а також енергії, необхідної для нагрівання води; визначити шляхи енергозбереження, якими можна скористатися для зменшення викидів парникових газів.

Збереження теплової енергії

Сьогодні на опалення приміщень витрачається четверта частина палива, що споживається в країні, при цьому 80 % іде на обігрівання житлових будинків. Сучасні будинки зазвичай побудовані без достатнього врахування того, скільки енергії необхідно для підтримання задовільної температури в приміщенні. Найчастіше в стінах будинків утворюються "мости холоду" – погано утеплені місця, через які теплота виходить.

Тепловтрати (Вт) через огорожувальні конструкції розраховують за формулою:

$$Q_{\text{огр}} = F(t_{\text{вн}} - t_3^{\text{б}})(1 + \sum \beta)n/R_o.$$

Тут F , $t_{\text{вн}}$, $t_3^{\text{б}}$, β , n , R_o – відповідно площа конструкції; температура повітря в приміщенні; температура зовнішнього повітря; додаткові тепловтрати, в частках від основних втрат; коефіцієнт, що враховує положення зовнішньої поверхні захищення по відношенню до зовнішнього повітря; опір теплопередачам.

Основними заходами для зменшення втрат тепла є обладнання регуляторів на радіаторах опалення в кожній кімнаті, налагодження механічної вентиляції з поверненням теплоти, заміна погано утеплених вікон.

Збереження енергії, необхідної для нагрівання води

Щоб нагріти воду, необхідно багато енергії. Дедалі більше людей розуміють необхідність встановлення лічильників витрат гарячої та холодної води. У тих будинках, де є лічильники, витрати гарячої води зменшилися, а сплата за використання гарячої води знизилася для мешканців майже вдвічі. Для економії енергії необхідно зменшити втрати води. Один зі способів економії води під час приймання душі – енергоощадна душова насадка. За підрахунками, під час використання цієї насадки витрачено 80 л води, тоді як при використанні старого устаткування витрачалось 200 л води. Отже, економія енергії понад 4 кВт год.

Збереження електричної енергії

Розумне і дбайливе користування електроенергією дозволяє без додаткових витрат отримувати у 2-3 рази більше користі від власних електроприладів, знизити невиправдані витрати. Нині чимало технологій дозволяють економити енергетичні ресурси. Насамперед це стосується поширення енергоекономних ламп, що поступово замінюють лампи розжарювання в оселях. Розрахунки показують, що заміна 1 лампи розжарювання потужністю 100 Вт, яка працює приблизно 4 год на добу, на 1 LED лампу потужністю 11 Вт у кожному домогосподарстві України приведе до економії $20 \cdot 10^8$ кВт*год електроенергії та економії $2 \cdot 10^8$ кг вугілля.

Також значну економію може забезпечити використання побутової техніки з високою енергоефективністю; автоматизований контроль освітлення і керування ним залежно від інтенсивності природнього світла і за допомогою датчиків присутності; знеструмлення побутової техніки, яка не використовується.

Енергоефективність – найдешевше й екологічно чисте джерело енергії. Виробництво енергії, яку ми споживаємо, завдає значної шкоди рослинному і тваринному світу, довкіллю, здоров'ю людини. Це змушує нас задуматись над можливостями ефективнішого використання енергії, що,

безперечно, сприятиме збереженню навколишнього середовища і в той же час буде вигідно споживачу.

Література:

1. Мельникова О.В., Праховник А.В., Даг Арне Хойстад, Іншеков Є.М., Дешко В.І., Конеченков А.Є. Енергозбереження. Посібник з раціонального використання ресурсів та енергії для учнів загальноосвітньої школи. Видання друге, виправлене та доповнене. – К.: Вид-во «КВІЦ». – 2004. – 104 с.
2. http://www.klimatvdomi.com/heat/heat_teplo_poteri_ua.html
3. Білявський Г.О., Фудругій Р. С. Основи економічних знань: Підручник. – К.: Либідь, 1997. – 288 с.
4. https://ecoaction.org.ua/yak-efektyvno-ekonomyty-resursy.html?qclid=CjwKCAiA4rGCBhAQEiwAeIVti-UmEZxJTY67k9cs6GiROb319EAWiBGwH8yaHRRRp5-aGrEqFRVOEBoCMNEQAvD_BwE
5. <https://atom.org.ua/?p=359>
6. <https://pay.vn.ua/articles/146>

УДК 631.147

ПЕРСПЕКТИВИ ОТРИМАННЯ БІОПАЛИВА З ФІТОМАСИ МІСКАНТУСУ ГІГАНТСЬКОГО

Н.С. Сергієнко¹, Н.Ю. Леднєва², С.В. Дігтяр³

^{1,2}Ліцей № 4 «Кремінь», вул. Першотравнева, 13,

³Національний університет імені Михайла
Остроградського, вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук,
39600, Україна, тел.: +38(067)722-08-73,

e-mail: nazar.sergienko@icloud.com;

¹Кременчуцьке відділення Малої академії наук України;

^{1,3}гурток «Техніка» Кременчуцької філії комунального
закладу Полтавської обласної ради «Полтавська обласна
Мала академія наук учнівської молоді»

У роботі доведено ефективність отримання біогазу з субстрату на основі фітомаси міскантусу в поєднанні з іншими органічними компонентами (пташиний послід) та показані перспективи впровадження даного способу.

Ключові слова: *miscanthus giganteus*, біопаливо, біогаз, субстратна суміш, метаногенез.

POSSIBILITIES FOR OBTAINING BIOFUELS FROM PHYTOMASS OF MISCANTHUS GIGANTEUS

N.S. Sergienko¹, N.Y. Ledneva², S.V. Digtiar³

^{1,2}Kremenchuk lyceum №4 «Kremin» of Kremenchuk City
Council of Poltava, 13 Pershotravneva str., ³M. V.

Ostrograhradskiy Kremenchuk National University, 20
Pershotravneva str., Kremenchuk, Ukraine, 39600

The article shows efficiency of obtaining biogas from substrate based on phytomass of *miscanthus giganteus* combined with others organic components (bird droppings) also the prospects of implementation of this method are shown.

Keywords: *miscanthus giganteus*, biofuel, biogas, substrate compound, methanogenesis.

ORCID: ¹0000-0003-0868-6214, ²0000-0002-8039-4745,
³0000-0002-6872-2865.

Враховуючи вичерпність традиційних джерел енергії та їх негативний вплив на природні екосистеми, тема використання альтернативних джерел палива стає дедалі більш актуальною. Зокрема звертає на себе увагу широке впровадження в культуру так званих енергетичних рослин. Одним з перспективних для біоенергетичної галузі видів є *miscanthus giganteus*.

Міскантус – це рід багаторічних трав, який має C4 шлях фотосинтезу та походить із Азії та Африки. Давно визнана його декоративна цінність, завдяки якій його активно культивують, але як біоенергетичну культуру його стали розглядати відносно недавно.

Діапазон врожайності міскантусу становить від 5 до 55 т/га [1], що робить його однією із найпродуктивніших культур помірного клімату.

Також міскантус є дуже невибагливим до ґрунтів і не потребує додаткових добрив. Важливішим за тип чи кислотність ґрунту для міскантусу є його розпушеність [2].

Для практичного отримання вегетативної маси міскантусу в квітні 2019 було висаджено 15 куртинок на дослідній ділянці 10×2 м біля лабораторії КрНУ. Саджанці успішно пережили зиму 2020 року і спостереження за ними триває. Це доводить те, що міскантус добре акліматизується в умовах Полтавської області.

В дослідженні було проведено три експерименти з видобутку біогазу із органічних субстратів на основі чистої фітомаси міскантусу, пташиного посліду та їх суміші. Аналіз хімічного складу відповідних субстратів наштовхнув на ідею їх комбінування через високий вміст Карбону та малий вміст Нітрогену в міскантусі та навпаки – у пташиному посліді. Такий прийом дозволяє досягати співвідношення C:N =

1:30, яке вважається оптимальним, і, як наслідок, отримати більший вихід біогазу.

Для проведення цього експерименту з видобутку біогазу було змонтовано лабораторну установку – наполовину заповнену субстратом ємність, з'єднану за допомогою трубки з такою самою ємністю, заповненою водою. Цю систему було розміщено у термостаті ТС-8014У4.2 за температури 25 °С (рис. 1).

Рис. 1. Лабораторна метаногенна установка

Газ, що виділявся, витискав воду до третьої ємності. Завдяки шкалі на посудині регулярно відзначали його добуток.

За результатами досліджень було складено графік (рис. 2), який доводить нашу теорію про більший видобуток біогазу при дотриманні співвідношення C:N = 1:30.

Рис.2. Графік залежності видобутку біогазу від органічного субстрату

Одним із факторів вибору саме пташиного посліду як додаткового субстрату стала екологічна загроза, яку несе неправильна утилізація відходів птахівництва. Оскільки утилізація пташиного посліду шляхом його переробки на біогаз є досить привабливим як з економічної, так і з екологічної точки зору, це надає даному методу ще більше переваг перед традиційними. Також після відпрацювання залишковий субстрат можна використовувати як мінерально-органічне добриво для сільськогосподарських потреб.

Отже, вперше в Кременчуці проведено дослідження з визначення найефективнішого використання фітомаси

міскантусу для видобутку біогазу – економічно та екологічно цінного палива. Запропоновано ефективний шлях утилізації тваринних відходів без шкоди для довкілля та з достатньою економічною доцільністю.

Література:

1. Heaton et al. 2010. Miscanthus: A Promising Biomass Crop Section II, p. 86–89.
2. Christian, D. G. and Haase, E. (2001). Agronomy of Miscanthus. In Miscanthus for Energy and Fibre, (M. B. Jones and M. Walsh, eds.), p. 21–45. James & James, London.

УДК: 620.91

ДОСЛІДЖЕННЯ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ПЕВНИХ ОБЛАСТЕЙ УКРАЇНИ ТА ДНІПРОПЕТРОВЩИНИ ЗА ТРИ РОКИ

A.V. Taranenko

*Комунальний заклад загальної середньої освіти І–ІІІ
ступенів № 3 Жовтоводської міської ради,
вул. Івана Богуна, 81, кв.26, м. Жовті Води, 52201,
Україна, тел.: +38(050)052-16-96,
e-mail: taranenkoartem2006@gmail.com*

У роботі наведено дослідження вітроенергетичного потенціалу певних областей України та Дніпропетровщини за три роки, яке визначає перспективу побудови вітрових електростанцій в Україні.

Ключові слова: вітер, швидкість вітру, енергія вітру, відновлювані джерела енергії, ВЕС.

RESEARCH OF WIND ENERGY POTENTIAL OF CERTAIN REGIONS OF UKRAINIAN AND DNIPROPETROVSK REGION FOR 3 YEARS

A.V. Taranenko

*Municipal Institution of General Secondary Education of I-III
Degrees №3 of Zhovtovodsk City Council, st.Ivan Bohun,
build. №81, apt. 26, Zhovty Vody, Ukraine*

The article presents a study of wind energy potential of certain regions of Ukraine and Dnipropetrovsk region for 3 years, that determine the prospects for the construction of wind farms in Ukraine.

Keywords: wind, wind speed, wind energy, renewable energy sources, wind farms.

ORCID: 0000-0001-7447-109X.

На сьогоднішній день енергетика використовує переважно невідновлювані джерела енергії і майже 67 % виробляє енергії на теплових електростанціях, використовуючи невідновлювані джерела енергії, які значно забруднюють середовище. Тому вирішенням даної проблеми є альтернативні джерела енергії. До відновлюваної енергетики належать: сонячна енергетика, вітрова енергетика, гідроенергетика, геотермальна енергетика, припливна енергетика, енергетика біопалива. [1]. Доля виробленої енергії з відновлюваних джерел незначна. Однією з причин є недостатнє дослідження енергетичного потенціалу відновлюваних джерел певних територій і вітру зокрема.

Відомо, що вітер – це рух повітря в горизонтальному напрямку з області високого тиску в область низького [2]. Енергія вітру – частина сонячної енергії, яка досягає зовнішніх шарів земної атмосфери та перетворюється на кінетичну енергію частинок повітря, які рухаються [3]. Кінетична енергія вітрового потоку дорівнює:

$$W_k = \frac{mv^2}{2} \quad (1)$$

m – маса повітря, що рухається, кг, v – швидкість вітру.

Баричний градієнт – це найголовніший чинник розміщення вітрових установок, від якого залежить кількість виробленої енергії цими установками, саме цей показник характеризує причини виникнення всіх вітрів [3].

Потужність вітрового потоку визначається так:

$$P = \frac{W_k}{t} = \rho \left(\frac{S \cdot v^3}{2} \right) \quad (2)$$

де, ρ – густина повітря, кг/м³; S – площа, яку перетинає вітровий потік, м²; v – швидкість вітру, м/с.

Перша вітроенергетична електростанція в Україні і в світі була збудована в 1931 році поблизу Севастополя. Її потужність становила 100 кВт [4].

У 1994 році на березі озера Донузлав почала діяти перша черга Донузлавської ВЕС (друга вітрова електростанція в Україні) [4].

Наразі в Україні налічується 28 вітрових установок. Із них 5 – в Миколаївській області, 2 – в Луганській, 3 – в Донецькій, 7 – в Херсонській, 4 – в Запорізькій, 2 – в Львівській, 1 – в Київській, 1 – в Івано-Франківській та 2 – в Тернопільській. Їхня загальна потужність сягає 1170 МВт [5]. Найбільші з них розташовані в Запорізькій, Херсонській та Миколаївській областях. Найбільша в Україні на даний момент вітрова електростанція Ботієвська, потужність якої сягає 200 МВт, розташована в Запорізькій області [6].

Цього року розпочнеться будівництво найбільшої в Європі ВЕС [7]. Норвезька компанія NBT отримала дозвіл на будівництво в Запорізькій області, недалеко від Мелітополя, ВЕС Zorhia, що буде складатися з 130–150 вітроустановок потужністю по 5-6 МВт кожна. Загальна потужність ВЕС буде приблизно становити 792 МВт. Після завершення будівництва Zorhia буде найбільшою в Європі береговою вітровою електростанцією.

Дослідження певних областей України, а саме Запорізької, Херсонської, Донецької та Закарпатської, показало, що найпридатнішою областю для встановлення вітрових генераторів є Запорізька, а найменш придатною – Закарпатська. Також за допомогою цього дослідження було з'ясовано, що найбільша середня швидкість вітру за три роки, була в Закарпатській області біля г. Плай і становила 7,1 м/с [8].

Дослідження, проведене в Дніпропетровській області, показало що в 2018 році найбільша середня швидкість вітру була до 4,5 м/с в районах Кривого Рогу та Дніпра, а найменша – від 1,1 до 3,1 м/с – в районах с. Лошкарівки, с. Чаплине та м. Павлоград [8].

В 2019 році найбільша середня швидкість вітру була зафіксована в тих самих районах Кривого Рогу та Дніпра –

від 4 м/с, а райони з дуже низькою швидкістю – це переважно райони Комісарівки та Чаплиного [8].

Під час дослідження в Дніпропетровській області за 2020 рік було з'ясовано, що найбільша середня швидкість вітру була також в районах Кривого Рогу та Дніпра, а найменша – в районах Чаплиного та Комісарівки [8].

Отже, підводячи підсумки цього дослідження, можна сказати що, найпридатнішою областю для встановлення вітрових генераторів є Запорізька, а найменш придатна – Закарпатська. Слід також зазначити, що Дніпропетровська область теж придатна для встановлення вітроустановок, але треба їх поєднувати з сонячними панелями, і їхнє розташування можливе тільки в районах Кривого Рогу та Дніпра. Розташування вітрових установок у Жовтих Водах буде взагалі не прибуткове.

Література:

1. <https://ecodevelop.ua/alternativni-dzherela-energiyi/>
2. Географія: підруч. для 6-го кл. загальноосвіт. навч. закл. / В.Ю. Пестушко, Г.Ш. Уварова. – Київ: Генеза, 2014. – 256 с.
3. Газета "Краєзнавство. Географія. Туризм" №21 (794), листопад 2013
4. Масляк П. О., Шищенко П. Г. Географія України: Пробний підруч. для 8-9 кл. серед. шк. – К.: Зодіак-ЕКО, 1998. – 432 с.: іл., карти.
5. http://uwea.com.ua/uploads/reviews/uwea_2019_ua_preview.pdf
6. Барановський М.О. Економічна та соціальна географія України: реальний сектор економіки: навч. посіб. Ніжин : Видавець Лисенко М.М., 2018. 376 с.
7. <https://ua.news/ua/norvezhtsy-postroyat-na-zaporozhe-krupnejshuyu-v-evrope-vetroelektrostantsyyu/>
8. <https://rp5.ua/>

УДК:620.92

АЛЬТЕРНАТИВНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ. ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В ПОБУТІ

І.Д. Остропицький

*КЗ «Великолепетиський опорний заклад ЗСО І–ІІІ
ступенів» Великолепетиської районної ради,
вул. Миру, 18/1, смт Велика Лепетиха, Херсонська обл.,
74502*

*У роботі досліджено види альтернативних і
відновлюваних джерел енергії та ефективність
використання сонячних батарей житлових будинках.*

Ключові слова: *енергоефективність,
енергоспоживання, сонячні батареї, сонячна енергія.*

ALTERNATIVE SOURCES OF ENERGY. THE USE OF SOLAR ENERGY IN EVERYDAY LIFE

I.D. Ostropytskyi

*Public institution "Basic educational institutuion of Velyka
Lepetykha of general secondary school education for levels I-
III" of the district council of Velyka Lepetykha, 18/1 Myra Str.,
Velyka Lepetykha, Kherson region 74502*

*The kinds of alternative and renewable sources of energy
and the efficiency of the use of solar batteries in dwelling houses
are investigated in this research.*

Keywords: *the efficiency of energy, the use of energy,
solar batteries, solar energy.*

ORCID: 0000-0001-7607-4645.

Енергетичне голодування чи енергетичний достаток?
Наразі це одне із головних питань, що турбують людство.
Енергетична криза, яка виникла на планеті, вражає своїми

масштабами: потреби людства в електричній енергії у декілька разів перевищують її виробництво! І це при тому, що остання цифра є майже фантастична – 27–30 трлрд кіловат-годин щороку.

Очевидно, що :

- запаси корисних копалин на Землі поступово виснажуються;
- поновлювані джерела енергії при існуючому розвитку технологій та обладнання не в змозі покрити збільшувані потреби населення;
- атомна енергетика поки що не може забезпечити достатню міру надійності своєї роботи;
- унаслідок життєдіяльності людини і переважно під час виробництва необхідних для неї енергії та продуктів відбувається забруднення навколишнього середовища, що призводить, наприклад, до кислотних дощів, «парникового ефекту» тощо.

Одним із шляхів вирішення екологічної проблеми є використання альтернативних джерел енергії:

- **енергії сонця;**
- **енергії вітру;**
- **енергії річок;**
- **енергії Землі;**
- **енергії світового океану.**

У роботі проведено аналіз рентабельності сонячних батарей. Обрано процес використання сонячної енергії в житловому будинку.

Розрахунок потужності сонячних батарей мережевої станції показує, що для її окупності та навіть виходу надалі на чистий прибуток продуктивність СЕС повинна бути щонайменше 5 kW для літньої дачі та 10 kW – для дому.

