УДК621.3.051.025

JELO33, O35

DOI: 10.17213/2312-6469-2019-4-230-247

ОЦЕНКА ИНТЕГРАЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ ПО ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОСЕТЕЙ

© А.А. Сальникова 2019

Кубанский государственный университет, г. Краснодар, Россия

Реализация результативной и взвешенной экономической политики в условиях активного внедрения цифровых технологий в различных сферах общественной и хозяйственной деятельности возможна только при наличии адекватных инструментов оценки эффективности инновационных проектов по цифровизации. В статье предложен новый методический подход и проведена оценка экономических, социальных и экологических эффектов инновационных проектов по развитию интеллектуальных сетей уровня 1.0 (подразумевающие установку smart счетчиков и снижение потерь в сетях) и уровня 2.0 (с интеграцией возобновляемых источников энергии и электромобилей) на примере модельных проектов на территории ЮФО. Расчет проводился посредством расширения методологии «затраты – выгоды» с учетом внешних позитивных экстерналий от реализации проектов. Расчеты показали, что эффекты от развертывания интеллектуальной сети превосходят объем затрат, необходимых для их установки.

Ключевые слова: экстерналии, интеллектуальные сети, интегральная эффективность.

INTEGRATED EFFICIENCY ASSESSMENT OF INNOVATIVE PROJECTS OF ELECTRIC NETWORKSDIGITALIZATION

© A.A. Salnikova 2019

Kuban State University, Krasnodar, Russia

Implementation of a productive and balanced economic policy in the context of the active integration of digital technologies in various areas of public and economic activities is only possible if there are adequate tools for assessing the effectiveness of innovative digitalization projects. The article proposed a new methodological approach and assessment of economic, social and environmental effects of innovative projects for the development of smart grids 1.0 (installation of smart meters and reducing losses in networks) and 2.0 (integration of renewable energy sources and electric vehicles) on the example of model projects of the Southern Federal District, Russia. The calculation was carried out by expanding the cost-benefit methodology taking into account positive externalities of project implementation. Calculations shown the effects of the deployment of smart grids exceed the amount of costs required for their installation.

Key words: externalities, smart grids, integrated efficiency.

Введение

Экономическая политика, реализуемая в последние десятилетия в российской электроэнергетике и характеризующаяся недостаточно активной инновационной и инвестиционной детальностью, привела к высокой изношенности российских энергосистем [1]. В настоящее время актуальным становится вопрос развития в России энергосетей совершенно нового уровня, в основу которого будут положены передовые достижения современной науки и техники, в частности, в области цифровизации. Сегодня во многих странах мира активно ведутся работы по развитию интеллектуальных сетей (SmartGrid), ожидаемыми эффектами которых являются рост энергоэффективности, повышение надежности энергоснабжения и создание принципиально новых возможностей в сфере энергоменеджмента [2]. Однако цифровизация электросетей требует существенных затрат, а их экономическая эффективность не всегда может быть точно оценена [3], поэтому разработка методов оценки эффективности инновационных проектов по разворачиванию интеллектуальных сетей является актуальным вопросом, решение которого позволит выработать адекватные формы экономической политики в данной отрасли.

Анализ литературы по инновационным проектам интеллектуальных сетей позволяет сделать вывод о том, что стандартных методов и подходов к оценке экономической эффективности таких проектов пока не существует [4,5].

В простейшем случае к экономическим эффектам относят сокращение затрат на ручной сбор показаний приборов учета. Другим подходом, также представленным в литературе, является учет помимо снижения затрат на сбор показателей по потреблению энергии и других выгод для потребителя и компании – поставщика электроэнергии: сокращение энергопотребления в период пиковых нагрузок, что позволяет снизить объем резервных мощностей в энергосистеме, улучшение качества энергоменеджмента, ведущее к снижению потерь, и т.д. [6].

В наиболее стандартизированной форме данный подход был применен в США для мониторинга результатов проектов по разворачиванию интеллектуальных сетей, реализованных в период с 2008 по 2016 год при государственной финансовой поддержке в рамках программ Департамента энергетики [7]. В данный период в рамках трех государственных программ в США было реализовано 140 проектов по разворачиванию интеллектуальных сетей [8].

Также реализация вышеупомянутых 140 проектов позволила получить средние оценки стоимости (затратная часть) проекта по разворачиванию интеллектуальной сети (табл. 1).

Таблица 1

**Оценки стоимости интеллектуальных сетей
для различных классов потребителей**

Сектор	Общая стоимость, долл./потребитель	Годовая стоимость ¹ , долл./потребитель	Месячная стоимость, долл./потребитель
Жилой	1033-1455	103-145	9-12
Коммерческий	7046-10064	714-1006	60-84
Промышленный	107845-151877	10785-15188	899-1266

Источник: [8].

Методика исследования

Чаще всего для оценки экономических эффектов от выполнения проектов используется единый подход, основанный на методологии «затраты – выгоды» (CostBenefitAnalysis) [9, 10]. В данной работе предлагается расширить методологию «затраты – выгоды», принимая во внимание также и экстерналии от проектов по развертыванию интеллектуальных сетей.

