

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ЖУРНАЛ**

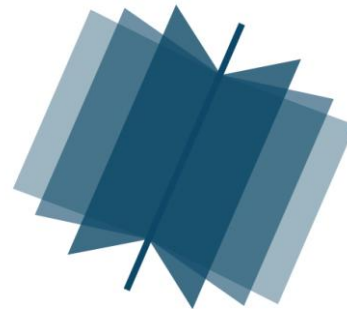
***INTERNATIONAL RESEARCH JOURNAL***

---

**ISSN 2303-9868 PRINT  
ISSN 2227-6017 ONLINE**

Екатеринбург  
2016





Периодический теоретический и научно-практический журнал.  
Выходит 12 раз в год.  
Учредитель журнала: ИП Соколова М.В.  
Главный редактор: Миллер А.В.  
Адрес редакции: 620075, г. Екатеринбург, ул. Красноармейская,  
д. 4, корп. А, оф. 17.  
Электронная почта: [editors@research-journal.org](mailto:editors@research-journal.org)  
Сайт: [www.research-journal.org](http://www.research-journal.org)

**№ 12 (54) 2016  
Часть 3  
Декабрь**

Подписано в печать 19.12.2016.  
Тираж 900 экз.  
Заказ 26167  
Отпечатано с готового оригинал-макета.  
Отпечатано в типографии ООО "Компания ПОЛИГРАФИСТ",  
623701, г. Березовский, ул. Театральная, дом № 1, оф. 88.

Сборник по результатам LVII заочной научной конференции International Research Journal.

За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы.

Журнал имеет свободный доступ, это означает, что статьи можно читать, загружать, копировать, распространять, печатать и ссылаться на их полные тексты с указанием авторства без каких либо ограничений. Тип лицензии CC поддерживаемый журналом: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0). Журнал входит в международную базу научного цитирования **Agris**.

Номер свидетельства о регистрации в Федеральной Службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций: **ПИ № ФС 77 – 51217**.

**Члены редколлегии:**

**Филологические науки:** Растягаев А.В. д-р филол. наук, Сложеникина Ю.В. д-р филол. наук, Штрекер Н.Ю. к.филол.н., Вербицкая О.М. к.филол.н.

**Технические науки:** Пачурин Г.В. д-р техн. наук, проф., Федорова Е.А. д-р техн. наук, проф., Герасимова Л.Г., д-р техн. наук, Курасов В.С., д-р техн. наук, проф., Оськин С.В., д-р техн. наук, проф.

**Педагогические науки:** Лежнева Н.В. д-р пед. наук, Куликовская И.Э. д-р пед. наук, Сайкина Е.Г. д-р пед. наук, Лукьянова М.И. д-р пед. наук.

**Психологические науки:** Мазилев В.А. д-р психол. наук, Розенова М.И., д-р психол. наук, проф., Ивков Н.Н. д-р психол. наук.

**Физико-математические науки:** Шамолин М.В. д-р физ.-мат. наук, Глезер А.М. д-р физ.-мат. наук, Свистунов Ю.А., д-р физ.-мат. наук, проф.

**Географические науки:** Умывакин В.М. д-р геогр. наук, к.техн.н. проф., Брылев В.А. д-р геогр. наук, проф., Огуреева Г.Н., д-р геогр. наук, проф.

**Биологические науки:** Буланый Ю.П. д-р биол. наук, Аникин В.В., д-р биол. наук, проф., Еськов Е.К., д-р биол. наук, проф., Шеуджен А.Х., д-р биол. наук, проф.

**Архитектура:** Янковская Ю.С., д-р архитектуры, проф.

**Ветеринарные науки:** Алиев А.С., д-р ветеринар. наук, проф., Татарникова Н.А., д-р ветеринар. наук, проф.

**Медицинские науки:** Медведев И.Н., д-р мед. наук, д.биол.н., проф., Никольский В.И., д-р мед. наук, проф.

**Исторические науки:** Меерович М.Г. д-р ист. наук, к.архитектуры, проф., Бакулин В.И., д-р ист. наук, проф., Бердинских В.А., д-р ист. наук, Лёвочкина Н.А., к.ист.наук, к.экон.н.

**Культурология:** Куценков П.А., д-р культурологии, к.искусствоведения.

**Искусствоведение:** Куценков П.А., д-р культурологии, к.искусствоведения.

**Философские науки:** Петров М.А., д-р филос. наук, Бессонов А.В., д-р филос. наук, проф.

**Юридические науки:** Грудцына Л.Ю., д-р юрид. наук, проф., Костенко Р.В., д-р юрид. наук, проф., Камышанский В.П., д-р юрид. наук, проф., Мазуренко А.П. д-р юрид. наук, Мещерякова О.М. д-р юрид. наук, Ергашев Е.Р., д-р юрид. наук, проф.

**Сельскохозяйственные науки:** Важов В.М., д-р с.-х. наук, проф., Раков А.Ю., д-р с.-х. наук, Комлацкий В.И., д-р с.-х. наук, проф., Никитин В.В. д-р с.-х. наук, Наумкин В.П., д-р с.-х. наук, проф.

**Социологические науки:** Замараева З.П., д-р социол. наук, проф., Солодова Г.С., д-р социол. наук, проф., Кораблева Г.Б., д-р социол. наук.

**Химические науки:** Абдиев К.Ж., д-р хим. наук, проф., Мельдешов А. д-р хим. наук.

**Науки о Земле:** Горяинов П.М., д-р геол.-минерал. наук, проф.

**Экономические науки:** Бурда А.Г., д-р экон. наук, проф., Лёвочкина Н.А., д-р экон. наук, к.ист.н., Ламоттке М.Н., к.экон.н.

**Политические науки:** Завершинский К.Ф., д-р полит. наук, проф.

**Фармацевтические науки:** Тринева О.В. к.фарм.н., Кайшева Н.Ш., д-р фарм. наук, Ерофеева Л.Н., д-р фарм. наук, проф.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ / ENGINEERING

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДУГОВЫХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ.....	6
ГАРМОНИЗАЦИЯ КОМПЛЕКСНЫХ РЕШЕНИЙ В ПРОЕКТИРОВАНИИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ .....	11
ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ СКАНИРУЮЩАЯ КАЛОРИМЕТРИЯ В ИССЛЕДОВАНИЯХ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ ТЕМПЕРАТУР.....	14
ИССЛЕДОВАНИЯ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ РОТОРА БЛОКА ПАРОКОМПРЕССОРА .....	20
К ВОПРОСУ ОБ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ UNITY .....	26
ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОДИНАМИКИ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РОТОРА САВОНИУСА.....	28
THE STUDY OF AERODYNAMICS AND POWER CHARACTERISTICS OF SAVONIUS ROTOR.....	28
АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ РАСЧЕТА АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ СИЛ ДЕЙСТВУЮЩИХ НА КРИВОЛИНЕЙНЫЙ КОНТУР .....	35
ВЫБОР ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРОВ ДЛЯ ВЭУ .....	43
МЕТОД ТЕОРИИ ПОДОБИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК .....	50
МОДЕЛИРОВАНИЕ СОСТАВА МЯСНЫХ ЭМУЛЬСИЙ ДЛЯ МЯСНЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ .....	54
ОШИБКИ, ОКАЗЫВАЮЩИЕ ВЛИЯНИЕ НА ПРОЦЕДУРУ ИДЕНТИФИКАЦИИ И МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИАГНОСТИРУЕМОЙ СИСТЕМЫ .....	58
ПРИМЕНЕНИЕ ВТОРИЧНЫХ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ КРОВИ В ТЕХНОЛОГИИ МЯСНЫХ ПРОДУКТОВ.....	61
МЕЖДУНАРОДНАЯ ДИСКУССИЯ НА ТЕМУ ПОДЗЕМНОЙ УРБАНИСТКИ .....	64
РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОБРАБОТКИ ЭЛЕКТРОКАРДИОСИГНАЛА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ПОРТАТИВНОГО АНАЛИЗАТОРА АРИТМИЙ .....	67
КЛАССИФИКАЦИЯ И ОПТИМИЗАЦИЯ МНОГОЦЕЛЕВЫХ АЛЬТЕРНАТИВ НА ПРИМЕРЕ ХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА .....	70
МАГНИТНАЯ АНТЕННА СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТРУБОПРОВОДА .....	74
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СРЕЗАНИЯ ПРИПУСКОВ ЗЕНКЕРАМИ С МНП ПРИ ОБРАБОТКЕ ТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ .....	77
ОЦЕНКА СЛОЖНОСТИ АЛГОРИТМА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАТОРОВ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН.....	83
ИЗУЧЕНИЕ КАЧЕСТВА НАСТОЕВ И ОТВАРОВ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ.....	87
ЗОЛЬНЫЕ МЕХАНОАКТИВИРОВАННЫЕ МИКРОСФЕРЫ – КОМПОНЕНТ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ БЕТОНОВ .....	90
ПОВЕРХНОСТНАЯ ЗАКАЛКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО НАГРЕВА ТОКАМИ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ: ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ.....	94
РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ОЦЕНКИ И ДИАГНОСТИКИ СТРУКТУРНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ МАТЕРИАЛОВ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОДХОДОВ НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИКИ И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА .....	98
ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ СЕНСУСА ТЕРРИТОРИИ .....	105
КОНСТРУКЦИЯ МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС .....	108
АЛГОРИТМ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СЕРИАЛИЗАЦИИ СО СЖАТИЕМ .....	111
УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ В ЖИЗНЕННОМ ЦИКЛЕ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ .....	115
БЕЗОПАСНОСТЬ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ .....	118
ИДЕНТИФИКАЦИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ ПО ЭКВИВАЛЕНТНЫМ РЕЛАКСАЦИОННЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ.....	122
ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ШАШЛЫКА «ПИКАНТНЫЙ» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОРОШКА СУХОГО МЁДА .....	125



ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН РАЗРУШЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ПОДВЕСКИ ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН .....	128
ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ КРЫШНЫХ ГАЗОВЫХ КОТЕЛЬНЫХ.....	132
ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОДИНАМИКИ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РОТОРА ДАРЬЕ .....	134
МЕТОДЫ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВЭУ .....	142
МЕТОДЫ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА .....	153
ВЛИЯНИЕ СОТС И ТВЕРДОСТИ КРУГА НА КОЭФФИЦИЕНТ ШЛИФОВАНИЯ И ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ОБРАБОТКЕ ТИТАНОВОГО СПЛАВА .....	156
ОБ ОСНОВНЫХ АСПЕКТАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА УДАЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ.....	161
INFORMATION DECISION SUPPORT OF REGION MANAGEMENT ON THE BASIS OF INTEGRATION TECHNOLOGY OF POTENTIALLY DANGEROUS OBJECTS THREE-DIMENSIONAL MODELS WITH GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM OF THE EXECUTIVE AGENCIES.....	165
ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ИЗМЕРЕНИЯ В НЕФТЕПРОВОДАХ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИИ.....	168
РАЗРАБОТКА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ОТЖИМНОЙ НАПРАВЛЯЮЩЕЙ ДЛЯ УЗКИХ ЛЕНТОЧНЫХ ПИЛ .....	171
РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ГОРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ.....	176
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СМЕШАННОГО АРМИРОВАНИЯ НА ПРОЧНОСТЬ ГИПСОВЫХ КОМПОЗИТОВ.....	180
ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ .....	183
К ОБОСНОВАНИЮ ТЕХНОЛОГИИ КУЛИНАРНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПРЕСНОВОДНЫХ РЫБ, УПАКОВАННЫХ ПОД ВАКУУМОМ .....	186
ТРАНСФОРМИРУЕМЫЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ СТЕРЖНЕВЫЕ КОНСТРУКЦИИ ПОКРЫТИЙ.....	190
CFD МОДЕЛИРОВАНИЕ СГУСТИТЕЛЯ КРАСНЫХ ШЛАМОВ .....	194
ОКСИД ПРОПИЛЕНА КАК ОКСИГЕНАТНАЯ ПРИСАДКА ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНОГО БЕНЗИНА .....	201
КОНСТРУКЦИЯ СБОРНОГО СВЕРЛА ДЛЯ ОБРАБОТКИ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ .....	205
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ.....	210
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В ПРИСУТСТВИИ ИСТОЧНИКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ И МАССИВОВ ВОДЫ .....	210
ВОПРОСЫ ДИНАМИКИ И УПРАВЛЕНИЯ ПРИ ЧИСТОВОЙ ОБРАБОТКЕ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ .....	215
АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПЛЕКСНОГО ВВОДА МЕРОПРИЯТИЙ В ЗАДАЧАХ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ БЕЗ УЧЁТА ТЕМПЕРАТУРЫ ЭЛЕМЕНТОВ СЕТИ.....	218

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ / ENGINEERING

DOI: 10.18454/IRJ.2016.54.264

Беличенко Р.И.

Аспирант,

ФГБОУ ВПО Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ДУГОВЫХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Аннотация

В статье рассматривается подход к построению математической модели электрической дуги, предназначенной для анализа функционирования релейной защиты в процессе моделирования аварийных режимов электрических сетей.

**Ключевые слова:** энергетика, релейная защита, электрическая дуга.

Belichenko R.I.

Postgraduate student, Federal State Budget Educational Institution of Higher Professional Education "Platov South-Russian State Polytechnic University (Novocherkassk Polytechnic Institute)"

## SIMULATION OF ARC FAULTS IN ELECTRICAL NETWORKS.

Abstract

This paper considers the approach to the design of the electric arc mathematical model, for the analysis of the relay protection functioning during arc short circuits in the electrical networks.

**Keywords:** electrical power, relay protection, electrical arc.

При разработке и испытании новых устройств релейной защиты и автоматики электроэнергетических систем возникает необходимость исследования их работы при возникновении электрической дуги в случае короткого замыкания. Наиболее актуально моделирование дуги при замыканиях в закрытых отсеках комплектных распределительных устройствах (КРУ) на напряжение 0,4 кВ, где дуга в отсеке может перейти на сборные шины, что приводит к значительному ущербу и отключению большого количества потребителей. В этой связи представляется важным разработка модели электрической дуги и анализируемой электрической сети для использования при решении задач построения быстродействующих защит с контролем ее параметров, например, дуговых защит, а также для учета ее влияния на функционирование основных и резервных защит высоковольтного оборудования.

Данная работа подразумевает выполнение нескольких этапов:

- 1) Выбор наиболее приемлемой математической модели для описания процессов в электрической дуге короткого замыкания.
- 2) Разработка функционального преобразователя, позволяющего решить уравнение математической модели динамической дуги.
- 3) Построение вольтамперной характеристики дуги и получение необходимых осциллограмм токов и напряжений короткого замыкания в разных точках сети.

Как известно, процессы горения электрической дуги описываются дифференциальными уравнениями в простых производных [1, 2].

$$\theta \frac{di_{\theta}^2}{dt} + i_{\theta}^2 = i^2 \quad (1)$$

где  $\theta$  – постоянная времени столба дуги;  $i_{\theta}$  – ток в цепи столба дуги, характеризующий внутреннюю энергию дуги в данный момент времени.

Электрическая дуга, как элемент электрической цепи, характеризуется статической вольтамперной характеристикой (СВАХ) столба дуги  $U_{cm.d}(i_{\theta})$ , отражающей статические свойства дуги.

Напряжение на дуге:

$$U_{\theta} = \frac{U_{cm.d}(i_{\theta})}{i_{\theta}} i + U_{a-k}; \quad (2)$$

где  $U_{a-k}$  – постоянная составляющая, равная сумме приэлектродных падений напряжения и динамическая составляющая  $U_{cm.d}(i_{\theta}) \cdot i/i_{\theta}$ .

Мощность, подводимая к дуге, зависит от динамической составляющей напряжения и определяется из выражения

$$P = U_{ст.д} i = R_{ст}(i_{\theta}) i^2 = \frac{U_{ст.д}(i_{\theta})}{i_{\theta}} i^2 \quad (3)$$

где  $R_{ст}(i_{\theta}) = U_{cm.d}(i_{\theta})/i_{\theta} = U_{cm.d}/i$  – статическое сопротивление столба дуги.

При степенной аппроксимации нелинейной статической вольтамперной характеристики  $i_{\theta}(u)$ , математическая форма аппроксимированной ВАХ может быть представлена следующим образом [3, 4]:

$$i_{\theta}(u) = I_0 \left[ \frac{u}{U_0} \right]^{1/n} \quad (4)$$

где  $I_0$ ,  $U_0$  – ток и напряжение в фиксированной точке на ВАХ дуги (в выбранной рабочей точке);  $n$  – показатель степени ( $n=\infty$  – для ВАХ независимой от напряжения;  $n = -1/3$  – для свободно горящих дуг;  $n = -1$  – для дуг постоянной мощности).

К настоящему времени предложено большое количество моделей динамической дуги, такие как: модели Касси и Майра, Заруди, Шельгазе, Siemens, Kema, Schavemaker, Schwarz, Mathematical Model of the Dynamic Arc (MMDA) и многие другие.

Для моделирования междуфазных дуговых замыканий наиболее подходящей является MMDA, разработанная в ИЭС им. Е. О. Патона [5, 6, 7], связанная с энергетическими параметрами электрической дуги. Она справедлива для

любых видов статических вольт-амперных характеристик (СВАХ) дуги, и с ее помощью легко определяются такие важные энергетические параметры столба дуги как отводимая мощность и внутренняя энергия столба дуги, что принципиально невозможно в альтернативных моделях.

Для практической реализации модели дуги используется программный комплекс компьютерного моделирования MatLab/ Simulink. Его основное достоинство состоит в возможности построения моделей сложных электротехнических систем на основе методов имитационного и функционального моделирования с функцией многократно меняющегося шага.

Для моделирования элементов с нелинейной вольтамперной характеристикой используется модель на базе управляемого источника напряжения, в котором напряжение на столбе дуги обеспечивается с помощью повторителя напряжения. Таким образом, имитируется напряжение на столбе дуги и на приэлектродных областях.

ВАХ задана выражением:

$$U(i_0) = U_0 \left[ \frac{i_0}{I_0} \right]^n \quad (6)$$

Модель дуги представлена в виде блок-диаграммы на рис.1.

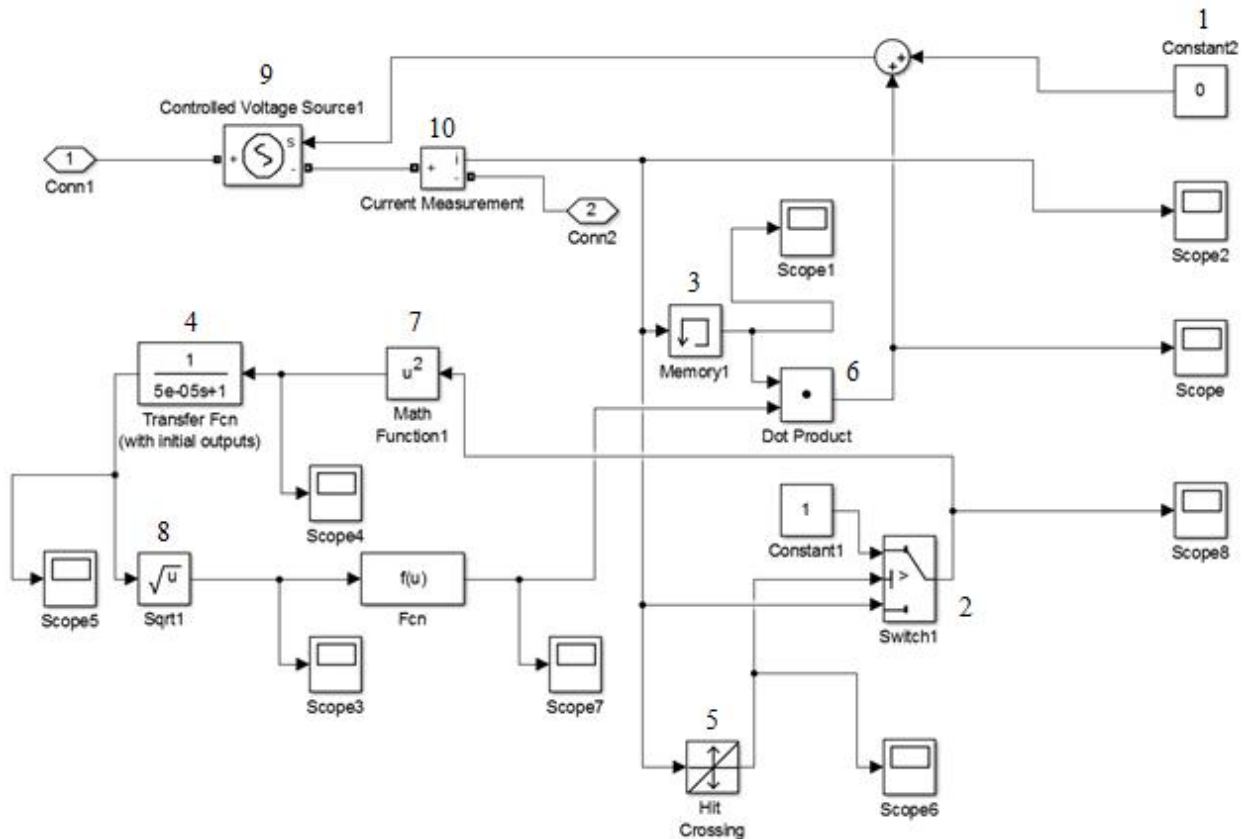


Рис. 1 – Блок-диаграмма динамической модели электрической дуги переменного тока

На схеме представлены основные элементы:

1. Источник сигнала постоянной величины – Constant, складывается с сигналом, получаемым на выходе блока скалярного произведения двух векторов для получения выражения (2) и имитирует напряжение на столбе дуги и на приэлектродных областях;

2. Switch – переключатель с сигнала датчика тока на постоянный сигнал. Таким образом обеспечивается решение проблемы физической реализуемости моделируемого элемента (во избежание деления на ноль) – выполнения аксиом непрерывности и ограниченности изменения координат;

3. блок Memory – путем задержки на один шаг дискретизации обеспечивает устранение негативного влияния алгебраического контура;

4. блок Fcn – реализует Simulink–модель дуги, уравнение (6).

5. блок Hit Crossing определяет момент времени, когда входной сигнал пересекает заданное пороговое значение.

6. блок Dot Product выполняет вычисление скалярного произведения (свертку) двух векторов

7. блок Math Function реализуют математическое действие возведения в квадрат.

8. блок Sqrt реализуют математическое действие извлечения квадратного корня.

9. блок Controlled Voltage Source - управляемый источник напряжения, вырабатывает напряжение в соответствии с сигналом управления.

10. блок Current Measurement – измеряет ток в цепи.

11. блоки Scope 1-8 предназначены для снятия показаний в различных точках схемы.

Для анализа процессов в электрической сети при дуговых коротких замыканиях целесообразно разработать комплексную модель реальной сети. В данной статье рассматривается однофазное дуговое короткое замыкание.

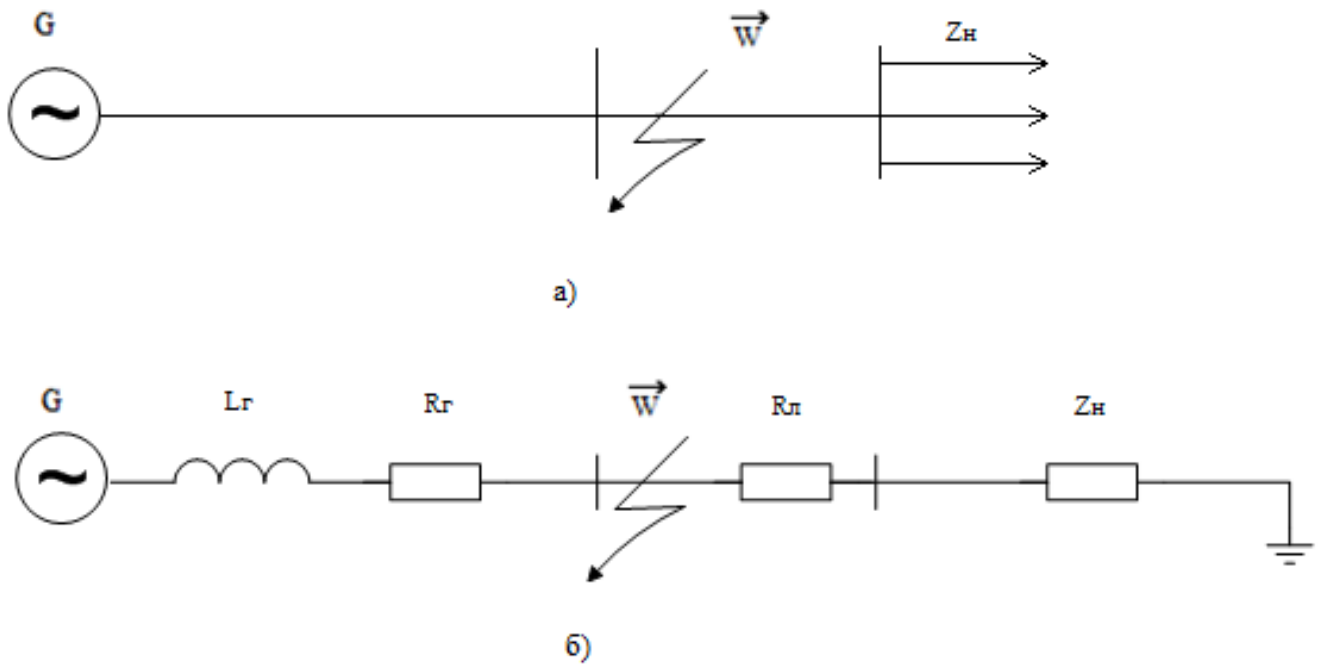


Рис. 2 – Модель сети с дуговым коротким замыканием: а) принципиальная схема; б) схема замещения.