Визначення кількості енергії, яка потрібна житловому будинку на добу.

МАТЕРІАЛИ XXII МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
"ВІДНОВЛЮВАНА ЕНЕРГЕТИКА ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ У XXI СТОЛІТТІ"
Розділ 9. Молодіжна секція

Найменування	Потужність, Вт	Кількість, шт.	Час, год	Вт, год
Енергоощадна лампа	11	5	0,4	220,0
Телевізор	150	1	1,5	225,0
Електронасос	600	1	0,6	360,0
Праска	1500	1	0,3	450,0
Ноутбук	350	1	1,0	350,0
Холодильник	250	1	12,0	3000,0
Електрочайник	1000	1	0,1	1000,0
Пральна машина	1500	1	0,4	600,0
Мікрохвильова піч	1500	1	1,0	1500,0
Пилесмок	700	1	0,3	210,0

Приватний будинок із власним споживанням електроенергії в середньому 250 кВт*год на місяць і встановленою сонячною станцією потужністю 10 кВт, вартістю 231 000 грн поверне затрачені кошти за 5,7 років

	Місяць	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	За рік
1	Споживання кВт*год	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	3000
2	Електрична енергія, що виробляється сонячною електростанцією кВт*год	305	495	1020	1240	1450	1410	1400	1310	990	730	300	250	10900
3	Надлишки на продаж, кВт*год	55	245	770	990	1200	1160	1150	1060	740	480	50	0	7900
4	Надходження на рахунок з врахуванням податків і зборів, грн(Зелений тариф 5,54 грн за 1 кВт*год)	247	1099	3455	4443	5385	5205	5161	4757	3321	2154	224	0	35450
5	Дохід від генерації для власних потреб, грн.(тариф 1,68 за 1 кВт*год)	420	420	420	420	420	420	420	420	420	420	420	420	5040
	Разом, грн	667	1519	3875	4863	5805	5625	5581	5177	3741	2574	644	420	40490
	Вартість сонячної електростанції 10 кВт, грн													231000
	Термін повернення інвестицій, рік													5,7

Приватний будинок з власним середнім споживанням 300 кВт*год на місяць, з сонячною станцією на 15 кВт, вартістю 348 500 грн поверне затрачені кошти за 5,9 років

	Місяць	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	За рік
1	Споживання кВт*год	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	3600
2	Електрична енергія, що виробляється сонячною електростанцією кВт*год	456	697	1430										15393
3	Надлишки на продаж, кВт*год	256	397	11340	1440	1730	1670	1670	1530	1090	750	180	50	11793
4	Надходження на рахунок з вирахуванням податків і зборів, грн(Зелений тариф 5.54 грн за 1 кВт*год)	700	1781	5071	6462	7763	7494	7494	6866	4891	3366	880	224	52920
5	Дохід від генерації для власних потреб, грн.(тариф 1.68 за 1 кВт*год)	504	504	504	504	504	504	504	504	504	504	504	504	6048
	Разом,грн	1204	2285	5575	6966	8267	7998	7998	7370	5395	3870	1312	728	58968
	Вартість сонячної електростанції 10 кВт, грн													348500
	Термін повернення інвестицій, рік													5.9

За «зеленим» тарифом гроші надходять до 15 числа кожного місяця за попередній.

Окупність власної сонячної електростанції відбувається за період 5–8 років.

Після окупності власної сонячної електростанції власник буде протягом наступних десятиліть одержувати прибуток й отримувати безкоштовну енергію для своїх потреб. Це вигідна інвестиція в майбутнє.

Енергозбереження починається зі спостереження і контролює насамперед споживання та використання енергії. Оскільки ж енергія є складовою частиною будь-якого процесу, то контроль є загальним, тобто за всіма без

винятку процесами та діями підприємства установи або закладу та власної оселі.

Література:

1. Бабієв Г.М. Перспективи впровадження нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії в Україні. // Г.М. Бабієв, Д.В. Дероган, А.Р. Щокін // Електричний журн. – 1998. – № 1. – С.63–64.
2. Дероган Д. В. Перспективи використання енергії та палива в Україні з нетрадиційних та відновлюваних джерел // Д.В. Дероган, А.Р. Щокін // Бюл. "Новітні технології в сфері нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії: бюл. – 1999. – № 2. – С. 30–38.
3. "Про альтернативні види рідкого та газового палива": закон України // Відомості Верховної Ради України // – 2000. – № 12. – С. 94.
4. "Про альтернативні джерела енергії": закон України // Відомості Верховної Ради – України // – 2003. – № 24. – С. 155.
5. Бородіна О. Відтворювальна енергетика – перспективи для сільського господарства / О. Бородіна // Пропозиція. – 2008. – № 10. – С. 90–94.
6. Гелетука Г. Україна: нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії / Г. Гелетука, С. Кудря // Зелена енергетика. – 2005. № 1 – С. 8–10.
7. Альтернативное топливо. Мечты и реальность. Нанотехнологическое сообщество [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.nanometer.ru/2009/04/06/alternativnaa_energetika_biotoplivo_biogaz_153654.html
8. .Енергетичні ресурси України / за ред. В.П. Руденка – К., 2004.

УДК 620.91

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ НА РОБОЧОМУ МІСЦІ

I. Овчаров

*ДНЗ «Сєвєродонецький професійний будівельний ліцей»,
вул. Маяковського, 18, м. Сєвєродонецьк, 93400, Україна,
тел.: +38(095)508-70-41, e-mail: spsl98@ukr.net*

У роботі розглянуті основні напрямки зменшення використання електроенергії в електрозварювальній майстерні: при освітлюванні, вентиляції та у зварювальному процесі.

Ключові слова: *електрична енергія, види енергоресурсів, роботи з енергозбереження, енергоефективність при зварюванні, оптимальний спосіб зварювання, технологія зварювання.*

IMPROVING ENERGY EFFICIENCY IN THE WORKPLACE

I. Ovcharov

*Severodonetsk Professional Construction Lyceum, ul.
Mayakovskoho 18, Severodonetsk, 93400, Ukraine,
tel.: +38(095)508-70-41, e-mail: spsl98@ukr.net*

The main directions of reducing the use of electricity in the electric welding workshop are considered in the work: in lighting, ventilation and in the welding process.

Keywords: *electric energy, types of energy resources, energy saving works, energy efficiency during welding, optimal welding method, welding technology.*

ORCID: 0000-0003-3969-1999.

Підвищення енергоефективності на робочому місці.

У зварювальному виробництві відбувається споживання таких видів енергоресурсів:

- для зварювання: електрична енергія, кисень, ацетилен, аргон, вуглекислий газ, гелій і т. п. ;
- для різання: електрична енергія, кисень, стиснене повітря, ацетилен, пропан та інші горючі гази, бензин, гас;
- для термічної обробки: електрична енергія, природний газ та інші горючі гази;
- для контролю зварювальних швів: стиснене повітря (пневматичний контроль), електрична енергія (ультразвукові, магнітні види контролю), гас, гелій (капілярні методи контролю), атомна енергія (радіаційний вид контролю) і т. д.

Організаційно-технічні заходи в електрозварювальних установках з енергозбереження можна умовно розділити на дві основні групи: технологічні та енергетичні. Найбільші можливості економії електроенергії є в технології зварювального виробництва, і тільки 20–30 % дають енергетичні заходи.

Підвищення енергоефективності робочого місця залежить від:

- правильного розташування обладнання щодо вікон;
- більш ефективного використання денного світла;
- видалення забруднень на вікнах і плафонах світильників;
- забарвлення стін у світлий колір;
- заміни емальованих плафонів світильників на дзеркальні;
- заміни ламп розжарювання на люмінесцентні або енергоощадні лампи;
- раціонального розташування робочого обладнання та інструментів;
- використання енергоефективних інструментів, обладнання;
- використання енергоефективних технологій і матеріалів.

Скорочення витрат електроенергії **вентиляційними установками** можливо за рахунок впровадження таких заходів:

1. Заміна старих вентиляторів новими, більш економічними.
2. Впровадження економічних способів регулювання продуктивності вентиляторів.
3. Відключення вентиляційних установок під час обідніх перерв, перезмінок і т. д.;
4. Усунення експлуатаційних дефектів і відхилень від преекту.
5. Використання автоматичного управління вентиляційними установками.

Основні заходи щодо зниження питомих витрат електроенергії на зварювання:

1. Вибір оптимального способу зварювання:

а) перехід від ручного електрозварювання на постійному струмі до напівавтоматичного в середовищі вуглекислого газу зменшує питому витрату електроенергії в 2-2,5 рази);

б) заміна дугового електрозварювання на шовну контактну (знижує витрату електроенергії на 15 %);

в) перекид ручного дугового зварювання з постійного на змінний (зменшує витрату електроенергії в 2-3 рази).

2. Вдосконалення технології електрозварювання:

а) за рахунок використання електродів з покриттям, в яке введений залізний порошок (дозволяє збільшити силу зварювального струму, підвищити продуктивність і знизити витрати електроенергії на 8–12 %);

б) застосування присадки у вигляді металу в порошок (при зварюванні під флюсом знижується витрата на 30–40 %);

в) правильний вибір режимів роботи.

3. Впровадження обмежувачів холостого ходу.

Впровадження обмежувачів холостого ходу зварювальних перетворювачів і трансформаторів дає

економію електроенергії на 15–20 % на кожній установці; знижує напругу холостого ходу до 12 В (безпечне для людини).

Збереженню електроенергії при виконанні зварювальних робіт сприяє використання кабелів оптимальної довжини і площі поперечного перерізу. Якщо опір на проводах зварювального кола перевищує допустимі значення, необхідно використовувати кабель більшого поперечного перерізу. З'єднання зварювальних кабелів між собою треба виконувати за допомогою спеціальних муфт, що не тільки відповідає правилам техніки безпеки, але й запобігає зайвій витраті електроенергії.

Література:

1. Мельников О., Праховник А. Энергозбереження. Посібник з раціонального використання ресурсів та енергії для учнів загальноосвітньої школи. Видання друге виправлене та доповнене. Київ, 2004 – 104 с.
2. Гуменюк Е., Івасків О. Технологія електродугового зварювання. Київ. Грамота. 2004. – 350 с.
3. Самойлов М., Паневчик В., Ковалев А. Основи енергозбереження. Мінськ, БГЭУ, 2002. – 98 с.
4. Коченков А.Є., Федосенко М. Енергія навколо нас. Посібник для вчителів. Київ, Нотна ф-ка 1999. – 192 с.

УДК 620.91:662.997:631.563.3

**МАЙБУТНЄ ЗА ВІТРОЕНЕРГЕТИКОЮ.
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ВВЕДЕННЯ У
ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ
НА ПРИКЛАДІ ВІТРОВОЇ ЕНЕРГІЇ**

М.В. Щербакова¹

*с. Шандриголове, вул. Лугова, 97, Краматорський район,
Донецька обл., 84430, Україна, тел.: +38(050)268-81-97,
e-mail: super_shcherbakova@ukr.net*

У роботі наведено дослідження продуктивності введення у використання альтернативної енергетики з економічної точки зору на прикладі вітрової енергії.

Ключові слова: енергія вітру, вітродвигуни, альтернативна енергетика, енергетичні ресурси.

**THE FUTURE BELONGS TO WIND POWER.
RESEARCH OF THE PRODUCTIVITY OF INTRODUCTION
TO THE USE OF ALTERNATIVE ENERGY SOURCES ON
THE EXAMPLE OF WIND ENERGY**

M. Shcherbakova¹

*Shandrigolovo village, Lugovaya str., 97, Limansky district,
Donetsk region, 84430, Ukraine*

The paper presents a study of the productivity of introducing alternative energy into use from an economic point of view on the example of wind energy.

Keywords: wind energy, wind turbines, alternative energy, energy resources.

Актуальність: у сучасних умовах господарювання надзвичайно гостро стоїть проблема обмеженості енергетичних ресурсів, без яких не може обійтися жодне виробництво. Важливо на сьогоднішній день знайти вигідні

джерела електроенергії та запровадити нові, альтернативні, екологічно чисті технології.

Мета: висвітлення злободенної теми переходу до альтернативних джерел енергії, що є відновлюваними та фактично невичерпними.

В наш час як ніколи гостро постало питання, про те, яким буде майбутнє планети в енергетичному плані. Науково-технічний прогрес неможливий без розвитку енергетики, електрифікації. Для підвищення продуктивності праці найважливіше значення має механізація і автоматизація виробничих процесів, заміна людської праці машинною.

Одним з найперспективніших видів енергії є енергія вітру. Джерело вітроенергетики – сонце, оскільки воно є відповідальним за утворення вітру.

Щоб найкраще використати вітряну енергію, важливо досконало розуміти добові та сезонні зміни вітру, зміну швидкості вітру залежно від висоти над поверхнею землі, кількість поривів вітру за короткі відрізки часу та також статистичні данні хоча б за останні 20 років.

Енергія, що міститься в потоці рухомого повітря, пропорційна кубу швидкості вітру. Проте не вся енергія повітряного потоку може бути використана навіть за допомогою ідеального пристрою. Теоретично коефіцієнт корисної дії енергії повітряного потоку може бути рівний 59,3 %, але на практиці – приблизно 50 %, частина енергії повітряного потоку втрачається при перетворенні механічної енергії в електричну з ККД зазвичай 75–95 %.

Враховуючи всі ці чинники, питома електрична потужність, видавана реальним вітроенергетичним агрегатом складає 30–40 % потужності повітряного потоку. Якщо швидкість вітру перевищує номінальну робочу швидкість, то ККД складає 15–30 % енергії вітру або навіть менше.

Широкому застосуванню вітроенергетичних агрегатів у звичних умовах поки перешкоджає їх висока собівартість. Крім того, кінці лопатей крупної установки, рухаючись з

великою швидкістю, створюють шум. Проте головна перешкода на шляху використання енергії вітру все ж таки економічна – потужність агрегату залишається невеликою і частка витрат на його експлуатацію виявляється значною.

Сьогодні, в умовах енергетичної кризи в Україні, вітроенергетика посідає одне з провідних місць. У країні взятий курс на прискорений розвиток виробництва вітроенергетичних установок і будівництво вітроелектростанцій загальною потужністю 500 МВт і більше, для чого у вітроенергетику прямують великі державні інвестиції.

Найперспективніший район для будівництва установок з використання і вироблення додаткової електроенергії є територія Автономної Республіки Крим, яка має достатньо великий вітровий потенціал в Україні.

Проблема енергозабезпечення тісно пов'язана з екологічним станом нашої планети, з розвитком народонаселення та інтенсивним розвитком промисловості. Ефективне використання енергоресурсів дає змогу знизити не тільки собівартість виробництва, а й рівень видобутку корисних копалин і цим самим зменшити рівень забрудненості довкілля.

Ввівши такого роду джерела енергії в експлуатацію, Україна в найближчому майбутньому могла б стати енергетично незалежною державою, що своєю чергою істотно зменшило б зовнішні витрати країни.

Література:

1. Григорьев А.А. Экологические уроки прошлого и современности. – Л., 1991. – 249 с.
2. Загнибіда Н.М. Метод проектів на уроках хімії. – Тернопіль – Харків: Ранок, 2011. – 128 с.
3. Кондратова Л.Г. Навчаємося позаурочній проектній діяльності. – Х.: Основа, 2011. – 128 с.
4. Куценко А.М., Писаренко В.Н. Альтернативна енергія. – К., 1991. – 200 с.
5. Юдасин Л. С. Энергетика: проблемы и надежды. – М., 1990. – 205 с.

УДК 644-1-628.8

ПОНИЖЕННЯ ВИСОТИ СТЕЛІ В БУДИНКУ, ЯК ОДИН ІЗ СПОСОБІВ ЕНЕОГОЗБЕРЕЖЕННЯ В ПОБУТІ

В.О. Крячок

Трипільський ліцей Української міської ради Обухівського району, вул. Шевченка, 102, с. Трипілья, Обухівський район, Київська обл., 08722, тел.: +38(066)079-27-09, e-mail: vikakryachok@gmail.com

У роботі проводиться експериментальне дослідження енергозбереження під час опалення приватних будівель за рахунок пониження стелі.

Ключові слова: енергозбереження, будинок, енергоефективність, стеля, утеплення конструкцій, енергоощадні матеріали та конструкції.

REDUCING THE HEIGHT OF THE CEILING IN THE HOUSE AS ONE OF THE WAYS TO SAVE ENERGY IN THE HOME

V.O. Kryachok

Trypillya Lyceum of the Ukrainian City Council of Obukhiv District, 102 Shevchenka Street, Trypillya Village, Obukhiv District, Kyiv Region, 08722, tel.: +38(066)079-27-09, e-mail: vikakryachok@gmail.com

An experimental study of energy saving during heating of private buildings by lowering the ceiling is carried out.

Keywords: *energy saving, house, energy efficiency, ceiling, insulation of structures, energy saving materials and structures.*

ORCID: 0000-0002-0012-4973.

Енергозбереження – дії для зменшення кількості використовуваної енергії. Використання енергії пов'язане з двома проблемами. Перша – запаси джерел енергії

вичерпуються, друга – сучасні способи виробництва енергії завдають непоправної шкоди довкіллю та людині внаслідок шкідливих викидів.

Актуальність роботи полягає в тому, що дозволяє впровадити один зі способів енергоефективності в побуті, й у такий спосіб підтримати державну політику в напрямку енергозбереження. Знаходження способу зменшення витрат на опалення може значно покращити економічний стан України, особливо у період світової економічної кризи. Одним із шляхів вирішення цього питання є реконструкція існуючих будівель з метою створення енергоефективних та енергоекономічних будівель, що витрачають мінімальну кількість енергії на опалення будинку.

Предмет дослідження: залежність використання природного газу для опалення будинку від висоти стелі у будинку, шляхом вимірювання розмірів будинку та результатів опалення за квитанціями.

Мета дослідження: підвищення енергоефективності в побуті з метою економії фінансових витрат сім'ї, що є мотивацією здійснення енергозбереження на планеті: економить витрати джерел електроенергії та частково вирішує проблему глобального потепління.

Основні завдання цієї роботи полягають у вивченні способів підвищення енергоконсервації, вивчення технологій для енергозбереження, енергоощадних матеріалів, підвищення енергоефективності у комунальній сфері, енергозбереження під час будівництва, утеплення конструкцій, енергозбереження в побуті за рахунок пониження стелі.

Дослідження проводилося так: я відвідала помешкання сусідів, записала дані з квитанцій про оплату за користування газом протягом року, заміряла розміри опалювального приміщення (довжина, ширина, висота), здійснила обрахунок об'єму повітря, що нагрівається та суму оплати за газопостачання за три пори року (осінь, зима, весна), оплату розділила на об'єм.

В результаті дослідження з'ясовано, що ціна за кубометр нагрітого повітря менша у цегляних будинках з низькою стелею і більша у цегляних будинках з вищою стелею. Виходячи з даних досліджень, можна стверджувати, що шляхом пониження стелі до мінімально допустимої можна суттєво зекономити на оплаті за використання природного газу, а саме від 7,6 до 31 %. Власники старих дерев'яних будинків мають виграш в енергозбереженні і значний.