Эффекты инновационных проектов по развертыванию смарт-грид, можно отнести к позитивным экстерналиям [11]. Методы учета такого рода эффектов хорошо развиты на сегодняшний день для проектов возобновляемой энергетики, которые также производят значительные положительные внешние эффекты. В основе различных подходов к учету экстерналий в показателях эффективности инновационных проектов лежит метод приведенной стоимости электроэнергии (LevelizedCostofElectricity, LCoE) и «социальной» стоимости энергии (SocialCostofElectricity, SCoE) [12, 13].

Чтобы провести всеобъемлющую оценку стоимости - того, что можно было бы назвать «социальной стоимостью электроэнергии», или *SCoE* (SocialCostofElectricity), необходимо принять в счет еще такие дополнительные факторы как социальные расходы, экономический эффект и геополитический эффект.

Социальные расходы: в дополнение к выбросам парниковых газов, сжигание угля является причиной выброса твердых частиц, подвергая здоровье населения опасности. Проекты по развитию интеллектуальных сетей уровня 1.0 также имеют положительные социальные эффекты, так как снижение потерь в сетях позволяет снизить объемы генерации электроэнергии и, как следствие, расходы углеводородного топлива и выбросы от его сжигания. Социальные эффекты проектов интеллектуальных сетей уровня 2.0 могут быть дополнены учетом снижения объемов традиционной генерации за счет интеграции ВИЭ.

С учетом социальных расходов формула социальной стоимости электроэнергии приобретает следующий вид:

¹ В предположении, что срок эксплуатации сети равен 10 годам.

$$SCoE = \frac{I_0 + I_v + Sub_{N/P} \sum_{t=1}^T A_t \times (1+r)^{-t}}{\sum_{t=1}^T SE \times (1+r)^{-t}} + S_{cost}, \quad (1)$$

где I_0 – удельная стоимость оборудования с учетом инсталляции (евро/кв.м.);

A_t – стоимость обслуживания оборудования в году t (для солнечных коллекторов полагается равной 0,25 - 0,5% от I_0 в зависимости от типа коллектора);

SE – количество произведенной энергии в году t ;

T – длительность периода эксплуатации генерирующего оборудования (лет);

R – коэффициент дисконтирования, отражающий изменение стоимости денег во времени (для расчетов в евро или долларах США, как правило, полагается равным 3%);

$Sub_{N/P}$ – размер субсидий на единицу масштаба ИС (одного потребителя) для проектов уровня 1.0 или на единицу мощности генерирующего оборудования уровня 2.0;

I_v – затраты на единицу резервной мощности;

S_{cost} – стоимостная оценка негативных экологических эффектов единицы произведенной энергии (может быть как положительным так и отрицательным членом, в зависимости от характера генерации).

Экономический эффект: Под экономическими эффектами проектов по внедрению ВИЭ традиционно понимают снижение (или полное исключение) затрат на углеводородное топливо и создание новых высокотехнологичных рабочих мест. Для проектов по развёртыванию интеллектуальных сетей уровня 1.0 первый из упомянутых экономических эффектов полностью применим. В укрупненной структуре фактических потерь электроэнергии можно выделить две группы: технологические и коммерческие потери. Технологические потери включают в себя технические потери в электрических сетях, обусловленные физическими процессами, происходящими при передаче электроэнергии, расход электроэнергии на собственные нужды подстанций, и потери, обусловленные допустимыми погрешностями системы учета электроэнергии. Они не являются убытками электросетевого предприятия в полной мере этого слова, так как стоимость их нормативного объема учитывается в тарифе на передачу электроэнергии. Коммерческие потери невозможно измерить приборами и рассчитать по самостоятельным формулам. Они определяются математически как разность между фактическими и технологическими потерями электроэнергии и не подлежат включению в норматив потерь электроэнергии. Затраты, связанные с их оплатой, не компенсируются тарифным регулированием.

Второй из традиционно учитываемых экономических эффектов, связанный с созданием новых высокотехнологичных рабочих мест, реализу-

ется только в проектах уровня 2.0. С учетом экономического эффекта формула (1) приобретёт следующий вид:

$$SCoE = \frac{Io + Iv + Sub_{N/P} \sum_{t=1}^T At \times (1+r^{-t})}{\sum_{t=1}^T SE \times (1+r^{-t})} + S_{cost} + C_{tr}, \quad (2)$$

где C_{tr} – затраты на передачу по сети единицы электроэнергии (при внедрении интеллектуальных сетей за счет минимизации технологических и коммерческих потерь данный член будет стремиться к нулю).

Геополитические эффекты: «Зеленая» энергетика является препятствием на пути будущего повышения цен на топливо, которые являются причиной политических игр, образования политических коалиций, а иногда даже развязывания войн. Для России учет данного эффекта в расчетах не представляется актуальным, однако мы оставляем возможность его учета в общей модели исходя из соображений, что разрабатываемая нами методика может быть применена и для особых территории РФ (трансграничных, изолированных, со слабо развитой энергетической инфраструктурой). С учетом геополитического фактора формула (2) примет следующий вид:

$$SCoE = \frac{Io + Iv + Sub_{N/P} \sum_{t=1}^T At \times (1+r^{-t})}{\sum_{t=1}^T SE \times (1+r^{-t})} + S_{cost} + C_{tr} + GP, \quad (3)$$

где GP – геополитический эффектор, оцениваемый экспертным методом по шкале Черчмена-Акоффа в пределах от минимально возможного до максимально возможного значения SCoE без учета данного члена.