Параметры сети:

- Генератор:  $U = 400 \text{ В}$ ;  $I = 150 \text{ А}$ ;  $S = 100 \text{ кВА}$ ;  $R = 3 \text{ Ом}$ ;  $L = 7\text{e-}3 \text{ Гн}$ ;
- Кабельная ЛЭП АСБ-240:  $l = 1 \text{ км}$ ;  $R = 0,131 \text{ Ом/км}$ ;
- Нагрузка:  $R = 0,1 \text{ Ом}$ ;  $L = 3,18\text{e-}4 \text{ Гн}$ ;

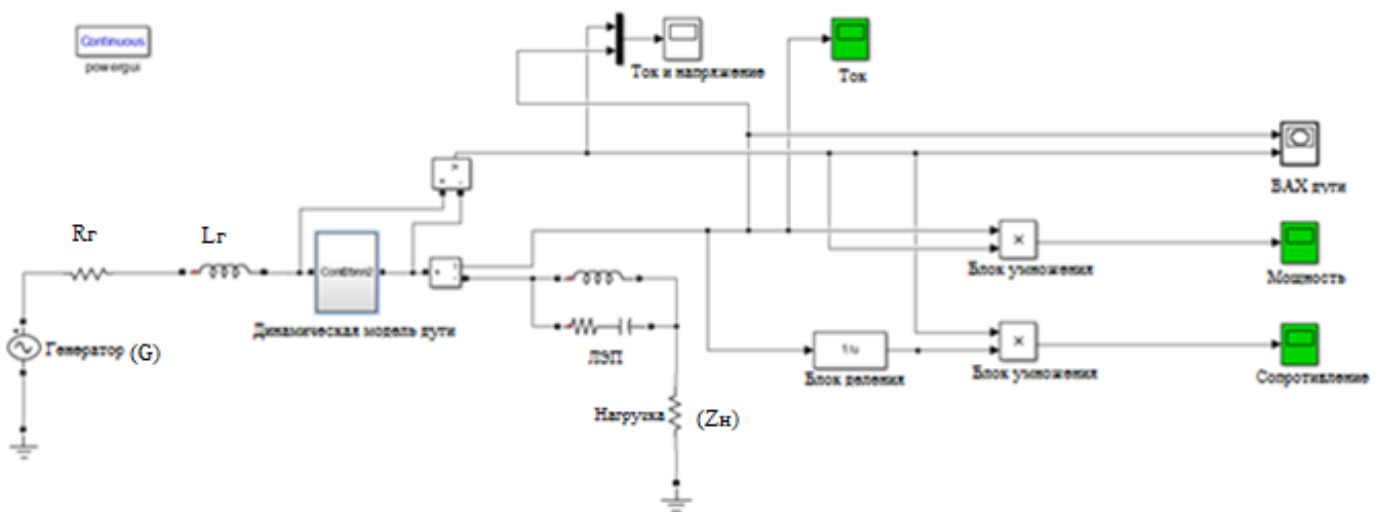


Рис. 3 – Модель сети с дуговым коротким замыканием в Matlab/Simulink

Данная модель состоит из аппаратной и измерительной составляющих. Аппаратная часть включает в себя источник питания, модель электрической дуги и нагрузку. Измерительная часть состоит из информационных блоков, которые обеспечивают осциллографирование сигналов токов и напряжений, а также из математических блоков, обеспечивающих расчет величин мощности и сопротивления. Качественные примеры фиксации и измерения параметров дуги представлены на рис. 4, 5.

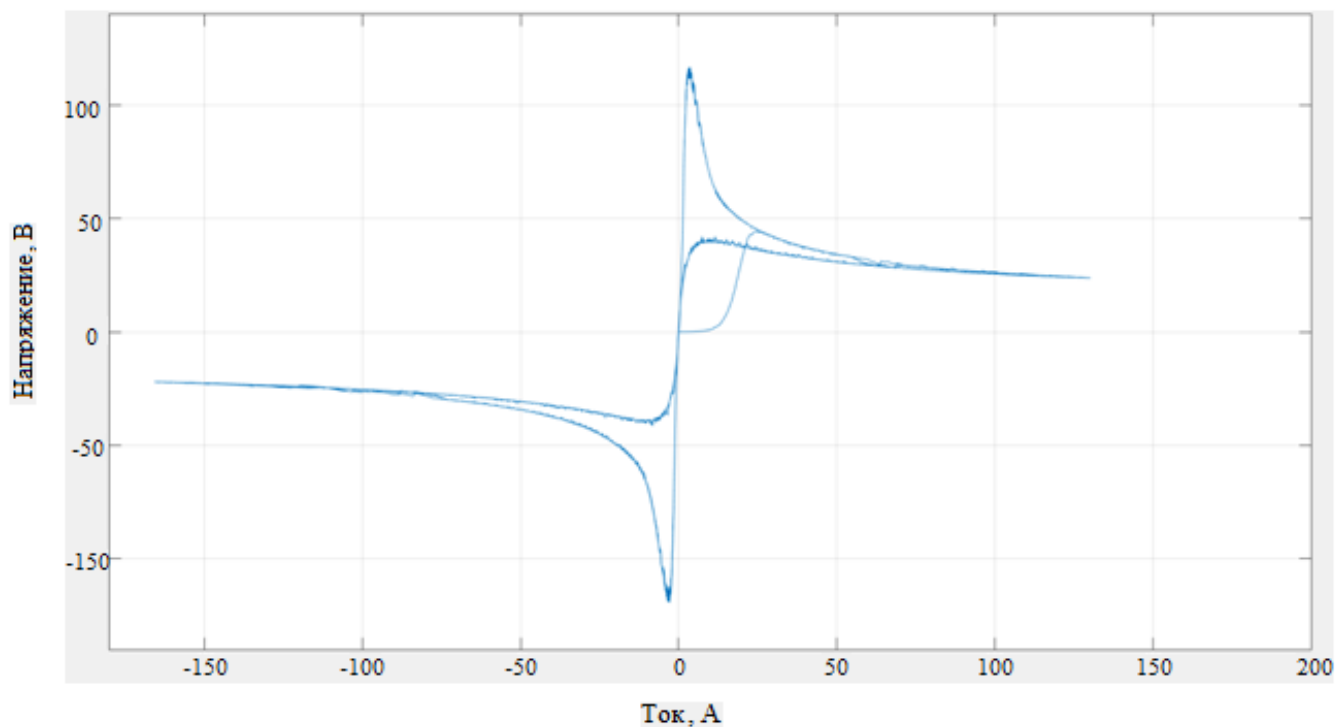


Рис. 4 – Вольтамперная характеристика электрической дуги

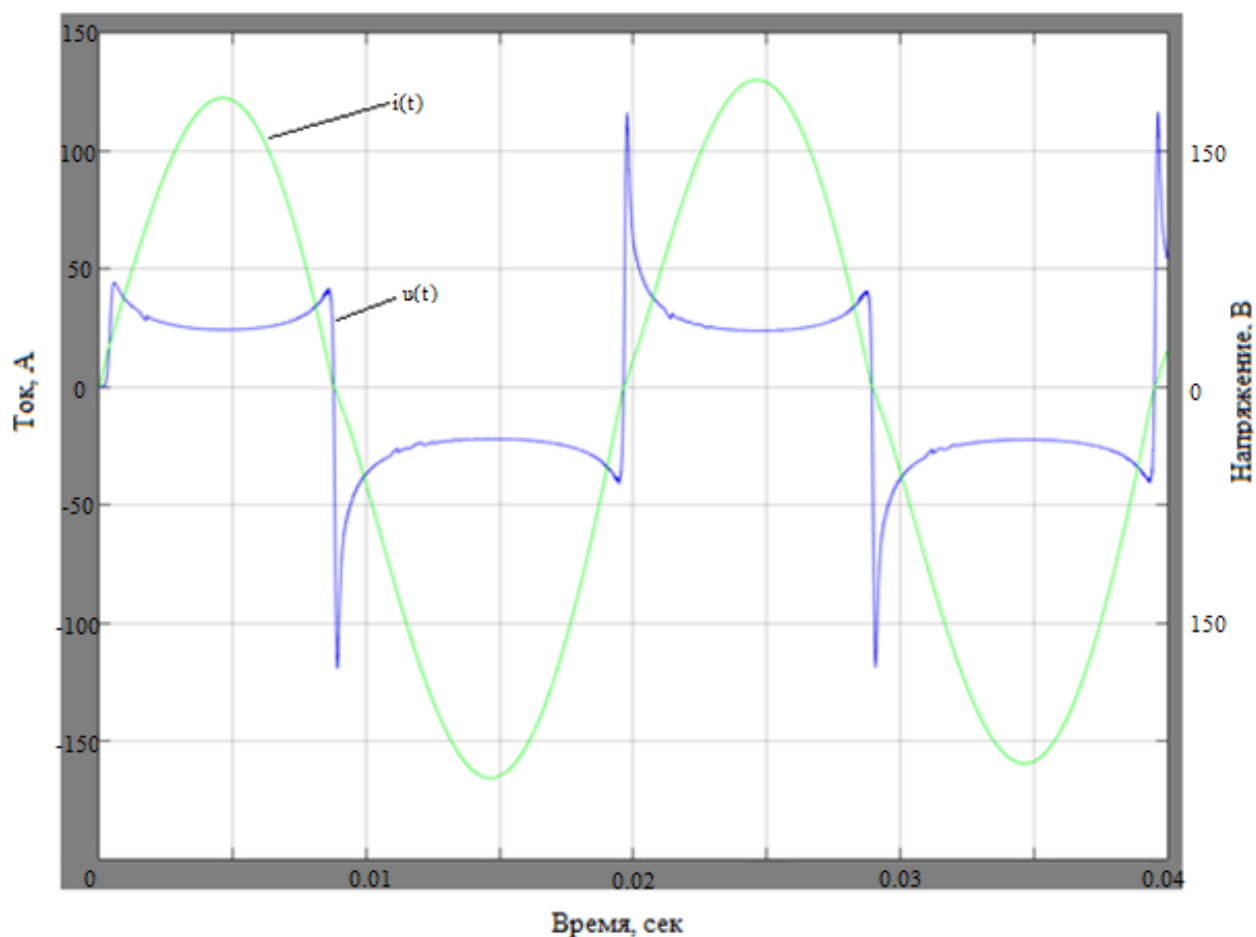


Рис. 5 – Зависимость напряжения от тока дуги

Для прикладного использования модели электрической дуги – с целью анализа работы релейной защиты в реально действующих электрических сетях, предлагается использовать их имитационные модели совместно с MMDA.

Основываясь на полученных результатах (динамическая вольтамперная характеристика дуги, зависимость тока от напряжения и т.д.), предоставляется возможность анализировать работу электрической системы при междуфазных дуговых замыканиях.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оценивая перспективы использования математической модели электрической дуги, предназначенной для анализа функционирования релейной защиты в процессе моделирования аварийных режимов электрических сетей, необходимо отметить высокую эффективность данного метода для применения в проектировании перспективных устройств релейной защиты, в том числе и активно-адаптивных электроэнергетических систем.

## Список литературы / References

1. Сисоян Г.А. Электрическая дуга в электрической печи. 3-е изд. Металлургия, 1974. С. 304.
2. Залесский А.М. Электрическая дуга отключения. Государственное Энергетическое Издательство, 1963. С. 267.
3. Черных И.В. SimPowerSystems: Моделирование электротехнических устройств и систем в Simulink. Издательство ДМК Пресс, 2008. С.288.
4. Рогкустов С. В., Куповых В. С., Кулинич Д. В., Бронов С. А. Адаптационное моделирование прецизионных электромеханических систем // Сибирский федеральный университет, Красноярск, 2011. С. 145.
5. Схемотехника инверторных источников питания для дуговой сварки. Учебное пособие / [Верещаго Е. Н., Квасницкий В. Ф., Мирошниченко Л. Н., Пентегов И. В.]. – Николаев : УГМТУ, 2000. – С.283.
6. Пентегов И. В. Сравнительный анализ моделей динамической сварочной дуги / И. В Пентегов, В. Н. Сидорец // Автоматическая сварка. – 1989. – № 2. – С. 33–36.
7. Верещаго Е.Н., Костюченко В.И. Модель электрической дуги В Matlab / Simulink // Электротехника та електроенергетика. 2013. № 2. – С. 51–54.

## Список литературы на английском языке / References in English

1. Sisojan G.A. Jelektricheskaja duga v jelektricheskoy pechi [The electric arc in an electric furnace] / 3 ed. – Metallurgija, 1974. – P. 304. [in Russian]
2. Zaleskij A.M. Jelektricheskaja duga otkljuchenija [Electric arc off]. – Gosudarstvennoe Jenergeticheskoe Izdatel'stvo, 1963. – P. 267. [in Russian]
3. Chernyh I.V. SimPowerSystems: Modelirovanie jelektrotehnicheskikh ustrojstv i sistem v Simulink [SimPowerSystems: modeling of electrical devices and systems in Simulink]. – Izdatel'stvo DMC Press, 2008. – P. 288. [in Russian]
4. Rogkustov S. V., Kupovyh V. S., Kulinich D. V., Bronov S. A. Adaptacionnoe modelirovanie precizionnyh jelektromehaničeskikh system [Adaptable modeling of precision electromechanical systems] – Krasnojarsk : Sibirskij federal'nyj universitet, 2011. – P. 145. [in Russian]
5. Shemotekhnika invertornyh istočnikov pitaniya dlja dugovoj svarki. Učebnoe posobie [Circuitry inverter power sources for arc welding. Textbook] / Vereshhago E. N., Kvasnickij V. F., Miroshnichenko L. N., Pentegov I. V.. – Nikolaev : UGMTU, 2000. – P. 283. [in Russian]
6. Pentegov I. V. Sravnitel'nyj analiz modelej dinamicheskoy svarochnoj dugi [Comparative analysis of models of dynamic arc] / I. V Pentegov, V. N. Sidorec // Avtomaticheskaja svarka [Automatic Welding]. – 1989. – № 2. – P. 33–36. [in Russian]
7. Vepeshhago E.N., Kostjuchenko V.I. Model' jelektricheskoy dugi V Matlab [electric arc model in Matlab] / Simulink // Elektrotehnika ta elektroenergetika [Electrical and electricity].– 2013. – № 2. – P. 51–54. [in Russian]



Начиная с ноябрьского выпуска 2015 года /10 (41) Ноябрь 2015/, каждой статье, опубликованной в Международном научно-исследовательском журнале, редакция издания будет присваивать идентификатор цифрового объекта DOI:

- DOI облегчает процедуры цитирования, поиска и локализации научной публикации;
- DOI повышает авторитет журнала, а также свидетельствует о технологическом качестве издания;
- DOI является неотъемлемым атрибутом системы научной коммуникации за счет эффективного обеспечения процессов обмена научной информацией.

ПРИМЕР DOI:

10.18454/IRJ.2015.0001

**(Digital Object Identifier)** — идентификатор цифрового объекта, стандарт обозначения представленной в сети информации.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.54.054

Белозеров А.Л.

Аспирант, Санкт-Петербургский горный университет

**ГАРМОНИЗАЦИЯ КОМПЛЕКСНЫХ РЕШЕНИЙ В ПРОЕКТИРОВАНИИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ****Аннотация**

Предлагается концепция и алгоритм гармоничной оптимизации решений в проектировании радиоэлектронных средств. Пространство комплексных решений, имеющих иерархическую структуру, формируется на основе морфологического подхода. Задача оптимизации решений сформулирована как многокритериальная нелинейная задача дискретного программирования, в которой целевая функция в форме взвешенного степенного среднего обеспечивает требуемую степень пропорциональности критериальных показателей, заданную их эталонными (целевыми) значениями.

**Ключевые слова:** гармоничная оптимизация, морфологический подход, взвешенное степенное среднее.

Belozеров A.L.

Postgraduate student, Saint- Petersburg Mining University

**HARMONIZATION OF COMPLEX SOLUTIONS IN THE DESIGN OF RADIO ELECTRONIC FACILITIES****Abstract**

A concept of the algorithm and optimization solutions in a harmonious design of radio-electronic means. The space complex solutions, having a hierarchical structure, is formed on the basis of morphological approach. optimization solution of the problem is formulated as a nonlinear problem of multicriteria discrete programming in which the objective function in the form of weighted average power provides the required degree of proportionality criteria indicators, given their reference (target) values.

**Keywords:** harmonious optimization, morphological approach, the average weighted degree.

Эффективность комплексных решений в проектировании радиоэлектронных средств зависит от учета взаимодействия частей комплексного решения, от степени их соразмерности, гармоничности. А.А. Богданов, рассматривая сущность хорошо организованного комплекса, утверждал, что главной особенностью такого комплекса является «гармоническое сочетание частей, т.е. такое объединение их функций – специфических активностей – сопротивлений, при котором они взаимно усиливают друг друга, отчего реальная их сумма и возрастает» [1].

Эффект – это достигаемый результат в его материальном, денежном, социальном или ином выражении. Эффективность (Эфф) – это уровень соответствия результатов какой-либо деятельности поставленным задачам. Результативность процесса, операции, проекта часто определяют как отношение эффекта, или результата (Э), к затратам (З), обусловившим его получение:  $Эфф = Э/З$ . Отношение  $Э/З$  можно трактовать также как произведение (мультипликативную свертку) критериальных показателей эффекта и обратного значения затрат:  $Эфф = Э \times (1/З)$ . В этом случае  $1/З$  – это показатель затрат, нормированный таким образом, чтобы его направленность, т.е. направление желательного изменения (возрастание или убывание), совпадали с направленностью Эфф и Э в рассматриваемом случае. В работе предложены свертки на основе взвешенного степенного среднего, более совершенные чем мультипликативные, для выражения представления лица, принимающего решение (ЛПР), об эффективном соотношении результатов и затрат при принятии комплексных решений, имеющих иерархическую структуру.

Полагаем, что эффективность решения характеризуется кортежем критериальных показателей  $Y = (Y_1, \dots, Y_n)$ , представленных в абсолютном (не нормированном) числовом выражении, причем направленность, т.е. предпочтительное направление изменения, для одних показателей – увеличение, а для других – уменьшение.

Целесообразно нормировать показатели относительно их целевых значений  $Y_{i,ц}$  ( $i \in 1:n$ ):  $y_i = norm_i(Y_i) = Y_i / Y_{i,ц}$ . Целевые значения в проектировании – это допустимые значения показателей, приведенные в техническом задании; в задачах управления – это плановые (контрольные) значения показателей производства. Кортеж  $Y_{ц}$  задает, по существу, представление ЛПР или экспертов о предпочтительном, гармоничном соотношении между показателями.

Взвешенное степенное среднее (ВСС) [2] определяется формулой:

$$M_r(w, y) = \left( \sum_{i=1}^n w_i y_i^r \right)^{1/r}, \quad (1)$$

где  $y = (y_1, \dots, y_n)$  – кортеж нормированных значений показателей  $Y_1, \dots, Y_n$ ;  $w = (w_1, \dots, w_n)$  – кортеж весовых коэффициентов;  $r \in (-\infty, +\infty)$  – степень среднего, причем веса  $w_i$  ( $i \in 1:n$ ) нормируются так, что  $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ . Важно отметить, что  $M_r(w, y)$  – это однородное среднее, т.е.  $M_r(w, ky) = k M_r(w, y)$ , где  $k$  – константа.

Степень  $r$  будем называть также параметром выпуклости, поскольку она определяет характер выпуклости (вогнутости)  $M_r(w, y)$ . Варьирование параметра выпуклости  $r$  от  $-\infty$  до 1 позволяет получить из (1) непрерывную гамму свертки, включающую максимин (при  $r \rightarrow -\infty$ ), гармоническую (при  $r = -1$ ), мультипликативную (при  $r = 0$ ) и линейную (при  $r = 1$ ) свертки, которые естественно использовать как максимизируемые [3,4]. Варьирование параметра выпуклости  $r$  от 1 до  $+\infty$  позволяет получить из (1) непрерывную гамму свертки, включающую минимакс (при  $r \rightarrow +\infty$ ), которые естественно использовать как минимизируемые.

Функции нормирования  $y_i = \text{norm}_i(Y_i)$  строятся таким образом, чтобы выполнялись требования:  $\text{norm}_i(Y_{i,\Pi}) = 1$  ( $i \in 1:n$ ) и направленность всех  $y_i$  была одинакова. Для обеспечения последнего требования при нормировании показателя  $Y_i$ , направленность которого не совпадает с выбранной направленностью нормированных показателей, часто используют обратное значение показателя  $y_i = \text{norm}_i(Y_i) = Y_{i,\Pi} / Y_i$ . Из сказанного следует, что выполняется полезное с практической точки зрения свойство:  $f(y_\Pi) = M_r(w, y_\Pi) = 1$ , где  $y_\Pi$  – вектор нормированных целевых значений.

Методика определения параметров свертки  $W$  и  $r$ , используемая в данной работе, отличается от известных тем, что построение схемы компромисса между показателями основано на установлении пределов их взаимной компенсации *im grossen* («в большом») [3,4]. Для этого необходимо получить от ЛПР целевое значение  $Y_{i,\Pi}$  и предельно допустимое отклонение  $\Delta Y_{i,\Pi}$  каждого показателя от целевого значения в сторону ухудшения, т.е. предельно допустимый проигрыш, который может быть компенсирован за счет остальных показателей. Расчет параметров свертки осуществляется из условия обеспечения требуемого предельного компенсируемого значения (ПК-значения)  $\tilde{Y}_i = Y_{i,\Pi} - \Delta Y_{i,\Pi}$  для максимизируемых показателей и соответственно требуемого ПК-значения  $\tilde{Y}_i = Y_{i,\Pi} + \Delta Y_{i,\Pi}$  для минимизируемых показателей. Степень ВСС определяет среднее значение максимального компенсируемого проигрыша относительно целевого значения по каждому показателю, а весовые коэффициенты – его перераспределение между отдельными показателями. Для определения  $r$  необходимо решить относительно этого параметра уравнение

$$\sum_{i=1}^{i=n} 1/\tilde{y}_i^r = 1, \quad (2)$$

где  $\tilde{y}_i$  – нормированное ПК-значение  $i$ -го показателя. Расчет весов для  $r < 0$  или для  $r > 1$  выполняется по формуле:

$$w_i = 1/\tilde{y}_i^r. \quad (3)$$

Задачу гармонизации решений в проектировании радиоэлектронных средств сформулируем как многокритериальную задачу дискретного программирования. Постановка задачи включает, прежде всего, формализацию дискретного пространства решений [5-7] и выбор числовых параметров и показателей для оценки составляющих (блоков) и всего синтезируемого комплексного решения. Для сложных радиоэлектронных средств целесообразно использовать морфологический анализ, включающий как декомпозицию исходного целостного образа (гештальта) объекта, т.е. построение иерархии свойств, функций и показателей «сверху-вниз», так и агрегирование, т.е. построение системы свойств, функций и показателей «снизу-вверх».