УДК 641.53.09

ТЕХНОЛОГІЯ ВИКОРИСТАННЯ ФОЛЬГИ В ПОБУТІ ЯК СПОСІБ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

І.Ю. Шкута

Трипільський ліцей Української міської ради Обухівського району, вул. Шевченка 102, с. Трипілля, Обухівський район, Київська область, 08722, тел.: +38(099)172-03-52, e-mail: shkuta70@ukr.net

У роботі проводиться експериментальне дослідження використання фольги під час приготування їжі, що значно економить фінансові витрати сім'ї при оплаті використання природного газу

Ключові слова: енергоефективність, енергоконсервація, енергозбереження, енергоресурси, фольга, економія, їжа.

TECHNOLOGY OF USING FOIL IN THE HOME AS A WAY TO SAVE ENERGY

I.Yu. Shkuta

Trypillya Lyceum of the Ukrainian City Council of Obukhiv District, 102 Shevchenka Street, Trypillya Village, Obukhiv District, Kyiv Region, 08722, tel.: +38(099)172-03-52, e-mail: shkuta70@ukr.net

The paper conducts an experimental study of the use of foil during cooking, which significantly saves the family financial costs when paying for the use of natural gas.

Keywords: energy efficiency, energy conservation, energy saving, energy resources, foil, economy, food.

ORCID: 0000-0002-3882-7818.

Стратегічна мета енергозбереження одна і впливає з його визначення – це підвищення енергоефективності у всіх галузях, у всіх населених пунктах і в країні в цілому. Її завдання – визначити, якими заходами і наскільки можна здійснити це підвищення.

Будь-яку добру справу розпочинати потрібно із себе та своєї сім'ї, тому актуальність даної роботи полягає в тому, що дозволяє провадити один із способів енергоефективності в побуті, таким чином підтримати державну політику в напрямку енергозбереження.

Ціль мого дослідження – це підвищення енергоефективності у побуті з метою економії фінансових витрат сім'ї, що є мотивацією здійснення енергозбереження в державі і на планеті в цілому: економить витрати джерел енергії та частково вирішує проблему глобального потепління.

Крім глобального утеплення будинку чи квартири, як-от: зовнішнє та внутрішнє утеплення стін, заміна вікон на енергоощадні, зменшення висоти стелі – слід здійснити ряд дрібних але вагомих енергоощадних заходів, а саме: провітрювати кімнату з розумом, не перекривати шлях теплу, не перегрівати квартиру, опалювати свою квартиру, а не котельню, для освітлення приміщень використовувати енергоощадні лампи, охолоджувати з розумом, приймати не ванну, а душ, використовувати однонавісний змішувач, не випускати тепло з кімнати та інші, які окремо дають незначний ефект, а разом значний відсоток енергозбереження. До таких побутових дрібниць належить також алюмінієва фольга.

Скориставшись світловідбивною властивістю фольги, проведемо експериментальне дослідження з метою заощадження використання природного газу в побуті під час приготування їжі.

Експеримент полягає в тому, що я застелила газову плиту фольгою, зважила каструлю, набрала води, знайшла масу води, виміряла температуру води, з допомогою дорослих вимкнула газові прилади, крім плити, зняла

покази газового лічильника і для підстраховки, зафіксувала час. Нагріла воду до певної температури, вимкнула пальник і знову зняла покази лічильника. Дослід провела з каструлею з емальованою, нержавіючою та чорною поверхнею. Потім зробила обрахунки коефіцієнта корисної дії пальника, врахувавши, що корисна кількість теплоти – це та, що безпосередньо витрачається на нагрівання води, а затрачена – кількість теплоти, яка виділяється під час згорання газу. Аналогічно зробила, застеливши задню стінку, потім боки. Дані ввела в таблицю.

Дослід показав, що зі збільшенням світловідбивної поверхні навколо каструлі збільшується коефіцієнт корисної дії полум'я конфорки від 2,9 до 7,8 %. При цьому заощаджуються кошти не лише за рахунок зменшення витрат природного газу, а і за рахунок зменшення витрат миючих засобів, тому що під час такого використання фольги газова плита практично не забруднюється або забруднюється менше. Якщо використовувати каструлю з чорною поверхнею, коефіцієнт корисної дії конфорки збільшується на 17 %.

При такому експерименті дає зворотній ефект каструля із дзеркальною поверхнею, а точніше із нержавіючої сталі.

Отже при застиланні фольгою плити користуватися посудом із дзеркальною зовнішньою поверхнею не ефективно. Більшість газових плит виробники виготовляють із білою або металевою(дзеркальною) поверхнею, з метою збільшення світло відбиваючої властивості поверхні плити і збільшенні при цьому коефіцієнта корисної дії конфорки, тому використовувати посуд із дзеркальною зовнішньою поверхнею економічно не вигідно.

Отже найбільший ефект під час приготування їжі дає посуд з абсолютно чорною поверхнею. Навіть без покриття поверхні фольгою коефіцієнт корисної дії вищий ніж у емальованій каструлі.

Не знаючи законів фізики, наші предки готували їжу в горщиках з темною або чорною зовнішньою поверхнею, що крім економії ще й прискорювало процес приготування їжі.

Наукова новизна мого дослідження полягає в тому, що експериментально доведено ефективність використання фольги в побуті з метою енергозбереження і це є малозатратною технологією.

Дана робота має практичне значення: проведене дослідження доводить економію витрат природного газу в побуті з використанням каstrулі з емальованою поверхнею на 8 %, а з використанням каstrулі з чорною поверхнею – на 17 %. Проведені досліді, а особливо дослід із каstrулею з чорною поверхнею, дають змогу значно економити фінансові витрати.

Дана установка не потребує значних затрат і може бути застосована в будь якій сім'ї на кухні.

Сім'я із п'яти осіб, яка сплачує за місяць користування природнім газом для приготування їжі 350 грн, при застосуванні фольги заощаджує від 28 до 59,5 грн за місяць. За рік економія становить від 336 до 714 грн.

УДК: 621.313

КОМПЛЕКСНЕ ВИКОРИСТАННЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ ФЕРМЕРСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

К.С. Казимір¹, М.О. Будько²

^{1,2}Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря
Сікорського», вул. Політехнічна 37, м. Київ, 03056, Україна
тел.: +38(099)554-95-58, email: kazymir.kateryna@iit.kpi.ua

²Інститут відновлюваної енергетики НАН України,
вул. Гната Хоткевича, 20а, м. Київ, 02094, Україна
тел.: +38(067)944-89-59, email: budko.marina@iit.kpi.ua

У роботі розглянуто можливості комплексного
використання енергії сонячного випромінювання та
біомаси для енергозабезпечення тваринницької ферми.

Ключові слова: фотоелектрична установка,
біогазова установка, комплексне енергоживлення.

COMPLEX USE OF RENEWABLE ENERGY SOURCES FOR POWER SUPPLY OF THE FARM

K. Kazymir¹, M. Budko²

^{1,2}National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv
Polytechnic Institute", 37 Polytechnichna st., Kyiv, Ukraine,
03056

²Institute of Renewable Energy, National Academy of Science
of Ukraine, 20A, Hnata Khotkevicha str., Kyiv, Ukraine, 02094

The paper considers the possibilities of complex use of
solar radiation energy and biomass for energy supply of
livestock farms

Keywords: photovoltaic plant, biogas plant, complex
power supply.

ORCID: ¹0000-0002-6710-1231, ²0000-0003-0928-1657.

Споживачі електроенергії в секторі сільського господарства мають порівняно невеликі потужності та розосереджені на значній території. Це зумовлює відповідні особливості їх електроживлення. Оскільки необхідно подавати електроенергію до великої кількості малопотужних об'єктів, віддалених один від одного на значні відстані, то це призводить до великої протяжності електричних мереж.

Основною частиною електропостачання фермерського господарства є застосування електроенергії в усіх сферах роботи ферми. Особливу увагу необхідно приділити створенню та підтриманню мікроклімату. За рівнем електроспоживання та складності електрообладнання деякі господарства можуть відповідати промисловим підприємствам. І тому погіршення якості електроживлення призводить не лише до порушення нормальної роботи, а і до значних збитків.

Великі тваринницькі комплекси в Україні розташовані переважно в сільській місцевості й часто стикаються з проблемами перебою електроживлення та відхилення показників якості електроенергії. Розв'язати цю проблему можна за рахунок комплексного використання відновлюваних джерел енергії, а саме комбінації сонячної фотоелектричної та біогазової установок.

Розглянемо специфіку реалізації такого комплексу на прикладі тваринницької ферми з розведення ВРХ. Сучасні ферми потребують електричної енергії на розподіл корму, організацію водопостачання, доїння і початкову обробку та зберігання молочної продукції, системи вентиляції і опалення, відкачку гною, освітлення, охоронні системи.

На території тваринницького комплексу розташовано багато будівель великої площі (склади, адміністративні споруди, ферми), що дозволяє розмістити на дахах достатню кількість фотомодулів. Для худоби є важливим збереження теплового балансу всередині приміщення.

Розташовані на даху сонячні панелі захищають будівлю від перегріву та знижують температуру всередині приміщення, що зменшує використання електроенергії на вентиляцію.

Проте молочне тваринництво має специфічний графік енергоспоживання, з двома піками протягом дня: перший рано вранці, а другий – ввечері (рис. 1). Ці піки відповідають періоду доїння та збігаються з періодами ранкового та вечірнього перевантаження загальної системи.

Рис. 1. Усереднений добовий графік споживання електроенергії ферми на 700 голів

Аналіз часу роботи доїльних апаратів показує, що влітку корови дають молоко під час сходу і заходу сонця, а взимку – до сходу і після заходу сонця. В такій ситуації можливе лише часткове безпосереднє використання енергії від СЕС під час доїння. Також необхідні великі затрати електроенергії для роботи систем охолодження молока.

Для підвищення використання відходів та можливості переходу на автономне електроживлення, доцільне встановлення біогазової установки з когенераційним блоком для забезпечення як електричного, так і теплового навантаження фермерського господарства.

Комплексне використання відновлюваних джерел енергії є практичним варіантом повного автономного енергозабезпечення фермерського господарства власними енергоресурсами, що зменшує залежність від цін на електроенергію та покращує якість енергоживлення. За умови надлишку виробітку енергії від ВДЕ власник господарства може стати продавцем енергії для споживачів, розташованих поблизу фермерського господарства. Впровадження таких комплексних рішень дозволяє зменшувати забруднення навколишнього середовища.

Технічні аспекти реалізації комплексної автономної системи енергоживлення фермерського господарства за рахунок фотоелектричної та біогазової установок буде розглянуто в рамках виконання бакалаврської роботи на кафедрі Відновлюваних джерел енергії в КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Література:

1. Кудря С.О. Стан та перспективи розвитку відновлюваної енергетики в Україні (за матеріалами наукової доповіді на засіданні Президії НАН України 7–25 жовтня 2015 р.) / С.О. Кудря // Вісник Національної академії наук України. – 2015, № 12. – С. 19–26.
2. Лисенко О.В. Аналіз можливості використання відновлюваних джерел енергії для підвищення якості електропостачання в сільськогосподарському виробництві/ Лисенко О.В. // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету [Електронний ресурс]. – Мелітополь: ТДАТУ, 2018. – Вип. 8, том 2. – Режим доступу: <http://oj.tsatu.edu.ua/index.php/visnik>.
3. Синявський О.Ю. Вплив відхилення показників якості електроенергії на технологічну складову збитку в тваринництві / О.Ю. Синявський, В.В. Савченко // Енергетика та автоматика. – 2016, № 1. – С. 59-67.

УДК 620.91:662.997:631.563.2

ПЕРСПЕКТИВИ ВИГОТОВЛЕННЯ СЕНДВІЧ-ПАНЕЛЕЙ З ПРОДУКТІВ ПЕРЕРОБКИ ТЕКСТИЛЮ

Я.М. Мартиненко¹, В.В. Паришура²

*Миронівський районний ЦДЮТ, гурток «Юний дослідник»,
вул. Соборності, 117, м. Миронівка, Київської обл.,
Україна, тел.: +38(098)477-86-62,
e-mail: lynnuikrolik@gmail.com*

Дослідницьку роботу присвячено аналізу світового досвіду з переробки текстилю. Розкрито специфіку поводження з текстильними відходами в Україні та запропоновано власне бачення вирішення даної проблеми для нашої країни – використовувати продукти переробки одягу для виготовлення сендвіч-панелей для утеплення житлових приміщень.

Ключові слова: *утилізація текстилю, сендвіч-панель, утеплення житлових будинків, екологія довкілля, види утеплювальних матеріалів, теплові характеристики утеплювачів.*

PROSPECTS FOR MANUFACTURING SANDWICH PANELS FROM TEXTILE PROCESSING PRODUCTS

Y.M. Martynenko¹, V.V. Paryshkura²

*MyronivskyDistrictCentralResearchCenter, "Youngresearcher"
circle, Sobornostist., 117, Myronivka, Kyivregion, Ukraine,
tel.: +38(098)477-86-62, e-mail: lynnuikrolik@gmail.com*

The research work is devoted to the analysis of world experience in textile processing. The specifics of textile waste management in Ukraine are revealed. Our own vision of solving this problem for our country is proposed – to use clothing processing products to manufacture sandwich panels to insulate residential premises.

Keywords: *textile recycling, sandwich panel, insulation of residential buildings, environmental ecology, types of insulation materials, thermal characteristics of insulation materials.*

ORCID: 10000-0001-5875-3927.

Фактор енергозбереження є одним із визначальних для енергетичної стратегії України. Тому утеплення житлових приміщень є вкрай актуальним питанням сьогодення.

Тож в даній роботі піднято дві актуальні теми: проблему утилізації текстилю та виготовлення сендвіч-панелей з продуктів його переробки для зовнішнього утеплення будівель. Перевагою запропонованого наповнювача для сендвіч-панелей є дешевизна та доступність матеріалу, який використовується для його створення. Запропоновано технологію виготовлення сендвіч-панелей та технологію їх монтажу.

Досліджено основні види утеплювальних будівельних матеріалів, їх теплофізичні характеристики. Проаналізовано економічну доцільність використання запропонованого виду утеплювача.

Теоретично розраховано термофізичні характеристики запропонованих сендвіч-панелей, зроблено відповідні висновки про перспективи їх використання для утеплення житлових приміщень.

Література:

1. Андрієвський А.А. Енергозбереження та енергетичний менеджмент: навчальний посібник. / Андрієвський А.А.// – Москва: Вища школа, 2005.
2. Береговий А.М. Будівлі з енергозберігаючими конструкціями Текст. / А.М. Берегової // Автореф. дис.: канд. техн. наук. Пенза, 2005.
3. Борисова, Л. Енергетика має бути ощадною / Л. Борисова // Україна і світ сьогодні. – 2008. – № 6-7. – 15 серпня. – С. 11.

4. Енергозбереження та перспективи впровадження енергозберігаючих технологій в Україні: аналітичний огляд / Л. А. Мусіна, О. Е. Бережний, Н. В. Березняк, В. М. Павшук – К. : УкрІНТЕІ, 2008. – 48 с.

5. Концепція впровадження енергоефективних технологій в міське будівництво Текст. // Енергозбереження. 2003. - №5.

6. Проблеми та стан енергозбереження в Україні й розвинених країнах світу: аналітичний огляд / В. М. Євтушенко. – К. : УкрІНТЕІ, 2008. – 67 с.

7. Семиноженко, В. П. Роль науки та інновацій у розвитку енергетики та екології України / В. П. Семиноженко // Екология и промышленность. – 2011. – № 2. – С. 4–6.

8. Сайт проекту GIZ «Енергоефективність у будівлях» (<http://www.eeib.org.ua>).

9. <http://www.enefcities.org.ua>); інформаційний ресурс ТЕПЛИЙ ДІМ (<http://teplydim.com.ua>

10. <https://www.csi.org.ua/news/problema-smittya-vid-yevropy-do-ukrayiny/>

11. <https://www.eurointegration.com.ua/articles/2016/03/15/7046195/>

12. <https://www.minregion.gov.ua/napryamki-diyalnosti-zhkh/terretory/stan-sferi-povodzhennya-z-pobutovimi-vidhodami-v-ukrayini-za-2018-rik/>

УДК 620.91

САМООРІЄНТОВНА СОНЯЧНА ПАНЕЛЬ

М.В. Крикун¹, О.Є. Ренгевич²

*Бориспільський міський центр технічної творчості
"Еврика", вул. Київський шлях, 87/1, Бориспіль,
Київська обл., 08301, тел.: [0459567895](tel:0459567895),
e-mail: arhimedevrika@ukr.net*

У роботі наведено принцип створення системи самонаведення на сонце для сонячної панелі, за допомогою якої можна збільшити її ефективність.

Ключові слова: самоорієнтовна сонячна панель, система стеження за сонцем, сонячна панель.

SELF-ORIENTED SOLAR PANEL

M.V. Krikun¹, O.E. Rengevych²

*Boryspil City Center for Technical Creativity "Eurika", 87/1
Kyivskyi Shlyakh Street, Boryspil, Kyiv Region, 08301,
tel.: 04595 67895, e-mail: arhimedevrika@ukr.net*

The article presents the principle of creating a system of homing in the sun for a solar panel, with which you can increase its efficiency.

Keywords: self-orienting solar panel, solar tracking system, solar panel.

ORCID: ¹0000-0003-4523-7928.

Важливість створення систем стеження за сонцем для сонячних панелей

На сьогоднішній день актуальним є використання відновлюваних джерел енергії в повсякденному житті.

Проте оскільки вони поки мають досить низьку ефективність, необхідне впровадження різних систем, що допоможуть збільшити ККД пристроїв. Однією з таких систем є система стеження за сонцем для сонячної панелі.

У своїй роботі я створила макет самоорієнтовної сонячної панелі, завдяки використанню якої ККД сонячної панелі збільшується на 40 % порівняно з нерухомою панеллю.

Розробка системи (компоненти, матеріали, пристрої, програма, система роботи, функціональність)

Модель складається з рухомої сонячної панелі потужністю 10 Вт, мікроконтролера ATmega328, сервоприводу та системи кріплення.

Макет сонячної панелі розташований на одній вертикальній опорі, кут нахилу якої можна змінювати залежно від пори року. Сервопривід панелі, керований мікроконтролером, відповідає за зміну положення в горизонтальній площині. Програма визначає найоптимальніший кут повороту панелі, перетворюючи вихідну напругу з панелі в цифровий еквівалент. Завдяки цьому постійно вимірюється напруга і регулюється кут повороту для кращої роботи.

Програма написана мовою C ++ в середовищі IDE. В процесі роботи програма спочатку повертається в крайню точку, обертається на 180°, вимірює напругу в кожній точці. За допомогою певних обчислень отримує координату, на яку необхідно повернутися, далі шукає точку з потрібним значенням напруги і зупиняється там. Якщо панель робить оберт і фіксує, що сонце зникло, то з того моменту, коли це стає очевидним, знову починає вимірювати напругу й повертається в потрібне положення, продовжуючи вимірювати напругу. Коли сонце починає рухатись, програма фіксує це і, залежно від того, куди воно рухалося раніше, робить "тестовий" поворот вправо-вліво, визначає, де напруга вище, і починає рухатися, поки

напруга знову не почне падати. Як тільки це відбувається, панель повертається трохи назад і чекає наступних команд, продовжуючи вимірювати напругу.