Проанализированные выше общие принципы оценки различного рода социальных эффектов инновационных проектов ВИЭ и интеграции их в общий показатель системно-социальной стоимости электроэнергии могут быть использованы и для оценки социально-экономических эффектов инновационных проектов по внедрению интеллектуальных сетей уровня 2.0, предполагающих подключение возобновляемых источников энергии к общей сети.

Результаты

Рассмотрим вариант модельного инновационного проекта по внедрению Smart Grid уровня 1.0 на территории регионов ЮФО (Краснодарский край и Республика Адыгея, Ростовская область, Волгоградская область, Астраханская область, Республика Калмыкия) одинакового масштаба на 100 тыс. пользователей из жилого сектора (домохозяйств). Цель проекта – снижение потерь при транспортировке энергии (достигается за счет внедрения технологий автоматического мониторинга и интеллектуальных приборов учета).

Для апробации предложенной методики расчета SCoE модельных проектов в регионах ЮФО РФ первым этапом проведем расчет экономических эффектов, которые будут выражены через экономию денежных средств посредством снижения потерь электроэнергии.

Объем сэкономленной электроэнергии в год будет составлять:

$$E_{saved} = Q_h \times Q_p \times EC_{av} \times \Delta EL,$$

где Q_h – количество домовладений,

Q_p – количество людей, проживающих в домовладении,

EC_{av} – объем потребления энергии на 100 тыс. домохозяйств рассчитан на основе данных по среднему энергопотреблению в России, которое составляет по данным рейтинга Международного энергетического агентства 6430,623 Квт·час/год на 1 человека и из расчета среднего размера домохозяйства 3 человека.

ΔEL – разница между величиной потерь региона и лучшими мировыми показателями (для определенности - 3,9%, Германия¹) (табл. 2).

Расчет объема сэкономленной электроэнергии в год по ДЗО ПАО «Россети» по ЮФО приведен в табл.3.

Далее произведем *расчет экономического эффекта* от реализации проекта интеллектуальных сетей уровня 1.0 по следующей формуле:

$$E_i = E_{saved} \times T \times Q_y, \quad (4)$$

где E_{saved} – объем сэкономленной электроэнергии в год;

Таблица 2

Уровень потерь в ДЗО ПАО «Россети» по ЮФО за 2017 год

ДЗО ПАО «Россети»	Уровень потерь в 2017 году, %
Кубаньэнерго	12,06
Ростовэнерго	8,67
Волгоградэнерго	6,99
Астраханьэнерго	17,62
Калмэнерго	22,13

Источник: годовые отчеты ДЗО ПАО «Россети» по ЮФО.

Таблица 3

Объем сэкономленной электроэнергии в год
по ДЗО ПАО «Россети» по ЮФО

Регион	Объем сэкономленной электроэнергии в год, кВт·ч
Краснодарский край и республика Адыгея	157421651
Ростовская область	92022215,13
Волгоградская область	59611875,21
Астраханская область	264684442,7
Республика Калмыкия	351690771,9

Источник: авторская разработка.

¹Electric power transmission and distribution losses (% of output). URL:https://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.LOSS.ZS?locations=DE&most_recent_value_desc=false.

T – тариф на электроэнергию в регионе (для определенности – одноставочный тариф для населения на второе полугодие 2017 года) (табл. 4);

Q_y – время эксплуатации сети (для определенности – 10 лет).

Расчет по регионам ЮФО представлен в табл. 5.

Из расчетов видно, что экономический эффект имеет наибольшее выражение в тех регионах, где уровень потерь максимален (Астраханская область – 17,62%, Республика Калмыкия – 22,13%).

Для оценки экологических эффектов от развертывания интеллектуальных сетей, как предложено в работе [14], можно использовать ставки платы за негативное воздействие на окружающую среду, определенные Постановлением Правительства РФ №913 от 13.09.2016 (в редакции от 09.12.2017) и Постановлением Правительства РФ от 30.12.2006 №876 (в редакции от 29.12.2017) (табл. 6). Однако не все категории воздействия на окружающую среду объектов электроэнергетики одинаково опасны для человека и имеют различный социальный эффект. Поэтому в расчете социально-экономической эффективности проектов по внедрению интеллектуальных сетей имеет смысл учитывать только те компоненты, которые имеют наибольшую социальную эффективность. В связи с этим, было принято решение остановиться на выборе наиболее разработанных к настоящему моменту инструментов ценностно-ориентированного проектирования для отбора тех категорий воздействия на окружающую среду, которые представляются наиболее ценными для человека.

Таблица 4

Тариф на электроэнергию в регионах ЮФО

Наименование региона	Величина тарифа, руб/кВт*ч
Краснодарский край и республика Адыгея	4,44
Ростовская область	3,72
Волгоградская область	4,02
Астраханская область	4,53
Республика Калмыкия	4,38

Источник: <https://energybase.ru/tariff/electricity>.