Для обозначения функций в общем случае используем двойной индекс  $\begin{pmatrix} \beta \\ \alpha \end{pmatrix}$ , где нижний иерархический индекс  $\alpha$  служит для обозначения свойств объекта на различных уровнях иерархии, в верхний  $\beta$  – отражает варианты декомпозиции. Верхний индекс имеет вид цепочки  $\alpha = i_0 i_1 \dots i_{j-1} i_j i_{j+1} \dots i_{|\alpha|}$ , где  $|\alpha|$  – число индексов в цепочке  $\alpha$ , за исключением нулевого индекса  $i_0$ , обозначающего гештальт;  $i_j$  – натуральное число, представляющее относительный номер  $j$ -го свойства ( $i_j \in 1:n_{j+1}$ ), являющегося непосредственным результатом декомпозиции свойства-родителя с индексом  $i_0 i_1 \dots i_{j-1}$ . При записи иерархических индексов в общем случае будем разделять относительные номера свойств точками. Если все относительные номера одноразрядные, точки в записи иерархического индекса можно опускать. Глубина декомпозиции  $N = \max |\alpha|$  зависит от возможности получения количественных оценок, получаемых в результате декомпозиции свойств.

Индекс  $\beta$  записывается так же, как индекс  $\alpha$  (с использованием, в случае необходимости, точек в качестве разделителей). Например, индекс  $\begin{pmatrix} \beta \\ \alpha \end{pmatrix}^i$  представляет  $i$ -й вариант декомпозиции функции с индексом  $\begin{pmatrix} \beta \\ \alpha \end{pmatrix}$ .

Для интегральной функции объекта (гештальта) используем обозначение  $F_0$ , причем нулевой индекс во всех остальных случаях опускается. Вся иерархия функций объекта для различных вариантов декомпозиции может быть представлена как совокупность двухуровневых  $F$ -блоков и  $V$ -блоков. Для всех вариантов иерархических индексов  $\begin{pmatrix} \beta \\ \alpha \end{pmatrix}$ ,  $N \geq |\alpha| \geq 0$ ,  $F$ -блоки имеют вид

$$F_\alpha^\beta = [F_{\alpha.1}^\beta, \dots, F_{\alpha.t_\alpha^\beta}^\beta, F_{\alpha.t_\alpha^\beta+1}^\beta, \dots, F_{\alpha.k_\alpha^\beta}^\beta, V_{\alpha.k_\alpha^\beta+1}^\beta, \dots, V_{\alpha.v_\alpha^\beta}^\beta],$$



где  $F_{\alpha.1}^{\beta}, \dots, F_{\alpha.t_{\alpha}^{\beta}}^{\beta}$  – атомарные составляющие  $F_{\alpha}^{\beta}$ ;  $F_{\alpha.t_{\alpha}^{\beta}+1}^{\beta}, \dots, F_{\alpha.k_{\alpha}^{\beta}}^{\beta}$  – составные компоненты  $F_{\alpha}^{\beta}$ ;  $V_{\alpha.k_{\alpha}^{\beta}+1}^{\beta}, \dots, V_{\alpha.v_{\alpha}^{\beta}}^{\beta}$  – множество  $V$ -блоков, представляющих компоненты  $F_{\alpha}^{\beta}$ , для которых имеется более одного варианта декомпозиции. Верхний индекс  $\beta$  хранит информацию о предыстории формирования вариантов декомпозиции и расширяется только в  $V$  блоках.

Структуру  $V$ -блока представим в виде

$$V_{\alpha}^{\beta} = [F_{\alpha}^{\beta.1}, \dots, F_{\alpha}^{\beta.t_{\alpha}^{\beta}}, F_{\alpha}^{\beta.t_{\alpha}^{\beta}+1}, \dots, F_{\alpha}^{\beta.k_{\alpha}^{\beta}}],$$

где  $F_{\alpha.1}^{\beta}, \dots, F_{\alpha.t_{\alpha}^{\beta}}^{\beta}$  – атомарные, а  $F_{\alpha.t_{\alpha}^{\beta}+1}^{\beta}, \dots, F_{\alpha.k_{\alpha}^{\beta}}^{\beta}$  – составные варианты реализации  $V_{\alpha}^{\beta}$ .

Таким образом, морфологический анализ позволяет выявить множество атомарных функций  $T = \{F_{\alpha}^{\beta} \text{ не имеет составляющих } | \binom{\beta}{\alpha} N \geq |\alpha| \geq 0\}$ . Для множества атомарных функций введем также алфавит обозначений с последовательными индексами  $\Phi = (f_1, \dots, f_{n_{\Phi}})$ , а для перехода от алфавита  $T$  к алфавиту  $\Phi$  зададим однозначное отображение  $\psi: T \rightarrow \Phi$ .

Набор  $F$ - и  $V$ -блоков порождает морфологическое множество вариантов функционального состава (функциональных вариантов) объекта за счет ветвления в  $V$ -блоках. Введем обозначение  $\theta_{\alpha(k)}^{\beta}$  для цепочки символов, характеризующей  $k$ -й вариант составного блока  $F_{\alpha}^{\beta}$  в алфавите, являющемся объединением  $\Phi$  и алфавита символов  $F_{\alpha}^{\beta}$  составных  $F$ -блоков. Введем также обозначение  $L_F$  для всего множества вариантов  $\theta_{\alpha(k)}^{\beta}$  в некоторой задаче.

Разработан подход к гармоничной оптимизации комплексных решений в проектировании радиоэлектронных средств. Формализация дискретного пространства решений основана на выявлении главных элементов, реализующих атомарные функции, полученные в результате декомпозиции целостной функции решения, а также вспомогательных элементов, обеспечивающих функционирование главных элементов в составе каждого решения.

#### Список литературы / References

1. Богданов А.А. Тектология: Всеобщая организационная наука. М.: Финансы, 2003.
2. Харди Г.Г., Литтлвуд Д.Е., Полиа Г. Неравенства. М.: Иностран. лит-ра, 1948.
3. Анкудинов И.Г. Обобщенная целевая функция для мультикритериального выбора в задачах управления и проектирования // Технологии приборостроения. 2006, № 2. С. 55-61.
4. Анкудинов И.Г. Автоматизация структурного синтеза и принятия решений в управлении и проектировании. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008.
5. Анкудинов И.Г. Выбор комплекса методов и моделей для проектирования радиосистем // 50-я юбилейная научно-техническая конференция, посвященная 100-летию изобретения радио.– СПб.: СПб НТО РЭС им. А.С.Попова, 1995.– С. 22-23.
6. Анкудинов И.Г. Концепция структурного моделирования в задачах системного проектирования ЭВА // Проблемы системотехники и АСУ: Межвузов. сб.– Л.:СЗПИ, 1991.– С. 172-179.
7. Анкудинов И.Г., Пашенко Е.Г. Автоматизация системного проектирования ГБО // Проблемы системотехники и АСУ: Межвузовский сб.– Л.: СЗПИ, 1991.– С.99-103.

#### Список литературы на английском языке / References in English

1. Bogdanov A.A. Tektologija: Vseobshhaja organizacionnaja nauka. [Tectology: Universal organizational science] - M.: Finansy, 2003.- 496 p. [in Russian]
2. Hardi G.G., Littl'vud D.E., Polia G. Neravenstva [Inequality]. M.: Inostr. lit-ra, 1948. [in Russian]
3. Ankudinov I.G. Obobshhennaja celevaja funkciya dlja mul'tikriterial'nogo vybora v zadachah upravlenija i proektirovanija [The generalized objective function for multicriteria choice in the management and design tasks] // Tehnologii priborostroenija. 2006, № 2. p. 55-61. [in Russian]
4. Ankudinov I.G. Avtomatizacija strukturnogo sinteza i prinjatija reshenij v upravlenii i proektirovanii [Automation of structural synthesis and decision-making in the management and design]. SPb.: publishing Polytechnic University, 2008. [in Russian]
5. Ankudinov I.G. Vybora kompleksa metodov i modelej dlja proektirovanija radiosistem [Selecting complex methods and models for the design of radio systems] // 50-ja jubilejnaja nauchno-tehnicheskaja konferencija, posvjashhennaja 100-letiju izobretenija radio.– SPb.: SPb NTO RJeS im. A.S.Popova, 1995.– p. 22-23. [in Russian]
6. Ankudinov I.G. Konceptcija strukturnogo modelirovanija v zadachah sistemnogo proektirovanija JeVA [The concept of structural modeling in problems of system design EVA] // Problemy sistemotekhniki i ASU: Mezhvuzov. sb.– L.:SZPI, 1991.– p. 172-179. [in Russian]
7. Ankudinov I.G., Pashhenko E.G. Avtomatizacija sistemnogo proektirovanija GBO [Automation systems engineering GBO] // Problemy sistemotekhniki i ASU: Mezhvuzovskij sb.– L.: SZPI, 1991.– p.99-103. [in Russian]

DOI: 10.18454/IRJ.2016.54.033

Белозеров А.Г.<sup>1</sup>, Березовский Ю.М.<sup>2</sup>, Королев И.А.<sup>3</sup>, Пушкарёв А.В.<sup>4</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-0002-1021-1026, Кандидат технических наук,  
ФГБОУ ВПО «МГТУ им.Н.Э.Баумана»<sup>2</sup>ORCID: 0000-0003-1002-2580, Доктор технических наук,

ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности (ФГБНУ ВНИХИ)

<sup>3</sup>ORCID: 0000-0003-3166-2827, Аспирант,

ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности (ФГБНУ ВНИХИ)

<sup>4</sup>ORCID: 0000-0002-1737-7838, Аспирант,

ФГБОУ ВПО «МГТУ им.Н.Э.Баумана»

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект 16-19-10567)***ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ СКАНИРУЮЩАЯ КАЛОРИМЕТРИЯ В ИССЛЕДОВАНИЯХ  
ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ  
ТЕМПЕРАТУР****Аннотация**

В работе обосновано применение метода дифференциальной сканирующей калориметрии для исследований теплофизических характеристик биологических материалов, служащих исходными данными для моделирования процессов криохирургии. Дано описание стенда на базе дифференциального сканирующего калориметра для исследования теплофизических характеристик материалов различной природы. Исследована специфика переохлаждения исследуемых образцов. Предложен дополнительный этап температурной программы переохлаждения и нагрева образца для определения его удельной изобарной теплоемкости в области соответствующей пику плавления путем прямого измерения. Представлены методические рекомендации по созданию температурных программ ДСК-исследований биологических материалов в диапазоне температур, характерных для криохирургии.

**Ключевые слова:** теплофизические характеристики биологических материалов, переохлаждение образцов, температурная программа, ДСК, криохирургия.

Belozеров A.G.<sup>1</sup>, Berezovsky U.M.<sup>2</sup>, Korolev I.A.<sup>3</sup>, Pushkarev A.V.<sup>4</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-0002-1021-1026, PhD in Engineering,  
The Bauman Moscow State Technical University (BMSTU)<sup>2</sup>ORCID: 0000-0003-1002-2580, PhD in Engineering,

The Federal State Budgetary Scientific Organization "The All-Russian Scientific Research Institute of Refrigeration Industry" (FGBNU VNIKHI)

<sup>3</sup>ORCID: 0000-0003-3166-2827, Postgraduate student,

The Federal State Budgetary Scientific Organization "The All-Russian Scientific Research Institute of Refrigeration Industry" (FGBNU VNIKHI)

<sup>4</sup>ORCID: 0000-0002-1737-7838, Postgraduate student,

The Bauman Moscow State Technical University (BMSTU)

*The study was performed by a grant from the Russian Science Foundation (project 16-19-10567)***DIFFERENTIAL SCANNING CALORIMETRY IN THE STUDY OF THE THERMAL CHARACTERISTICS  
OF BIOLOGICAL TISSUES IN A WIDE TEMPERATURE RANGE****Abstract**

The method of differential scanning calorimetry for study of thermophysical characteristics of biological materials serving as base properties for the simulation of cryosurgery is explained in this work. The description of the stand on the basis of the differential scanning calorimeter for study of thermophysical characteristics of materials of different types is given. The specifics of supercooling of the samples are studied. The authors proposed an additional step for temperature program of supercooling and heating of the sample for the determination of its specific heat capacity in the field corresponding the phase change peak by the direct measurement. The methodical recommendations for the creation of temperature programs for DSC studies of biological materials in the temperature range typical for cryosurgery are presented.

**Keywords:** thermophysical properties of biological materials, supercooling of the sample, temperature program, DSK, cryosurgery.

**Введение**

В настоящее время криохирургия заняла прочные позиции при лечении ряда доброкачественных и злокачественных новообразований. Вопросы применения криохирургии достаточно широко освещаются в научных публикациях, касающихся перспективных направлений медицины. Вместе с развитием метода возникает целый ряд вопросов научно-технического характера [4, 5]. Так, анализ явления криодеструкции биологического материала связан с необходимостью исследования теплофизических характеристик (ТФХ) указанного материала в широком диапазоне температур.

Высокая точность определения ТФХ биоматериалов служит базой для разработки адекватной модели процесса криовоздействия на формируемый участок, что открывает возможности эффективного решения ряда проблем криохирургического характера.

ДСК, как метод определения ТФХ различных материалов, получил широкое распространение в исследованиях отечественных и зарубежных учёных в различных отраслях науки [2, 8, 9]. В зарубежной практике применение ДСК метода для анализа тех или иных материалов регламентируется соответствующими стандартами [5, 6, 8].

Среди других методов измерения теплоемкости ДСК выгодно отличается возможностью проводить измерения на малых массах исследуемых материалов (5-15 мг) [9], поскольку одной из особенностей исследуемых биологических тканей является их малый размер, вытянутая неправильная форма, фрагментированность (рис. 1).



Рис. 1 – Внешний вид образцов предстательной железы человека, представленных на исследование

Применение ДСК по сравнению с адиабатными и изотермическими способами измерения ТФХ позволяет значительно сократить сроки проведения экспериментов и получить экспериментальные материалы по удельной теплоёмкости и энтальпии исследуемого продукта с погрешностью не более 3 %.

#### Методы исследований

Для проведения работ по определению ТФХ материалов различной природы в ФГБНУ ВНИХИ создан экспериментальный стенд, включающий комплекс измерения теплоемкости (рис. 2) на базе дифференциального сканирующего калориметра DSC 204 F1 фирмы Netzsch.



Рис. 2 – Общий вид стенда: 1 – сосуд Дьюара; 2 – система подачи жидкого или газообразного азота; 3 – DSC 204 F1 (дифференциальный сканирующий калориметр); 4 – система подачи продувочных газов; 5 – аналитические весы; 6 – компьютер с программным комплексом для управления калориметром и обработки полученных данных.

Принцип действия дифференциального сканирующего калориметра основан на измерении разности температур между контейнером (тиглем), в котором размещён исследуемый образец и контейнером, в котором размещён образец сравнения (эталон). Измеряемый таким образом сигнал ДСК, является мерой теплового потока поглощаемого или выделяемого исследуемым образцом в процессе его нагрева или охлаждения, а также в изотермическом режиме.

Одной из особенностей ДСК-измерений является то, что в области пика фазового перехода температура образца отстает от температуры измерительной ячейки и прибором фиксируется эффективная теплоемкость.

Известно, что повышение темпа изменения температуры пропорционально увеличивает регистрируемый отклик, приводя к снижению отношения сигнал/шум и повышая точность измерения. Однако, при этом так же увеличивается ширина пика плавления, что затрудняет или делает невозможным исследование близких по температуре процессов.

При применении рекомендуемых темпов нагрева измерительной ячейки  $\beta=10\div20$  К/мин [2, 9] ширина области пика фазового перехода достигает  $25\div45$  К (рис. 3), где теплоемкость образца определяется путем экстраполяции, что может приводить к значительным погрешностям.

Определение теплоемкости образцов путем охлаждения измерительной ячейки в вышеназванной области температур не рекомендуется производителем ввиду особенностей работы прибора и необходимости проведения дополнительных трудоемких калибровок для режимов охлаждения.

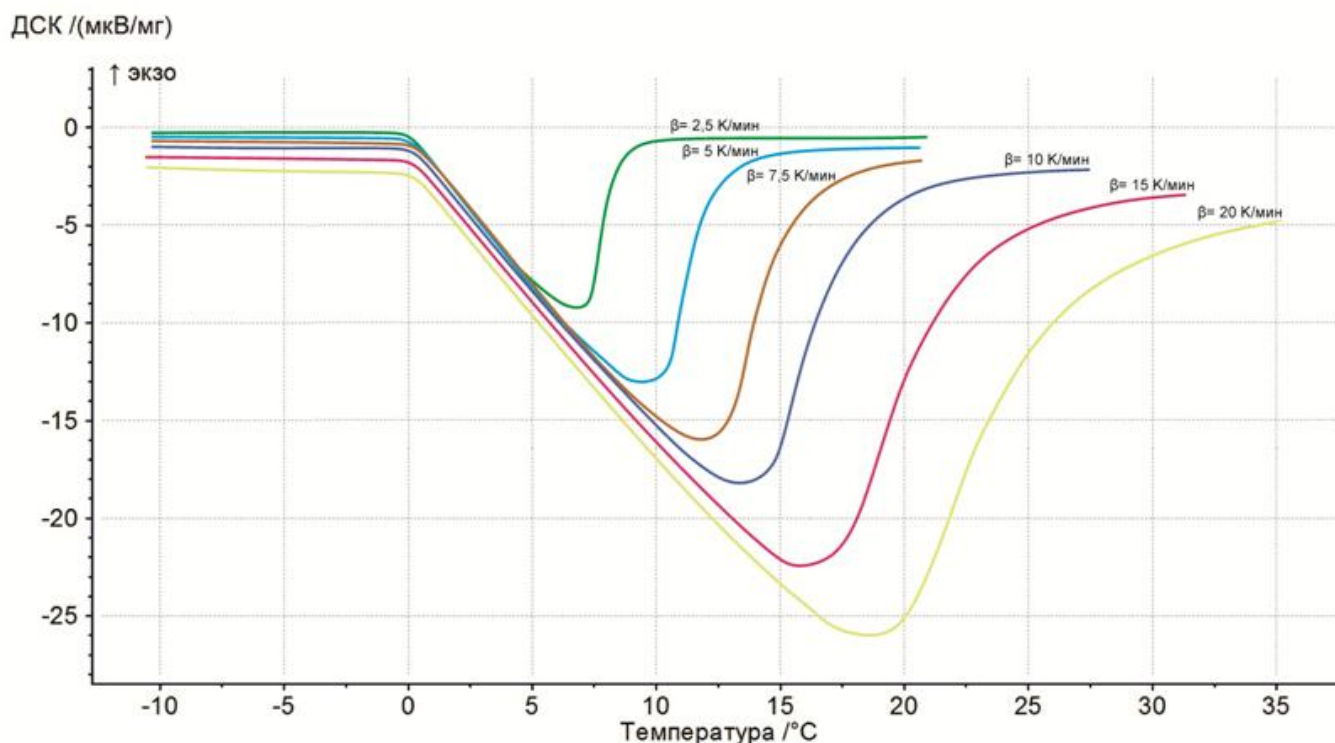


Рис. 3 – Влияние темпа нагрева измерительной ячейки на ширину пика фазового превращения

Температурный диапазон исследований ТФХ биоматериалов был принят равным от минус 170 °С до плюс 40 °С исходя из технических возможностей прибора, температуры кипения жидкого азота, широко применяемого в криохирургии (минус 196 °С), нормальной температуры тела человека и температуры начала денатурации белка, (начиная с плюс 43 °С).

#### Исследование переохлаждения образцов

Анализ процесса замораживания образцов биоматериалов и дистиллированной воды при ДСК-исследовании показал, что имеет место существенное (до 17 °С) переохлаждение рис. 4. Данное явление оценивается специалистами неоднозначно. Наиболее значимой причиной переохлаждения исследуемых образцов является их малый размер, что обуславливает высокую интенсивность капиллярных сил и сил поверхностного натяжения [1, 3].

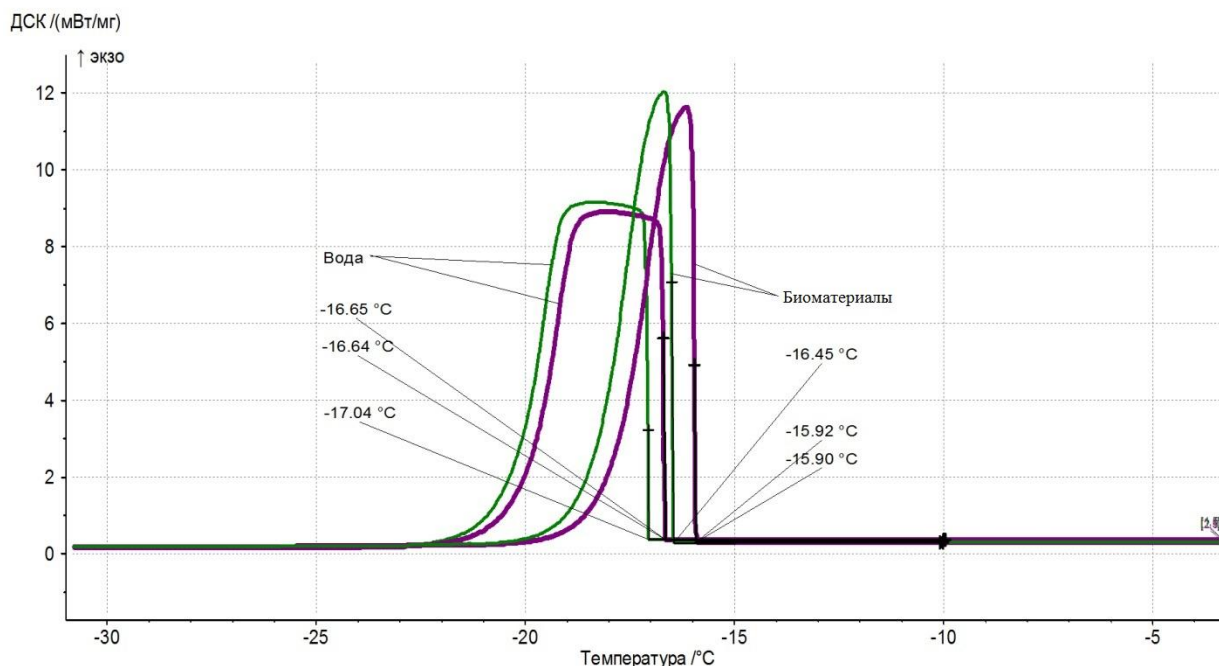


Рис. 4 – Анализ переохлаждения образцов при замораживании

При этом у дистиллированной воды переохлаждение выше приблизительно на  $0,5 \pm 1$  К, чем у исследованных образцов биоматериалов. Эта разница связана с отсутствием у дистиллированной воды центров кристаллизации.

Также эксперименты показали, что первый цикл замораживания-размораживания отличается от последующих (ДСК линии второго и третьего циклов полностью совпадают) более высоким переохлаждением образца. В качестве результатов экспериментов рекомендуется принимать значение второго и последующих циклов охлаждения-нагрева.

#### Определение удельной изobarной теплоемкости образцов биоматериалов в области пика плавления

Обнаруженное явление переохлаждения образцов ниже криоскопической температуры без фазового перехода может быть использовано для определения его удельной изobarной теплоемкости в температурном диапазоне пика плавления исследуемого образца. Таким образом, в дополнение к основному исследованию полного температурного диапазона (кривые 1, рис. 5) авторами предложено включить в температурную программу дополнительный этап по исследованию переохлажденного образца (кривые 2, рис. 5).

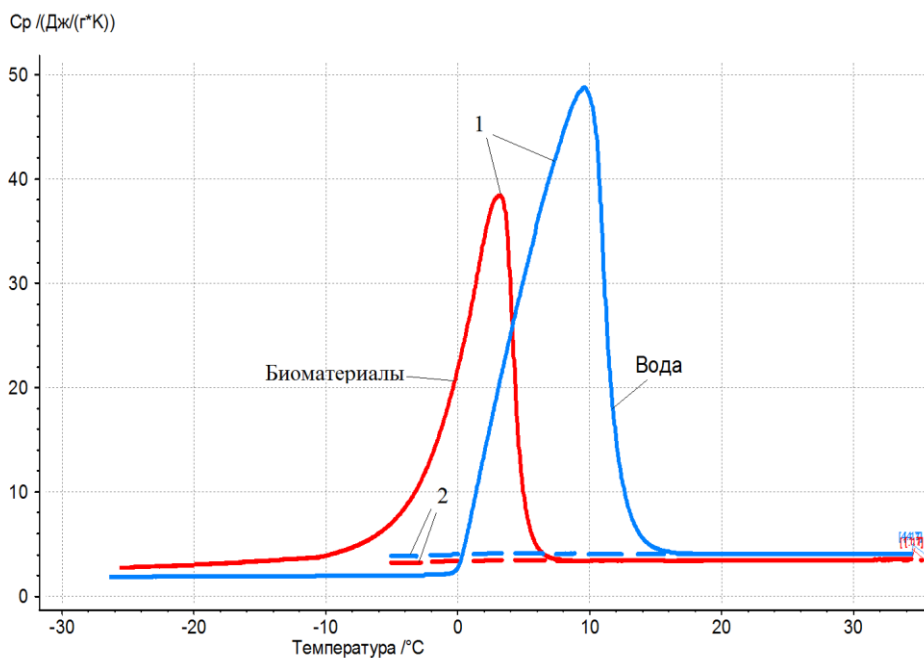


Рис. 5 – Зависимость удельной теплоемкости дистиллированной воды и образцов биоматериалов от температуры по результатам ДСК-исследования по температурной программе с дополнительным этапом переохлаждения образцов

Верификация разработанного подхода была проведена сопоставлением полученных на этапе переохлаждения (рис. 8, Этап 2) эмпирических данных теплоемкости дистиллированной воды со справочными данными (рис. 6). Расхождение составило не более 1,3%, что более чем в 2 раза ниже установленной производителем погрешности прибора.