Для моделі вибрано сервопривід Tower Pro SG90. Поворотним механізмом панелі є сервопривід і кронштейн цієї шестерні. Зміщаючи центр маси на вісь обертання, сервопривід може легко його обертати. Живлення приводу 4,8 В.

Поворотний механізм панелі складається з сервоприводу та кронштейна цього сервоприводу.

Ефективність

Завдяки системі стеження ефективність сонячної панелі може зрости до 40%. Оскільки панель завжди буде обертатися під кутом до сонячного світла близько 90 °.

Переваги й труднощі використання

Основними перевагами використання цієї системи є її висока ефективність порівняно з нерухомими панелями та низька собівартість. Ще однією перевагою сонячних

панелей є збереження природних ресурсів, оскільки з їхньою допомогою можна ефективніше використовувати відновлювані джерела енергії.

Література:

1. Кудря С.О.   Соловей О.І.   Книга 5.
Електроенергетика   та   охорона   навколишнього
середовища. Функціонування енергетики в сучасному світі.
2. Сонячна панель   //   Вікіпедія.   URL:
<https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BE%D0%BD%D1%8F%D1%87%D0%BD%D0%B0%D0%BF%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D0%BB%D1%8C>

УДК 620.91

ПОКРАЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ СПРЯМУВАННЯ МОДУЛІВ НА СХІД-ЗАХІД ТА ОПТИМАЛЬНОГО ПЕРЕВАНТАЖЕННЯ ІНВЕРТОРА

Ю.В. Мартинова, учениця 9-Б класу, Путрівського
опорного закладу освіти – освітнього центру,
вул. Путрівська, 156, с. Путрівка Глевахівської селищної
ради Фастівського району тел.: +38(097)513-78-50, e-mail:
nataliya10.06.1982@ukr.net

У роботі показано можливості покращення продуктивності мережевої сонячної електростанції зі стаціонарно встановленими модулями за допомогою альтернативного спрямування масивів батарей на схід-захід та оптимального перевантаження інвертора.

Ключові слова: мережева сонячна електростанція, генерація інвертора, перевантаження інвертора.

IMPROVING THE PRODUCTIVITY OF THE SOLAR POWER PLANT BY DIRECTING THE MODULES TO THE EAST- WEST AND OPTIMAL INVENTORY OVERLOAD

Ju. V. Martynova, a student of 9b form of Basic Educational
Institution of Educational center, Putrivska str. 156, Putrivka
village of Glevakhiv village council of Fastiv district,
tel.0975137850, e-mail: nataliya10.06.1982@ukr.net

This paper shows the possibilities of improving the performance of a net-connected solar power plant with stationary installed modules through the alternative orientation of the battery arrays to the East-West and the optimal overload of the inverter.

Keywords: network solar power plant, inverter generation, inverter overload.

ORCID: 0000-0001-7306-1072.

Темпи енергоспоживання зростають у всьому світі, а тому на сучасному етапі розвитку цивілізації енергоефективність є найактуальнішою проблемою. Останнім часом, коли ціни на сонячні панелі значно впали, а кількість мережевих сонячних електростанцій зросла в рази, важливим залишається питання вдосконалення продуктивності СЕС. Результати, отримані під час дослідження, доводять, що поєднання двох методів, а саме: оптимального перевантаження інверторів та альтернативного спрямування масивів панелей на схід-захід, дозволяють значно покращити річний виробіток, забезпечують більш рівномірний профіль генерації.

Рис. 1. Втрати енергії при перевантаженні СЕС, спрямованої на південь

Головний недолік істотного перевантаження СЕС зі спрямуванням на південь полягає в тому, що режим роботи таких систем доволі нерівномірний: вранці та вечері, коли споживання електрики домогосподарствами максимальне, генерація невисока. Проте в середині дня, коли сонце перебуває в zenіті, а споживання електрики незначне, відбувається різкий сплеск виробітку. При надмірному перевантаженні DC/AC такий стрибок буде значно перевищувати номінальну потужність інвертора, а отже,

відбуватимуться втрати енергії. "Зайва" енергія розсіюється сонячними панелями, підвищуючи їхню температуру та певною мірою зменшуючи їхній термін експлуатації.

Рис. 2. Графік денної генерації СЕС з кутом нахилу схід/захід масивів 45 градусів

У цьому разі масиви панелей сильніше спрямовані на схід/захід завдяки більшому куту нахилу. Тому пікова генерація східного масиву наближена до ранку, а західного, відповідно, – до вечора. Сумарна генерація є рівномірнішою протягом дня, а втрати від перевантаження менші. Відповідно до моделювання, така система згенерує 110,4 кВт*год за день. Це на 3,35 % більше, ніж система, розглянута вище.

Отже, при певному DC/AC перевантаженні та куті нахилу масивів, система схід-захід може бути достатньо продуктивною протягом всього дня, мати рівномірніший профіль генерації та менші втрати, ніж південно орієнтовані СЕС.

Було виконано завдання з оптимізації – при заданому максимумі (номінальна потужність інвертора, або потужність станції) оптимізувати річний виробіток СЕС для стаціонарно встановлених сонячних батарей. У ході роботи було з'ясовано доцільність і переваги суттєвого перевантаження масивів сонячних панелей, спрямованих саме на схід-захід, на відміну від СЕС, значною мірою перевантажених на південь. Комбінована (схід-захід або

південний схід – південний захід) сонячна електростанція при оптимальному перевантаженні інвертора працює в багатьох аспектах краще: вона має більш рівномірний профіль генерації протягом дня, ніж СЕС, спрямована на південь; має значно менші втрати від перевантаження, отже, має значно нижчі ризики виходу з ладу обладнання); краще працює у хмарну погоду та має більший річний виробіток. Графік генерації такої СЕС максимально заповнений протягом дня та найкраще відповідає профілю споживання електрики домогосподарствами, що зменшує пікові навантаження на загальну електромережу вранці та ввечері, тобто має позитивний вплив на енергосистему країни.

Інвестори та власники СЕС, враховуючи результати даної роботи, можуть спроектувати встановлення нових удосконалених СЕС, покращити роботу існуючих, зменшити втрати від надмірного перевантаження, а також отримати додаткову генерацію у ранкові та вечірні години, коли споживання електроенергії домогосподарствами максимальне. Це в свою чергу допоможе зменшити навантаження на загальну електромережу в пікові години (вранці та ввечері) та, врешті, матиме позитивний вплив на енергосистему країни.

Література:

1. Альохін В.А. Области застосування сонячної енергетики / В.А. Альохін // Звістки Тульського державного університету. Технічні науки. – 2013, № 12.
2. Гаврилко П.П. Альтернативна енергетика як фактор енергетичної незалежності України / Гаврилко П.П., Шевчук Я.В., Шевчук А.В. Сучасні тенденції розвитку України: збірник матеріалів Десятої Загально факультетської науково-практичної конференції. Випуск 10. – Нововолинськ, НФ ТНЕУ, 2015. – 475 с
3. Галік О.І. Метеорологічні прилади і методи спостережень / О.І. Галік // Практикум: Навчальний посібник. Рівне: НУВГП, 2008. – 134 с. [Електронний ресурс]

// – Режим доступу до ресурсу: <http://ep3.nuwm.edu.ua/2740/1/677472zah.pdf>

4. Півняк Г.Г. Альтернативна енергетика в Україні: монографія / Г.Г. Півняк, Ф.П. Шкрабець; Нац. гірн. ун-т. Д.: НГУ, 2013. – 109 с.

5. Тугай Д.В. Моделювання режимів роботи сонячної електростанції в SMART GRID системі електропостачання / Д.В. Тугай, Ю.П. Колонтаєвський, С.В. Котелевець, Е.С. Савчук // Актуальні проблеми світлотехніки: матеріали VI міжнар. наук.-техн. конф. – Харків, 4-6 жовтня 2017 р. / Харків. нац. ун-т. міськ. госп-ва ім. О.М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2017.

6. Параметри STS [Електронний ресурс] // Стаття – Режим доступу до ресурсу: <https://eco-tech.com.ua/ua/a341323-chto-oznachaet-informatsiya.html>

7. What Does Solar Electricity Cost [Електронний ресурс] // Стаття – Режим доступу до ресурсу: http://solarcellcentral.com/cost_page.html

8. Опитування на facebook [Електронний ресурс] // Соціальна мережа – Режим доступу до ресурсу: https://m.facebook.com/questions.php?question_id=1737717976388224

9. PV watts calculator, в якому була змодельована прогнозована річна виробітка

[Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://pvwatts.nrel.gov/pvwatts.php>

10. Sketchup, програма в якій було змодельовано Рис. 2.10, Рис. 2.11, Рис. 2.12 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://app.sketchup.com/app>

11. Схематичне зображення виробітку комбінованої (схід/захід) СЕС протягом дня у залежності від кута нахилу масивів панелей [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://neighbourpower.com/blog/east-west-facing-solar-panels/>

12. Зелений південь [Електронний ресурс] // Стаття – Режим доступу до ресурсу:

<https://www.solarpowerworldonline.com/2016/07/solar-inverters-clipping-dcac-inverter-load-ratio-ideal/>

13. Статистика власної СЕС [Електронний ресурс] // – Режим доступу до ресурсу:
<https://semsportal.com/home/login>

14. Clipping losses від перевантаження на південь [Електронний ресурс] // Стаття – Режим доступу до ресурсу:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261916307395>

15. Велике перевантаження – до 2.0 і вище - європейський досвід [Електронний ресурс] // – Режим доступу до ресурсу:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038092X19304116>

16. Державна служба статистики України [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<http://www.ukrstat.gov.ua/>

УДК 620.91:662.997:631.563.2

РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВТРАТ БУДИНКУ ТА ОПТИМАЛЬНИЙ ВИБІР ІЗОЛЮВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

О.С. Хруль, 11 клас, Білоцерківська спеціалізована школа І–ІІІ ступенів № 1 з поглибленим вивченням слов'янських мов Київської області, м. Біла Церква, Україна,
тел.: +38(068)118-00-13, e-mail: sasha7hrul@gmail.com
Г.Ф. Андрущенко, науковий керівник, учитель фізики,
Білоцерківська спеціалізована школа І–ІІІ ступенів № 1 з
поглибленим вивченням слов'янських мов Київської
області

У роботі зібрано та систематизовано дослідницькі матеріали вітчизняних науково-дослідних інститутів та установ, провідних компаній у галузі виробництва та використання ізолювальних матеріалів, досліджено причини теплових втрат у будівництві та охарактеризовано використання різних теплоізолювальних матеріалів у будівництві за їхніми теплофізичними ознаками.

Ключові слова: термореновація, теплоізоляція, індекс енергетичної сталості, огорожувальна конструкція, теплопровідність, щільність, точка роси.

CALCULATION OF HEAT LOSSES IN THE BUILDING AND THE OPTIMAL CHOICE OF INSULATING MATERIAL

O.S. Khrul, 11th grade, Bila Tserkva specialized school of I-III degrees №1 with in-depth study of Slavic languages, Kyiv region, Bila Tserkva, Ukraine, tel.: +38(068)118-00-13,
e-mail: sasha7hrul @ gmail.com
H.F. Andrushchenko, scientific supervisor, physics teacher,
Bila Tserkva specialized school of I-III degrees №1 with

*indepth study of Slavic languages, Kyiv region, Bila Tserkva,
Ukraine*

The article collects and systematizes research materials of domestic research institutes and institutions, leading companies in the field of production and use of insulating materials, investigates the causes of heat loss in construction and describes the use of various insulating materials in construction by their thermophysical signs.

Keywords: *thermal renovation, energy sustainability index, separating element, thermal conductivity, proficiency, dew point.*

Протягом тривалого часу питанням енергозбереження в будівництві, як і в цілому в народному господарстві, потрібної уваги не приділялося. За діючими на території України нормативами опір теплопередачі огорожувальних конструкцій будівель було знижено порівняно з європейськими нормами: по стінах – у 1,2–3,5 рази, по покриттях і перекриттях – у 2 рази, по вікнах – у 1,3 рази. Як наслідок, маємо значні витрати паливно-енергетичних ресурсів при експлуатації житлового фонду.

Зменшити витрати енергоресурсів можна за рахунок запровадження новітніх технологій модернізації систем теплопостачання та термореновації будівель шляхом підвищення теплоізоляційної здібності огорожувальних конструкцій будівель. На сьогоднішній день виникає проблема утеплення будівель та створення сучасних теплоізоляційних стін. Зроблене один раз комплексне утеплення будинку дозволить у декілька разів скоротити його тепловтрати та, відповідно, витрати енергоносіїв. Головна умова побудови енергоощадного будинку – це оптимальний вибір товщини та типу теплоізоляції.

Найважливішим принципом для заощадження енергії дійсно є саме теплоізоляція, а не акумулювання тепла. Високий рівень теплоізоляції завжди доводить свою ефективність. В існуючих будівлях на втрати тепла через зовнішні стіни та дахи припадає понад 70 % загальних

теплових втрат. Таким чином, покращення теплоізоляції є найефективнішим способом економії енергії.

Як і будь-яким будматеріалам, теплоізоляційним матеріалам притаманні певні властивості, знання яких необхідні для раціонального вибору утеплювача певної марки при проєктуванні конструкції і проведенні теплотехнічних розрахунків.

Ефективність теплоізоляції стін будинку оцінюється фактичним загальним термічним опором теплопередачі, який повинен бути вищим за нормований на даний час.

Тепловтрати через огорожувальні конструкції розраховують, використовуючи основне рівняння теплопередачі:

$$Q = k \cdot F \cdot \Delta t \text{ [Вт]},$$

де Q – тепловтрати через огорожувальну конструкцію (стіну), кВт; k – коефіцієнт теплопередачі, Вт/м²К; F – площа поверхні теплопередачі, м²; Δt – різниця між температурами внутрішнього і зовнішнього повітря, °С.

Передача тепла здійснюється шляхом тепловіддачі від внутрішнього повітря до внутрішньої поверхні стіни (коефіцієнт тепловіддачі $\alpha_{\text{вн}}$), теплопровідності через стіну (сумарний коефіцієнт теплопровідності λ стіни) і тепловіддачі від зовнішньої поверхні стіни до зовнішнього повітря (коефіцієнт тепловіддачі $\alpha_{\text{зн}}$). Коефіцієнт теплопередачі k для багат шарової стіни визначається за допомогою рівняння:[6]

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_{\text{вн}}} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{\text{зн}}}, \quad [\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}]$$

Економічно доцільний опір теплопередачі огороження при даній вартості теплової енергії та теплоізоляційних матеріалів відповідає мінімуму приведених витрат. Його можна визначити за формулою:

$$PB = K + E \cdot \eta = K_k + B_{iz} \cdot \delta_{iz} + B_{тепл} \frac{(t_e - t_{o.п.}) Z_{o.п.} \cdot 24 \cdot 3600}{R_k + \frac{\delta_{iz}}{\lambda_{iz}}} \cdot \eta$$

Методик, відповідно до яких може бути виконаний розрахунок теплових втрат через огорожувальні конструкції, існує досить багато. А тому важливим є вибір як методики розрахунку втрат теплової енергії, так і оптимальний вибір ізоляційних матеріалів.

Отже, основними напрямками енергозбереження в житлово-комунальному господарстві є такі:

- теплова ізоляція, збільшення термічного опору огорожувальних конструкцій будинків;
- теплоізоляційні роботи з реконструкції будинків старої забудови; підвищення теплозахисту вікон і балконних дверей за сучасними вимогами з теплозахисту;
- зі зростанням вартості теплової енергії термічний опір огорожувальних конструкцій необхідно збільшувати, а із збільшенням ціни теплоізоляційних матеріалів економічно вигідніше дещо збільшити експлуатаційні витрати, тобто зменшити товщину шару теплоізоляції в огорожувальній конструкції.

Література:

1. Астафін М.С. Використання пористих матеріалів в будівництві / М.С. Астафін. Київ : Українські джерела, 2006. 156 с.
2. Горбачовський А.Ф., Ореховський А.Г. Державне регулювання енергозбереження в капітальному будівництві / А.Ф. Горбачовський, А.Г. Ореховський // Будівництво України. № 3. 1995. С. 6–12.
3. ДБН В.2.6-31:2006. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель. МБАЖКХ України, 2006. 87 с.
4. Захарченко П.В., Долгий Е.М. Тепло та звукоізоляційні матеріали і вироби в енергозберігаючих технологіях / П.В. Захарченко, Е.М. Долгий. Київ, ВАТ «Майстри», 2008. 198 с.

5. Кошлатий О.Б., Ільченко В.В. Теплотехнічні розрахунки огорожувальних конструкцій будівель: Навчальний посібник. Полтава, ПНТУ, 2002. 57с.

6. Методичні вказівки по теплотехнічному розрахунку зовнішніх огорожувальних конструкцій будівель різного призначення. Укладачі: канд. техн. наук, проф. Глікман М.Т., асс. Арсірій А.М.

7. Пушкарьова К.К. Сучасні українські будівельні матеріали, вироби та конструкції / Пушкарьова К.К.: К.: Асоціація «ВСВБМВ», 2012. 664 с.

8. Ратушняк Г.С., Чухряєва О.Г. Багатофакторний аналіз теплоізоляційних матеріалів для термореновації будівель на основі лінгвістичної інформації / Г.С. Ратушняк, О.Г. Чухряєва // Вентиляція, освітлення та плогазопостачання. № 8. 2005. С. 89–95.

9. Щербина О. Проблеми економії енергоресурсів в Україні / О. Щербина // Ринок інсталяцій. № 2. 2005. С. 7–8.

10. Майнерт З. Теплозащита жилых зданий / Пер. с нем. В.Г. Бердичевского; Под ред. А.Н. Малазова, А.А.Будиловича. М.: Стройиздат, 1985. 208 с.

11. УкрТеплоізоляція [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://ukrteploizolyatsiya.com.ua>

12. Якісна теплоізоляція. Принципи інтегрованого термічного захисту [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://passivehouse-igua.com/passivehouse/passive-house-integrated-thermal-protection/>

13. Теплоізоляція будинків [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://www.svp-pur.com/technologies.html>

14. Теплоізоляція [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://www.svp-pur.com/technologies.html>

15. Теплоизоляционные материалы Изовер [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://www.isover.ua>

УДК 662.6/9 66:04

ПРЕСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВОДНЕВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

Ю.Ю. Штефура

*Рахівський центр науково-технічної творчості, вул. Миру
28А, м. Рахів, Рахівський район, Закарпатська область,
Україна, тел.: +38(098)362-69-55, e-mail: rcntt@ukr.net*

Розглянуто технологічні особливості виробництва теплової і електричної енергії з використанням водню, запропоновано комплексні методи та перспективні технологічні напрями підвищення енергетичної ефективності теплоелектрогенераторів за рахунок використання нових технологій для виробництва водню та отримання теплової і електричної енергії.

PROMISING TECHNOLOGIES OF HYDROGEN ENERGY

Y. Shtefyura

*Rakhiv center of scientific and technical creativity, 28A Myru
str., Rakhiv, Rakhiv district, Zakarpattia region, Ukraine,
tel.: +38(098)362-69-55, e-mail: rcntt@ukr.net*

Technological features of production of thermal and electric energy with the use of hydrogen are explained and complex methods and perspective technological directions of increase of energy efficiency of heatgenerators at the expense of use of new technologies for production of hydrogen and reception of thermal and electric energy are offered.