Таблица 5

Расчет экономического эффекта от реализации проекта интеллектуальных сетей уровня 1.0 по регионам ЮФО

Наименование региона	Экономический эффект, руб
Краснодарский край и республика Адыгея	6 989 521 306
Ростовская область	3 423 226 403
Волгоградская область	2 396 397 383
Астраханская область	11 990 205 253
Республика Калмыкия	15 404 055 808

Источник: авторская разработка.

При таком подходе к наиболее значимым категориям воздействия на окружающую среду целесообразно отнести токсичность для человека (кг 1,4-DCB-экв), ионизирующее излучение и стратосферное истончение озонового слоя. Эти категории воздействия должны обязательно учитываться при оценке социальной эффективности энергетического проекта. К менее значимым категориям можно отнести окисление, пресноводную и морскую эко-токсичность воды и донных отложений. К еще менее значимым категориям воздействия можно отнести изменение климата, эвтрофикацию и землепользование (табл.7).

Таблица 6

Ставка платы за негативное воздействие на окружающую среду
в 2019 году

Вид негативного воздействия	Ставка платы	Основание
Выбросы оксида углерода	1,6 руб/тонна	Постановление Правительства № 913, ч. I
Выбросы диоксида азота	138 руб/тонна	Постановление Правительства № 913, ч. I
Выбросы диоксида серы	45,4 руб/тонна	Постановление Правительства № 913, ч. I
Фториды растворимые	547,4 руб/тонна	Постановление Правительства № 913, ч. I
Диоксины	13400000000 руб/тонна	Постановление Правительства № 913, ч. I
Выбросы трихлорфторметана	321,6 руб/тонна	Постановление Правительства № 913, ч. I

Источник: Составлено автором на основе Постановления Правительства РФ № 913.

Таблица 7

Классификация категорий воздействия на окружающую среду
по значимости в соответствии с концепцией
ценностно-ориентированного проектирования

Значимость воздействия на ОС	Категория	Единица измерения
Высокая (здоровье человека)	эко-токсичность для человека	кг 1,4-DCB-экв
	ионизирующее излучение	DALYs
	стратосферное истончение озонового слоя	кг CFC-11-экв
Средняя (качество ближайшего окружения (атмосферы, воды, почв))	окисление	SO ₂ -экв
	пресноводная и морская эко-токсичность воды и донных отложений	кг 1,4-DCB-экв
Низкая (глобальные климатические и другие экологические изменения)	изменение климата	кг CO ₂ -экв
	эвтрофикация	кг PO ₄ -экв
	землепользование	кв.м/год

С учетом классификации категорий воздействия проведем стоимостную оценку экологических эффектов от внедрения SmartGrid уровня 1.0 (по ГОСТ Р ИСО 14040 – 14044 на основе данных Международной Ассоциации EcoInvent и ставок на выбросы загрязняющих веществ).

Экологические эффекты от производства электроэнергии по полному жизненному циклу выбраны по базе данных EcoInvent для объекта «electricityproduction, naturalgas, 10MW», как максимально соответствующему техническим характеристикам ТЭЦ южных регионов России. Величины негативных экологических эффектов по категориям воздействия, учитываемым в CML 2001, и рассчитанные на 1 Квт·час произведенной электроэнергии приведены в табл. 8.

Для расчета показателей экологической эффективности модельного инновационного проекта по реализации SmartGrid уровня 1.0 за год воспользуемся следующей формулой:

$$EN_{Iy} = E_{saved} \times EI_j,$$

где E_{saved} – объем сэкономленной электроэнергии в год,

EI_j – значения категории негативного воздействия на окружающую среду генерации электроэнергии на газовой электростанции на 1 Квт·час согласно данным базы Ecoinvent.

Также проведем расчет их стоимостной оценки.

$$EN_{Itotal} = EN_{Iyear} \times NE_j / 1000,$$

где EN_{Iyear} – значения категорий негативного воздействия на окружающую среду генерации электроэнергии на газовой электростанции за год;

NE_j – ставка платы за вид негативного воздействия (согласно Постановлению Правительства №913, ч.1 «О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах») (табл. 9).

Таблица 8

Категории негативного воздействия на окружающую среду генерации электроэнергии на газовой электростанции на 1 Квт·час

Категория	Значение показателя	Единица измерения
Экотоксичность для человека	0,034872	kg 1,4-DCB-Eq
Ионизирующая радиация	4,7449E-11	DALYs
Истончение озонового слоя	8,8044E-08	kg CFC-11-Eq
Окисление	0,00126	kg SO ₂ -Eq
Экотоксичность морской воды	0,094189	kg 1,4-DCB-Eq
Экотоксичность морских отложений	0,098248	kg 1,4-DCB-Eq
Экотоксичность пресной воды	0,022997	kg 1,4-DCB-Eq
Экотоксичность пресноводного осадка	0,050201	kg 1,4-DCB-Eq

Источник: данные базы EcoInvent.