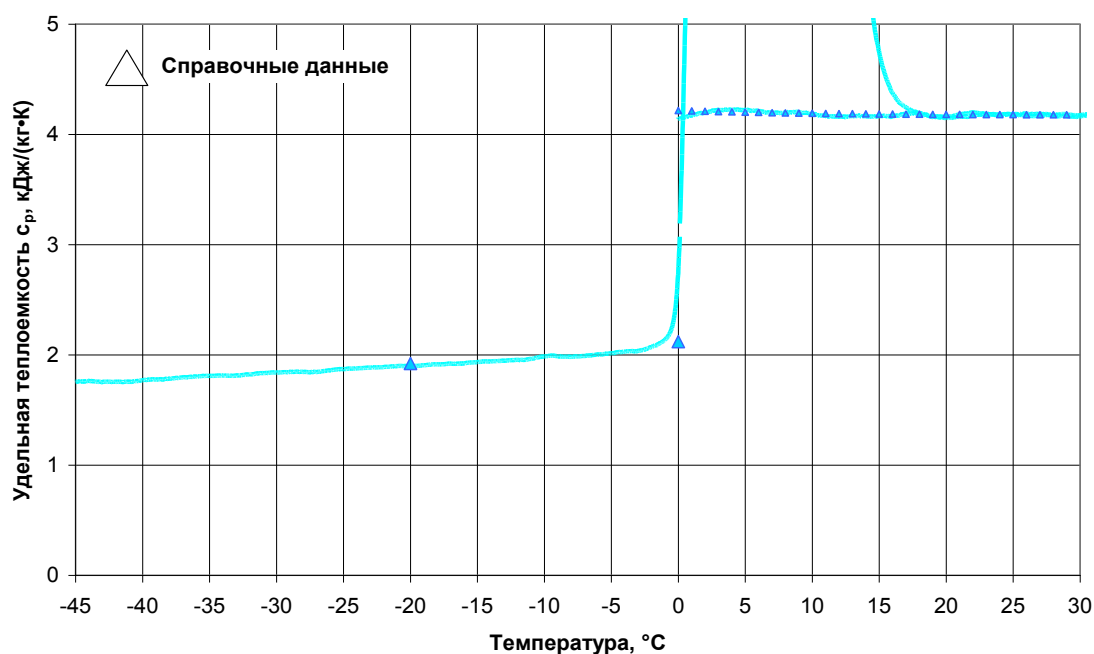


Рис. 6 – Сопоставление удельной теплоемкости дистиллированной воды определенной методом переохлаждения со справочными данными

Для составления соответствующей температурной программы ДСК-исследования необходимо в качестве исходных данных иметь значение температуры начала кристаллизации с учетом переохлаждения. Она определяется как температура начала экзотермического пика на кривой ДСК в предварительном исследовании для группы схожих образцов.

Температурная программа для предварительного исследования должна обеспечить понижение температуры измерительной ячейки ниже предположительной температуры начала замораживания исследуемого образца рис. 7. Фактическое значение температуры начала кристаллизации для конкретного образца не должно быть выше принятого для всей группы.

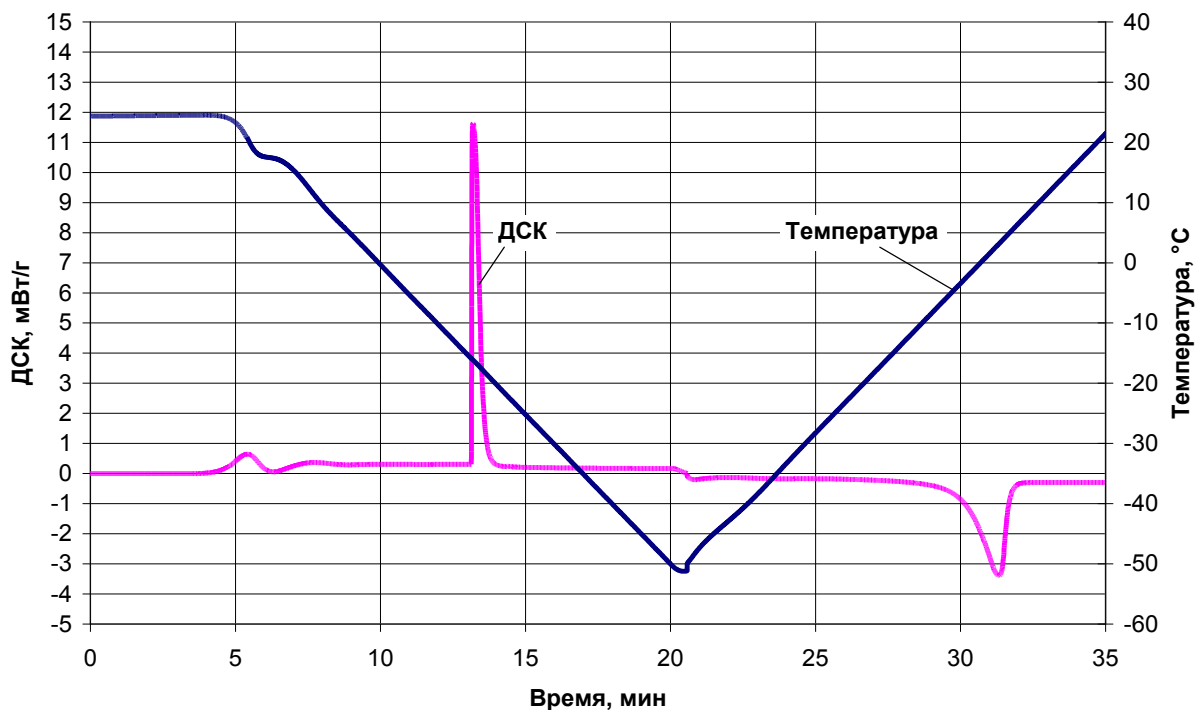


Рис. 7 – Цикл предварительного исследования для определения температуры замораживания при переохлаждении образца биоматериала

Температурная программа для реализации представленной методики определения ТФХ биоматериалов рис.8 содержит следующие этапы:

этап I, замораживания и плавления образца, включающий понижение температуры измерительной ячейки до значения нижнего предела диапазона температур исследования и повышение температуры до значения на 15 – 20 °C выше температуры окончания плавления исследуемого образца, но не выше температуры, приводящей к необратимой термической деструкции;



этап II, переохлаждения и нагрева образца, включающий участок понижения температуры до значения на 2 – 4 °С выше температуры начала кристаллизации с учетом переохлаждения и повышения до температуры на 2 – 4 °С ниже температуры, приводящей к необратимой термической деструкции исследуемого биоматериала.

Между элементами температурной программы рекомендуется задавать изотермические участки, обеспечивающие стабилизацию температуры в образце и измерительной ячейке. При проведении ДСК-исследования необходимо контролировать поддержание линейного характера изменения температуры при нагреве образца. В случае существенного влияния дестабилизирующих факторов, например внешних теплопритоков, необходимо ввести коррекцию в температурную программу исследования.

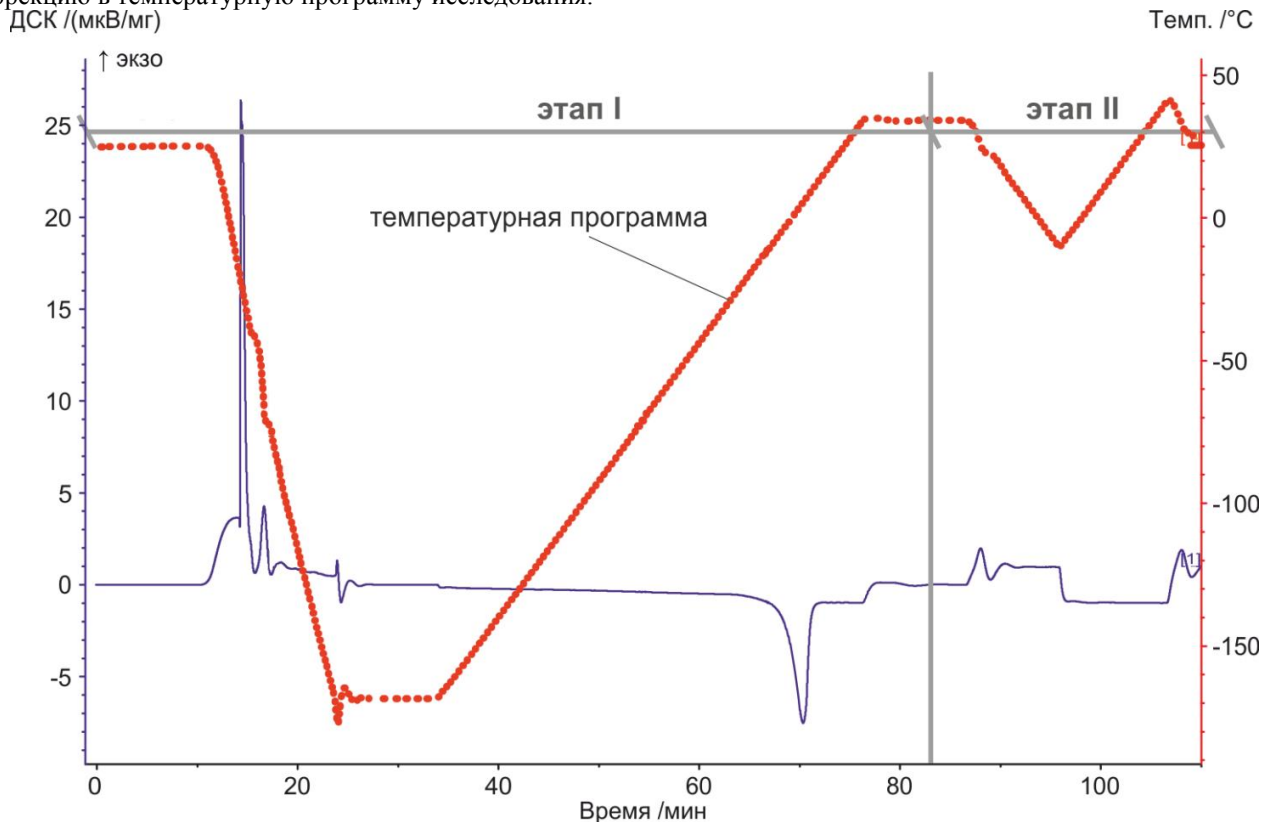


Рис. 8 – Температурная программа определения ТФХ биоматериалов методом ДСК с дополнительным этапом переохлаждения

### Заключение.

Современное развитие методов и научно - исследовательской приборной базы, а также компьютерной техники могут служить основой для существенного уточнения ТФХ биологических материалов для моделирования процессов криовоздействия и анализа явления криодеструкции; выработке на их основе научно-технических рекомендаций по совершенствованию криохирургических технологий.

Дифференциальная сканирующая калориметрия служит одним из наиболее совершенных методов для исследования теплофизических характеристик биоматериалов, поскольку для измерений используются образцы малой массы.

Приводится обоснование температурных диапазонов исследования ТФХ образцов биоматериалов. Разработанный подход переохлаждения, как дополнительный этап температурной программы исследования удельной теплоемкости биоматериалов, позволяет экспериментально установить величину их теплоемкости в температурном диапазоне, соответствующем ширине пика фазового перехода образца.

### Список литературы / References

1. Бойко Б.Н. Метод количественного определения содержания различных форм воды в биологически активных субстанциях / Б.Н. Бойко, И.М. Колпаков, А.А.Уминский // Химико-фармацевтический журнал.- 2010. - Том 44, N 10.- С. 46-52.
2. Уэндлянд У. Термические методы анализа / У. Уэндлянд.- М.: «МИР», 1978.- 526 с.
3. Чижов Г.Б. Теплофизические процессы в холодильной технологии пищевых продуктов / Г.Б. Чижов.- М.: «Пищевая промышленность».- 1979.- 272 с.
4. Цыганов Д.И. Криомедицина: процессы и аппараты. Москва: САЙНСПРЕСС, 2011. 304 с.
5. ASTM E794 Test Method for Melting And Crystallization Temperatures By Thermal Analysis
6. ASTM E968 Practice for Heat Flow Calibration of Differential Scanning Calorimeters
7. Budrik V.V. Physical fundamentals of cryomethods in medicine. Training Manual. ISC, 2010. 140 pp.
8. ISO 11357-1. Plastics-Differential scanning calorimetry (DSC) - Part1: General principles.
9. Höhne G.W.H. Differential Scanning Calorimetry / G.W.H. Höhne, G.F. Hemminger, H. J. Flammenheim. – Springer, 2003.- 298 p.

## Список литературы на английском языке / References in English

1. Boyko B.N. Metod kolichestvennogo opredeleniya soderzhaniya razlichnykh form vody v biologicheski aktivnykh substantsiyakh [The method of quantitative determination of the different forms of water in the biologically active substances] / B.N. Boyko, I.M. Kolpakov, A.A. Uminskiy // Khimiko-farmatsevticheskiy zhurnal [Chemical-Pharmaceutical journal]. - 2010. - Tom 44. N 10. - P. 46-52. [in Russian]
2. Uendlyand U. Termicheskiye metody analiza [Thermal methods of analysis] / U. Uendlyand. - M.: «MIR». 1978. - 526 p. [in Russian]
3. Chizhov G.B. Teplofizicheskiye protsessy v kholodilnoy tekhnologii pishchevykh produktov [Thermal processes in the refrigeration food technology] / G.B. Chizhov. - M.: «Pishchevaya promyshlennost». - 1979. - 272 p. [in Russian]
4. Tsyiganov D.I. Kriomeditina: protsessy i apparaty. [Cryomedicine: processes and apparatus] M.: SAYNSPRESS, 2011. - 304 p. [in Russian]
5. ASTM E794 Test Method for Melting And Crystallization Temperatures By Thermal Analysis
6. ASTM E968 Practice for Heat Flow Calibration of Differential Scanning Calorimeters
7. Budrik V.V. Physical fundamentals of cryomethods in medicine. Training Manual. ISC, 2010. 140 pp.
8. ISO 11357-1. Plastics-Differential scanning calorimetry (DSC) - Part1: General principles.
9. Höhne G.W.H. Differential Scanning Calorimetry / G.W.H. Höhne, G.F. Hemminger, H. J. Flammenheim. - Springer, 2003. - 298 p.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.54.075

Бирюк В.В.<sup>1</sup>, Лукачев С.В.<sup>2</sup>, Горшкालев А.А.<sup>3</sup>, Корнеев С.С.<sup>4</sup>, Шкловец А.О.<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Доктор технических наук, профессор, <sup>2</sup>доктор технических наук, профессор, <sup>3</sup>аспирант, <sup>4</sup>студент, <sup>5</sup>аспирант  
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева

Работа выполнена в организации Головного исполнителя НИОКТР при финансовой поддержке Министерством образования и науки Российской Федерации в рамках реализации постановления Правительства РФ от 09.04.2010 г. № 218 по договору об условиях предоставления и использования субсидии от 01 декабря 2015 г. № 02.G25.31.0150

## ИССЛЕДОВАНИЯ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ РОТОРА БЛОКА ПАРОКОМПРЕССОРА

Аннотация

Важность исследования динамики системы «ротор-корпус» обусловлена ее сильным влиянием на вибрационное состояние газотурбинного двигателя. Знание динамических свойств сложного изделия необходимо на всех стадиях разработки и проектирования.

Поэтому целью исследований, содержащихся в данной статье, является проведение модального анализа ротора блока пароконпрессора с учетом гироскопического эффекта.

В первом разделе описано создание трехмерной конечно-элементной модели ротора. При этом в качестве исходных данных использовались трехмерные твердотельные модели деталей, построенные в среде проектирования NX8.5 по номинальным размерам. Опоры принимались жесткими.

Во втором разделе представлены проведенные исследования спектра собственных колебаний ротора блока пароконпрессора с использованием разработанной КЭМ. Задача решалась с использованием суперкомпьютера «Сергей Королев».

**Ключевые слова:** ротор, крыльчатка, собственные частоты колебаний, диаграмма Кэмпбела.

Biryuk V.V.<sup>1</sup>, Lukachev S.V.<sup>2</sup>, Gorshkalev A.A.<sup>3</sup>, Korneev S.S.<sup>4</sup>, Shklovets A.O.<sup>5</sup>

<sup>1</sup>PhD in Engineering, Professor, <sup>2</sup>PhD in Engineering, Professor, <sup>3</sup>Postgraduate student, <sup>4</sup>Student, <sup>5</sup>Postgraduate student, Samara National Research University

Work is performed in the organization of the Head performer of NIOKTR with financial support by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation within implementation of the resolution of the Government of the Russian Federation of 09.04.2010 No. 218 on the contract on conditions of granting and use of a subsidy of December 01, 2015 No. 02.G25.31.0150

## RESEARCH OF THE NATURAL OSCILLATIONS OF THE ROTOR STEAM COMPRESSOR UNIT

Abstract

The importance of the study of the "rotor-housing" system dynamics is caused by its strong influence on the vibrational state of the gas turbine engine. Knowledge of the dynamic properties of complex products is required at all stages of development and design.

Therefore, the purpose of research, contained in this article is to carry out modal analysis steam compressor unit rotor, taking into account the gyroscopic effect.

The first part describes the creation of a three-dimensional finite element model of the rotor. At the same time, the three-dimensional solid models of parts built in the NX8.5 software for nominal size was used as a input data. Props was considered stiff.

The second part presents studies of the natural oscillations spectrum of the rotor steam compressor unit using the developed FEM. The problem was solved by the use of a supercomputer, "Sergei Korolyov."

**Keywords:** the rotor, the impeller, the natural frequencies of oscillation, Campbell diagram.

**П**остановка задачи. Описание объекта исследования

На рис. 1 представлена схема ротора. Рабочая частота вращения составляет 32000 об/мин. Целью модального расчета является определение собственных частот вращения и подтверждение отсутствия резонанса в рабочем диапазоне частот вращения ротора.



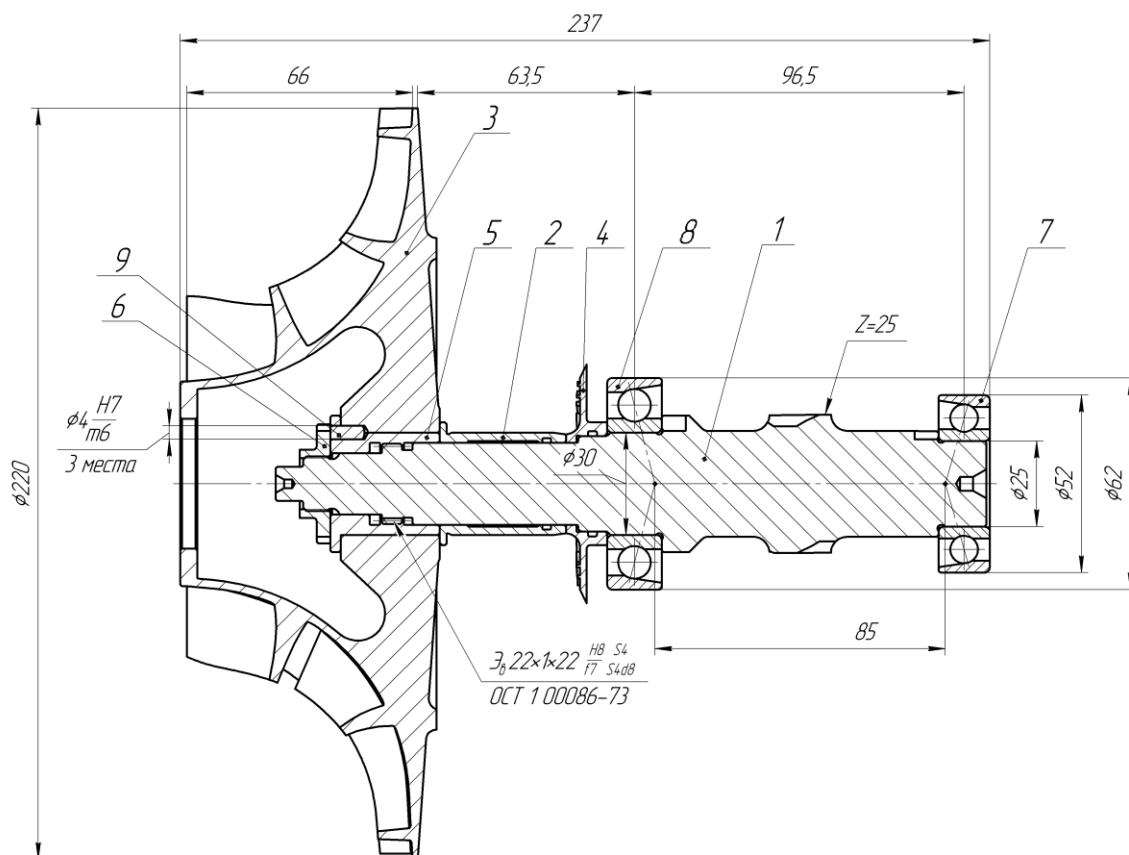


Рис. 1 – Схема ротора блока парокompрессора:  
 1 – Вал, 2 – Втулка, 3 – Крыльчатка, 4 – ИмPELLер, 5 – Втулка,  
 6 – Гайка, 7, 8 – Подшипники, 9 – Штифт

Составными элементами ротора являются крыльчатка 3, выполненная из материала АК4-1 Т1, стальной вал 1, имPELLер 4.

При создании КЭМ ротора в качестве исходных данных использовались трехмерные твердотельные модели деталей роторов рис. 2, построенные в среде проектирования NX8.5 по номинальным размерам, и свойства применяемых материалов по справочным данным ВИАМ.

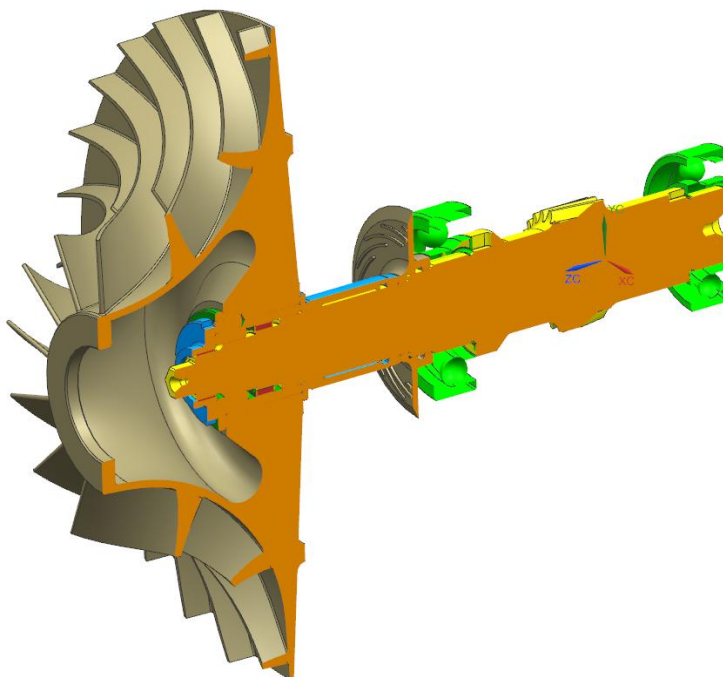


Рис. 2 – Общая сборка ротора в среде NX

Общая сборка была разбита на отдельные компоненты, которые вычленились из нее таким образом, чтобы их ориентация в пространстве трехмерной модели соответствовала местоположению в составе ротора.

Исходная геометрия подвергалась коррекции в среде проектирования NX8.5 с целью ее упрощения. При этом исключались конструктивные элементы, не оказывающие существенного влияния на инерционно-жесткостные характеристики деталей и узлов, такие как: фаски, скругления и т.п. Кроме того, тела разделялись на объемы простой формы для удобства создания и управления густотой гексаэдрических сеток конечных элементов (КЭ). Для упрощения создания сетки, часть элементов деталей ротора подготовлена под тетраэдральную сетку (рис. 3).