ORCID: 0000-0002-9074-2862.

Актуальність. Водень є найпоширенішим елементом не тільки на землі, а й у космосі. На нього припадає три чверті всієї речовини у Всесвіті. Він також входить до складу води, яка займає майже дві третини поверхні Землі.

При цьому водень має значно вищу енергоемність, ніж природний газ, нафта чи вугілля, а продуктом згорання водню є лише вода, що абсолютно безпечно для навколишнього середовища. Усе це робить його перспективним видом енергії.

Важливим пріоритетом сьогодні є виробництво так званого відновлюваного (поновлюваного) водню, тобто такого, що виробляється шляхом електролізу за рахунок відновлюваних джерел енергії, переважно енергії вітру та сонця. Отже, впровадження сучасних технологій використання водню як основного енергоносія є надзвичайно актуальним.

Мета. Дослідити сучасні технології водневої енергетики та розробити проект теплоелектрогенератора

Завдання :

1. Розглянути відомі технології отримання водню, особливості застосування в енергетиці.

2. Запропонувати проект універсального комплексного теплоелектрогенератора.

1. Технології виготовлення (отримання) водню

Водень не є чимось новим в енергетиці, його вже багато років використовують для потреб промисловості. При цьому він рідко трапляється у природі в чистому вигляді, хоча є десятки способів отримання водню в лабораторних умовах.

Є три найбільш поширені технології одержання водню в промислових масштабах.

Більшу частину промислового водню отримують з природного газу, обробляючи його високотемпературною парою (парове вуглеводневе реформування).

Друга технологія — газифікація коксівного вугілля у спеціальних печах при високій температурі. Такий водень називають "синім", бо цей спосіб виготовлення не є екологічним.

Третя технологія — отримання водню з води шляхом електролізу. Цей метод перспективний, однак надзвичайно енергоємний.

Щоб отримати кілограм водню з води шляхом електролізу, знадобиться 50 кВт-год електроенергії. Таким чином, собівартість "зеленого" водню для традиційної енергетики поки що залишається надто високою порівняно з іншими методами.

Тож перша причина, чому водень не став головним паливом, — ціна. Друга причина — використовувати газ і вугілля як сировину для отримання палива дорого, хоч і більш екологічно. Спалювати вугілля, щоб згенерувати електроенергію і використати її для розчеплення води на водень, не тільки дорого, а й неекологічно.

Розвиток і здешевлення сонячної та вітрової енергії вносять суттєві корективи в цю економіку. Специфіка сонячних електростанцій у тому, що вони виробляють енергію вдень, а пікове споживання електроенергії припадає на ранок і вечір. Дешеву надлишкову енергію можна використовувати для виготовлення водню з води.

2. Особливості застосування водню

2.1 Водень замість акумуляторів

Навіть у найбільш розвинених країнах, де альтернативна енергетика має велику частку, від традиційних джерел поки не відмовляються. За відсутності вітру чи сонця потребу в електроенергії компенсують енергією вугільних ТЕС або ГЕС — їх можна швидко запустити.

Однак від цього теж можна відмовитися за наявності потужних акумуляторів для зберігання виробленої енергії. У 20 столітті проблему накопичення енергії вирішували шляхом будівництва гідроакумулюючих електростанцій, однак це вимагало затоплення великих площ.

Пошуки найбільш ефективних способів тривають.

Компанія Tesla встановила в Каліфорнії та Австралії масштабні літій-іонні акумулятори. Швейцарський стартап Energy Vault розробив спосіб акумулювання енергії за допомогою вежі з 35-тонними бетонними блоками. У пікові години генерації електроенергія використовується для їх

підняття, а при потребі вони опускаються, генеруючи енергію.

Своєрідним акумулятором може бути і водень. Коли енергії виробляється більше, ніж потрібно для споживання, її можна перетворювати на водень шляхом електролізу та зберігати як газ у підземних сховищах чи перекачувати по трубах, а при потребі знову перетворювати на електроенергію. Водень також можна використовувати для опалення і заправки транспорту.

Таким чином можна повністю перейти на "зелену" енергію і не залежати від погоди. Данська компанія Orsted планує побудувати на острові Борнхольм у Балтійському морі потужну ВЕС для масштабного виробництва "зеленого" водню.

2.2 Водень у газовій трубі

Водень, отриманий за допомогою відновлюваних джерел енергії, можна додавати в газотранспортні мережі. Це підвищує якість палива завдяки більшій теплоємності водню та знижує викиди в атмосферу завдяки скороченню споживання газу.

У ЄС запустили кілька таких проєктів. У німецькому Франкфурті-на-Майні з 2014 року проводять експеримент, додаючи близько 2% водню в місцеву газорозподільну мережу. Така кількість водню дозволяє не переобладнувати мережі. Схожі проєкти є в Італії, Данії, Нідерландах.

У британському місті Лідс, де мешкає близько 750 тис людей, у 2017 році започаткували проєкт, що передбачає використання до 20% водню у газорозподільній мережі. Також планується модернізувати мережі та обладнання споживачів.

У 2020 році в Україні теж почали тестувати газоводневу суміш на закритих ділянках розподільчих мереж у п'ятьох областях.

2.3 Транспорт на водні

Перший серійний автомобіль на водневому пальному в листопаді 2013 року представила компанія Toyota на Токійському автосалоні.

Є три типи водневих двигунів.

Перший — двигуни внутрішнього згоряння, що працюють на водно-газовій суміші.

Другий — гібридні, які використовують водень або водно-газову суміш для генерації електроенергії та працюють від електродвигуна.

Третій — паливні комірки, у яких в результаті взаємодії водню і кисню виробляється електроенергія без процесу горіння. Такі двигуни мають найбільший коефіцієнт корисної дії — 83%.

Автомобілі з водневими паливними елементами випустили на ринок Honda, Toyota, Hyundai і низка китайських компаній.

Єдиним недоліком водневих автомобілів є їх вартість. У водневих паливних комірках як каталізатор використовують рідкісний і дорогий метал — платину. Через це вартість водневих автомобілів стартує від 70 тис дол.

У 2018 році в Німеччині запустили перший у світі потяг, що працює на водневих паливних елементах. Потяг може проїхати близько 800 км на одній заправці і перевезти 300 пасажирів.

Перед водневим транспортом стоїть чимало викликів: інфраструктура, здешевлення виробництва водню та водневого транспорту, безпека.

Водневі технології у поєднанні з альтернативними джерелами енергії невдовзі можуть стати економічно вигіднішими, ніж викопні ресурси. Особливо для країн з невеликими запасами корисних копалин та зручним географічним розташуванням.

3. Розробка Універсального комплексного теплоелектрогенератора

При розробці використовувались нові підходи та методологічні засади застосування водневого палива в

теплоелектрогенераторі для виробництва теплової і електричної енергії. Завдяки використанню теплоелектрогенератора, що працює на водневому паливі, можна досягти високої ефективності роботи обладнання, отримати екологічно чисте теплоелектро виробництво високої якості без шкідливих речовин. Є можливість розташування даного теплоелектро генератора безпосередньо у приміщеннях за рахунок малих розмірів і концентрації високих теплових потужностей.

Основними елементами теплоелектрогенератора (установки) (рис. 1) є поверхні нагріву, призначені для передачі теплоти від теплоносія до робочого середовища (води, пароводяної суміші, водяної пари або повітря). Залежно від процесів перетворення робочого тіла розрізняють нагрівальні, випарні і перегрівальні поверхні нагріву. Теплоту від згорання до поверхні нагріву може передаватись як шляхом випромінюванням (радіацією) так і конвекцією. Відповідно до цього поверхні нагріву можуть бути: радіаційні, конвективні і радіаційно-конвективні (напіврадіаційні).

Рис. 1. Схема теплогенератора : 1 – блочний газований пальник; 2 – водоохолоджувальна топкова камера; 3 – проміжний випромінювач; 4 – водотрубний конвективний пучок; 5 – вихлопний патрубок; 6 – патрубок для входу води; 7 – патрубок для виходу нагрітої води; 8 – газований патрубок

Характерною властивістю цього теплогенератора (рис. 1) є інтенсифікація теплообміну в радіаційній зоні за рахунок установки вторинних випромінювачів з жаростійких керамічних елементів і застосування в конвективній зоні багатоходових пучків з біметалічних оребрених труб. Ефективність теплогенератора підвищується, якщо застосувати комбіновані поверхнево-контактних водогрійні агрегати.

Схема такого теплогенератора(агрегата) показана на рис. 2.

Контактний теплогенератор складається : 1 – блочний газовий пальник; 2 – патрубок нагрітої води; 3 – водоохолоджувальна топкова камера; 4 – насос циркуляційний; 5 – бак водяний; 6 – контактна камера; 7 – патрубок подачі води; 8 – вихлопний патрубок. Такі теплогенератори поєднують нагрів води через трубчасті поверхні топкової камери з прямим контактом зворотної води і гарячими продуктами згорання. За принципом дії вони аналогічні конденсаційним агрегатам. Відмінністю є те, що конденсація пари з продуктів згорання відбувається в контактній насадці. У них також можна використати високу

теплоту згорання для роботи пароелектротурбіни і таким чином отримати додатково і електроенергію.

Підвищення енергетичної ефективності досягається використанням магнетронів у розробленому теплосилово-електрогенераторі за рахунок дії НДЧ випромінювання на стиснену пару води для утворення плазми і поступеневий відбір енергії.

Література:

1. Варламов Г.Б., Александров А.А., Маляренко В.А., Приймак Е.А. (Романова Е.А.) Топливно-энергетический комплекс = Fuel and Energy Complex: учеб. пособие. – К.: НТУУ «КПИ», 2015. – 186с.– (Серия «Экологические аспекты энергопроизводства» = Environmental aspects of energy generation).

2. Приймак К.О. (Романова К.О.), Варламов Г.Б., Оліневич Н.В., Дашенко О.П. Дослідне випробування методології комплексної параметричної ідентифікації фактичних характеристик енергетичного об'єкту/ «Енергетика: економіка, технології, екологія», наукометр. база №1(39)-2015.-С.47-56.

3. Варламов Г.Б., Романова К.О., Фетісенко О.С. Аеродинамічні та екологічні особливості теплових процесів у контактному теплогенераторі // XIV Міжнародна науково – практична конференція аспірантів, магістрантів та студентів «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики», Київ, 18-21 квітня 2016 року.– С.196.

4. Методичні вказівки до виконання Модульної контрольної роботи (МКР) Дослідження теплових та аеродинамічних процесів у контактному теплогенераторі" з дисципліни "Математичне моделювання і оптимізація теплоенергетичних установок та процесів" для студентів напряму підготовки 14 «Електрична інженерія», спеціальність 14.04 «Теплоенергетика» усіх форм навчання / Укл. Г.Б. Варламов, К.О. Романова, О.С. Фетісенко – К.: НТУУ «КПІ», 2016. - 14 с. (гриф Вченої ради ТЕФ, протокол №8, 28.03.2016).

УДК 620.91:662.997:631.563.2

СОНЯЧНА ЕНЕРГЕТИКА

Ю.О. Гринь

Загальноосвітня школа №35 I–III ступенів Покровської міської ради, вул. Шахтарська, 19, вчитель Петросян Маріне Ленорівна, м. Родинське, 85310, Україна, тел.: +38(066)735-07-85, e-mail: wfggfhfnh1234@gmail.com

Ключові слова: сонячне випромінювання, електромагнітне наближення, вологовмістке середовище.

SOLAR ENERGY

Yu.O. Grin

Zagalno-svitnya school No. 35 I-III stages of the Intercession of the Church for the sake of, street Shakhtarska 19, teacher Petrosyan Maryne Lenorivna, Misto Rodinske, 85310, Ukraine, tel.: +38(066)735-07-85, e-mail: wfggfhfnh1234@gmail.com

Keywords: *sleepy, vipromynyuvannya, electromagnet naprizhennya, vologvmistke middle.*

Сонячна енергетика – це використання сонячної енергії для отримання електричної або теплової енергії в будь-якому зручному для їх застосування вигляді. Сонячна енергетика використовує поновлюване джерело енергії і у майбутньому, може стати екологічно чистою, такою, що не виробляє шкідливих відходів.

Сонячна енергетика має певні обмеження в порівнянні з традиційними енергетичними ресурсами, такими як вугілля, нафта і газ. Сонячна енергетика використовується в багатьох розвинених країнах, насамперед в Китаї, Японії, Німеччині та США, що роблять величезні інвестиції в будівництво сонячних електростанцій.

Найбільші у світі сонячні електростанції:

Сонячна електростанція Sambhar Lake, Індія.

Потужність: 4000 МВт. Сонячна електростанція в Індії, буде побудована близько 70 км від Джайпуру (Раджастан), матиме потужність у вісім разів вищу в порівнянні з існуючими сонячними електростанціями в Сполучених Штатах. Проєкт \$ 4 млрд є предметом використання потенціалу сонячної енергії в Індії. Однак існує конфлікт між урядом штату, що хоче використовувати землі для добування солі, й федеральним урядом, який прагне до розробки сонячних проєктів.

Сонячна електростанція Longyangxia Dam Solar Park, Китай.

Потужність: 850 МВт. Перша черга проєкту 320 МВт була завершена в кінці 2013 року, а друга черга, 530 МВт – в кінці 2015 року. Загальна площа 23 км². Сонячна електростанція інтегрована з гідроелектростанцією. Парк з'єднано з однією гідравлічною турбіною, які автоматично регулюють потужність для врівноваження змінного навантаження від сонячної електростанції перед

передачею електроенергії в енергомережу. Такі рішення нівелюють проблеми, пов'язані зі змінною сонячної генерації, допомагаючи економити воду.

Сонячна електростанція Solar Star, California (США).

Потужність: 580 МВт. Проєкт Solar Star, розташований в Kern та Los Angeles Counties, розпочався в 2013 році. Після завершення об'єкт матиме понад 1,7 млн сонячних панелей. Він вже постачає понад 170 МВт-рік до енергомережі Каліфорнії.

Сонячна електростанція Topaz, California, США.

Потужність: 550 МВт. Для будівництва станції, розташованої на рівнині Carrizo Plain of San Luis Obispo County, знадобилося два роки і \$ 2,5 млрд її 9 млн сонячних панелей, розкиданих по 9,5 квадратних миль.

УДК 620.91:662.997:631.563.2

СОНЯЧНА ЕНЕРГІЯ ЯК ДЖЕРЕЛО ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

М.С. Привалова, Д.О. Сорокотяга

*Комунальний заклад «Навчально-виховний комплекс
№ 1 (середня школа I–III ступенів) м. Покров
Дніпропетровської області» вул. Центральна 35,
м. Покров, Дніпропетровська область, 53300, Україна,
тел.: +38(096)842-03-08,
e-mail: privalovamaria07@gmail.com*

Робота присвячена актуальній на сьогоднішній день проблемі використання сонячної енергії як основного джерела. Узагальнена характеристика способів перетворення сонячної енергії в інші види енергії. Розглянуті державні плани розвитку сонячної енергетики в різних країнах світу, також розглянуті сприятливі умови встановлення сонячних панелей в світі.

Ключові слова: сонячна енергетика, альтернативне джерело, економія.

SOLAR ENERGY AS A SOURCE OF ELECTRICITY

M.S. Privalova, D.O. Sorokotiaha

Municipal institution "Educational complex №1 (secondary school of I-III degrees) Pokrov, Dnipropetrovsk region" st. Central 35, Pokrov, Dnipropetrovsk region, 53300, Ukraine

The work is devoted to the current problem of using solar energy as the main source of electricity. Generalized characteristics of the methods of converting solar energy into other types of energy. And also the state plans of development of solar energy in different countries of the world were considered and favorable conditions of installation of solar panels in the world were considered.

Keywords: *solar energy, alternative source, savings.*

ORCID: ¹0000-0002-8761-1810, ²0000-0001-8186-6284.

З кожним роком жителі все більше покладаються на техніку, не можуть навіть і дня уявити без неї.

Розвиток технологій не стоїть на місці, виробы стають компактними і дуже вимогливими до якості електричної енергії. Отже, споживання електроенергії дедалі зростає. А через нестабільність економіки в країні ціни, на споживану енергію ростуть. Якщо так і далі триватиме, то незабаром мешканці оплачуватимуть втрати енергії в квартальних трансформаторах, в лініях електропередачі тощо. І це стосується населених пунктів і сільських підприємств, розташованих далеко від великих міст.

Основним з можливих варіантів розв'язання проблеми є альтернативні джерела енергії. А саме сонячна енергія. В кожній країні існує низка наукових рад, які відповідають за використання сонячної енергії, як-от: Наукова рада РАН з нетрадиційних відновлюваних джерел енергії, Комітет з проблем використання відновлюваних джерел енергії наукових та інженерних громадських організацій, American Council On Renewable Energy: ACORE, The European Renewable Energy Council (EREC) тощо.

Сьогодні існують два найпопулярніших способи перетворення сонячної енергії: фотовольтаїка і геліотермальна енергетика. Фотоелектрична система – унікальний вид отримання електрики, за допомогою потрапляння денного світла на панелі.

Принцип вироблення електрики заснований на фотовольтаїчному ефекті. Тобто, пробиваючи світлом поверхню речовини, електроди починають переміщатися між анодом і катодом всередині панелі. Зазвичай панелі складаються з декількох шарів напівпровідникових матеріалів. Чим більше концентрація світла, тим більше виробляється електрики. Даний вид вироблення електричної енергії застосовується в автономній системі

енергопостачання на основі сонячних батарей.

Рис. 1.

На рис. 1 зображено склад і принцип роботи цієї системи. Інвертор – це прилад для перетворення постійної напруги акумуляторних батарей в змінну напругу 220 В. Основним недоліком інвертора є обмежений час автономної роботи, який визначається ємністю акумуляторних батарей і споживаною потужністю. Контролер – це прилад, який не дозволяє акумуляторам перезарядитися або розрядитися завчасно. Блоки акумуляування служать для накопичення виробленої енергії. Основна проблема всіх акумуляторів – це малий об'єм ємності й непристосованість до великих навантажень. Одна з головних причин неконкурентоспроможності – велика вартість [1].

Геліотермальна енергетика – це система трансформації сонячного випромінювання в електричну або теплову енергію за допомогою трьох технологій:

Перша технологія – один з найпоширеніших варіантів постачання тепла, що передбачає використання сонячних

колекторів. Їх розташовують нерухомо, щоб нагрівання було максимально ефективним. Найефективнішим теплоносієм є повітря, вода або антифриз. Речовину нагрівають на 45–50 °С вище температури навколишнього середовища. Все це відбувається в колекторі. Його також можна використовувати для кондиціонування повітря, термообробки продуктів сільського господарства і опріснення морської води. Такі сонячні обігрівальні системи дуже популярні в Японії і США. Однак в таких країнах, як Кіпр та Ізраїль таких систем набагато більше у перерахунку на душу населення. Приблизно 1 млн колекторів забезпечують 70 % населення країни, використовуючи такий спосіб отримання енергії. До такого прогресу намагаються прийти Індія і Китай.

Друга технологія – перетворення сонячної енергії в електричну за допомогою сонячних батарей на основі кремнію. Їй знайшли застосування в космічній індустрії, а саме в ракетобудуванні. Перше масове застосування її було в Каліфорнії. Сьогодні третина ринку фотоелектричних елементів належить Японії. У розвинених країнах її вже активно використовують, незважаючи на те, що технологія дорога.