Таблица 9

Соответствие категорий негативного воздействия на ОС видам негативного воздействия и ставкам платы соответственно

Категория	Вид негативного воздействия	Ставка платы
Экотоксичность для человека	Выбросы диоксида серы	45,4 руб/тонна
Ионизирующая радиация	DALY	9000руб/день
Истончение озонового слоя	Дихлорфторметан (фреон 21)	21,6 руб/тонна
Окисление	Выбросы диоксида серы	45,4 руб/тонна
Экотоксичность морской воды	Трихлорбензол	735534,3 руб/тонна
Экотоксичность морских отложений	Трихлорбензол	735534,3 руб/тонна
Экотоксичность пресной воды	Трихлорбензол	735534,3 руб/тонна
Экотоксичность пресноводного осадка	Трихлорбензол	735534,3 руб/тонна

Источник: составлено автором на основе Постановления Правительства №913, ч.1 «О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах» и данных базы EcoInvent.

Результаты расчетов представлены в табл.10-14.

Для расчета полной эффективности модельных проектов по разработанной методике нам также необходимо разработать способ учета инновационных эффектов, возникающих при внедрении ИС уровня 2.0. Это требует более детального изучения социально-экономической среды каждого конкретного региона. Поэтому остановимся на расчёте полных эффектов для модельных проектов уровня 1.0. и 2.0. для Краснодарского края.

Таблица 10

Значения категорий негативного воздействия на окружающую среду генерации электроэнергии на газовой электростанции за год для Краснодарского края и их стоимостная оценка

Категория	Значение показателя	Стоимостная оценка, руб
Экотоксичность для человека	5489607,814	4 037 793 194,00 Р
Ионизирующая радиация	0,0074695	67,23 Р
Истончение озонового слоя	13,86003184	0,30 Р
Окисление	198351,2803	9 005,15 Р
Экотоксичность морской воды	14827387,89	10 906 047 921,00 Р
Экотоксичность морских отложений	15466362,37	11 376 035 378,00 Р
Экотоксичность пресной воды	3620225,708	2 662 799 096,00 Р
Экотоксичность пресноводного осадка	7902724,302	5 812 722 417,00 Р
Общая оценка		34 795 407 078,00 Р

Источник: авторская разработка.

Таблица 11

Значения категорий негативного воздействия на окружающую среду
генерации электроэнергии на газовой электростанции за год
Ростовской области и их стоимостная оценка

Категория	Значение показателя	Стоимостная оценка, руб.
Экотоксичность для человека	119374751,1	5 419 613,70 Р
Ионизирующая радиация	0,16242867	1 461,86 Р
Истончение озонового слоя	301,3945454	6,51 Р
Окисление	4313265,268	195 822,24 Р
Экотоксичность морской воды	322430271,7	237 158 524 173,20 Р
Экотоксичность морских отложений	336325147,6	247 378 682 043,21 Р
Экотоксичность пресной воды	78723937,59	57 904 156 328,35 Р
Экотоксичность пресноводного осадка	171849388,7	126 401 119 791,26 Р
Общая оценка		668 848 099 240,33 Р

Источник: авторская разработка.

Таблица 12

Значения категорий негативного воздействия на окружающую среду
генерации электроэнергии на газовой электростанции за год
Волгоградской области и их стоимостная оценка

Категория	Значение показателя	Стоимостная оценка, руб.
Экотоксичность для человека	83567169,54	3 793 949,50 Р
Ионизирующая радиация	0,113706659	1 023,36 Р
Истончение озонового слоя	210,9884112	4,56 Р
Окисление	3019460,703	137 083,52 Р
Экотоксичность морской воды	225714273,1	166 020 589 870,05 Р
Экотоксичность морских отложений	235441250,1	173 175 115 072,38 Р
Экотоксичность пресной воды	55109950,62	40 535 258 950,00 Р
Экотоксичность пресноводного осадка	120301545	88 485 912 708,13 Р
Общая оценка		468 220 808 661,50 Р

Источник: авторская разработка.

Таблица 13

Значения категорий негативного воздействия на окружающую среду генерации электроэнергии на газовой электростанции за год для Астраханской области и их стоимостная оценка

Категория	Значение показателя	Стоимостная оценка, руб
Экотоксичность для человека	418122437,6	18 982 758,67 Р
Ионизирующая радиация	0,568923249	5 120,31 Р
Истончение озонового слоя	1055,665631	22,80 Р
Окисление	15107658,62	685 887,70 Р
Экотоксичность морской воды	1129345443	830 672 309 562,46 Р
Экотоксичность морских отложений	1178013686	866 469 471 699,38 Р
Экотоксичность пресной воды	275738750,2	202 815 308 613,62 Р
Экотоксичность пресноводного осадка	601920293,9	442 733 022 033,84 Р
Общая оценка		2 342 709 785 698,76 Р

Источник: авторская разработка.

Таблица 14

Значения категорий негативного воздействия на окружающую среду генерации электроэнергии на газовой электростанции за год для Республики Калмыкия и их стоимостная оценка

Категория	Значение показателя	Стоимостная оценка, руб
Экотоксичность для человека	537170234,1	24 387 528,63 Р
Ионизирующая радиация	0,730907044	6 578,16 Р
Истончение озонового слоя	1356,23469	29,29 Р
Окисление	19409110,32	881 173,61 Р
Экотоксичность морской воды	1450892612	1 067 181 282 110,15 Р
Экотоксичность морских отложений	1513417675	1 113 170 610 206,69 Р
Экотоксичность пресной воды	354247071,4	260 560 871 701,44 Р
Экотоксичность пресноводного осадка	773299005,6	568 787 942 787,50 Р
Общая оценка		3 009 725 982 115,47 Р

Источник: авторская разработка

Для расчета полной эффективности модельных проектов по разработанной методике нам также необходимо разработать способ учета инновационных эффектов, возникающих при внедрении ИС уровня 2.0. Это требует более детального изучения социально-экономической среды каждого конкретного региона. Поэтому остановимся на расчёте полных эффектов для модельных проектов уровня 1.0. и 2.0. для Краснодарского края.