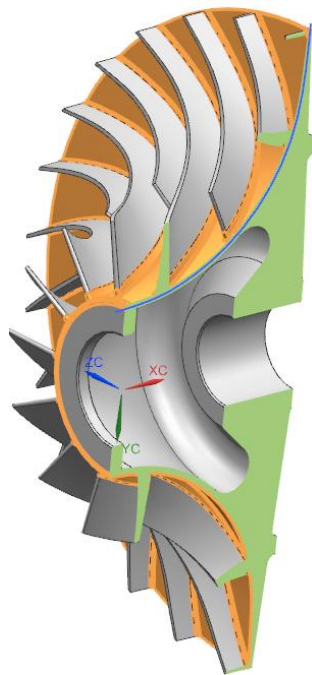


Рис. 3 – Упрощенная модель крыльчатки

#### *Создание конечно-элементной модели ротора*

Конечно-элементная модель создана в *Ansys Mechanical*. Тип элементов – *Solid186* и *Solid187*. На рис. 4 – 9 представлены КЭМ отдельных узлов ротора.

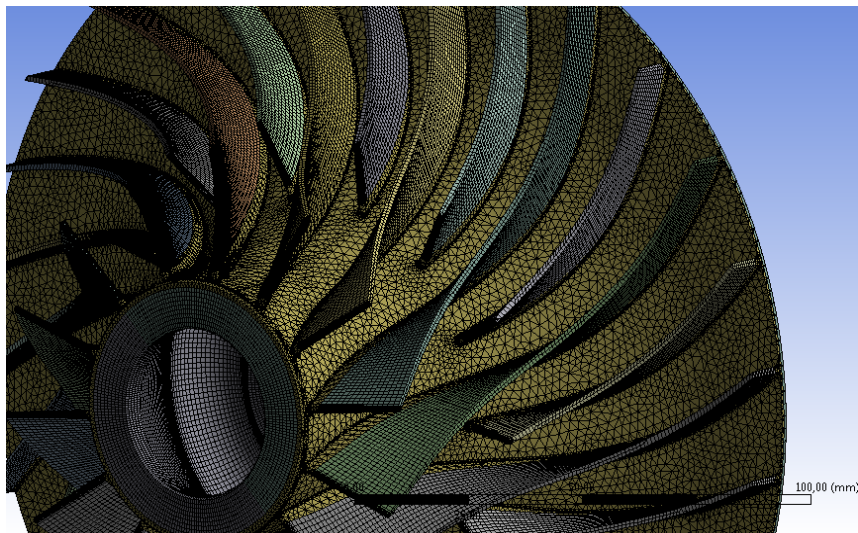


Рис. 4 – Крыльчатка (181424 элемента, 512229 узлов)

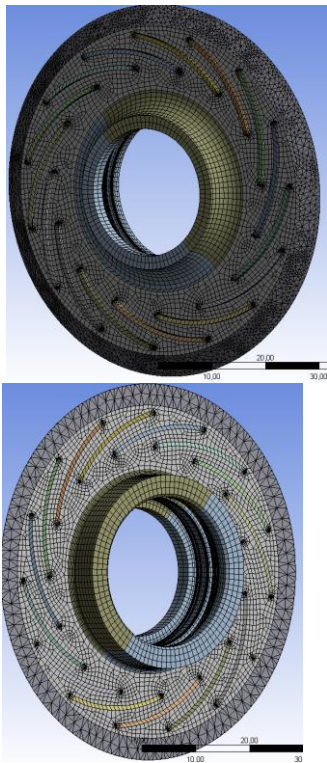


Рис.5 – Импеллер  
(15096 элементов, 63820 узлов)

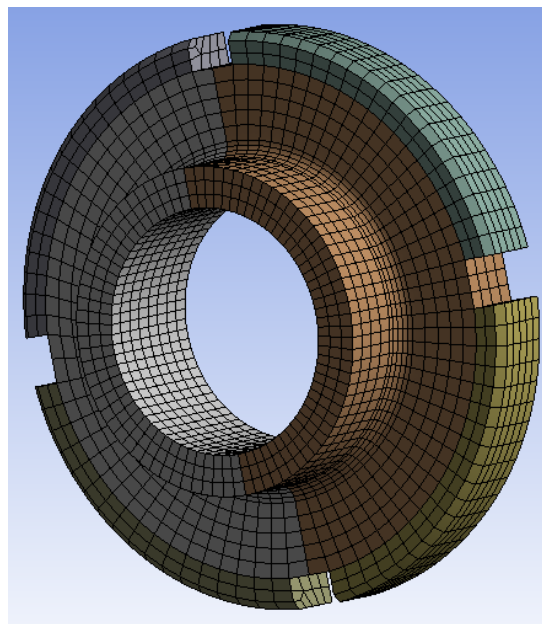


Рис. 6 – Гайка  
(1028 элементов, 5938 узлов)

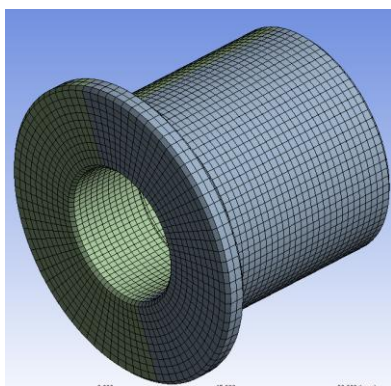


Рис. 7 – Втулка 1  
(3528 элементов, 17598 узлов)

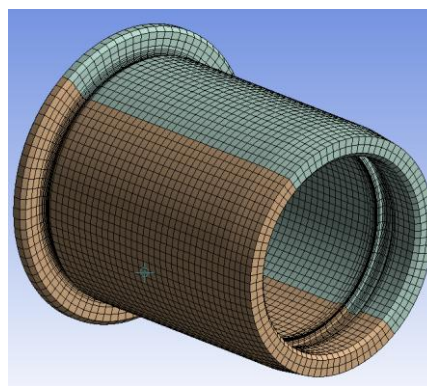


Рис 8 – Втулка 2  
(3608 элементов, 19404 узла)

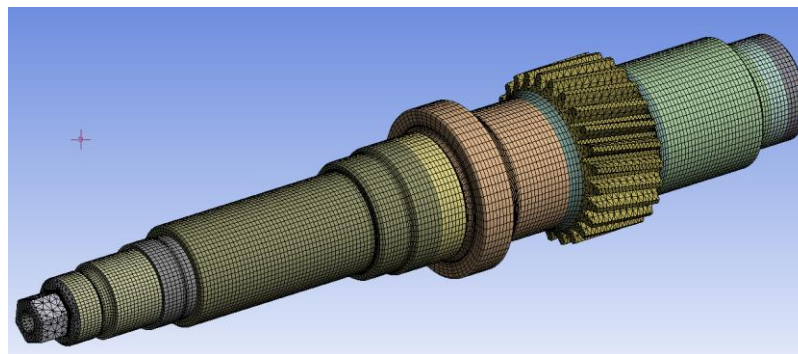


Рис. 9 – Вал (47210 элементов, 173207 узлов)

КЭМ модель ротора состоит из 251194 элементов, 792196 узлов и показана на рисунке 10.



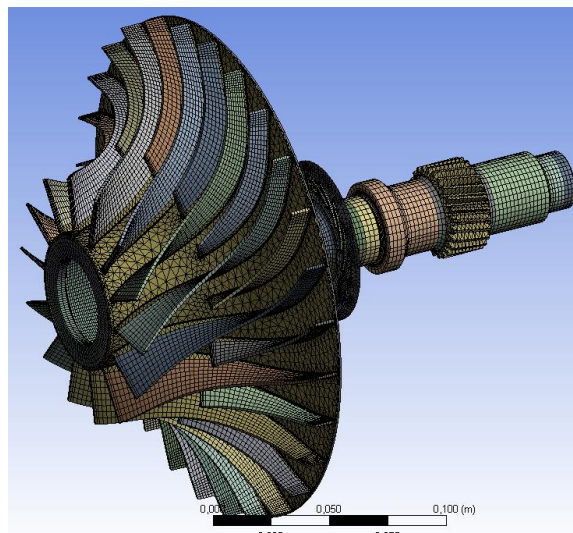


Рис. 10 – КЭМ ротора

Соединение деталей осуществлялось через контактные элементы, используя алгоритм многоточечных связей. Для удобства задания граничных условий в местах установки подшипников были созданы Rigid-области с пилотными узлами, лежащими на оси вращения, в которых определяются условия закрепления ротора. В качестве жестких опор выполнены дорожки качения внутренних колец подшипников.

#### Настройки решателя

С использованием разработанной КЭМ были проведены исследования спектра собственных колебаний ротора ВД универсального газогенератора.

В расчете учитывалось действие поля центробежных сил и влияние гироскопического момента. Моделирование роторной динамики может быть выполнено в двух различных системах отсчета.

##### 1) Неподвижная система отсчета:

- применяется там, где рассчитываемая конструкция (КЭМ) содержит как роторную часть, так и поддерживающую статорную;

- моделируемая вращающаяся часть конструкции должна обладать осевой симметрией.

##### 2) вращающаяся система отсчета:

- применяется там, где рассчитываемая конструкция (КЭМ) содержит только роторную часть;

- в расчетах присутствует только сила Кориолиса, гироскопический эффект не учитывается в уравнениях динамики.

Большинство исследований колебаний роторных систем ГТД проводятся в неподвижной системе координат.

Уравнение роторной динамики в общем виде можно записать как

$$[M]\{\ddot{U}\} + [G + C]\{\dot{U}\} + [K]\{U\} = \{F\},$$

где  $[M]$ ,  $[C]$ ,  $[K]$  – матрицы масс, демпфирования и жесткости конструкции соответственно,  $[G]$  – гироскопическая матрица. Из-за того, что гироскопический эффект в ANSYS учитывается в виде матрицы «демпфирования», то это приводит к необходимости использования специальных решателей *DAMP* и *QRDAMP* для расчета спектров собственных колебаний. *QRDAMP* обладает большей вычислительной эффективностью. Собственные частоты, полученные с помощью решателя *QRDAMP*, представляются в комплексной форме, как показано на рис. 11.

***** DAMPED FREQUENCIES FROM REDUCED DAMPED EIGENSOLVER *****				
MODE	COMPLEX FREQUENCY (HERTZ)			MODAL DAMPING RATIO
1	-0.78052954E-01	49.844724	j	0.15659202E-02
	-0.78052954E-01	-49.844724	j	0.15659202E-02
	(a)	(b)		(c)

Рис. 11 – Пример отображения комплексных частот

Действительная часть комплексной частоты характеризует демпфирование на этой частоте. При этом ее отрицательное значение соответствует стабильной форме колебаний, а положительное – нестабильной. Мнимая часть представляет значение собственной частоты с учетом демпфирования. В окне вывода присутствуют две строки комплексных частот на одну форму колебаний, вторая строка является комплексно-сопряженным значением.

Не смотря на то, что гироскопический эффект учитывается в виде матрицы «демпфирования», диссипация энергии не происходит, поэтому если в модели не задается демпфирование, то все действительные части комплексных частот будут нулевыми.

Следует отметить, что в процессе выполнения модального анализа роторной системы рассчитываются формы и частоты колебаний соответствующие движениям с прямыми и обратными прецессиями.

В расчете не учитывалось действие, монтажных и температурных напряжений, газовых сил, изменение характеристик материала от температуры монтажных и температурных напряжений. Задача решалась с использованием суперкомпьютера «Сергей Королев» IBM 1350. Система IBM 1350 построена на базе линейки оборудования IBM BladeCenter с использованием блейд-серверов HS22 и обеспечивает пиковую производительность более 10 триллионов операций с плавающей точкой в секунду.

#### Результат расчета

Результат расчета на трех режимах работы представлен в табл. 1 (приведены первые изгибные частоты).

Таблица 1 – Результат модального расчета

Обороты	Прямая прецессия	Обратная прецессия
0	491,35 Гц	491,35 Гц
16000 об/мин	591,95 Гц	426,4 Гц
32000 об/мин	677,94 Гц	358,48 Гц

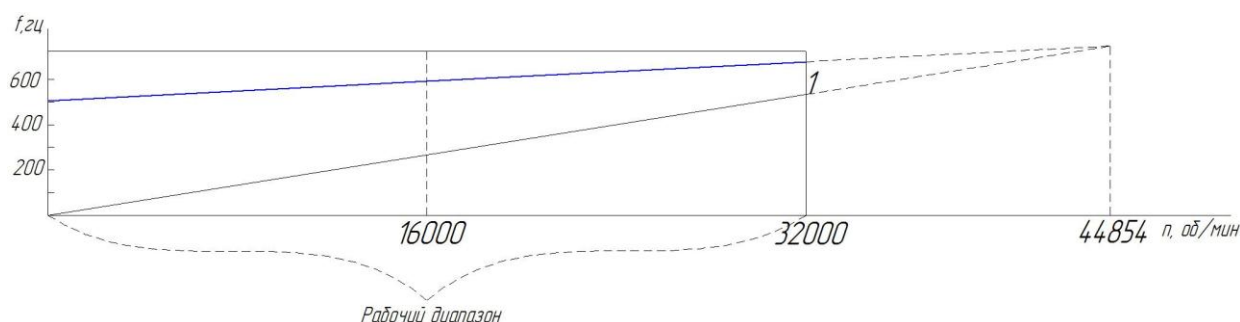


Рис. 12 – Резонансная диаграмма ротора (показана прямая прецессия)

На рис. 13 показана первая изгибная форма колебаний ротора

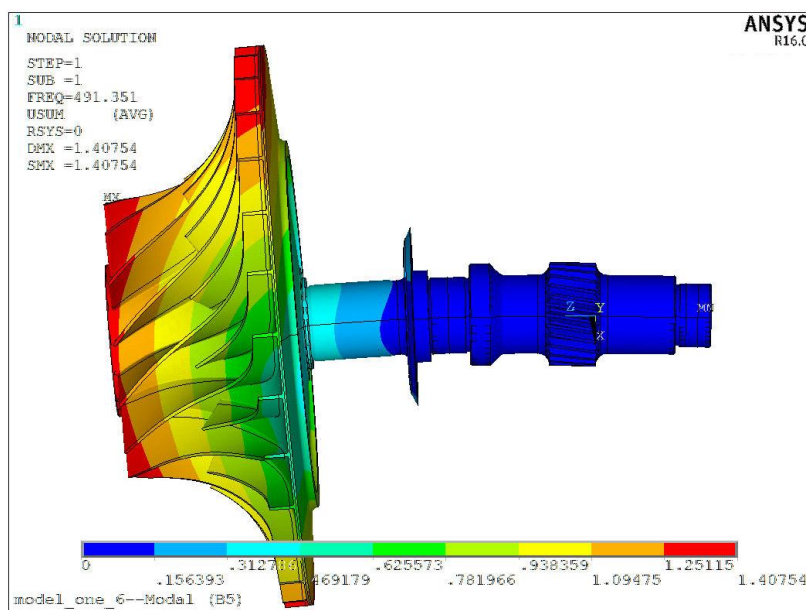


Рис. 13 – Первая изгибная частота колебаний (491,35 Гц)

Резонанс выведен за рабочий диапазон. Резонансная частота вращения 44854 об/мин.

#### Выводы

По результатам расчетных исследований свободных колебаний ротора блока парокompрессора были сформулированы следующие выводы:

- в принятой постановке задачи ротор является жестким, так как низшая собственная частота изгибных колебаний не находится в рабочем диапазоне частот;
- из анализа собственных форм можно сделать заключение о сильной связности колебаний рабочих колес и ротора.

#### Список литературы / References

1 Кельзон А.С., Циманский Ю.П., Яковлев В.И. Динамика роторов в упругих опорах. М.: Наука, 1982. 280 с.

#### Список литературы на английском языке / References in English

1 Kel'zon A.S., Cimanskij Ju.P., Jakovlev V.I. Dinamika rotorov v uprugih oporah. [Dynamics of rotors in the elastic supports] M.: Nauka, 1982. 280 p. [in Russian]

DOI: 10.18454/IRJ.2016.54.161

Брянский И.Н.<sup>1</sup>, Брыль Д.А.<sup>2</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-0002-1662-3160, старший преподаватель,<sup>2</sup>ORCID: 0000-0003-4387-7550, студент 4-го курса,

Факультет Искусств и дизайна,

Нижевартовский государственный университет в г. Нижневартовске

**К ВОПРОСУ ОБ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ UNITY****Аннотация**

*На рубеже двадцать первого века инновационные технологии молниеносно внедряются в любую идею человека, и данные два объекта становятся единым организмом. Статья посвящена проблемам, методам и процессу в целом (pipeline) в конструировании персонажей для игровых приложений и консолей современного поколения – next gen. Также освещена тонкая грань между профессионалами в области разработки игр и кино, так как колоссальное число людей не специализирующихся и не пересекающихся областей данной тематики совершенно не ведомо кардинальное различие двух направлений. Статья будет интересна, как начинающим художникам, так и уже давно практикующим профессионалам.*

**Ключевые слова:** Unity, анимация персонажей, конструирование, моделирование объектов, виртуальная реальность, противоречия и парадоксы компьютерной графики, pipeline.

Bryansky I.N.<sup>1</sup>, Bril V.V.<sup>2</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-0002-1662-3160, senior lecturer,<sup>2</sup>ORCID: 0000-0003-4387-7550, student of the 4th course,

Faculty of Arts and design,

The Nizhnevartovsk state university in Nizhnevartovsk

**TO THE QUESTION OF BASIC ELEMENTS OF UNITY****Abstract**

*In article, the abstract question "whether it is difficult to model the person in the volume and spatial environment" is considered. Value of the used analog materials at the initial stages of modeling and their value reveals. In article is considered, drawing of a figure of the person as one of the most complex challenges for the artist. Reveals, as it is reasonable to use referensa in the work on 3D model of the person, and as it is possible to protect itself from mistakes at the image of people. The main criteria in the course of creation of the character are analysed and formulated.*

**Keywords:** fine arts, three-dimensional modeling, animation, referens, character.

**В**ведение. Данная рукопись является продолжением в серии статей о “конструировании в виртуальной реальности”. Будут освещены основные положения, касающиеся классификации интерфейса и инструментов в программной среде Unity.

Сцена в Unity – это трехмерное пространство, в котором любой созданный или вносимый объект будет являться виртуальным. В результате, собственно с данным пространством и будет работать пользователь. Именно от того, насколько детально и качественно воссоздано виртуальное пространство, зависит сила визуального восприятия на зрителя. На Unity удобно работать в качестве редактора (конструктора) сцен. В работе объединяются все элементы проекта, главное, что художник этого мира, видит все события в том облике, что и зритель. Программный пакет Unity позволяет с легкостью прорабатывать огромные сцены [1, С. 225-229].

Одни создатели выстраивают всю цепочку событий над проектом вокруг физических симуляций (далее по тексту ФС), другие же наоборот стараются не прибегать к такой модели проектирования. В Unity интегрирован PhysX и все физические характеристики играют не второстепенную роль в interactive graphic (интерактивная графика, далее по тексту ИГ). Например, область соприкосновений (коллизия или колайдер) применяется, как в ФС, так и для организации интерактива. Только если объекту присвоен collider, тогда он делается участником разрабатываемой сцены. Насквозь предмета уже нельзя пройти, с ним можно уже связать воздействие, передать информативную карту. Это и есть главное отличие ИГ от классической, в которой основой является лишь иллюзорная фикция симуляции физики [2, С. 110-112].

Содержательная часть. Шейдинг (создание материалов). Большинство художников по компьютерной графике думают, что качество изображения ограничивается Material Editor визуализатора и механикой прорисовки изображения. Данное суждение не до конца верное. Качество картинки, определяется использованием shader`s, которые отправляют информацию в видеокарту, с критериями необходимой прорисовкой освещения, теней, полутеней, каким образом должна происходить обработка процедурных каналов, текстурных каналов, отражения и/или преломления.

Недопонимание значения шейдеров в качестве картинки, рождает легенду о том, что графические возможности Unity находятся в рамках того качества, что достижимо только при использовании стандартного набора шейдеров, идущего внутри пакета.

Комплект шейдеров по умолчанию, необходимо рассмотреть, как пример от которого следует исходить в написании собственных уникальных шейдеров. Для этого применяется классический CG language, называемый в профессиональной среде «Си» для компьютерной графики. Но ни каждый цифровой художник может погрузиться в специфику написания программного кода на CG language. На этом основании, возникли различные редакторы логики шейдеров, где используется традиционный нодовый редактор, что лучше адаптируется для понимания 3D художниками. Но, стоит учесть, что при работе с кодом достигается более грамотный и тонкий итог шейдинга. ИГ дает шанс совершать корректировку на подуровне материй объектов в настоящем времени (далее по тексту real time – RT). Данная функция достигается с помощью запроса к shader через материал. Шейдеры необходимы для материалов,

а также для фильтров постобработки конечного изображения. Данные инструменты программного обеспечения преобразуют визуализацию при большом количестве кадров, значительная часть улучшения четкости конечного рендера зависит именно от них.

Каждый центральный программный компонент (движок - engine) обязан обладать всеми средствами сотворения синематика. Практически в каждом игровом приложении, применяются «кат» события – анимированные вставки, выстроенные по кинематографическим законам. Для создания такого синематика с помощью engine, понадобится огромное разнообразие функций и инструментов. Необходима работа с физическими фотокамерами, последующей анимацией фотокамер, а также их параметров, переходы между ними. Что бы сцена была не обделена динамичными событиями необходимо выстроить всю цепочку процесса. Классические инструменты и функции присутствуют в программном арсенале Unity, для реализации и разработки синематика. Скриптование и конструирование собственных расширений дает возможность достигнуть еще большего, что и совершают создатели игрового контента. Освещение - ещё один значимый аспект для получения высококачественной и симпатичной визуальной картинки. Динамические источники света, модели shader освещения, сильнейший эмиттер карт света, возможность импорта световых карт, внешние инструменты для работы со светом. Например - это тестовый плагин для передачи прямого рассеянного света, аналогично применяемому в алгоритмах визуализации. Данные технические инструменты помогают сотворить проект, ничем не уступающий классической визуализации. Изобразительные спецэффекты не обходят стороной этот редактор. Самый известный - это particle system (система частиц – PS). С поддержкой PS формируется пламя, дым, разрушения и другое. Продвинутые создатели используют целый потенциал directx 11 в сотворении жидкостных систем или газообразующих эффектов, ворса и остального.

Понятие AI (искусственный интеллект), в основном, подразумевает систему контроля НПС (не игровой персонаж) [3, С. 101-107]. AI для НПС определяется, как инструментами программирования скриптов, так и поддержкой редакторов, например, «behave», «path finding». В основном это обусловлено внедрением известного языка C#.

На unity объединены следующие языки программирования высокого уровня C#, java, boo. Каждый ЯВУ работает на платформе net, но в написании скриптов и работой с кодом, предоставляется mono develop, простота и удобство которого основной конек. Кодирование в Unity различается от кодирования в трехмерных редакторах. Опытные девелоперы - программисты формируют подобные программы на unity, которые в итоге сами могут стать программным редактором. Например, это может быть: программа для проектирования мебели, конвертер звука, пакет для удаленной работы с базой данных и другие приложения. Вариаций множество помимо игровых приложений. Unity предусматривает метод объединения графики и выполняемого кода (Event System), когда любой алгоритм в скрипте исполняется, когда это предусматривает анимация. Один из компромиссов в вопросе об изучении программного кода – это визуальное кодирование.

Используется в таких программных оболочках, как Houdini и Grasshopper для Rhino. В UDK, есть аналог – Kismet. Построение алгоритмов выполняемых сценариев в визуальном кодировании выполняется с помощью редакторов графиков. Каждый операнд представляется в виде ярлыка и слотов для данных, и именуется узлом (node). Порядок узлов, объединённых связями входящей и исходящей информации (графы), представляется в виде дерева сценария и именуется как (Graph Tree) [4, С. 172-175]. Практически в каждом трехмерном обеспечении есть такие редакторы графов, которые помогают настраивать шейдеры. Unity дает возможность применять редакторы нодов для написания скриптов, как альтернативный способ классическому программированию. Во-первых, это uScript Visual Scripting, он целиком имитирует Kismet. Полезность от таких редакторов в том, что помогает людям, которые мыслят образами, но не абстрактным складом мышления. Существует возможность увидеть все строение алгоритма сразу, что существенно для художников с первым складом ума.