Третя технологія заснована на трансформації сонячної радіації в електричну з використанням дзеркала, для концентрації променів в одній точці. Такий спосіб застосовують в сонячних електростанціях.

Причини для переходу на сонячну енергію:

- Необмежений запас палива.
- Безшумне, нешкідливе виробництво електроенергії. Автономні системи енергопостачання, безпечні й високонадійні.
- Матеріали можна переробити й використовувати повторно.
- Нескладне обслуговування обладнання.
- Можливість використання електрики у віддалених сільських районах.
- Модулі можуть бути частиною дизайну будівлі.

- Стрімке зменшення часу енергетичної окупності модулів.

- Збільшує надійність енергопостачання країни.

На основі проведеного дослідження можна зробити висновок. Щоб Сонячна енергія була конкурентоспроможною потрібні напрацювання для збільшення ємності акумуляторів і збільшення потужності, а також більше досліджень в плані концентрації сонячних променів на сонячні панелі, щоб збільшити їх ефективність і зменшити термін окупності. Стрімкий розвиток сонячної енергетики з використанням інноваційних світових технологій є головним конкурентом і в 2050 році буде панівним на енергетичному ринку екологічних технологій, що забезпечить до кінця століття всі потреби населення електричною енергією.

Література:

1. [Електронний ресурс] <http://www.bestreferat.ru/> (дата звернення: 01.03.2016.).
2. Перспективи відновлюваної енергетики, Дізендорф А.В., Усков А.Е. Науковий журнал КубГАУ, № 114 (10), 2015.
3. [Електронний ресурс] <http://decentral.web-box.ru/> (дата звернення: 02.03.2016).
4. [Електронний ресурс] <http://minenergo.gov.ru/> (дата звернення: 02.03.2016).
5. Сонячна енергія – енергія майбутнього, Павлов Н., Електроніка: наука, технологія бізнес, № 1 (123), 2013.
6. Перспективи розвитку відновлюваної енергетики, Стребков Д.С. Праці міжнародної науково-технічної конференції енергозабезпечення та енергозбереження в сільському господарстві, 2012 р.

УДК 502.171:620.9(045)

ДЕЯКІ ПРАКТИЧНІ ПІДХОДИ ДО ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

М.С. Капітан, учень 10 класу
Мироненко Л.М., вчитель фізики вищої категорії

*Щербанівський ліцей Щербанівської сільської ради
Полтавського району Полтавської області*

У тезах наголошується на важливості відновлюваної енергетики України. Визначені деякі практичні підходи до енергозбереження.

Ключові слова: енергозбереження, економія енергоресурсів, електричні пристрої, відновлювані джерела енергії.

The thesis emphasizes the importance of renewable energy in Ukraine. Some practical approaches to energy saving are identified.

Енергетика – основа розвитку сучасної цивілізації. Важко не помітити, наскільки якіснішим стає життя в суспільстві з розвинутою енергетикою. Традиційна енергетика, заснована на видобувних технологіях, досягла того рівня, коли вона стала причиною залежності і майже колоніального стану держав, які зайняті видобутком і реалізацією сировини. Сьогодні демократичні цивілізовані держави вибрали шлях розвитку своєї економіки на основі розвитку відновлювальної енергетики. Так, використання вітрових, сонячних, біопаливних, малих гідро-електростанцій поступово витісняє в цих країнах старі електростанції, що працюють на вугіллі, нафті, газу, збагаченому урані. І це єдиний спосіб боротьби з чи не найбільш ключовою проблемою сьогодення – погіршенням екології, зміною клімату і з усіма згубними для людей і планети в цілому наслідками. Розвиток «зеленої» галузі є

особливо важливим для нас. Насамперед слід навчитися раціональному використанню енергетичних ресурсів. Метою нашого дослідження є розробка порад для економного використання електроенергії.

На нашу думку, передусім слід дотримуватися таких порад:

1. Виходячи з кімнати, потрібно завжди вимикати світло.

2. Не залишати прилади в режимі «очікування». Це не лише не економно, а й небезпечно. Без девайсу «зарядка» продовжує споживати електроенергію (близько 1 Вт·год).

3. Перехід комп'ютера у режим сну знизить витрати енергії вдвічі. У режимі очікування споживається від 0,2 до 10 Вт·год.

4. Всі лампочки замінити на економні (світлодіодні, LED). Заощадження майже 80 %. В місяць ми витрачаємо близько 15 кВт. Пам'ятайте: чисті лампочки світять до 15 % яскравіше.

5. Звичка обігрівати / охолоджувати приміщення кондиціонером дорого обходиться: за 5 год в режимі «обігрів» прилад з'їдає до 13 кВт. Обігрівач (масляний чи повітряний) витратить до 10 кВт і обійдеться дешевше; а охолодження за допомогою вентилятора, який витрачає близько 0,2 кВт/год, буде здаватися майже безкоштовним порівняно з кондиціонером.

6. Якщо використовувати для підігріву чаю / кави не чайник, а мікрохвильову піч, ці витрати можливо зменшити майже в три рази.

7. Якщо взяти старий холодильник з маленькою камерою, то додатково ще потрібно використовувати окрему морозильну камеру. Кожного місяця потрібно платити за 250–300 кВт. Рішення одне – взяти новий холодильник класу енергозбереження «А». Використання електрики зменшиться майже в 2 рази.

8. Пральна машина не витратить зайвої енергії при неповній загрузці, або якщо ви виберете правильний режим прання. При надмірному завантаженні енергії буде

витрачено більше (без попереднього прання – на 30 % менші витрати прання, половинна загрузка – на 30–40 % менші витрати енергії).

9. Електроплита може тягнути від 1,1 до 6 кВт/год. (залежно від кількості ввімкнених конфорок), що дає широкі можливості для зайвої витрати. Для розігріву страв економніше використовувати мікрохвильову піч: вона витратить в 3 рази менше енергії та часу.

10. «Теплу підлогу» можна отримати, якщо в її конструкції укласти електричний кабель. Доцільніше її влаштовувати на кухні та у ванній кімнаті.

11. У домі регулюйте температуру за допомогою терморегуляторів на батареях. Зменшення температури в приміщенні лише на 1 °C дозволяє заощадити до 6 % енергії на опаленні. Іноді краще тепліше одягнутися, ніж переплачувати.

12. Не закривайте опалювальні пристрої сторонніми предметами.

13. По можливості встановіть тепловідбивний екран за батареєю для зменшення втрати теплоти через зовнішню стіну на 2–3 %.

14. Якщо є старі радіатори, то краще замінити їх новими, енергоефективними, а можна просто зняти з батареї шари старої фарби, обкорувати її й пофарбувати цинковими білилами, що дасть 5–10 % підвищення тепловіддачі.

15. Світлі тони фарби і шпалер відбивають у кімнаті майже 80 % променів, що падають. Ефективніше користуйтеся можливостями природного освітлення. Запилене скло не пропускає 30 % денного світла.

16. Вчасно міняйте фільтри й брудні мішки в пилососі для зменшення тяги повітря та витрат енергії на більш ніж 3 %.

17. Вимикайте праску незадовго до кінця прасування, її тепла вистачить ще на кілька хвилин; не варто довго тривати дверцята холодильника відчиненими; не слід гаряче ставити в холодильник; між задньою стінкою

холодильника і стіною повинен бути повітряний простір. Регулярно потрібно очищати ґратку від пилу для зменшення витрат електроенергії та від перегріву.

18. Позбавляйтеся від накипу в електрочайнику. Це ускладнює передачу тепла і збільшує кількість витраченої електроенергії (1 мм призводить до витрат 10 % енергоресурсів).

19. Слід завжди щільно закривати кришку електрочайника для заощадження 30 % електроенергії.

20. По можливості готуйте у пароварці. Це і корисно, й економно – витрачається в 5-6 разів менше електроенергії порівнянно з електроплитою.

21. Якщо вибираєте електричні плити, перевагу надавайте індукційним. Вони майже вдвічі економніші.

22. Під час приготування їжі вимикайте конфорки електроплити за 10–15 хв до готовності їжі.

23. Якщо страва кипить, то слід зменшити подачу енергії. Страва кипить при сталій температурі.

24. Посуд для приготування їжі слід вибирати з рівним дном, відповідно до конфорки. І страва тоді якісна, і забезпечено захист плити від перегріву.

25. Використовуйте інколи віник замість пилососу; вибирайте раціонально бойлери для сім'ї та ін.

Беззаперечним є той факт, що обсяг запасів викопних джерел енергії обмежений, тому економія енергетичних ресурсів є нагальною задачею, для розв'язання якої доцільно вживати низку заходів з підвищення енергозбереження й енергоефективності, основними з них, на нашу думку, є свідоме дотримання запропонованих порад стосовно енергозбереження. Все починається з малого.

УДК 620.91:662.997:631.563.2

СОНЯЧНА ЕНЕРГЕТИКА

О.В. Григоренко,
+380666851613,

Родинська загальноосвітня школа І–ІІІ ст. № 35

Покровської міської ради

grigorenkoalichka15@gmail.com

Енергія сонця – найперспективніше джерело електроенергії, яке здатне замінити собою і навіть витіснити з ринку традиційні викопні енергоносії, в майбутньому повністю задовольнивши світові потреби в електриці. Отримувати цю енергію можна без зупинки в будь-якому місці земної кулі, причому абсолютно безкоштовно, при цьому поведінка сонця набагато більш передбачувана метеорологічних, ніж переміщення повітряних мас, що створюють вітер.

1. Характеристики Сонця (Characteristics of the Sun):

- Маса $M_S \sim 2 \cdot 10^{23}$ кг
- $R_S \sim 629$ тис. Км
- $V = 1,41 \cdot 10^{27}$ м³, що майже в 1300 тис. разів перевершує обсяг Землі
- середня щільність $1,41 \cdot 10^3$ кг / м³
- світність $L_S = 3,86 \cdot 10^{23}$ кВт
- ефективна температура поверхні (фотосфера) 5780 К
- період обертання (синодичний) змінюється від 27 діб на екваторі до 32 діб у полюсів.

- прискорення вільного падіння 274 м / с^2 (при такому величезному прискоренні сили тяжіння людина масою 60 кг важила б більше 1,5 т.).

2. Потенціал сонячної енергії (Solar energy potential).

Сонце забезпечує нас у 10 000 разів більшою кількістю безкоштовної енергії, ніж фактично використовується у всьому світі. Тільки на світовому комерційному ринку купується і продається трохи менше 85 трлн ($8,5 \times 10^{13}$) кВт год енергії в рік. Оскільки неможливо простежити за всім процесом в цілому, не можна з упевненістю сказати, скільки некомерційної енергії споживають люди (наприклад, скільки деревини і добрива збирається і спалюється, яка кількість води використовується для виробництва механічної або електричної енергії). Деякі експерти вважають, що така некомерційна енергія становить п'яту частину усієї використовуваної енергії. Але навіть якщо це так, то загальна енергія, споживана людством протягом року, становить лише приблизно одну семитисячну частину сонячної енергії, що потрапляє на поверхню Землі в той же період.

У розвинених країнах, наприклад, в США, споживання енергії становить приблизно 25 трлн ($2,5 \times 10^{13}$) кВт год на рік, що відповідає більш ніж 260 кВт год на людину в день. Даний показник є еквівалентом щоденної роботи більш ніж ста лампочок розжарювання потужністю 100 Вт протягом цілого дня. Середньостатистичний громадянин США споживає в 33 рази більше енергії, ніж житель Індії, в 13 разів більше, ніж китаєць, у два з половиною рази більше, ніж японець і вдвічі більше, ніж швед.

3. Використання сонячної енергії (The use of solar energy).

Сонячна радіація може бути перетворена в корисну енергію за допомогою так званих активних й пасивних

сонячних систем. Пасивні системи створюються завдяки проєктуванню будівель і підбору будівельних матеріалів таким чином, щоб максимально використовувати енергію Сонця. До активних сонячних систем належать сонячні колектори. Також сьогодні ведуться розробки фотоелектричних систем – це системи, які перетворюють сонячну радіацію безпосередньо в електрику.

Сонячна енергія перетворюється в корисну енергію і в непрямий спосіб, трансформуючись в інші форми енергії, наприклад енергію біомаси, вітру чи води. Енергія Сонця "управляє" погодою на Землі. Велика частка сонячної радіації поглинається океанами і морями, вода в яких нагрівається, випаровується і у вигляді дощів випадає на землю, "маючи" гідроелектростанції. Вітер, необхідний для вітротурбін, утворюється внаслідок неоднорідного нагрівання повітря. Інша категорія поновлюваних джерел енергії, що виникають завдяки енергії Сонця – біомаса. Зелені рослини поглинають сонячне світло, в результаті фотосинтезу в них утворюються органічні речовини, з яких згодом можна отримати теплову та електричну енергію. Таким чином, енергія вітру, води і біомаси є похідною сонячної енергії.

Література:

<https://avenston.com/ru/articles/solar/>

<http://renewnews.ru/market/solar-energy/>

<https://works.doklad.ru/view/kQ7sCKnLw6g.html>

УДК 620.91:662.997:631.563.2

МАТЕМАТИКА У СОНЯЧНІЙ ЕНЕРГЕТИЦІ

С.В. Легенчук¹, Н.В. Кравчук²

*Броварська загальноосвітня школа І–ІІІ ступенів ім.
В.О.Сухомлинського № 2, вул. Володимира Великого, 6,
Бровари, Київська обл., 07400.
тел.: +380506361290, e-mail: svetik.240206@gmail.com*

У роботі показана необхідність математичних розрахунків у проєктуванні сонячної електростанції. Показано, як саме відбувається створення станції з математичної точки зору. Досліджено доцільність, можливості та економічну ефективність сонячної електростанції, яка може бути встановлена на даху школи № 2 міста Бровари, із застосуванням математичних розрахунків на кожному з етапів дослідження.

Ключові слова: математичні розрахунки, сонячна електростанція.

MATHEMATICS IN SOLAR ENERGY

S. Legenchuk¹, N. Kravchuk²

*Brovary Secondary School of I–III Grades № named after VO
Sukhomlynsky №2, Volodymyra Velykoho Street, 6, Brovary,
Kyiv Region, 07400, tel. : +380506361290,
e-mail: svetik.240206@gmail.com*

The paper shows the need for mathematical calculations in the design of a solar power plant. It is shown how the station is created from a mathematical point of view. The expediency, possibilities and economic efficiency of the solar power plant, which can be installed on the roof of the school №2 in Brovary, were studied, using mathematical calculations at each stage of the study.

Keywords: *mathematical calculations, solar power plant.*

ORCID: 0000-0002-4974-353X¹.

Для більшості людей індустрія виробництва сонячної енергії як і раніше виглядає, як якийсь прорив, здійснений в останні півтора десятиліття. Однак сама ідея і початок розвитку сонячної енергетики йде вглиб історії майже на двісті років.

Дані про сонячне опромінення необхідні на всіх рівнях розвитку сонячної енергетики, від початкового державного планування до розробки масштабних проєктів або розрахунків, необхідних для розміру менших систем. Дані про сонячні ресурси, включаючи GHI, DNI та PVOUT, тепер доступні в усьому світі безкоштовно за допомогою Глобального сонячного атласу, який надає Група Світового банку. На цьому ж вебсайті можна завантажити глобальні, регіональні та національні карти, доступні у високій роздільній здатності.

Етапи розрахунку сонячної електростанції на даху:

1. Збір вихідних даних для розрахунку сонячної електричної станції

Відомі параметри сонячних панелей (використовую модулі 450BT LR4-72HPH-450M MONO PERC HALF-CELL LONGI SOLAR):

Потужність однієї сонячної панелі – 450 Вт (Ватт)

Розміри однієї сонячної панелі – 1,038 м на 2,034 м

Розрахунок площі однієї панелі:

$$1,038 * 2,034 = 2,111292 \approx 2,1(\text{м}^2)$$

Тобто площа однієї панелі 2,1м²

Розрахунок площі даху:

Для розрахунку площі даху, на якій буде встановлено сонячні панелі, потрібно дізнатися всі геометричні розміри даху.

Інформацію щодо розмірів даху зазвичай беруть із проєкту будівництва споруди.

Якщо така інформація за певних причин відсутня, площу можна розрахувати самостійно, за допомогою нескладних математичних розрахунків. Попередньо треба виміряти довжину і ширину поверхні даху на супутникових знімках у програмі GOOGLE EARTH PRO. Спочатку визначимо місця для встановлення сонячних модулів. Ділянка для встановлення повинна бути пласкою, не містити жодних надбудов та конструкцій. Я визначила сім ділянок на даху для розміщення модулів: чотири на південно-західному боці й три – на південно-східному. Визначаємо за допомогою лінійки у програмі GOOGLE EARTH PRO ширину кожної ділянки.

Після вимірювання отримали такі результати:

9,1 м; 12,4 м; 10,9 м; 8,5 м; 16,4 м; 21,6 м; 8,5 м.

(Додатки Н, І, J, K)

Для того щоб визначити довжину схилу даху, потрібно виміряти ширину будівлі за допомогою лінійки (програма GOOGLE EARTH PRO) та за допомогою мобільного додатку «Кутомір» визначити кут нахилу даху. Після отримання даних зробити розрахунок довжини схилу даху – гіпотенузи прямокутного трикутника.

Після вимірювання я отримала такі розміри:

Ширина будівлі – 12 м

Кут нахилу даху – 30 градусів (Додатки L, M)

Довжина схилу даху розраховується як довжина гіпотенузи прямокутного трикутника за формулою:

$$1) AB = \frac{AC}{\cos 30^\circ}$$

$$2) \cos (30^\circ) = \cos \left(\frac{\pi}{6}\right) = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$3) AB = 6 : 0,866$$

$$4) AB = 6,9284 \approx 6,9(\text{м})$$

Довжина схилу даху 6, 9 м

Тож завдяки нескладним операціям і математичним розрахункам отримали розміри ділянок даху для встановлення сонячних панелей:

- 1) 6,9 м x 9,1 м
- 2) 6,9 м x 12,4 м
- 3) 6,9 м x 10,9 м
- 4) 6,9 м x 8,5 м
- 5) 6,9 м x 16,4 м
- 6) 6,9 м x 21,6 м
- 7) 6,9 м x 8,5 м

2.Розрахунок сонячної електростанції

Розрахунок кількості модулів, які можна встановити на кожній з ділянок даху:

Якщо відомо, які розміри сонячних модулів та довжина сторін ділянок даху, то можна вирахувати кількість модулів для кожної ділянки. Вирішуємо, що модулі будуть встановлюватись вертикально (портретна орієнтація).

1) Визначимо, скільки рядів можна встановити вертикально. Довжина схилу даху для всіх ділянок однакова.