Рассмотрим вариант модельного инновационного проекта по внедрению SmartGrid на территории Краснодарского края одинакового масштаба на 100 тыс. пользователей из жилого сектора (домохозяйств) проект

интеллектуальной сети уровня 2.0, целью которого является не только снижение потерь, но также развитие микрогенерации, позволяющая реализовывать частичное замещение электроэнергии от традиционных источников в электробалансе и развитие электромобильности.

Расчет затрат и эффектов произведен по следующим формулам:

$$COST_i = LL_i \times DR \times Q_h,$$

где $i=1, 2$ – уровень Smart Grid

LL_i – затраты, необходимые для развертывания интеллектуальной сети i -го уровня на одно домохозяйство (средние оценки из аналитических источников);

DR – актуальный курс доллара США;

Q_h – количество домовладений, устанавливающих оборудование для SmartGrid (при расчетах эффективности модельного проекта принято равным 100000 домохозяйств)

$$BENEFIT_i = E_i + EN_i + \lambda \cdot (B_{\text{innov}} + EN_{\text{soc}}),$$

где E_i – экономические эффекты от внедрения SmartGrid i -го уровня (рассчитаны как стоимостные оценки сокращения технологических потерь электроэнергии от текущего уровня потерь ПАО «Кубаньэнерго» до уровня лучших мировых показателей);

EN_i – стоимостная оценка экологических эффектов от внедрения SmartGrid i -го уровня (рассчитаны по ГОСТ Р ИСО 14040 – 14044 на основе данных Международной Ассоциации EcoInvent и тарифов на выбросы загрязняющих веществ);

$$\lambda = \begin{cases} 1, & \text{если } i = 2; \\ 0, & \text{если } i = 1. \end{cases}$$

B_{innov} – стоимостная оценка инновационных эффектов от внедрения SmartGrid уровня 2.0 (рассчитаны на основе актуальных рыночных данных стоимости обучающих программ-аналогов);

EN_{soc} – стоимостная оценка не прямых экологических эффектов от внедрения SmartGrid уровня 2.0 (рассчитана по наиболее социально-значимым экологическим эффектам в соответствии с концепцией ценностно-ориентированного проектирования и ГОСТ Р ИСО 14040 – 14044 на основе данных Международной Ассоциации EcoInvent и тарифов на выбросы загрязняющих веществ).

Для расчета экологического эффекта второго проекта выдвинем несколько предположений:

– 10% из числа домохозяйств, охваченных участием в проекте, меняют пассивную модель потребительского поведения на активную и становятся просьюмерами посредством приобретения и инсталляции микрогенерирующего оборудования (для определенности – солнечных панелей мощностью 3 Квт);

– 10% из числа домохозяйств, охваченных участием в проекте, приобретают электромобиль вместо обычного бензинового автомобиля, и используют его с той же степенью интенсивности, что и обычный автомобиль (средний годовой пробег 17 тыс. км).

Тогда к уже рассчитанным стоимостным оценкам экологического эффекта, достигнутого за счет сокращения потерь электроэнергии, необходимо добавить эффекты от замещения газовой генерации на солнечную и от замещения обычного топлива на электроэнергию.

Используя данные работы [15], рассчитаем потенциальный объем электроэнергии, вырабатываемый за год 10 тысячами солнечных панелей мощностью 3 Квт в условиях Краснодарского края:

$$E_{pv} = Q_{pv} \times W \times H_y \times CF,$$

где Q_{pv} – количество солнечных панелей, находящихся в активном использовании;

W – мощность солнечных батарей (для определенности – 3 кВт);

H_y – количество часов в году;

CF – коэффициент использования установленной мощности (КИУМ) или CapacityFactor (для солнечных батарей – 0,2 или 20%);

$$E_{pv} = 17\,520\,000 \text{ кВт·час/год.}$$

То есть, объем генерации (и потребления) электроэнергии за счет традиционных источников может быть сокращен на 17 520 000 кВт·час в год.

Для расчета объемов замещения традиционного топлива используем данные работы [15]:

$$F_{sub} = Q_c \times OK_{av} \times FC_{rate},$$

где Q_c – количество электромобилей, находящихся в активном использовании;

OK_{av} – средний годовой пробег (17000 км);

FC_{rate} – расход топлива на 1 км;

$$F_{sub} = 17\,000\,000 \text{ л/год}$$

Данные о негативных экологических воздействиях традиционного бензинового топлива получим также из базы EcoInvent, по объекту «petrolproduction, low-sulfur», однако выпишем их сразу только для тех категорий воздействия, которые отнесены к уровню иерархии 1 и 2 (табл. 15).