Заключительная часть. Вследствие данных факторов, двухмерная и трехмерная компьютерная графика в частности явилась пиком визуальной дезинформации зрительных способностей человека, а также той части разума, которая отвечает за определение образов. Когда для индустрии кинематографа данный аспект является самой важной задачей, а пользователь жаждет колоссального шокирующего визуального мошенничества, то для художника конструктора или архитектора, все складывается по-другому. Реалистичность и детальность изображения уводит от конструктивных мыслей, отражая только предположительное состояние, возможную картину того, как должен выглядеть проект. Причем отсекается большое количество важнейших нюансов. Можно ли купить тот или иной объект мебели? Спроектированы и построены изображенные объекты вообще в природе? Свето-составляющая картины отражает ли в полной мере реальную яркость помещения? И множество других.

#### Список литературы / References

1. Брянский И.Н. Конструирование персонажей на unity (часть I) / И.Н. Брянский // Научное мнение. – 2015. – № 10-2. – С. 225-229.
2. Брянский И.Н. Обзор методологии технического моделирования, или как создавался «хищник» / И.Н. Брянский // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. – 2015. – № 11-2. – С. 110-112.
3. Брянский И.Н. Конструирование персонажей на unity (часть II) / И.Н. Брянский // Успехи современной науки. – 2016. – № 10. Том 4 – С. 101-107.
4. Брянский И.Н. К вопросу о создании напольных покрытий геометрией в программной среде autodesk 3ds max с помощью стороннего модификатора floor generator (часть I) / И.Н. Брянский // Успехи современной наук. – 2016. – № 10. Том №1. – С. 172-175.

#### Список литературы на английском языке / References in English

1. Brjanskij I.N. Konstruirovaniye personazhej na unity (chast' I) [Construction of the characters in the unity (Part I)] / I.N. Brjanskij // Nauchnoe mnenie [Scientific opinion]. – 2015. – № 10-2. – P. 225-229. [in Russian]
2. Brjanskij I.N. Obzor metodologii tehničeskogo modelirovaniya, ili kak sozdavalsja «hishhnik» [Review of technical modeling methodology, or how to create the "predator"] / I.N. Brjanskij // Gumanitarnye, social'no-jekonomicheskie i obshhestvennyye nauki [The humanitarian, social, economic, and social sciences]. – 2015. – № 11-2. – P. 110-112. [in Russian]

3. Brjanskij I.N. Konstruirovanie personazhej na unity (chast' II) [Construction of the characters in the unity (Part II)] / I.N. Brjanskij // Uspehi sovremennoj nauki [Achievements of modern science]. – 2016. – № 10. – V.4 – P. 101-107. [in Russian]

4. Bryanskij I.N. K voprosu o sozdanii napol'nyh pokrytij geometrii v programmnoj srede autodesk 3ds max s pomoshch'yu storonnego modifikatora floor generator (chast' 1) [To a question of creation of floor coverings geometry in the program autodesk 3ds max environment by means of the third-party floor generator modifier (part 1)] / I.N. Bryanskij // Uspehi sovremennoj nauki [Achievements of modern science]. – 2016. – № 10. V.1. – P. 172-175. [in Russian]

DOI: 10.18454/IRJ.2016.54.266

Бубенчиков А.А.<sup>1</sup>, Белодедов А.Е.<sup>2</sup>, Булычев И.С.<sup>2</sup>, Шепелев А.О.<sup>2</sup><sup>1</sup>Кандидат технических наук, <sup>2</sup>Магистрант,

Омский государственный технический университет

Работа выполнена при поддержке гранта № МК-5098.2016.8

## ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОДИНАМИКИ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РОТОРА САВОНИУСА

### Аннотация

*Ветроэлектрическая установка типа Савониуса - это вертикально-осевой ветрогенератор, который характеризуется высоким стартовым моментом, относительно низкой скоростью эксплуатации и способностью работать при любом направлении ветра. В данной работе изучены энергетические и аэродинамические характеристики ветрогенераторов типа Савониуса, а также подробно рассматриваются основные пути их улучшения. Выделены основные направления исследований по улучшению характеристик роторов Савониуса, такие как создание математических моделей, использование горячего воздуха, использование потока воды вместо ветра, а также изменение конструкции ротора. Наиболее эффективным направлением улучшения энергетических характеристик ротора Савониуса является добавление к конструкции аэродинамических труб.*

**Ключевые слова:** ветроэнергетика, энергосбережение, ветроэлектрическая установка, ротор Савониуса

Bubenchikov A.A.<sup>1</sup>, Belodedov A.E.<sup>2</sup>, Bulychev I.S.<sup>2</sup>, Shepelev A.O.<sup>2</sup><sup>1</sup>PhD in Engineering, <sup>2</sup>Undergraduate student

Omsk State Technical University

This work was supported by grant number MK-5098.2016.8

## THE STUDY OF AERODYNAMICS AND POWER CHARACTERISTICS OF SAVONIUS ROTOR

### Abstract

*Savonius type wind turbine is a vertical axis wind turbine, which has a high starting torque, a relatively low speed of operation and the ability to work in any direction of the wind. In this paper we studied the energetic and the aerodynamic characteristics of the Savonius type wind turbine and focused on the main ways of their improving. The basic areas of researches on the improvement of the characteristics of Savonius rotors are the creation of mathematical models, the usage of hot air, the usage of water flows instead of the wind, as well as the changing the rotor design. The most efficient way of improvement the energy performance of the Savonius rotor is to add wind tunnels to the construction.*

**Keywords:** wind power, energy saving, wind turbine, Savonius rotor.

В настоящее время, почти девяносто процентов мировой энергии получают из ископаемых источников топлива таких как, уголь, нефтяные масла, природный газ и т.д. Люди используют ископаемые виды топлива для удовлетворения практически всех своих энергетических потребностей. Однако, энергетические ресурсы ископаемых источников энергии Земли ограничены, а также глобальное производство нефтяных масел выйдет за пределы своего пика в ближайшие десятилетия. В следствие роста населения потребность в энергии становится выше, а следовательно растут цены на ископаемые виды топлива. В то же время существует проблема, связанная с глобальным изменением климата из-за большого количества выбросов двуокиси углерода и двуокиси серы в результате сжигания ископаемого топлива. Использование возобновляемых источников энергии в качестве экономически эффективных и надежных низкоуглеродистых источников энергии становится все более важной задачей мировой энергетической политики. Возобновляемая энергия не оказывает вредного воздействия на климат в связи с отсутствием вредных выбросов в окружающую среду.

Ветер является экологически чистым источником энергии, который имеет огромный потенциал, способный удовлетворить потребность в энергии, а также смягчить последствия изменения климата от выбросов парниковых газов, вырабатываемых при сжигании ископаемого топлива. Установлено, что ветер позволяет получить примерно 10 миллионов МВт энергии. Для преобразования энергии ветра в механическую энергию, а так же выработки электроэнергии используются ветряные турбины.

Ветряные турбины подразделяются на две категории: ветряные турбины с горизонтальной осью вращения (horizontal axis wind turbines, HAWTs) и ветряные турбины с вертикальной осью вращения (vertical axis wind turbines, VAWTs). На данный момент, ветряные турбины с горизонтальной осью вращения играют основную роль в ветроэнергетике. Они могут обеспечивать большие выходные мощности, однако нуждаются в большей скорости ветра и часто создают низкочастотный шум, который может быть вредным. Ветряные турбины с вертикальной осью вращения свободны от этих проблем, в следствие чего они пригодны для использования в городской среде. Существуют различные типы ветряных турбин с вертикальной осью вращения, такие как ротора Савониуса, ротор Дарье и Н-образный ротор Дарье, которые представлены на рис. 1.



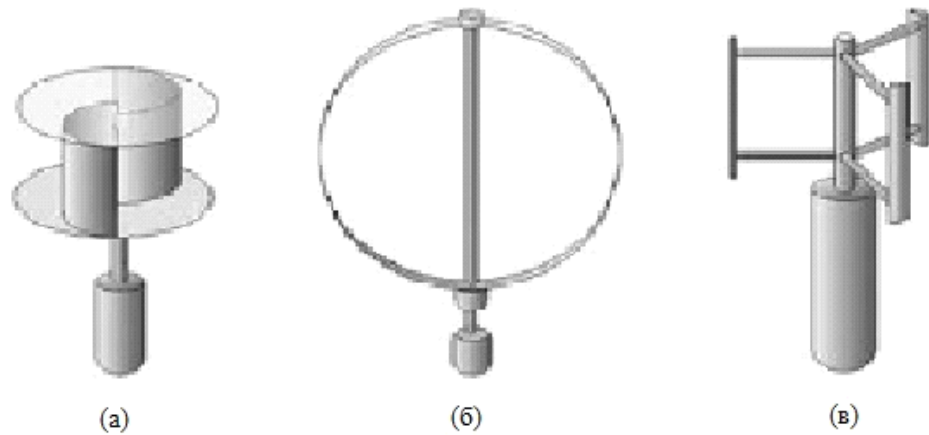


Рис. 1 – Ветряные турбины с вертикальной осью вращения: (а) ротор Савониуса; (б) ротор Дарье; (в) Н-образный ротор Дарье

Ветряная турбина Савониуса, также называемая S-образный ротор, была изобретена и запатентована финским инженером Сигурдом Савониусом. Турбина представляет собой две полуцилиндрические поверхности, называемые лезвиями или лопастями, которые установлены на вертикальной оси, перпендикулярной направлению ветра. Ротор Савониуса имеет простую структуру, хорошие стартовые характеристики, относительно низкую скорость эксплуатации, а также он действует при любом направлении ветра. Однако, он имеет низкую аэродинамическую эффективность.

В настоящее время проводится большое количество исследований, направленных на улучшение эффективности роторов Савониуса. Среди них можно выделить несколько основных направлений, таких как создание программного обеспечения для построения математических моделей и изучения аэродинамических свойств роторов; использование горячего воздуха, полученного от природных источников тепла или промышленного остаточного тепла, для вращения турбины; использование энергии воды вместо энергии ветра; а также изменение конструкции ветроустановки Савониуса.

#### Математические модели

Основные методы определения энергетических и аэродинамических характеристик роторов Савониуса можно разделить на два типа: теоретические и экспериментальные. К сожалению, экспериментальные методы часто могут быть ограничены как технически, так экономически, а также ограничены получаемые из них данные. Поэтому создание математических моделей необходимо для понимания принципа действия, а также для расчета аэродинамических и энергетических характеристик роторов Савониуса.

Для исследования процессов аэродинамики ротора Савониуса чаще всего применяются осредненные по Рейнольдсу уравнения Навье-Стокса (1-2) несжимаемой жидкости, для замыкания которых используются алгебраические или дифференциальные модели турбулентности.

$$\frac{\partial u_j}{\partial x_j} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial (u_j u_i)}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ V_{eff} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] \quad (2)$$

где  $x_i$ ,  $i=1,2$  - декартовы координаты;  $t$  - время;  $u_i$  - декартовы составляющие вектора скорости;  $p$  - давление;  $\rho$  - плотность;  $V_{eff}$  - эффективный коэффициент кинематической вязкости.

Применение этих уравнений позволяет изучить особенности нестационарного обтекания, структуру поля скоростей, а также процессы появления вихрей вокруг ротора.

Помимо уравнений Навье-Стокса, для создания математических моделей роторов Савониуса также используется метод дискретных вихрей, представленный в статье [3], который позволяет моделировать процесс взаимодействия лопастей ротора с воздушным потоком. Этот метод позволяет создавать симуляцию, рассчитывать скорость воздушного потока в произвольной точке пространства, получать мгновенную картину вихревых структур и многое другое. Для этого ротор Савониуса представляется в виде дискретной системы панелей прямоугольной формы. Затем перейдя к размерным нагрузкам, можно рассчитать крутящий момент на роторе в произвольный момент времени и смоделировать его движение в динамике. В процессе можно изменить саму геометрию ротора и скорость набегающего потока. Это позволяет получить большой диапазон результатов, анализ которых поможет решению поставленных выше задач.

#### Горячий воздух

В исследовании [5] предложена недорогая техника, которая позволяет увеличить производительность турбин Савониуса, путем использования горячего воздуха, полученного от природных источников тепла или промышленного остаточного тепла. Авторы объединили механизм для создания огненных вихрей с механизмом традиционной ветряной турбины Савониуса путем изменения геометрии лопастей. Эта конструкция была названа вихревым ротором Савониуса. Вихревая турбина Савониуса имеет более высокие угловую скорость и коэффициент мощности.

Экспериментальная установка включает в себя испытательный стенд, на котором установлены вихревой ротор Савониуса и камеру генерации горячего воздуха, аэродинамическую трубу и измерительные приборы. Под стендом

была помещена нагревательная камера. Вихревая турбина Савониуса похожа на классическую турбину Савониуса, которая состоит из двух одинаковых полуцилиндрических лопастей, между которыми находится зазор. Модификация заключается в том, что внутренние концы лопастей увеличены для того, чтобы создать вихревую камеру. Для измерения скорости ветра был использован тепловой анемометр, для измерения температуры горячего воздуха использовалась термопара типа К, а для измерения крутящего момента ротора и тормозной нагрузки – динамометр.

Исследование показало, что в сравнении с обычным воздухом производительность турбин Савониуса увеличивается при использовании горячего воздуха. На рис. 2. видно, что коэффициент мощности вихревой турбины неопровержимо улучшается из-за создания вихревого потока, генерируемого внутри турбинной камеры. Однако, при более низких угловых скоростях производительности вихревой турбины и стандартной турбины Савониуса практически идентичны.

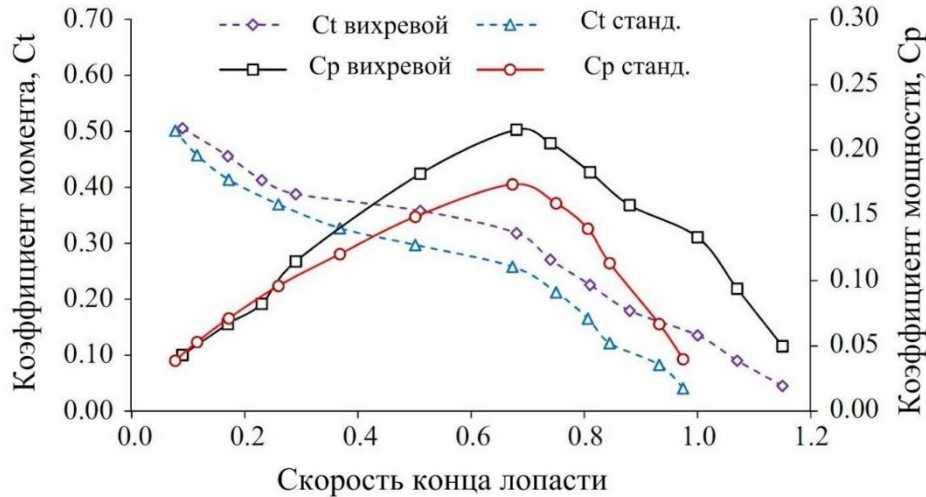


Рис. 2 – Зависимость коэффициентов мощности и момента от скорости конца лопасти вихревой и стандартного ротора Савониуса

#### Вода

Низкая эффективность ветроустановки Савониуса обусловлена тем, что ветер или движение воздуха не имеет достаточной массы, и в следствие этого объемная сила довольно низка. В исследованиях [6-8] показано, что турбина Савониуса может работать более эффективно в воде при низких скоростях потока, так как вода обладает большей объемной силой. За счет того, что ротор Савониуса имеет большую площадь поверхности лопастей, появляется возможность поймать большую часть потока воды на вогнутой поверхности лопастей. Таким образом, при увеличении площади поверхности ротора Савониуса может быть получен больший вращающий момент. Момент создается силой, возникающей когда вода ударяет лопасти. Также эта турбина может вращаться при любом направлении потока воды.

В статье [7] показано, что мощность, генерируемая ротором Савониуса в воде может быть рассчитана с помощью уравнения (3). Из этого уравнения можно получить уравнение (4) для оценки оптимальной скорости водного потока.

$$P = \frac{1}{2} \rho A C_p V_{onm}^3 \quad (3)$$

$$V = \left( \frac{2P}{\rho A C_p} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (4)$$

где  $P$  - выходная мощность,  $C_p$  - коэффициент мощности,  $\rho$  - плотность воды,  $A$  - площадь ротора и  $V$  - скорость воды. Из этих уравнений можно сделать вывод, что чем выше скорость потока, и, соответственно, скорость вращения ротора, тем большую выходную мощность можно получить.

В статье [6] приведено уравнение (5) для вращающего момента ротора Савониуса в воде

$$C = \frac{1}{2} \rho A C_m R V_{onm}^2 \quad (5)$$

где  $C_m$  - коэффициент вращающего момента. Зависимость коэффициента  $C_m$  от коэффициента быстроходности приведена на рис. 3.

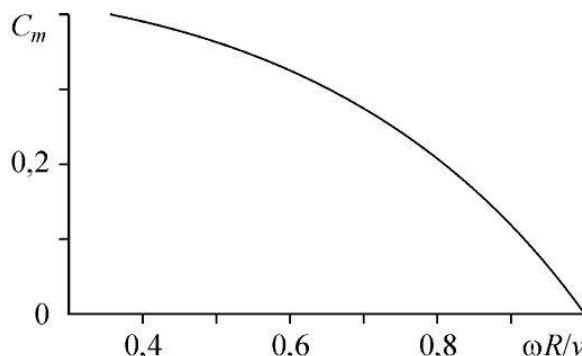


Рис. 3 – Зависимость коэффициента крутящего момента от числа быстроходности

### Конструкция

Наиболее широко исследуемым направлением улучшения энергетических характеристик ротора Савониуса является изменение его конструкции. Благодаря простоте классического ротора Савониуса, существует огромное количество возможностей изменить его конструкцию, от добавления дополнительных лопастей до создания комбинированной ветроустановки на основе турбин Савониуса и Дарье.

Исследования [10-11] посвящены изучению энергетических характеристик роторов Савониуса с разными количествами лопастей (рис. 4). Установлено, что ротор с четырьмя лопастями имеет более высокий крутящий момент по сравнению с двух- или трехлопастными конструкциями. Также четырехлопастные ветряные турбины показывают хорошую производительность при низкой скорости конца лопасти, но более высокой скорости конца лопасти трехлопастные ветряные турбины имеют лучшую производительность.

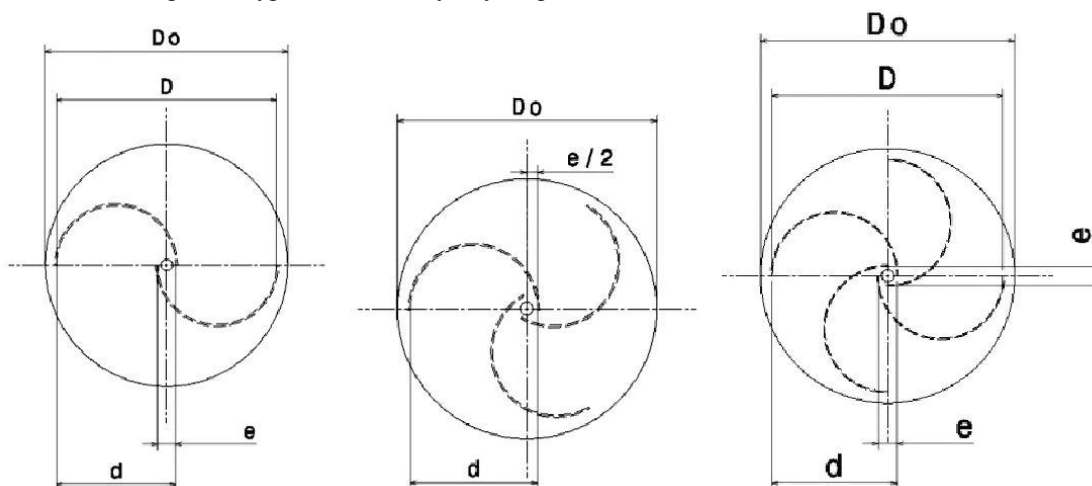


Рис. 4 – Поперечное сечение роторов Савониуса с двумя, тремя и четырьмя лопастями

Помимо этого, в исследовании [10] выявлено, что производительность ротора Савониуса большое влияние оказывают соотношение между высотой ротора и его диаметром и коэффициент перекрытия, который может быть представлен, как  $\beta = (e - a)/d$ , где  $e$  - ширина зазора между лопастями,  $a$  - диаметр вала и  $d$  - диаметр лезвия. Установлено, что при увеличении соотношения сторон увеличивается и коэффициент мощности. Также исследование показало, что наибольшую механическую мощность показывают турбины, не имеющие зазора.

Кроме добавления дополнительных лопастей, конструкцию традиционного ротора Савониуса можно изменить, если соединить два ротора на одном валу, что показано в исследованиях [6-7, 10]. Такая конструкция называется двухъярусным ротором Савониуса. Двухъярусная турбина имеет более высокую удельную мощность, чем одноярусная. Для подтверждения этого, в исследовании [10] измерили статический крутящий момент на лопастях одноярусного и двухъярусного роторов при одинаковом угле поворота и при различных скоростях ветра. Видно, что двухъярусная турбина имеет более высокий статический крутящий момент и, следовательно, более высокий коэффициент статического момента, чем одноярусная.

Авторы исследования [8] предложили новый дизайн турбины Савониуса с тандемными диффузорными лопастями (рис. 5). Тандемные лопасти позволяют увеличить тяговое усилие, создаваемое на них. Помимо этого в конструкцию добавлен дефлектор. По результатам можно сказать, что ротор Савониуса с диффузорными лопастями и с подвижным дефлектором улучшает отношение скорости на узком зазоре почти в любом случае и повышает крутящий момент, благодаря силам на ведомых лопастях, которые создаются "струйным эффектом" через зазор в центре ротора. Применение дефлектора позволяет получить положительному значению статического момента при любом диаметре лопасти.

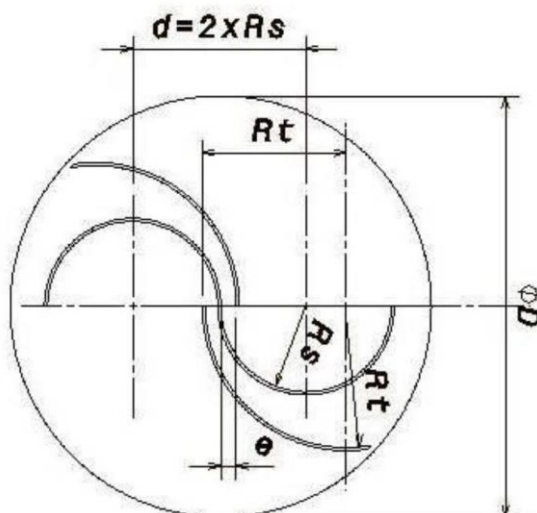


Рис. 5 – Ротор Савониуса с тандемными диффузорными лопастями

Одним из направлений улучшения энергетических показателей роторов Савониуса также является создание комбинированных ветроустановок на основе роторов Дарье и Савониуса [4, 13]. Такие установки имеют более высокий пусковой момент и более высокий КПД, чем традиционный ротор Савониуса. Однако, у таких установок есть существенный недостаток, связанный с разницей в режимах эксплуатации роторов Дарье и роторов Савониуса. Как известно, турбины Савониуса наиболее эффективно показывают себя при коэффициентах быстроходности  $\lambda \leq 1$ , в то время как роторы Дарье используются при значениях  $\lambda > 2$ . Влияние аэродинамики двух роторов друг на друга приводит к затенению подветренного участка траектории ротора Дарье, и, следовательно, крутящий момент будет падать.

Наиболее эффективным направлением улучшения энергетических характеристик ротора Савониуса является добавление к конструкции аэродинамических труб. Дополнительные аэродинамические трубы используются для увеличения скорости ветра и тем самым позволяют увеличить коэффициент мощности турбины. Исследование [14] направлено на изучения влияния углов ветра и скорости ветра на предложенную конструкцию и традиционный ротор Савониуса (рис. 6). Для этого исследования была использована ветряная турбина Савониуса с 2 лопастями толщиной 0,35 мм, диаметром 32 см и высотой 32 см. Каждая аэродинамическая труба имела области входа и выхода ветра, равные 1,980 см<sup>2</sup> и 782 см<sup>2</sup>, позволяя увеличить скорость ветра перед попаданием на лопасти турбины в 2,5 раза. Ветер создавался двумя электрическими вентиляторами, которые обеспечивали скорость ветра 4,86, 5,63 и 6,41 м / с. Вентиляторы перемещались в сторону на расстояние  $\alpha$  (20 и 60 см), создавая углы ветра между 15,9 и 40,6 градусов. Для предлагаемой конструкции также исследовался угол труб ( $\theta$ ) в диапазоне от -90 до 90 градусов, чтобы найти лучший угол, при котором получается максимальное выходное напряжение.