$6,9$ (довжина схилу даху) : $2,23$ (висота модуля) = $3,094 = 3$ **модулі**

2) Визначимо, скільки стовпців горизонтально можна встановити, та загальну кількість для кожної з ділянок даху за формулою

Довжина ділянки даху

Ширина модуля

1 ділянка: $9,1 : 1,038 = 8,767 = 8$ модулів; **2 ділянка:** $12,4 : 1,038 = 11,946 = 11$ модулів; **3 ділянка:** $10,9 : 1,038 = 10,501 = 10$ модулів; **4 ділянка:** $8,5 : 1,038 = 8,189 = 8$ модулів; **5 ділянка:** $16,4 : 1,038 = 15,800 = 15$ модулів; **6 ділянка:** $21,6 : 1,038 = 20,810 = 20$ модулів; **7 ділянка:** $8,5 : 1,038 = 8,189 = 8$ модулів

3) Визначимо кількість сонячних модулів на кожній ділянці, для чого перемножимо кількість модулів у ряду на кількість модулів у стовпці:

1 ділянка: $8 * 3 = 24$ модулів; **2 ділянка:** $11 * 3 = 33$ модулів; **3 ділянка:** $10 * 3 = 30$ модулів; **4 ділянка:** $8 * 3 = 24$ модулів; **5 ділянка:** $15 * 3 = 45$ модулів; **6 ділянка:** $20 * 3 = 60$ модулів; **7 ділянка:** $8 * 3 = 24$ модулів

4) Визначимо загальну кількість модулів, що можливо встановити на школі

$$24+33+30+24+45+60+24 = \mathbf{240 \text{ модулів}}$$

5) Визначимо максимальну потужність сонячної електростанції, для чого перемножимо кількість модулів на їх потужність

$$240 \text{ шт} * 450 \text{ Вт} = \mathbf{108\,000 \text{ Вт}}$$

6) Зазвичай потужність електричної енергії визначають у кіловатах (кВт). Один кіловат дорівнює 1000 ват. Отже, потужність станції у кіловатах складає $108\,000 \text{ Вт} / 1000 = \mathbf{108 \text{ кВт}}$.

Максимальна (пікова) потужність сонячної електростанції складає 108 кВт.

Економічна доцільність:

Визначити обсяг генерації сонячної електростанції можна за допомогою програми PV*Sol. Виробництво електричної енергії сонячною електростанцією згідно з даними програми PV*Sol складає 122 316 кВт год на рік.

Додаток Е)

Згідно з розрахунками *річний виробіток електричної енергії сонячною електростанцією* становить 122 312 кВт год на рік.

На даний момент відомо, що школа споживає електричної енергії в рік приблизно 95 000 кВт год (близько 1,5–3 тис. кВт год на місяць влітку, і 11–13 тис. кВт год на місяць взимку).

Розрахунок різниці вироблення та використання електричної енергії за рік та по місяцях(Додаток F,G).

Як видно з розрахунку генерації СЕС та споживання, в деякі місяці року у школи буде нестача електроенергії, а в деякі – надлишок, який можна буде продавати державі за

спеціальним "зеленим" тарифом і отримувати щорічно прибуток. На сьогодні «зелений» тариф складає 0,12 євро.

Визначимо можливий прибуток:

$$26313 * 0,12 = 3157,56 \text{ євро,}$$

що складає **107357,04** грн (за курсом 34 грн за 1 євро).

Визначимо економію на оплаті рахунків за електроенергію

$$95999 \text{ кВт год} * 2,85924 \text{ грн за 1кВт год} = \mathbf{274484,18 \text{ грн з ПДВ.}}$$

Середня вартість будівництва сонячної електростанції становить 800 євро за 1 кВт потужності. Тобто вартість СЕС потужністю 108 кВт коштуватиме

$$108 * 800 = 86400 \text{ євро} = 2937600 \text{ грн}$$

На сьогодні законодавство не дозволяє школам продавати електроенергію. Але якщо власником всіх шкіл є Міська Рада, і вона платить за електроенергію всіх шкіл, то вона може витрачати гроші з проданих кіловат на покупку електроенергії іншим школам.

Визначимо строк окупності СЕС за формулою:

$$\text{Строк окупності} = \frac{\text{Вартість електростанції}}{\text{Річний прибуток та економія}} = \frac{2937600}{274484,18 + 107357,04} = \frac{2937600}{381841,22} = \mathbf{7,7 \text{ років}}$$

Отже, окупність СЕС складає 7,7 років.

Екологічна доцільність:

Кожен кВт * год сонячної електроенергії дозволяє запобігти викидам 627 г вуглекислого газу. Тобто спланована мною станція могла б запобігти викидам

$$627 * 122312 = 76695267 \text{ г} = 76695,3 = \mathbf{76,7 \text{ т на рік.}}$$

Підводячи підсумки, слід зауважити, що інвестиція в сонячну енергію – досить прибуткова та малоризикована. Дахові сонячні панелі підійдуть не для всіх, але для переважної більшості домовласників.

У процесі виконання свого проєкту я переконалася, що застосування математичних знань є невід'ємною складовою у створенні сонячної електростанції. Кожний

окремий проєкт створюється за участі тих самих дій, алгоритмів та формул.

Можу стверджувати, що створення СЕС неможливе без певних математичних підрахунків. Це дуже добре видно на етапі розрахунку кількості модулів, які можна було б встановити на даху, на етапі розрахунку потужності та пікової потужності станції. Я дійшла висновку, що в наш час сфера альтернативної енергетики є дуже актуальною, бо є абсолютно екологічно чистою.

Я сміливо можу радити усім переходити на «зелений» тариф, який дозволить державі купувати електроенергію, вироблену з альтернативних джерел. Тобто, встановивши у себе на даху СЕС, можна продавати згенеровану зелену енергію за фіксованим тарифом та отримувати оплату.

Література:

1. Ryan Mayfield, Photovoltaic design and installation for dummies / John Willey & Sons, Inc. Хобокен, Нью-Джерсі, 366 с.

2. Посібник професійного геліотехніка «Слідуй за сонцем».

Веб-сайти: elektrovesti.net; uare.com.ua;
www.volta.com.ua, статті сайту uk.m.wikipedia.org;
Інформація про типи СЕС з сайту alteco.in.ua та
avenston.com; www.sosvetom.ru

Фотознімки об'єктів були взяті з додатку GOOGLE EARTH PRO;

Для деяких розрахунків було використано програму PV*SOL.

УДК: 620.92:656.2

АЛЬТЕРНАТИВНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ ВИКОРИСТАННЯ В УКРАЇНІ

Д. Вернигора

*Бучанська Українська гімназія Бучанської міської ради
Київської області, вул. Вишнева, 1, м. Буча, 08292,
Україна, тел. +38(063)118-89-32, e-mail:
monokotan@gmail.com*

Досліджено основні аспекти та визначено поняття альтернативних джерел енергії, їх види, переваги використання та проблеми, що постають при виборі систем постачання енергії. Розкрито механізм стимулювання розвитку відновлюваних джерел енергії за допомогою застосування так званих «зелених» тарифів в Україні.

Проаналізовано потенціал використання альтернативних джерел енергії в Україні.

Наведено розрахунки вартості встановлення сонячної електростанції в Бучанській Українській гімназії та термін її окупності.

Ключові слова: *альтернативні джерела енергії, зелені тарифи, сонячна електростанція, навчальний заклад, вартість встановлення, окупність.*

ALTERNATIVE RESOURCES OF ENERGY AND PERSPECTIVE OF THEIR USAGE IN UKRAINE

D. Vernyhora

*Bucha Ukrainian gymnasia Bucha city`s council of the Kyiv
region, Vyshneva street, 1, Bucha, postal code 08292,
Ukraine, tel: +38(063)118-89-32,
e-mail: monokotan@gmail.com*

The article shows the main aspects and defines concept of the alternative resources of energy, their types, advantages of their usage and problems meeting while choosing energy supplying systems. Revealed the way of stimulation of the development of alternative resources of energy by using the "green" fares in Ukraine.

Analysed the potential of usage of alternative resources of energy in Ukraine.

Are given the calculations of installing solar power station in the Bucha Ukrainian gymnasia and the term of payback.

Keywords: *alternative resources of energy, "green" fares, solar power station, educational institution, installing cost, payback.*

ORCID: ¹ 0000-0002-3248-9782.

Альтернативні джерела енергії – це будь-які джерела енергії, які є альтернативою викопному паливу. До них відносять енергію вітру, сонця, води та землі.

Найрозповсюдженішими є вітер і сонце – через їхню енергоефективність та невелику вибагливість до умов встановлення. За підрахунками аналітиків British Petroleum, на сьогоднішній день загальна потужність всіх так званих зелених електростанцій (крім водних) складає 2,8 ПВт/год, що вже перевищує загальну потужність всіх АЕС світу, і ця цифра щороку збільшується на 13 %

Енергія сонця безпечна для довкілля. Її можна виробляти, поки світитиме Сонце. Використання сонячного випромінювання доцільне для вироблення теплової та електричної енергії й можливе на всій території України.

На сьогодні найбільша енергетична компанія України ДТЕК уже створила шість станцій загальною потужністю 1 ГВт – три сонячні та три вітрові, а австрійська Activ Solar побудувала в Криму шість сонячних електростанцій загальною потужністю 297 МВт.

У місті Буча є проектно-орієнтована компанія «ЮТЕМ» – основним бізнесом якої є реалізація комплексних проектів «під ключ» в енергетиці та промисловості, – яка збудувала сонячну електростанцію

прямо в себе на будівлі, тобто панелі розміщені на стінах та даху.

Окрім великих компаній, у відновлювані джерела енергії також інвестують і власники приватних домогосподарств, які бажають заощадити кошти на сплаті за електроенергію, а при наявності зайвої енергії – ще й отримати немалі кошти завдяки «зеленому» тарифу.

«Зелений» тариф – це спеціальні фінансові умови, що дозволяють приватним домогосподарствам ставати учасниками національного енергоринку і не тільки споживати, але й продавати вироблену домашніми сонячними електростанціями електроенергію в електромережу загального користування [1]. При цьому ціна, за якою домогосподарства можуть продавати електроенергію, більш ніж утричі перевищує ціну, за якою вони її купують для своїх потреб – 4,25 грн/кВт·г (продаж) проти 1,68 грн/кВт·г (купівля).

Для перетворення енергії сонячного випромінювання в електрику потрібні фотоелементи: *монокристалічні або полікристалічні панелі, гнучкі сонячні батареї*.

Схема роботи мережевої сонячної електростанції досить проста і зрозуміла :

- протягом дня сонячні панелі генерують постійний струм, який подається на інвертор;
- інвертор в свою чергу перетворює постійний струм на змінний та передає цю потужність на власні потреби будинку та в централізовану енергомережу.

Вивчивши річне споживання електроенергії Бучанською Українською гімназією:

<i>Навантаження</i>	<i>Потужність</i>	<i>Термін</i>	<i>Витрати</i>
Пікові	5000 кВт/міс.	3 міс.	15000 кВт
Середні	2000 кВт/міс.	7 міс.	14000 кВт
Мінімальні	500 кВт/міс.	2 міс.	1000 кВт
Річне			30000 кВт

...та пропозиції енергоринку, я зупинився на полікристалічних панелях з такими характеристиками:

Тип панелі	полікристал
Потужність інвертора	30 кВт
Потужність сонячних батарей	30 кВт
Гарантійний термін експлуатації	12 років
ККД	20,7 %
Кут нахилу	35°
Кількість панелей	108 шт
Площа, яку займають панелі	175,71 м ²
Річна генерація	32 741 кВт·год
Вартість встановлення 1 кВт	16 835 грн

Вартість станції на 30 кВт буде становити $16\,835 \times 30 = 505\,050$ грн

За результатами генерації та споживання електроенергії окупність станції складатиме приблизно 8 років.

Розрахунок терміну окупності проєкту

<i>Характеристика</i>	<i>Обчислення</i>	<i>Результат</i>
Генерація електроенергії СЕС	-	32741 кВт·год /рік
Вартість СЕС 30 кВт	-	505050 грн
Споживання електроенергії закладом	2500 кВт·год/міс x 12 місяців	30000 кВт·год /рік
Різниця між генерацією і споживанням	32741 – 30000 кВт·год	2741 кВт·год
Оплата за «зеленим» тарифом (за рік)	2741 кВт·год x 4.25 грн/ кВт·год	11649 грн
Економія електроенергії (за рік)	30000 кВт·год	50400 грн
Економічний ефект	Дохід за зеленим тарифом 11649 + економія на оплаті електроенергії 50400	62049 грн/рік
Окупність	505050 грн/ 62049 грн/рік	8 років

Отже, вісім років роботи «зеленого» тарифу дозволять не тільки окупити сонячну електростанцію, а й забезпечити себе надалі безкоштовною електроенергією. При цьому державні тарифи весь час зростатимуть. Коли дія екологічних пілг вичерпається, держава все ж не зможе не купувати екологічно чисту енергію. Таким чином, за рахунок встановленої СЕС, навчальний заклад зможе значно заощадити на платі за світло, яка, за оцінками експертів, збільшиться в кілька разів.

Протягом всього свого існування людина постійно змінювала основне джерело енергії. Спочатку це було Сонце, потім вогонь, потім вугілля, а зараз нафта і газ. Але ніколи ще людство не відчувало такої гострої потреби у швидкому переході до нових джерел енергії, як зараз. Тому, на мою думку, такий перехід потрібно зробити якомога раніше. Звісно, рано чи пізно економічні фактори змусять нас відмовитись від користування нафтою і газом, але економічна потреба виникне значно пізніше, ніж екологічна.

У роботі проаналізовано результати дослідження розвитку альтернативних джерел енергії у світі та в Україні і з'ясовано, що сонячна енергетика є сьогодні одним з найперспективніших секторів енергетики. Інвестиції в сонячну енергетику можуть дати непоганий шанс зайняти своє місце на одному з найбільш привабливих високотехнологічних ринків.

В умовах економічної та політичної нестабільності «зелена» енергія може бути додатковим джерелом доходів для територіальних громад та їх мешканців, а також відкриває нові можливості для стабілізації ситуації, яка склалась в енергетичному секторі України.

Література:

1. Енергетична стратегія України на період до 2030 року. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 15.03.2006 р. №145-р // База даних «Законодавство України»/ Верховна Рада України. URL:

<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/145-2006-%D1%80#Text>
(дата звернення 23.10.2020).

2. Енергетична стратегія України на період до 2035 року. // Міністерство енергетики України. URL: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/doccatalog/list?currDir=50358> (дата звернення 03.11.2020).

3. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України <https://saee.gov.ua/> (дата звернення 14.11.2020).

4. Інформаційний портал про альтернативні джерела енергії у світі та Україні «Енергія природи» <https://alternative-energy.com.ua/> (дата звернення 17.11.2020).

5. Даковські М., Вянцковські С.К. Про енергетику для споживачів та скептиків. – Львів: ЕКОінформ, 2007. 212 с

6. Дероган Д.В., Щокін А.Р. Перспективи використання енергії та палива в Україні з нетрадиційних та відновлюваних джерел. // Бюл. "Новітні технології в сфері нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії", Київ: АТ "Укренергозбереження", 1999. № 2. С. 30–38.

7. Соловей О.І. Нетрадиційні та поновлювальні джерела енергії: Навчальний посібник / О.І. Соловей, Ю.Г. Чернявський, Г.В. Курбака; За заг. ред. О.І. Солов'я. – Черкаси: ЧДТУ, 2007. – 484

8. Енциклопедія юного фізика. – К., 1998. 336 с.

УДК 620.91:620.92

УКРАЇНЬСЬКА ЕНЕРГЕТИЧНА СТРАТЕГІЯ РОЗВИТКУ ВІТРЯНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ: ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ

О.Б. Письменна¹, В.І. Іваненко²

*Бахмутська загальноосвітня школа І–ІІІ ступенів № 18
ім. Дмитра Чернявського Бахмутської міської ради
Донецької області, вул. Ювілейна, 34а, м. Бахмут, 84500,
Україна, тел.: +38(066)423-14-18,
e-mail: pysmennalex@gmail.com*

У роботі наведено прогнози аналітиків щодо розвитку вітроенергетики в Україні в найближчі роки, а також плюси і мінуси використання вітрової енергії.

Ключові слова: *вітрова енергія, вітропарк, відновлювана енергетика, екологічна безпека середовища.*

Ukrainian Energy strategy of the wind energy developing: advantages and disadvantages

О.В. Pysmenna¹, V.I. Ivanenko²

*Bakhmut Dmitro Chernyavsky Secondary School №18, 34^a,
Yuvileyna str., Bakhmut, 84500, Ukraine*

The article presents analysts' forecasts for the development of wind energy in Ukraine in the coming years. Advantages and disadvantages of using wind energy.

Keywords: *wind energy, wind farm, renewable energy, environmental safety.*

ORCID: ¹0000-0003-4141-8588, ²0000-0002-3607-7873.

Вітроенергетика – галузь енергетики, що спеціалізується на використанні енергії вітру – кінетичної

енергії повітряних мас в атмосфері. Енергію вітру відносять до відновлюваних видів енергії.

Спеціалісти стверджують: "Уже сьогодні Україна може покрити половину своїх потреб в електроенергії за рахунок відновлюваної енергії".

Потенціал вітрової енергії, який може бути використаний до 2030 року, оцінюється в 16 ГВт, причому щорічно можна виробляти від 25 до 30 ТВт год електроенергії. Крім того, Агентство з питань забезпечення ефективного використання енергетичних ресурсів вважає, що до 2050 року може використовуватися до 30 ТВт год вітрової енергії, тоді як загальний технічний потенціал вітрової енергії становить 42 ТВт год. В українській Енергетичній стратегії планується, що до 2030 року в Україні 2 ТВт·год електроенергії будуть проводитися вітровими установками.

За прогнозами аналітиків, найближчими роками вітроенергетика в Україні розвиватиметься швидше порівняно з іншими видами відновлюваної енергетики, а загальна потужність вітропарків перевищить потужність сонячних станцій в 10 разів.

Наведена нижче таблиця (згідно з Датською асоціацією виробників вітротурбін) показує значення енергії вітру в стандартних умовах (сухе повітря, густина – 1,225 кг/м³, атмосферний тиск над рівнем моря 760 мм рт. стовпа).

Таблиця 1

м/с	Вт/м ²
1	1
5	77
11	815
18	3572
23	7452

На підставі даних спостереження швидкостей вітру за висотою деякими дослідниками виведено узагальнювальні формули для визначення швидкості вітру за висотою. З них найбільш проста залежність для висоти від 5 м і вище виражається у формі:

$$V = V_0 \left(\frac{h}{h_0} \right)^{\frac{1}{5}}, \quad (1)$$

де V_0 і h_0 – відповідно швидкість і висота, заміряні поблизу землі; V – швидкість, яка визначається для висоти h .