Для расчета денежного выражения экологического эффекта применим следующую формулу:

$$EN_2 = F_{sub} \times NE_j,$$

где F_{sub} – объем замещения традиционного топлива, л/год;

NE_j – ставка платы за вид негативного воздействия (согласно Постановления Правительства № 913, ч. I «О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах»).

Результат расчета представлен в табл. 16.

Таблица 15

Показатели негативного воздействия на окружающую среду
производства бензина, л

Категория	Значение показателя	Единица измерения
Окисление	0,0070799	kg SO ₂ -Eq
Экотоксичность пресной воды	0,095983	kg 1,4-DCB-Eq
Экотоксичность пресноводного осадка	0,20916	kg 1,4-DCB-Eq
Экотоксичность для человека	0,26916	kg 1,4-DCB-Eq
Ионизирующая радиация	5,2526E-09	DALYs
Экотоксичность морской воды	0,48153	kg 1,4-DCB-Eq
Экотоксичность морских отложений	0,52291	kg 1,4-DCB-Eq
Истончение озонового слоя	6,0893E-07	kg CFC-11-Eq

Источник: данные базы EcoInvent.

Таблица 16

Стоимостные оценки экологических эффектов модельного проекта
уровня 2.0, соответствующих первому и второму уровню иерархии
ценностей (в год)

Категория	Значение показателя	Денежное выражение
Окисление	0,0070799	5464,26682
Экотоксичность пресной воды	0,095983	1200179408
Экотоксичность пресноводного осадка	0,20916	2615354021
Экотоксичность для человека	0,26916	3365599007
Ионизирующая радиация	5,2526E-09	4,73E-05
Экотоксичность морской воды	0,48153	6021091135
Экотоксичность морских отложений	0,52291	6538510094
Истончение озонового слоя	6,0893E-07	2,24E-01
Сумма:		19 740 739 130 руб

Источник: авторские расчеты.

Проведем расчет затрат на развертывание проекта интеллектуальной сети уровня 1.0 и уровня 2.0:

$$COST_1 = 1033 \times 65 \times 10000 = 671\,450\,000 \text{ руб.}$$

$$COST_2 = 1455 \times 65 \times 10000 = 945\,750\,000 \text{ руб.}$$

Суммарное денежное выражение экологического эффекта при развертывании проекта 2.0 рассчитывается по следующей формуле:

$$\Sigma EN_2 = 0,9 EN_1 \times EN_2.$$

$$\Sigma EN_2 = 54\,536\,146\,208 \text{ руб.}$$

Помимо экологических эффектов инновационные проекты в области SmartGrid могут производить и такие положительные социальные эффекты

(не учтенные ранее), как получение и накопление новых знаний. Таким образом, эффекты накопления знаний и обучения в проектах по развитию интеллектуальных сетей и интеграции ВИЭ, достаточно длинных по срокам реализации, должны учитываться при расчете экологических и экономических показателей эффективности с помощью кривых обучения.

Тогда формула для расчета эффективности инновационного проекта в электроэнергетике по расширенной методике LCoE пример вид:

$$LCoE = \frac{Io + Iv + Sub_{N/P} \sum_{t=1}^T At \times (1+r)^{-t}}{\sum_{t=1}^T SE \times (1+r)^{-t}} + Scost + Ctr + Innov,$$

где *Innov* – эффекты накопления и передачи знаний;

Scost – стоимостные оценки социально-значимых экологических эффектов, определяемых по формуле оценки полного жизненного цикла процесса генерации и транспортировки энергии.

Однако в простейшем случае можно предложить следующий подход: 1) успешное участие каждого конечного пользователя (домохозяйства) в проекте, предполагающим переход к управлению собственным энергопотреблением, может оцениваться как прохождение обучающих курсов и измеряться в стоимости единицы таких курсов, например, в стоимости часа обучения; 2) переход к просьюмерской модели потребительского поведения может рассматриваться как прохождение дополнительного обучающего курса.

Инновационный эффект рассчитывается как стоимость обучения основам энергоменеджмента интеллектуальных сетей по следующей формуле:

$$B_{innov} = C_p \times Q_p,$$

где C_p – стоимость обучающей программы по основам энергоменеджмента¹,

Q_p – количество людей, прошедших обучение (для определенности – от каждого домовладения обучение будет проходить 1 человек),

$$B_{innov} = 236\,000\,000 \text{ руб.}$$

Для расчета суммарного значения экономических и экологических эффектов воспользуемся формулой:

$$\begin{aligned} \text{BENEFIT}_1 &= E_1 + EN_1 = 6989521306 \text{ руб.} + 34795407078 \text{ руб.} = \\ &= 41784928384 \text{ руб.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{BENEFIT}_2 &= E_1 + EN_2 + B_{innov} = 6989521306 \text{ руб.} + 54536146208 \text{ руб.} + \\ &+ 236000000 \text{ руб.} = 61525903514 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Результаты апробации предложенного метода оценки эффективности инновационного проекта на примере модельного проекта по внедрению smart grid на территории Краснодарского края на 100 тыс. домовладений представлены в табл.17.