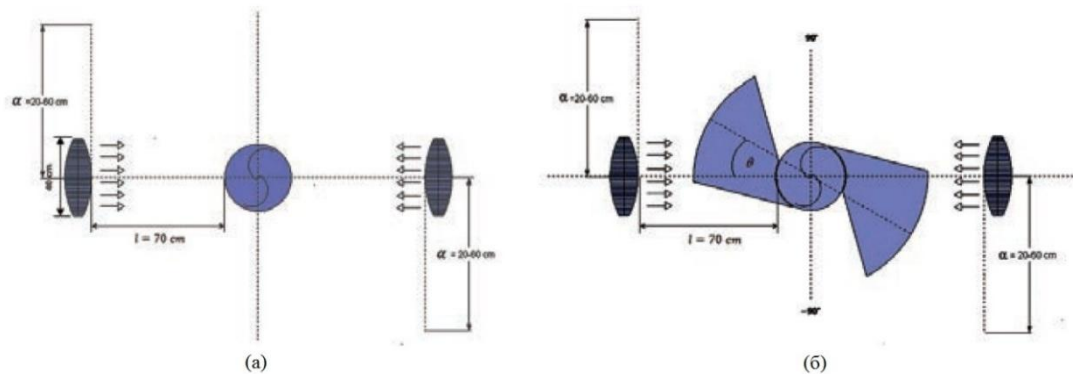


Рис. 6 – Диаграммы экспериментальных установок: (а) традиционный ротор Савониуса и (б) ротор Савониуса с аэродинамическими трубами

Результаты проведенного эксперимента представлены на рис. 7 и 8. На рис. 7 видно, что уровни выходного напряжения, генерируемого предложенной конструкцией турбины будет увеличиваться при увеличении скорости ветра (т.е. 6,21 и 9,52 В для скорости ветра 4,86 и 6,41 м / с). Уровни напряжения изменяются в зависимости от угла ветра и достигают высоких значений в диапазоне углов ветра 23-34 градусов и достигают максимума при 32,7 градусах. При фиксировании угла ветра на 32,7 градусах и изменении угла туннеля, можно видеть, что уровни напряжения также варьируются в зависимости от угла туннелей. Предложенная турбина может генерировать высокий уровень напряжения в диапазонах от 0 до 45 и -30 до -75 градусов, что показано на рис. 8.

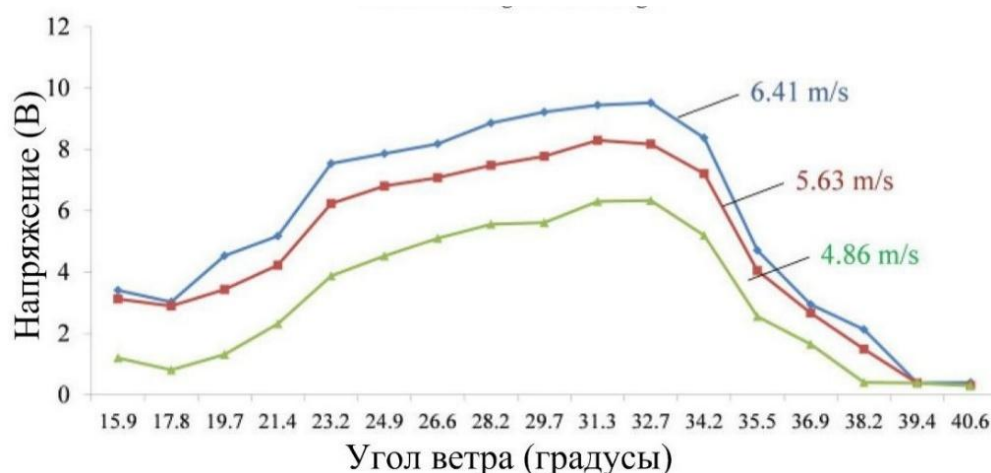


Рис. 7 – Зависимость напряжения, вырабатываемого предложенной турбиной, от угла ветра при разных скоростях ветра



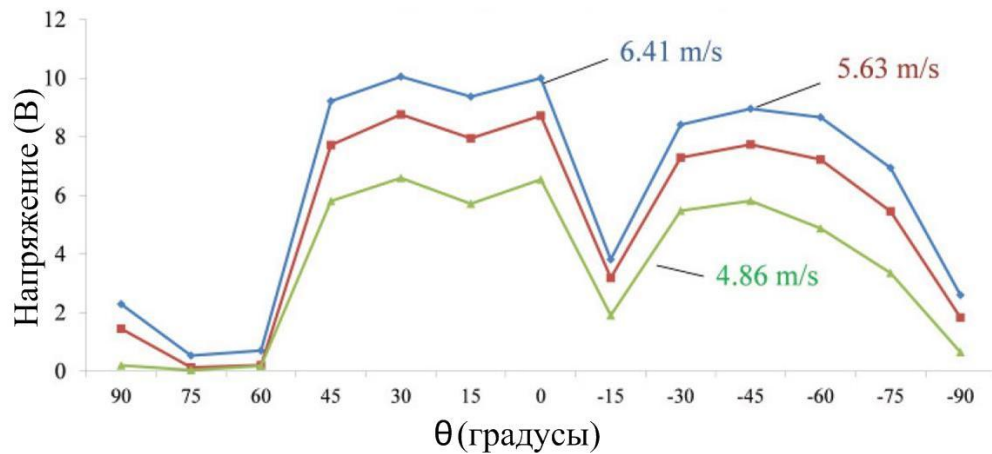


Рис. 8 – Зависимость напряжения, вырабатываемого предложенной турбиной, от угла турбины при разных скоростях ветра и угле ветра в 32,7 градусов

При сравнении напряжений, генерируемых предложенным и традиционным ротором Савониуса, можно увидеть, что предложенная конструкция создает напряжение с более высоким уровнем при всех углах ветра примерно на 45-68%, в среднем (рис. 9).

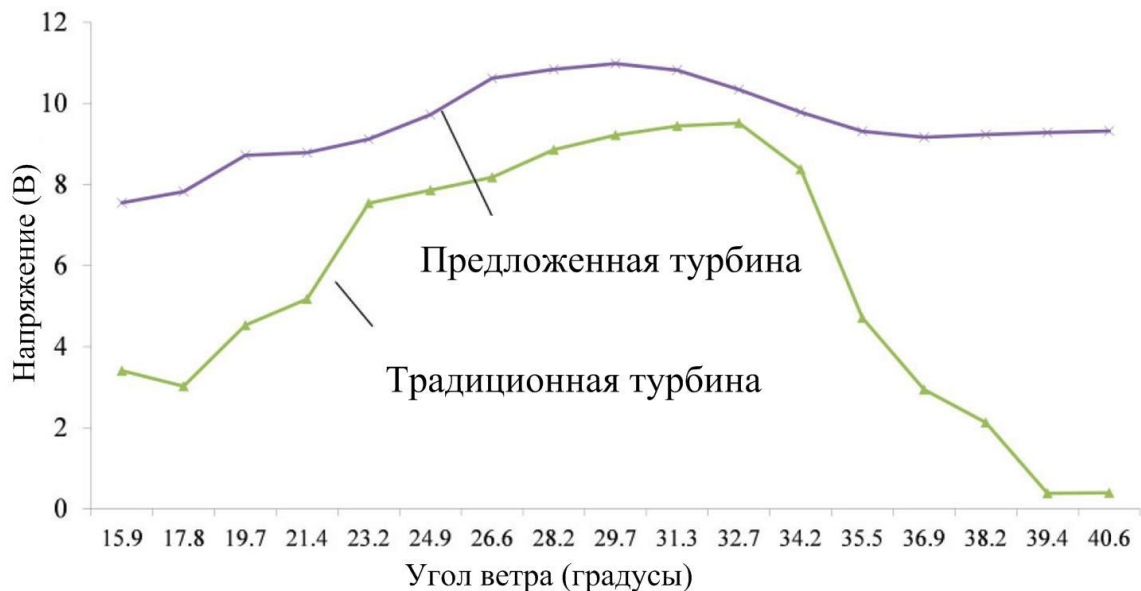


Рис. 9 – Сравнение уровней напряжений, вырабатываемых предложенной и традиционной турбинами Савониуса, при разных углах ветра

В ходе работы был проведен обзор различных путей улучшения энергетических характеристик ротора Савониуса, путем изменения конструкции ветроколеса или добавления дополнительных устройств для усиления потока. В целом самым перспективным кажется путь применения концентраторов или ускорителей потока для улучшения КПД ветроустановки любого типа. Применение дополнительных ускоряющих конструкций несомненно увеличит стоимость ветроустановки, но и позволит выработать больше электроэнергии, поэтому усложнение или реконструкция установки должна быть подтверждена экономическим расчетом.

#### Список литературы / References

1. Редчиц Д. А. Аэродинамика трёхлопастного ротора Савониуса / Д.А. Редчиц // Вестник двигателестроения. – 2009. – № 3. – С. 71–76.
2. Редчиц Д. А. Аэродинамика роторов Дарье и Савониуса / Д. А. Редчиц, А. А. Приходько // Авиационно-космическая техника и технология. – 2007. – № 5. – С. 26–31.
3. Сизов Д. А. Верификация комплекса математических моделей аэродинамики и динамики движения ротора Савониуса / Д.А. Сизов, Ю.П. Онушкин, О.А. Краснова, О.Т. Джанибеков. // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. – 2013. - № 1. – С. 148-156.
4. Дзензерский В. О. Математическое моделирование аэродинамики вертикально-осевой ветроэнергетической установки с роторами Дарье и Савониуса / В. О. Дзензерский, С.В. Тарасов, Д. А. Редчиц, Н.М. Хачапуридзе // Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій. – 2012. – № 19. – С. 96–111.
5. Al-Faruk A. Geometrical optimization of a swirling Savonius wind turbine using an open jet wind tunnel / Abdullah Al-Faruk, Ahmad Sharifian // Alexandria Engineering Journal. – 2016. – № 3. – С.2055–2064.
6. Горелов Д. Н. Экспериментальное исследование энергетических характеристик двухъярусного ротора Савониуса / Д.Н. Горелов // Теплофизика и аэромеханика. – 2005. – № 4. – С. 693–696.

7. Norzanah Rosmin. Experimental study for the single-stage and double-stage two-bladed Savonius micro-sized turbine for rain water harvesting (RWH) system / N. Rosmin, A. S. Jauhari, A. H. Mustaal, F. Husin, M. Y. Hassan // *Energy Procedia*. – 2015. – № 68. – С.274–281.
8. Wahyudi B. Optimization design of Savonius diffuser blade with moving deflector for hydrokinetic cross flow turbine rotor/ B. Wahyudi, S. Soeparman, H. W. M. Hoeijmakers // *Energy Procedia*. – 2015. – № 68. – С.244–253.
9. Mahmoud N.H. An experimental study on improvement of Savonius rotor performance/ A.A. El-Haroun, E. Wahba, M.H. Nasef// *Alexandria Engineering Journal*. – 2012. – № 51. – С.19–25.
10. Wenhenubun F., Saputra A., Sutanto H. An experimental study on the performance of Savonius wind turbines related with the number of blades/ F. Wenhenubun, A. Saputra, H. Sutanto // *Energy Procedia*. – 2015. – № 68. – С. 297–304.
11. Torresi M. Performance and flow field evaluation of a Savonius rotor tested in a wind tunnel/ Fabio A. De Benedittis, Bernardo Fortunato, Sergio M. Camporeale// *Energy Procedia*. – 2014. – № 45. – С.207–216.
12. Баев В.И. Повышение эффективности ветроэнергетической установки тип Савониуса / В.И. Баев, Н.В. Прокофьев // Научные основы стратегии развития АПК и сельских территорий в условиях ВТО: материалы международной научно-практической конференции, (Волгоград, 28-30 января 2014 г.) – Волгоград, 2014. –С. 449–503.
13. Шишкин Н. Д. Оценка основных параметров, комбинированных вертикально-осевых ветроэнергоустановок для судов и нефтедобывающих платформ / Н. Д. Шишкин, И. С. Терентьев // *Вестник АГТУ. Сер.: Морская техника и технология*. – 2015. – № 2. – С. 56–63.
14. Promdee C. Effects of Wind Angles and Wind Speedson Voltage Generation of Savonius Wind Turbine with Double Wind Tunnels / Chatchai Promdee, Chonlatee Photong // *Procedia Computer Science*. – 2016. – № 86. – С. 401–404.

#### Список литературы латинскими символами / References in Roman script

1. Redchits D. A. Aerodinamika trekhlopastnogo rotora Savoniusa [Aerodynamics three-blade rotor Savonius] /D.A. Redchits // *Vestnik dvigatelestroeniya [Messenger of engine-building]*. – 2009. –V. 3. – P. 71–76. [in Russian]
2. Redchits D. A. Aerodinamika rotorov Dar'e i Savoniusa [Aerodynamics three-blade rotor Savonius] / D. A. Redchits, A. A. Prihod'ko // *Aviatsionno-kosmicheskaya tekhnika i tekhnologiya [Aerospace equipment and technology]*. – 2007. – V. 5. – P. 26–31. [in Russian]
3. Sizov D. A. Verifikatsiya kompleksa matematicheskikh modeley aerodinamiki i dinamiki dvizheniya rotora Savoniusa [Verification of a complex of mathematical models of verification of a complex of mathematical models of aerodynamics and dynamics of savonius rotor motion aerodynamics and dynamics of savonius rotor motion] / D.A. Sizov, Yu.P. Onushkin, O.A. Krasnova, O.T. Dzhaniybekov. // *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta [ Bulletin of the Samara state space university]*. – 2013. – V. 1. – P. 148-156. [in Russian]
4. Dzenzerskiy V. O. Matematicheskoe modelirovanie aerodinamiki vertikal'no-osevoy vetroenergeticheskoy ustanovki s rotorami Dar'e i Savoniusa [Numerical simulation of aerodynamics of verticalaxis wind turbine with darrieus and savonius rotors] / V. O. Dzenzerskiy, S.V. Tarasov, D. A. Redchits, N.M. Khachapuridze // *Problemi obchislyval'noï mekhaniki i mitsnosti konstruktsey [Problems of computing mechanics and power of designs]*. – 2012. – V.19. – P. 96–111. [in Russian]
5. Al-Faruk A. Geometrical optimization of a swirling Savonius wind turbine using an open jet wind tunnel / Abdullah Al-Faruk, Ahmad Sharifian // *Alexandria Engineering Journal*. – 2016. – V. 3. – P. 2055–2064.
6. Gorelov D. N. Eksperimental'noe issledovanie energeticheskikh kharakteristik dvukh"yarusnogo rotora Savoniusa [Experimental research of energy characteristics of a two-tier Savonius rotor] / D.N. Gorelov // *Teplofizika i aeromekhanika [Thermophysics and aeromechanics]*. – 2005. – V. 4. – P. 693–696. [in Russian]
7. Norzanah Rosmin. Experimental study for the single-stage and double-stage two-bladed Savonius micro-sized turbine for rain water harvesting (RWH) system / N. Rosmin, A. S. Jauhari, A. H. Mustaal, F. Husin, M. Y. Hassan // *Energy Procedia*. – 2015. – V. 68. – P. 274–281.
8. Wahyudi B. Optimization design of Savonius diffuser blade with moving deflector for hydrokinetic cross flow turbine rotor / B. Wahyudi, S. Soeparman, H. W. M. Hoeijmakers // *Energy Procedia*. – 2015. – V. 68. – P. 244–253.
9. Mahmoud N.H. An experimental study on improvement of Savonius rotor performance/ A.A. El-Haroun, E. Wahba, M.H. Nasef// *Alexandria Engineering Journal*. – 2012. – V. 51. – P. 19–25.
10. Wenhenubun F., Saputra A., Sutanto H. An experimental study on the performance of Savonius wind turbines related with the number of blades/ F. Wenhenubun, A. Saputra, H. Sutanto // *Energy Procedia*. – 2015. – V. 68. – P. 297–304.
11. Torresi M. Performance and flow field evaluation of a Savonius rotor tested in a wind tunnel/ Fabio A. De Benedittis, Bernardo Fortunato, Sergio M. Camporeale// *Energy Procedia*. – 2014. – V. 45. – P. 207–216.
12. Baev V.I. Povyshenie effektivnosti vetroenergeticheskoy ustanovki tip Savoniusa [Improving the efficiency of the wind power installation type Savonius] / V.I. Baev, N.V. Prokof'ev // *Nauchnye osnovy strategii razvitiya APK i sel'skikh territoriy v usloviyakh VTO: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Scientific bases of the development strategy of agrarian and industrial complex and rural territories in the conditions of the WTO: materials of the international scientific and practical conference]*, (Volgograd, 28-30 yanvarya 2014 g.) – Volgograd, 2014. –P. 449–503. [in Russian]
13. Shishkin N. D. Otsenka osnovnykh parametrov, kombinirovannykh vertikal'no-osevykh vetroenergoustanovok dlya sudov i nefte dobyvayushchikh platform [Assessment of key parameters, the combined vertically axial wind-mill electric generating units for courts and oil-extracting platforms] / N. D. Shishkin, I. S. Terent'ev // *Vestnik AGTU. Ser.: Morskaya tekhnika i tekhnologiya [AGTU bulletin. Marine facilities and technology]*. – 2015. – V. 2. – P. 56–63. [in Russian]
14. Promdee S. Effects of Wind Angles and Wind Speedson Voltage Generation of Savonius Wind Turbine with Double Wind Tunnels / Chatchai Promdee, Chonlatee Photong // *Procedia Computer Science*. – 2016. – V. 86. – P. 401–404.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.54.211

Бубенчиков А.А.<sup>1</sup>, Белодедов А.Е.<sup>2</sup>, Булычев И.С.<sup>2</sup>, Шепелев А.О.<sup>2</sup><sup>1</sup>Кандидат технических наук, <sup>2</sup>магистрант,

Омский государственный технический университет

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №16-08-00243 а

**АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ РАСЧЕТА АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ СИЛ ДЕЙСТВУЮЩИХ НА КРИВОЛИНЕЙНЫЙ КОНТУР****Аннотация**

*В статье рассмотрена проблема проектирования лопастей ротора типа Савониуса. Приведен обзор методов и алгоритмов расчета аэродинамических сил, действующих на криволинейный контур в режиме отрывного обтекания, с целью выбора оптимальной конструкции ротора Савониуса. Были проанализированы и сравнены два алгоритма расчета, основанные на численном методе в механике жидкостей и газов, а именно на методе дискретных вихрей. В ходе сравнения было установлено, что один из алгоритмов, представленных в обзоре является наиболее многозадачным.*

**Ключевые слова:** ветроэнергетика, аэродинамика, криволинейный контур, ротор Савониуса.

Bubenchikov A.A.<sup>1</sup>, Belodedov A.E.<sup>2</sup>, Bulychev I.S.<sup>2</sup>, Shepelev A.O.<sup>2</sup><sup>1</sup>PhD in Engineering, <sup>2</sup>Undergraduate student,

Omsk State Technical University

This work was supported by grant RFBR and №16-08-00243

**ANALYSIS OF ALGORITHMS FOR THE CALCULATION OF THE AERODYNAMIC FORCES ACTING ON THE CURVILINEAR CONTOUR****Abstract**

*The article considers the problem of designing the blades of a Savonius rotor. An overview of the methods and algorithms of calculation of the aerodynamic forces acting on a curved contour in the regime of separated flow, to select the optimal design of a Savonius rotor. Was analyzed and compared two algorithms of calculation based on numerical method in the mechanics of liquids and gases, namely, on the method of discrete vortices. During the comparison it was found that one of the algorithms presented in the review is the most multi-tasking.*

**Keywords:** wind energy, aerodynamics, curvilinear contour, the Savonius rotor.

**В** результате проведенного обзора конструктивных решений энергоустановок на основе возобновляемых видов энергии и анализа работ, посвященных исследованиям аэродинамики вертикально-осевых ветроэнергетических установок, установлено следующее:

1. Большая часть производства электроэнергии в настоящее время приходится на энергоустановки, использующие традиционные источники энергии. Электростанции на таких источниках усугубляют экологическое положение за счет загрязнения окружающей среды, обусловленного выбросами вредных веществ в атмосферу. Для формирования экологически благоприятной структуры энергобаланса России всё чаще рассматривается возможность привлечения в топливно-энергетический баланс нетрадиционных возобновляемых источников.

Одним из перспективных направлений в этой области является использование ветровой энергии, так как эти установки не имеют выбросов вредных веществ в атмосферу.

2. На современном этапе развития нетрадиционной энергетики накоплено значительное количество конструктивных решений вертикально-осевых ветроэнергетических установок с использованием ротора типа Савониуса, но отсутствуют точные данные, позволяющие судить о влиянии геометрических размеров ротора на различные характеристики энергоустановки, а также отсутствует методики по оптимизации параметров и выбора конструкции ротора. Таким образом, необходимость и актуальность получения этих данных, которые в дальнейшем могут быть использованы при проектировании и строительстве энергетических установок подобного рода очевидна.

В связи с этим в рамках статьи была поставлена задача обзора методов и алгоритмов расчета аэродинамических сил, действующих на криволинейный контур в режиме отрывного обтекания, с целью выбора оптимальной конструкции ротора Савониуса.

Основные преимущества вертикальноосевых ветроустановок с роторами Савониуса [1, 2]:

- отсутствие необходимости ориентации на ветер, и, как следствие, простота конструкции, обусловленная отсутствием специальных ориентирующих устройств;
- большой начальный момент (возможность страгивания ротора ВЭУ практически из любого начального азимутального положения при весьма малых скоростях ветра);
- невысокая угловая скорость вращения по сравнению с горизонтальноосевыми ВЭУ, и, следовательно, низкие центробежные нагрузки;
- простота крепления лопастей, что снижает конструктивные требования к ним;
- возможность размещения электротехнического оборудования в основании ВЭУ, что снижает требования к жесткости опоры, а также уменьшает стоимость технического обслуживания и ремонта.

Расчет характеристик ВЭУ с вертикальной осью вращения серьезно осложняется некоторыми особенностями их аэродинамики. Лопасти, находящиеся дальше других в направлении набегающего потока, работают в вихревом следе, образуемом за лопастями, которые находятся с наветренной стороны ротора. Возникновение следа связано с наличием у лопастей острых кромок. Вихревой след вносит в поток серьезные возмущения, и его параметры (скорость, направление течения) могут в значительной степени отличаться от параметров на бесконечном удалении от ротора. Таким образом, процесс обтекания лопастей является нелинейным нестационарным, и для его описания не могут применяться подходы, основу которых составляет линейная теория крыла конечного или бесконечного размаха.

Обусловленное мировой тенденцией отказа от использования углеводородов как основного источника энергии расширение доли ветроэнергетики в мировой энергетике требует создания более совершенных методов конструирования ВЭУ. Увеличение линейных размеров роторов как неизбежное следствие увеличения их мощности обусловило необходимость учета нагрузок на лопасти, взаимовлияния лопастей, изучения скоростей потока вблизи ротора и в вихревом следе за ним.

М. И. Ништ, И. А. Белов и А. И. Шуб [3] провели в плоской постановке численные исследования нестационарного отрывного обтекания изолированного тонкого профиля в форме дуги окружности, установленного под произвольным углом атаки в дозвуковом потоке несжимаемой жидкости, заложив, таким образом, основу для моделирования аэродинамики ротора Савониуса. В. Островой [4] создал математическую модель ВЭУ с ротором Савониуса на основе МДВ в плоской постановке задачи, позволяющую получать картины вихревых следов за ротором, поля скоростей потока вблизи него и мощностные характеристики ВЭУ. Но при этом, к сожалению, рассматривался лишь установившийся режим работы ветроустановки, т.е. при постоянных оборотах. Другим важным недостатком этой работы является использование лишь плоской постановки задачи, что заведомо не позволяет учесть влияние удлинения лопастей ротора на его характеристики.

Также в плоской постановке МДВ В. К. Вашкевичем и В.В. Самсоновым был разработан способ определения мощностных характеристик для ветроустановок с ротором Дарье [5]. При этом среда полагалась идеальной, а обтекание безотрывным. При помощи типичного для МДВ интеграла Коши - Лагранжа вычислялись нормальные силы на профиле, которые затем использовались для расчета тянущих (окружных) сил, который основывался на известных аэродинамических характеристиках профиля лопасти. Недостатком этой работы также является исследование лишь установившегося режима работы ВЭУ.