Кінетична енергія вітрового потоку, як будь-якого тіла, що рухається зі швидкістю v і має масу m , дорівнює:

$$A = \frac{mV^2}{2} t, \quad (2)$$

У свою чергу маса повітря в перерізі перед вітрогенератором є масовою витратою повітря, яка могла б пройти через площу F вітроколеса, що омітається за одиницю часу, маючи густину ρ :

$$m = \rho VF, \quad (3)$$

де $\rho = \frac{\gamma}{g}$ – масова густина повітря; γ – питома вага повітря; g – прискорення вільного падіння; F – площа, через яку протікає вітровий потік; V – швидкість вітру. З урахуванням останнього виразу отримаємо формулу для кінетичної енергії вітрового потоку:

$$A = \frac{\rho FV^3}{2} t, \quad (4)$$

тобто, енергія вітрового потоку змінюється пропорційно кубу його швидкості, а потужність вітрового потоку визначається як:

$$P = \frac{A}{t} = \frac{mV^2}{2} = \frac{\rho FV^3}{2}, \quad (5)$$

Таблиця 2

Середньорічні швидкості вітру, м/с)	3	4	5	6	7	8	9	10
Встановлена потужність генераторів, що працюють від вітродвигунів на 1 кв. км, кВт	297	435	618	790	1100	1480	1880	2400
Річне виробництво енергії, що отримується з 1 кв. км, тис. кВт*год	445	680	1060	1550	2220	3040	3950	5120

Важливою характеристикою вітродвигуна є крутий момент, що розвивається їм, який визначається потужністю, що розвивається вітродвигуном і кутовою швидкістю обертання ротора:

$$M_{об} = \frac{P_{вд}}{\omega} = C_p \frac{\rho F V^3}{2}, \quad (6)$$

де $P_{вд}$ – потужність, що розвивається вітродвигуном, ω – кутова швидкість обертання ротора, C_p – коефіцієнт використання енергії вітру.

Щодо плюсів і мінусів використання вітрової енергії, стимулом для розвитку вітрової енергетики можна вважати необхідність вживання термінових заходів щодо запобігання подальшій зміні клімату. Зручним є той факт, що турбіни займають лише 1 % усієї території вітряної ферми. На решті 99 % площі ферми можна займатися сільським господарством або іншою діяльністю, що і відбувається в таких густонаселених країнах, як Данія, Нідерланди, Німеччина.

Значним мінусом вітрогенераторів можна вважати так званий синдром вітрогенератора – низка симптомів, які спостерігаються у багатьох (але не у всіх) людей, що живуть поблизу промислових вітрових турбін. Причиною

виникнення «синдрому» вважається інфразвук. Низькочастотний шум від турбін стимулює виникнення хибних сигналів в системі внутрішнього вуха, які й призводять до запаморочення й нудоти, а також до проблем з пам'яттю, тривожності й паніки.

Поруч з селом Безіменне Новоазовського району Донецької області України працює Новоазовська ВЕС – вітрова електростанція. Вироблення електроенергії відбувається за рахунок використання енергії вітру. Фактична потужність станції становить 79,3 МВт (на 2012 рік).

Також у стані розробки перебуває китайський проєкт, який коштує \$ 1 млрд і обіцяє зведення на території Мангушського й Нікольського районів Донецької області вітряного комплексу потужністю 800 МВт. Наразі подробиці відсутні, але китайські компанії вже пустили коріння на Донбасі, і можна з великою часткою впевненості сказати, що проєкт як мінімум почне реалізовуватися, ймовірно, вже наступного року.

Література:

1. Техніко-економічний аналіз діяльності пек за січень 2015 року огляд змі за 1–15 лютого 2015 року.
2. Вітроенергетика. Інформаційно-аналітичний огляд альтернативної енергетики (монографія), під загальною редакцією В.А. Дзензерського, Г.Г. Пивняк, 2014 року.
3. <https://getmarket.com.ua/ru/news/top-7-samyh-moshnyh-ves-ukrainy>

УДК 620.92:911.3(477)

АЛЬТЕРНАТИВНА ЕНЕРГЕТИКА В УКРАЇНІ: МОЖЛИВОСТІ ДЛЯ ІНВЕСТИТОРІВ ТА ВИРОБНИКІВ

Л.Л. Смотриковський

*Кам'янець-Подільська загальноосвітня школа І–ІІІ
ступенів № 10, вул. Короленка, 20, м. Кам'янець-
Подільський, 32300, Україна, тел.: +38(096)931-40-98,
e-mail:leonidsmotrykovsky@gmail.com*

В даній статті здійснено оцінку сучасного стану в альтернативній енергетиці в Україні та світі, а також проведена оцінка досвіду інших країн з розвитку «чистої» енергетики. У зв'язку з постійним ростом споживання енергії постає питання розвитку альтернативних відновлюваних джерел енергії з мінімальним впливом на навколишнє середовище.

Ключові слова: відновлювані джерела енергії, альтернативна енергетика.

ALTERNATIVE ENERGY IN UKRAINE: OPPORTUNITIES FOR INVESTORS AND MANUFACTURERS

L.L. Smotrykovsky

*Kamyanets-Podilsk comprehensive school of I–III degrees №
10, street Korolenko, 20, Kamyanets-Podilskiy, 32300,
Ukraine, tel.: +38(096) 931-40-98,
e-mail: leonidsmotrykovsky@gmail.com*

This article assesses the current state of alternative energy in Ukraine and the world, as well as assesses the experience of other countries in the development of "clean" energy. Due to the constant growth of energy consumption, the

question arises of the development of alternative renewable energy sources with minimal impact on the environment.

Keywords: *renewable energy sources, alternative energy.*

ORCID: 0000-0001-9257-4535.

Альтернативна енергетика поступово розвивається і поступово стає однією з основних галузей в світовій економіці. Відновлювані джерела енергії не лише дозволяють зменшити залежність від традиційних джерел енергії, але також надають значні конкурентні переваги для країн, які їх ефективно використовують. Для покращення розуміння перспектив розвитку альтернативної енергетики України доцільним буде розглянути основні відновлювані джерела енергії, які характеризуються достатнім потенціалом для подальшого розвитку альтернативної енергетики країни.

Вітроенергетика є другим за величиною сектором української альтернативної енергетики, та це й не дивно, адже завдяки своїм природно-кліматичним особливостям країна має величезний потенціал використання енергії вітру. При цьому вітропотенціал південних областей набагато вище порівняно з північними, а найпривабливішими регіонами є Карпати й узбережжі Азовського і Чорного морів. Якщо розглядати динаміку потужності вітрових електростанцій протягом останніх десятиліть, то стає помітною тенденція до її подвоєння що три роки. Крім того, на розвиток даної галузі майже не вплинули світові економічні кризи

Ще одним з найперспективніших та інвестиційно привабливих напрямків в українській альтернативній енергетиці є виробництво твердого біопалива, тобто паливних гранул і брикетів. Тепер українські виробники тією чи іншою мірою засвоїли всі наявні види твердого біопалива, як-от паливні брикети та гранули з відходів деревини, лушпиння соняшника, соломи та ін. Характерною

рисом ринку твердого біопалива є колосальний попит на продукцію в країнах Євросоюзу, що природним чином зробило галузь експортоорієнтованою. Наша країна є однією з країн з високим біоенергетичним потенціалом, проте, на жаль, сьогодні значна частина біомаси, що може бути використана при виробництві енергії, вивозиться на звалища або просто знищується, а у вигляді палива використовується лише близько 1 млн т. До переваг використання біопалива також відносять можливість спалювання побічної продукції рослинництва, та використання відходів різноманітних виробництв, що також розвантажує звалища відходів. Використання біопалива не має серйозних недоліків.

Сьогодні в Україні існує значний потенціал у використанні і сонячної енергії, оскільки вона є легкодоступною як для великих підприємств, так і для звичайних домогосподарств, а існуюче державне стимулювання за допомогою «зелених» тарифів надає можливість навіть отримувати дохід, повертаючи надлишки виготовленої електроенергії в електромережу. Проте даний вид альтернативної енергетики має чимало недоліків. Серед них виділяють: значний вплив на продуктивність виробництва енергії часу доби, погоди та сезонних особливостей, а також вплив широти та кліматичних умов на потужність електростанцій; високу собівартість фотоелементів; забруднення навколишнього середовища в процесі виготовлення фотоелементів. Ще одним напрямком в альтернативній енергетиці є гідроенергетика. Вона досить добре освоєна, має постійно поновлювані ресурси та найнижчу собівартість серед усіх аналогів. Даний напрям енергетики може розвиватись за рахунок побудови нових ГЕС з потужністю 20–50 МВт та малих ГЕС на існуючих водних об'єктах. Серед переваг ГЕС є постійний, природно поновлюваний енергозапас; стабільна кількість виробленої енергії; відсутність забруднення довкілля. Основним

недоліком гідроелектростанцій є підтоплення здебільшого родючих земель та руйнування природного ландшафту.

Отже, сьогодні необхідно стимулювати розвиток альтернативної енергетики для зниження рівня залежності від традиційних енергоносіїв та підвищення ефективності загальносвітової політики в сфері екології та чистої енергетики.

Таким чином в результаті проведеної роботи було розглянуто основні напрямки альтернативної енергетики. Встановлено, що одними із найкращих методів стимулювання розвитку «чистої» енергетики є використання «зелених» тарифів та стимулювання за допомогою грантів, а негативний вплив альтернативної енергетики можна зменшити за допомогою використання стандартизованих норм.

Література:

1. Кудря С.О. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії: підручник. К.: НТУУ «КПІ». 2012. 492 с.

2. Про затвердження Порядку встановлення, перегляду та припинення дії "зеленого" тарифу на електричну енергію для суб'єктів господарської діяльності та приватних домогосподарств: постанова Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сфері енергетики № 1421 від 02.11.2012. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1957-12> (дата звернення: 10.05.2020).

3. Потенціал відновлюваних джерел енергії в Україні. Agroexpert: вебсайт. URL: <https://agroexpert.ua/potencial-vidnovlivaniih-dzerel-enerгии-v-ukraini/> (дата звернення: 10.05.2020).

4. Аналіз сучасного стану альтернативної енергетики та рекомендації по екологізації паливно-енергетичного комплексу України. Промислова екологія: вебсайт. URL: <http://eco.com.ua/content/analizsuchasnogo-stanu-alternativnoi-energetiki-ta-rekomendatsii-po-ekologizatsii-palivno-e> (дата звернення: 10.05.2020).

УДК 621.313.8

ЕНЕРГОАКУМУЛЯТОР ДЛЯ ОФІСУ

Н.О. Криворучко, С.О. Криворучко, В.В. Гончаров,
ОЗШ КЗ «ЛОМАНУМ», вул. Менделєєва, 1, м. Рубіжне,
93009, Україна,
тел.: +38(050)623-71-78,
e-mail: milostiprosim@i.ua

В роботі досліджено питання створення пристрою, за допомогою якого можна у звичайних умовах отримувати майже «безкоштовну» енергію. На основі діючої моделі розраховані значення параметрів для використання пристрою у реальних умовах та запропоновані шляхи підвищення ефективності пристрою.

Ключові слова: енергія, акумулятор, генератор, світлодіод, ручний ліхтарик.

POWER BATTERY FOR OFFICE

N. Krivoruchko, S. Krivoruchko, V. Honcharov,
OZSH KZ "LOMANUM", street Mendeleeva 1,
Rubizhne, 93009, Ukraine

The paper investigates the issue of creating a device with which it is possible to obtain almost "free" energy under normal conditions. Based on the current model, the values of parameters for the use of the device in real conditions are calculated and ways to increase the efficiency of the device are proposed.

Keywords: energy, battery, generator, LED, flashlight.

Поряд із задоволенням енергетичних потреб на світовому чи державному рівні можна замислитися над застосуванням альтернативних джерел енергії у нашому повсякденному житті. Цей напрям зараз стає дедалі

популярнішим. У найрозвинутіших країнах вже давно не новина – встановлення електричних генераторів у турнікетах на станціях метро, вбудовування подібних пристроїв у «лежачих» поліцейських та навіть у тротуарну плитку [1]. Використання м'язової роботи людини для вироблення енергії вважають досить перспективною галуззю.

Для перетворення механічної енергії існують спеціальні пристрої – генератори. Нинішній ринок може запропонувати величезну кількість моделей електрогенераторів з різними принципами роботи, технічними характеристиками та різних цінових категорій [2].

Однак більше приваблюють, завдяки своїм розмірам та малій ціні, саме портативні генератори енергії, які люди можуть використовувати в побуті, офісах тощо.

Тому завданнями роботи було: створити пристрій на основі магнітодинамічного генератора, провести дослідження на основі створеної моделі, розрахувати очікувані значення параметрів (якщо використовувати даний пристрій у реальних умовах), запропонувати шляхи підвищення ефективності пристрою.

Розроблений пристрій має своєю основою звичайний ручний ліхтарик. Зважаючи на наявність динамо-машини, такий ліхтар користувач зазвичай приводить в дію вручну за допомогою обертання або натискання рукоятки, з'єднаної з динамо-машиною, яка перетворює механічну енергію в електричну, яка і живить джерело світла [3].

Магнітодинамічний генератор такого ліхтарика встановлюється на одну частину дверного отвору (стіну), а інша, рухома частина, дверей виконує функцію джерела енергії. До генератора приєднується акумулятор та світлодіод.

Щоб оцінити ефективність використання подібного пристрою в будь-якому офісному (або іншому) приміщенні, для отримання (накопичення) енергії за рахунок частого

відчинення-зачинення дверей, розраховали заряд струму, який отримаємо в такому процесі.

У результаті проведених досліджень встановили, що в реальних умовах заряд за одне відчинення досягає 0,24 мА·год, що достатньо для живлення світлодіоду протягом 43,2 с.

Отже, враховуючи велику кількість відчинень дверей протягом робочого дня, тижня, місяця, можна отримувати електроенергію шляхом виконання простих побутових дій за допомогою запропонованого пристрою. Хоча значення досить малі, проте отриманих струму / напруги вистачить для зарядки невеликого акумулятора, підсвітлення замкової щілини, вмикача, розетки тощо.

Література:

1. 10 альтернативных источников энергии, о которых вы ничего не знали [Електронний ресурс] // Web-сайт RECYCLE – Режим доступа: <https://recyclemag.ru/article/10-neobychnyh-alternativnyh-istochnikov-energii>.
2. Выбор генератора для частного дома и строительства [Електронний ресурс] // Web-сайт Dnipro-m – Режим доступа: <https://dnipro-m.ua/news/vybor-generatora-dlya-doma-i-stroitelstva/>.
3. Ручной фонарь [Електронний ресурс] // Матеріал з Вікіпедії — вільної енциклопедії – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/ Ручной_фонарь](https://ru.wikipedia.org/wiki/Ручной_фонарь).

УДК 621.345

ВИКОРИСТАННЯ ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ У ГОТЕЛЬНОМУ БІЗНЕСІ

В.В. Москівець, Є.П. Клітна

*Полтавська гімназія №17, вул б/р Богдана
Хмельницького 15, м.Полтава, 314000, Україна, тел:
+38(099)933-60-54, e-mail: vlada.moskivets@gmail.com*

Наша робота спрямована на визначення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів та визначення резервів їх економії в готельному бізнесі. Чи може кожен з нас бути ощадливим економлячи теплові та енергетичні ресурси, а отже і нашу природу, яку, на жаль, ми занедбали.

Ключові слова: *аудит, сонячні батареї, тепло-енергетика, аудит енергетичний.*

USE OF FUEL AND ENERGY RESOURCES IN THE HOTEL BUSINESS

V.V. Moskvets , E.P. Klitnaia

*Poltava Gymnasium №17,
15 Bohdana Khmelnytskoho str.,
Poltava, Ukraine, 314000*

Our work is aimed at determining the efficiency of fuel and energy resources and understanding the reserves of their savings in the hotel business. Can each of us be frugal by saving heat and energy resources and, there fore, our nature which, unfortunately, we have neglected

Keywords: *audit, solar panels, heat and energy resources.*

Як ми всі чудово знаємо, паливно-енергетичні ресурси - це всі природні і перетворені види палива та енергії, які люди використовують в національному господарстві. У межах території України виділяються 4 нафтогазоносні провінції, які складаються з 11 областей і 35 нафтогазоносних перспективних районів. У подальшому розглядаються три нафтогазоносні регіони:

- Східний (Дніпровсько-Донецька западина і північно-західна частина Донбасу).

- Західний (Волинсько-Подільська плита, Прикарпаття, Карпати і Закарпаття)

- Південний (Причорномор'я, Крим та у межах виняткової (морської) економічної зони Чорного та Азовського морів).

Але запаси паливно-мастильних матеріалів не безкінечні. Людство завжди цікавило питання використання видів створення електроенергії. В сучасному світі існує багато альтернативних методів, щодо видобування електроенергетики безпечним шляхом для навколишнього середовища. Сонячні панелі - тип збірних панелей для поглинання енергії сонячних променів та її перетворення у електричну чи теплову.

Фотоелектричний модуль — загорнута і електрично з'єднана збірка фотоелектричних комірок (типово 6x10, 6x12), які об'єднані у фотоелектричну систему для генерації та накопичення електроенергії.

Зараз більшість людей турбуються про екологію та ця тема і не оминула готельний бізнес. Готелі - це приватна структура, де кожний власник також турбується про свій бюджет, намагаючись зменшувати витрати пов'язані з експлуатацією. Наприклад, часто готелі будуються в мальовничих місцях, де не має розвинутої інфраструктури. В цьому випадку не потрібно протягувати лінії електропередач, газопроводи, завдяки використанню сонячних батарей для створення теплової енергії, які забезпечують обігрів та енергозабезпечення

готельних комплексів. В цьому є ще позитивна сторона, що люди таким чином не забруднюють навколишнє середовище, так як відсутні продукти згорання та викиду в атмосферу, як це буває при спалюванні газу, вугілля і т.д.

Так як в сонячних панелях використовуються дорогі матеріали, спеціалісти працюють над зниженням собі вартості цього обладнання, щоб в кінцевому результаті була дешевшою.

Отже, аналізуючи дану інформацію, ми можемо побачити, що в сучасному житті готельний бізнес є дуже актуальним та став невід'ємною частиною всіх людей, тому ті, хто дійсно використовують сонячні панелі стовідсотково піклуються про себе, навколишніх та наш чудовий світ!

Література:

1. <https://osvita.ua/vnz/reports/management/13672/>
2. Астапов, К. Реформування паливно-енергетичного комплексу [Текст]/ К. Астапов // Економист. - 2013. – № 2. – С. 21-29
3. Енергетичні ресурси та потоки / За ред. А.К. Шидловського. – К.: УЕЗ, 2003. – С. 410.
4. Электрическая энергия. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общегоназначения: ГОСТ 13109-97. [Введ.01.01.2000]. - К.: Изд-во стандартов, 1999. - 31 с.

**МАТЕРІАЛИ XXII МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ
КОНФЕРЕНЦІЇ**

ВІДНОВЛЮВАНА ЕНЕРГЕТИКА ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ У XXI СТОЛІТТІ

20 - 21 травня 2021 року, Київ

Оригінал-макет підготовлено редакційним відділом ІВЕ НАНУ.

Наукові редактори:

Кудря С. О., Рєзцов В. Ф., Суржик Т. В., Рєпкін О. О.,
Кузнецов М. П., Васько П. Ф., Морозов Ю. П.,
Головко В. М., Будько В. І., Ключ В. П., Ключ С. В., Яценко Л.В.

Редакційна група:

Пономаренко О. П., Щокіна В. А.,
Іванчук О. І., Єзерницька С.Г.

Верстка:

Тєфнанц М. А., Пономаренко О. П., Щокіна В. А.

Обкладинку розробив: Пєпєлов О. В.

Підписано до друку 11.05.2021 р. Протокол №11 від 11.05.2021 р.
Формат 60 х84/16.Умовн.друк.арк.22.75.

Видавець: ТОВ «НВП «ІНТЕРСЕРВІС»,
02099, м.Київ, вул.Бориспільська, 9,
Зареєстровано 01.09.2004, свідоцтво: серія КВ, № 9115.
Ціна договірна.