¹<https://www.dnvgl.ru/training/page-70299>

Таблица 17

Оценки эффектов модельного инновационного проекта по внедрению
SmartGrid в Краснодарском крае

Тип Smart Grid	Затраты, руб.	Эффекты, руб.
1.0 (без интеграции ВИЭ)	671 450 000	Экономические – 6 989 521 306 Экологические – 34 795 407 078
2.0 (с интеграцией ВИЭ и электромобилей на уровне 10%)	945 750 000	Экономические – 6 989 521 306 Экологические – 54 536 146 208 Инновационные – 236 000 000

Источник: авторские расчеты.

Выводы

Табл. 17 демонстрирует, что и для сетей уровня 1.0, и для сетей уровня 2.0 эффекты от развертывания интеллектуальной сети превосходят объем затрат, необходимых для их инсталляции.

Результаты оценки социальных, экологических и экономических эффектов проектов по развитию интеллектуальных сетей подтверждают необходимость их дальнейшего развития и масштабного внедрения. Таким образом, политикам, представителям энергетических компаний и другим стейкхолдерам проектов по развитию интеллектуальных сетей необходимо использовать междисциплинарный подход в целях превращения электро-энергетической системы в России в более активную и интеллектуальную.

Литература

1. Алмастьян Н.А., Ратнер С.В. Современный уровень развития эко-инноваций в энергоемких отраслях экономики (на примере электроэнергетики) // Национальные интересы: приоритеты и безопасность, 2018. Т.14. Вып. 6. – С. 1135-1150.
2. Ратнер С.В. Сальникова А.А. Вопросы максимизации положительных эффектов инновационных проектов по интеллектуализации энергосетей // Национальные интересы: приоритеты и безопасность, 2019. Т. 15. Вып. 3. – С. 548-563.
3. Ратнер С.В., Нижегородцев Р.М. Анализ мирового опыта реализации проектов по развертыванию интеллектуальных сетей: вопросы экономической эффективности // Теплоэнергетика, 2018. № 6. – С. 1-16.
4. De Oliveira-De Jesus P., Antunes C. Economic valuation of smart grid investments on electricity markets / De Oliveira-De Jesus P., Antunes C.// Sustainable Energy, Grids and Networks. 2018. DOI: 16. 10.1016/j.segan.2018.05.003.
5. Gonçalves I., Gomes Á., HenggelerAntunesC. Optimizing the management of smart home energy resources under different power cost scenarios / Gonçalves I., Gomes Á., HenggelerAntunes C. // Applied Energy, 2019. Volume №242. p. 351-363.
6. Ton D.T., Smith M.A. The US Department of Energy's Microgrid Initiative / The Electricity Journal // Dan T. Ton, Merrill A. Smith. 2012. Vol.25.Iss.8. P.84-94.
7. 2015 Progress Report for OE ARRA Smart Grid Demonstration Program Aggregation of RDSI, SGDP, and SGIG Results. 2015. DOE NETL Contract Number DE-FE0004001. 85 p.

8. Estimating the Costs and Benefits of the Smart Grid. Electric Power Research Institute. Technical report. EPRI. CA, USA. 2011. p.162.
9. Sidhu A.S., Pollitt M.G., Anaya K.L. A social cost benefit analysis of grid-scale electrical energy storage projects: A case study / Sidhu A. S., Pollitt M. G., Anaya K. L. // Applied Energy, №212. 2018. P. 881-894.
10. Baumol W.J., Oates W.E. The Theory of Environmental Policy, 2nd edition. New York: Cambridge University Press. 1988.
11. X. Ouyang, B. Lin Levelized cost of electricity (LCOE) of renewable energies and required subsidies in China / X. Ouyang, B. Lin // Energy Policy, №70. 2014. p. 64-73.
12. A.S. Mundada, K.K. Shah, J.M. Pearce Levelized cost of electricity for solar photovoltaic, battery and cogen hybrid systems / A.S. Mundada, K.K. Shah, J.M. Pearce // Renewable and Sustainable Energy Reviews, #57. 2016. P. 692-703.
13. Ратнер С.В. Метод оценки общественного ущерба от информационной закрытости на основе анализа среды функционирования и теории игр // Инновации. 2018. № 3. – С. 76-84.
14. Ратнер С.В., Иосифов В.В., Ратнер М.Д. Оптимизация региональной энергетической системы с высоким потенциалом использования биоотходов и биоресурсов как источников энергии по эколого-экономическим параметрам (на примере Краснодарского края) // Региональная экономика: теория и практика. – 2018. – Т. 16. № 12. – С. 2383-2398.
15. Иосифов В.В. Оценка экологических эффектов инновационных автотранспортных технологий по стандарту ГОСТ Р ИСО 14040-2010 // Эксплуатация морского транспорта. 2017. № 3 (84). – С. 20-26.

Поступила в редакцию

21.08.2019

Сальникова Анастасия Анатольевна – старший преподаватель, факультет химии и высоких технологий, Кубанский государственный университет, г. Краснодар, Россия.

Salnikova Anastasiya A. – senior lecturer, Department of chemistry and high technologies, Kuban State University, Krasnodar, Russia.

Россия, 350058, Краснодар, ул. Стасова, дом 115/1, кв. 142.

str. Stasova, 115/1, sq. 142, 350058, Krasnodar, Russia

e-mail: nansy2004@list.ru