В. Самсонов [6] также использовал для расчета аэродинамических характеристик ветроколес с вертикальной осью вращения импульсную теорию, в которой нагрузки на лопастях определяются исходя из условия баланса энергии между двумя областями (по отношению к ветроколесу) — наветренной и подветренной. Главным недостатком этого метода является неучет образования зон обратного течения, существенно влияющих на характеристики роторов.

Д. А. Редчиц [7] для создания математической модели ротора Савониуса использовал осредненные по Рейнольдсу уравнения Навье - Стокса, замкнутые при помощи моделей турбулентности (RANS). Основным недостатком его работы также является использование лишь плоской постановки задачи. Д. А. Редчиц рассматривал не только установившийся режим работы ротора: большое внимание было уделено процессу раскрутки ротора и самой возможности его пуска из произвольного начального азимутального положения. Но в указанной работе, несмотря на рассчитанные коэффициенты крутящего момента, не определялись мощностные характеристики ВЭУ и зависимость их от геометрии ротора.

В последнее десятилетие в зарубежной литературе появляется все больше работ, посвященных вертикальноосевым ветроэнергетическим установкам, в первую очередь с ротором Савониуса. Много работ посвящено численному (с использованием сеточных методов) и натурному моделированию классических [8-10] и новых конфигураций роторов Савониуса — винтовых [11-14], многоярусных [15, 16], с центральным телом и складывающимися лопастями [17], с направляющими пластинами и дефлекторами различных конфигураций [18-20]. Изучается также возможность работы роторов Савониуса в воде, с использованием энергии приливов и отливов [21-23]. Существуют работы, посвященные исследованию систем ротор Савониуса - ротор Дарье (см., например, [24, 25]). В связи с все большим распространением крупных высотных зданий активно обсуждаются конфигурации роторов, пригодные для установки на крышах небоскребов.

В 2013 г. была опубликована работа [26] франко-канадской группы ученых, которые провели исследования энергетической эффективности двух роторов Савониуса различного удлинения в пространственной постановке методом RANS с использованием коммерческих пакетов CD-Adapco Star-CCM+ и CFdesign 2010. Решение столь сложной задачи, безусловно, требует весьма значительных вычислительных мощностей, поэтому в обозримом будущем такой подход вряд ли получит широкое распространение на предприятиях, специализирующихся на производстве ВЭУ.

Для расчета аэродинамики ротора Савониуса используются численные методы в механике жидкостей и газов. Это обусловлено тем, что большинство процессов в аэродинамике может быть описано системой нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных — уравнений Навье-Стокса.

Все численные методы в механике жидкостей и газов можно условно разделить на сеточные и вихревые методы.

Сеточные методы особенны тем, что они являются дискретизацией не только поверхности самого объекта, но и окружающего его пространства. Они включают в себя метод конечных разностей, метод конечных элементов, метод граничных элементов, метод конечных объемов. При использовании таких методов ставится задача моделирования явления турбулентности: прямое численное моделирование турбулентности, метод моделирования крупных вихрей, метод с применением уравнений Рейнольдса, замкнутых при помощи моделей турбулентности, метод моделирования отсоединенных вихрей, а также группа методов «частицы в ячейках».

В вихревых методах используется иной подход — отсутствие сетки, и использование свободных вихревых частиц. К ним относятся метод вязких доменов, метод дискретных вихрей (МДВ). Метод вязких вихревых доменов базируется на решении дифференциальных уравнений Навье-Стокса вязкой несжимаемой жидкости с использованием лагранжевых координат.

Метод дискретных вихрей имеет сравнительно небольшую вычислительную сложность при вполне достаточной для инженерных расчетов точности. Это обусловлено тем, что в своей классической постановке МДВ не учитывает вязкости жидкости, это не вносит существенной погрешности в случае ветроэнергетической установки с роторами Савониуса, потому что влияние жидкого трения на эксплуатационные характеристики в этом случае невелико. Именно поэтому большинство алгоритмов расчета аэродинамических характеристик ротора типа Савониуса основаны на этом методе.



Алгоритмы исследующие конструкционные особенности ротора и алгоритмы, уточняющие аэродинамические параметры. Одним из наиболее точных является алгоритм, представленный Сизовым Дмитрием Александровичем [27]. Он состоит из следующих пунктов:

1) Постановка задачи и ввод исходных данных (граничных условий). Задача формируется в нестационарной постановке, поэтому все условия должны выполняться в каждый расчетный момент времени. При численном решении непрерывные функции изменения кинематических параметров во времени заменяются совокупностью их дискретных значений через равные промежутки безразмерного времени.

2) Построение вихревой схемы. Непрерывный вихревой слой и вихревые следы моделируются присоединенными дискретными вихрями. Это позволяет перейти к системе линейных алгебраических уравнений, которую необходимо решить относительно напряженностей присоединенных дискретных вихрей. Для составления системы используется условие непротекания. Циркуляции свободных вихрей, сошедших в поток, со временем не изменяются.

3) Проверка номера расчетного шага. При этом начинает циклически выполняться процедура, соответствующая одному расчетному шагу это, повторяется до тех пор, пока не будет достигнуто заданное количество шагов. Расчетная часть шага включает в себя:

- а) рассмотрение схода свободных вихрей;
  - б) формирование матрицы и решение системы уравнений относительно циркуляций;
  - с) вычисление кинематических параметров ротора;
  - д) вычисление скорости потока в точке (вычисление безразмерных давлений и крутящего момента при повороте ротора расчет нового положения свободных вихрей, визуализация процесса обтекания);
  - е) расчет динамических параметров ротора;
- 4) Построение графиков

В результате выполнения алгоритма происходит исследование на основе уравнений Навье-Стокса, выполняется анализ вихревых структур при обтекании ротора Савониуса, исследование его аэродинамических параметров, что позволяет исследовать и оптимизировать конструкцию ротора.

Несмотря на многочисленные труды в области нелинейной теории крыла, вопросы моделирования схода вихревых следов с разомкнутого контура при его нестационарном отрывном обтекании до сих пор остаются актуальными.

Процедура дискретизации по времени позволила свести исходную начально-краевую задачу к решению двух задач, одна из которых представляет собой задачу Коши, связанную с решением нелинейного дифференциального уравнения (1) для момента времени  $t_n$ ,  $n > 1$ , при задании начальных условий в момент времени  $t_{n-1}$ , а другая является краевой задачей для рассматриваемого момента времени  $t_n$ .

$$\begin{aligned} \frac{d\bar{z}_{wj}}{dt} &= \bar{v}_0(z_{wj}, t), \quad z_{wj} \in L_{wj}(t), \\ z_{wj}(0, \tilde{t}) &= z_{*j}, \quad \bar{v}_0(z_{wj}, \tilde{t}) = \frac{(\bar{v}^- + \bar{v}^+)}{2}, \quad \tilde{t} \in [0, t]. \end{aligned} \quad (1)$$

Уравнение (1) для моментов времени  $t_n$ ,  $n > 1$ , линеаризуется уравнением:

$$\bar{z}_{wk}^j(t_n) = \bar{z}_{wk}^j(t_{n-1}) + \Delta t_n \bar{v}(z_{wk}^j(t_{n-1}), t_{n-1}), \quad k < n, n \geq 2. \quad (2)$$

Краевая задача для каждого момента времени  $t_n$ ,  $n > 1$ , сводится к решению системы уравнений (3), (4), (5).

$$\operatorname{Im} \left\{ e^{i\theta(z_{0q})} \left[ \frac{1}{2\pi i} \sum_{m=1}^N \frac{\Gamma_m(t_n)}{z_{0q}(t_n) - z_m(t_n)} + \frac{1}{2\pi i} \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^n \frac{\Gamma_{wk}^j}{z_{0q}(t_n) - z_{wk}^j(t_n)} - \bar{U}(z_{0q}, t_n) \right] \right\} = 0$$

$$q = 0, \dots, N. \quad (3)$$

$$\sum_{m=1}^N [\Gamma_m(t_n) - \Gamma_m(t_{n-1})] + \sum_{j=1}^2 \Gamma_{wn}^j = 0 \quad (4)$$

$$\begin{aligned} f_{nj}(\delta_{1n}^j, \delta_{2n}^j) &= \mu \Gamma_{wn}^j - w_j(t_n) \gamma(s_{*j}, t_n) \Delta t_n = 0, \\ \mu &= \begin{cases} \frac{3}{2}, & n = 1, \\ 1, & n > 1, \end{cases} \quad j=1,2. \end{aligned} \quad (5)$$

Отметим, что уравнение (5), определяющее координаты свободных дискретных вихрей, непосредственно сходящих с контура, являются нелинейными и требуют построения дополнительного алгоритма решения.

Алгоритм численного решения задачи, предложенный Говоровой Анастасией Ивановной [28], включает в себя определение перепада давления на контуре, что становится возможным после решения кинематической задачи. Кроме того, на каждом временном шаге вычисляются также скорости схода вихревых следов и интенсивности вихревого слоя в точках схода. Эти величины необходимы для решения нелинейных уравнений (5).

Общая структура алгоритма численного решения рассматриваемой задачи отражена в блок-схеме (рис. 1).

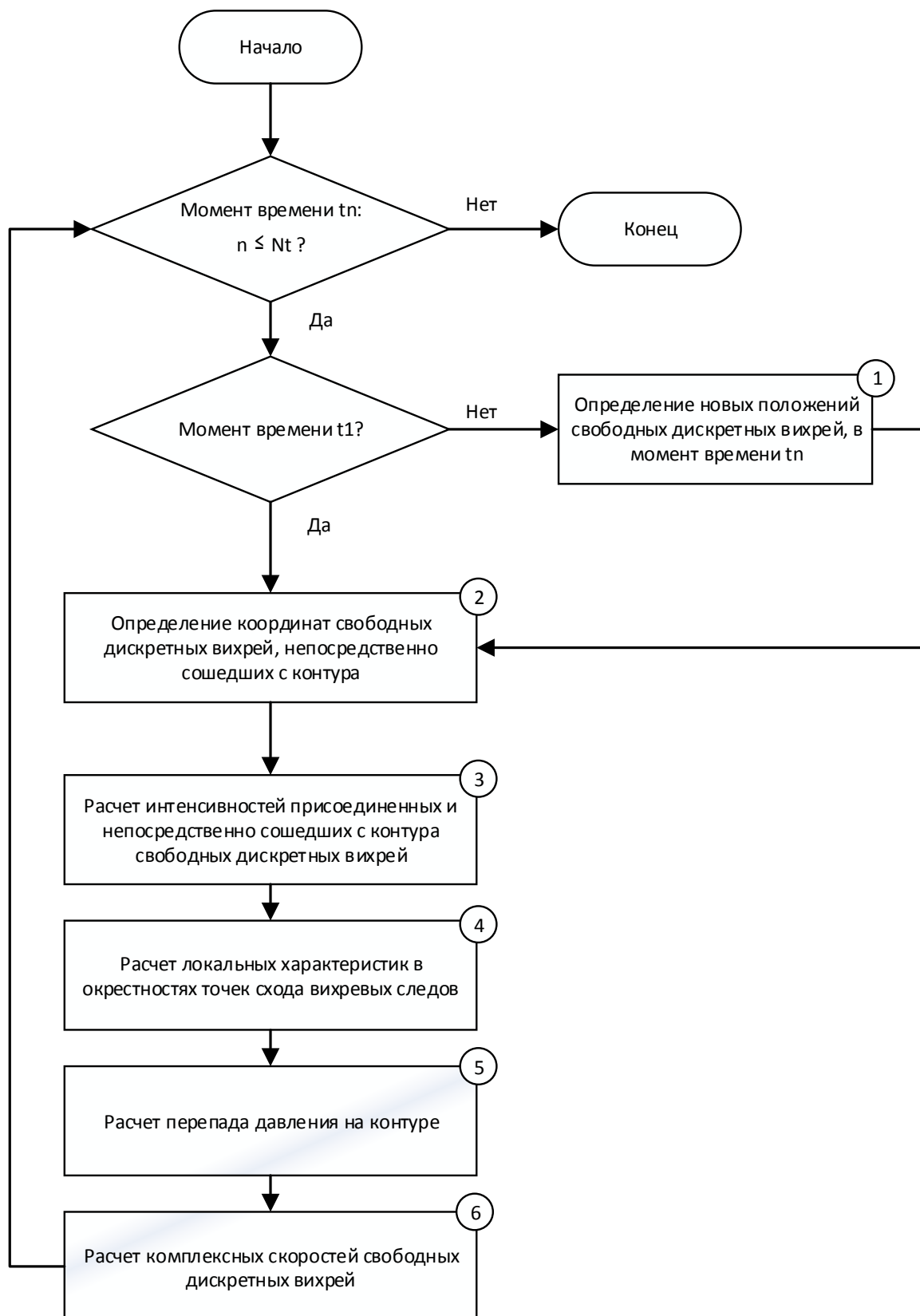


Рис. 1 – Блок-схема алгоритма численного решения задачи

Приведем описание алгоритма по данной блок-схеме:

1. Постановка задачи (задание граничных условий);
2. Процедура дискретизации по времени;
3. Определение новых положений дискретных вихрей. В данном пункте происходит дискретное моделирование контура и вихревых следов. После численного расчета дискретные вихри моделируются точечными вихрями, что позволяет составить системы уравнений для определения интенсивностей дискретных вихрей. После составления системы уравнений, становится возможным численное решение задачи Коши для определения координат свободных дискретных вихрей.
4. Определение координат свободных дискретных вихрей, непосредственно сошедших с контура.

Этот шаг включает в себя поиск положений, непосредственно сходящих свободных дискретных вихрей, или корней нелинейных уравнений (6):

$$\bar{z}_{wk}^j(t_n) = \bar{z}_{wk}^j(t_{n-1}) + \Delta t_n \bar{v}(z_{wk}^j(t_{n-1}), t_{n-1}), \quad k = 1, \dots, n-1, n \geq 2. \quad (6)$$

Особенность нелинейных уравнений (6) состоит в том, что их решение зависит от решения всей задачи, и функция  $f_{nj}(z_{wk}^j(\delta_{1n}^j, \delta_{2n}^j)), n \geq 1, j = 1, 2$ , зависит от комплексной координаты. Будем решать эти уравнения методом перебора значений безразмерных величин  $\delta_{1n}^j, \delta_{2n}^j$  в безразмерной области  $\Omega = [0, 1] \times [0, 1]$ . Хотя такой способ занимает достаточно много машинного времени при расчете, но он позволяет найти численно все возможные решения этих уравнений в заданной области, что помогает увидеть их структуру.

Поиск нулей функции  $f_{nj}(\delta_{1n}^j, \delta_{2n}^j)$  для каждого момента времени  $t_n$  проводится последовательно (независимо друг от друга): сначала для кромки  $A$  при фиксированном начальном положении  $z_{wk}^2(t_n)$  дискретного вихря, непосредственно сошедшего с кромки  $B$ , затем для кромки  $B$  при найденной координате  $z_{wk}^1(t_n)$  дискретного вихря, непосредственно сошедшего с кромки  $A$ . Итак, опишем алгоритм решения уравнения (6) для кромки  $A, j = 1$ .

При численном решении область  $\Omega$  заменяется сеткой с шагом  $h = 1/N_h$ , где  $N_h$  число разбиений промежутка  $[0, 1]$ . Заметим, что сетка накладывается на ту четверть локальной координатной плоскости  $A\xi_1\eta_1$ , в которой находится вихревой след  $L_{w1}$  (рис. 2).

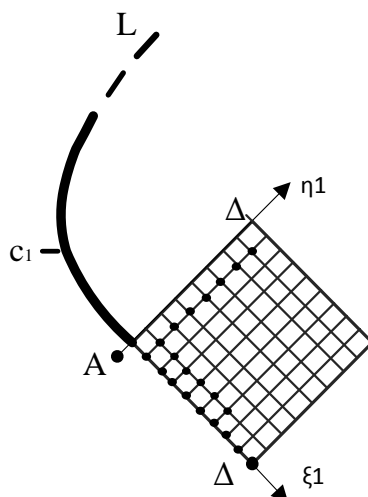


Рис. 2 – К определению положения непосредственно сходящих свободных дискретных вихрей

Алгоритм поиска решений уравнений (6) состоит из двух вложенных циклов.

ЦИКЛ 1 по переменной  $k_1 = 1, \dots, N_h$ .

1. Задаем величину  $\delta_{1n}^1(k_1) = k_1 h$ .

2. ЦИКЛ 2 по переменной  $k_2 = 0, \dots, N_h$ . Заметим здесь, что значение  $k_2 = 0$  определяет расположение свободного дискретного вихря по касательной к контуру.

2.1 Задаем величину  $\delta_{2n}^1(k_2) = k_2 h$ .

2.2 Определяем очередное положение свободного дискретного вихря, непосредственно сошедшего с кромки  $A$ , по формуле:

$$z_{wn}^1(\delta_{1n}^1, \delta_{2n}^1) = z_{*1} + \Delta(\delta_{1n}^1 e^{i\hat{\theta}_{\xi}} + \delta_{2n}^1 e^{i\hat{\theta}_{\eta}}) \quad (7)$$

Здесь  $\hat{\theta}_{\xi_1}, \hat{\theta}_{\eta_1}$  – углы между осями  $A\xi_1, Ox$  и  $A\eta_1, Ox$  соответственно.

2.3 Определяем интенсивности  $\Gamma_m(t_n), m = 1, \dots, N$ , присоединенных дискретных вихрей и  $\Gamma_{wn}^1, \Gamma_{wn}^2$  непосредственно сходящих с контура свободных дискретных вихрей из системы уравнений. Теперь, при задании координат  $z_{wn}^j$ , эта система замкнута и линейна.

2.4 По найденным значениям интенсивностей аппроксимируем функцию  $\gamma(s, t_n)$  при  $s \in [c_0, c_3]$ , определяющую интенсивность вихревого слоя, моделирующего пластинку  $L$ . Эта аппроксимация позволяет вычислить значение  $\gamma_w(0, t_n) = \gamma(s_{*1}, t_n)$ .

2.5 Определяем скорость схода  $w_1(t_n)$  на кромке  $A$  по формуле

$$w_j(t_n) = \operatorname{Re}\{\bar{v}(z_{*j}, t_n) - \bar{U}(z_{*j}, t_n)\} e^{i\theta_{*j}}, \quad n \geq 1, j = 1, 2. \quad (8)$$

2.6 Находим значение функции

$$f_{n1}^{k_2}(\delta_{1n}^1, \delta_{2n}^1) = \mu \Gamma_{wn}(t_n) - w_1(t_n) \gamma(0, t_n) \Delta t_n. \quad (9)$$

2.7 Проверяем знак произведения  $f_{n1}^{k_2-1} f_{n1}^{k_2}$  (для  $k_2 = 1, \dots, N_h$ ). Отрицательное значение произведения свидетельствует о наличии нуля  $\delta_{2n}^{1\lambda}$  рассматриваемой функции на промежутке  $[\delta_{2n}^1(k_2 - 1), \delta_{2n}^1(k_2)]$ . Здесь  $\lambda = 1, \dots, \Lambda(\delta_{1n}^1(k_1))$  – номер нуля функции, соответствующего значению  $\delta_{1n}^1(k_1)$ . Находим этот нуль с заданной точностью.

После завершения работы двух циклов имеем множество решений уравнения (6). Причем одному значению безразмерной величины  $\delta_{1n}^1$  может соответствовать несколько значений  $\delta_{2n}^1$  и наоборот.

Аналогичным образом находятся нули функции  $f_{n2}(\delta_{1n}^2, \delta_{2n}^2), n \geq 1$ , для кромки  $B$  при найденном значении положения  $z_{wn}^1$  свободного дискретного вихря, непосредственно сошедшего с кромки  $A$ .

5. Расчет интенсивностей, присоединенных и непосредственно сходящих с контура свободных дискретных вихрей. Интенсивности присоединенных дискретных вихрей на контуре и интенсивности непосредственно сошедших с контура свободных дискретных вихрей в момент времени  $t_n$  определяются решением системы уравнений при заданных (определенных из предыдущего шага) координатах свободных дискретных вихрей, непосредственно сошедших с контура.

6. Расчет локальных характеристик в точках схода вихревых следов. На основе расчета значений интенсивностей присоединенных дискретных вихрей для каждого момента времени  $t_n$  в точках схода вихревых следов вычисляются следующие локальные характеристики:

- интенсивность вихревого слоя, моделирующего контур;
- скорости схода вихревых следов.

7. Расчет перепада давления на контуре. На основе расчета значений суммарных интенсивностей присоединенных дискретных вихрей для каждого момента времени  $t_n$  определяется перепад давления на контуре в точках его разбиения.

8. Расчет комплексных скоростей свободных дискретных вихрей. Для определения новых положений свободных дискретных вихрей в следе в момент времени  $t_{n+1}$ , необходимо вычислить значения комплексных скоростей в этих точках в момент времени  $t_n$ .

Данный алгоритм позволяет увеличить количество решений задач отрывного нестационарного обтекания разомкнутых контуров, а также проводить расчет динамических характеристик, в том числе перепад давления контура в точках, координаты сходящих дискретных вихрей и скорость схода вихревых следов.

Таблица 1 – Сравнение алгоритмов расчета криволинейного контура

	Алгоритм Сизова Д.А.	Алгоритм Говоровой А.И.
1. Постановка задачи	Возможна пространственная и плоская постановки задачи (возможно провести расчет как лопастей ротора (совокупности модулей), так и разомкнутого контура, моделируемого системой дискретных прямолинейных вихревых шнуров бесконечной длины)	Возможна плоская постановка задачи ( расчет разомкнутого криволинейного контура)
2. Система дискретных вихрей представлена	Присоединенными дискретными вихрями	Присоединенными дискретными вихрями и вихрями непосредственно сошедшими с контура
3. Задача рассчитана	Системой линейных алгебраических уравнений	Системой нелинейных алгебраических уравнений
4. Рассчитываемые параметры	- вычисление кинематических параметров ротора; - расчет динамических параметров ротора;	- расчет динамических параметров контура;
5. Реализация результатов расчета	Данный алгоритм позволяет провести исследование на основе уравнений Навье-Стокса. При работе с алгоритмом выполняется анализ вихревых структур при обтекании ротора Савониуса, исследование его аэродинамических параметров, что позволяет исследовать и оптимизировать конструкцию ротора.	Данный алгоритм позволяет увеличить количество решений задач отрывного нестационарного обтекания разомкнутых контуров.

В зависимости от постановки задачи расчета возможно использование одного из приведенных выше алгоритмов.

#### Список литературы / References

1. Ветроэнергетика / под ред. Д. де Рензо; пер. с англ.; под ред. Я. И. Шефтера. – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 272 с.
2. Onawumi A. S. A Review of Savonius Wind Turbine as a Source of Energy Generation in Nigeria / A. S. Onawumi, O. S. Olaye // International Journal of Emerging trends in Engineering and Development. – 2011. – Issue 1. – Vol. 3. – pp. 325–336.
3. Белов И. А. Численное исследование отрывного обтекания криволинейных поверхностей / И. А. Белов, М. И. Ништ, Л. И. Шуб // Научно-методические материалы по аэродинамике летательных аппаратов; под ред. М. И. Ништа. – М.: ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского, 1981. – С. 89–124.
4. Островой А. В. Метод дискретных вихрей в задачах отрывного обтекания ортогональных роторов ветросиловых установок: дис. ... канд. тех. наук: 01.02.05 / Островой Александр Владимирович. – Самара: СГАУ им. академика С. П. Королева, 2003. – 183 с.

5. Вашкевич К. П. Расчет аэродинамических характеристик ветроколес вертикально-осевого типа с использованием метода дискретных вихрей / К. П. Вашкевич, В. В. Самсонов // Промышленная аэродинамика. Аэродинамика лопаточных машин, каналов, струйных аппаратов и ветровых нагрузок. – 1998. – Вып. 3 (35). – С. 159–170.
6. Самсонов В. В. Усовершенствованный метод расчета аэродинамических характеристик ветроколес вертикально-осевого типа, основанный на импульсной теории / В. В. Самсонов // Промышленная аэродинамика. Аэродинамика лопаточных машин, каналов, струйных аппаратов и ветровых нагрузок – 1998. – Вып. 3 (35). – С. 171–182.
7. Редчиц Д. А. Моделирование нестационарных турбулентных течений при обтекании подвижных тел сложной геометрии на основе уравнений Навье - Стокса / Д. А. Редчиц // Вестник Харьковского национального университета. Серия «Математическое моделирование. Информационные технологии. Автоматизированные системы управления». – 2009. – №847. – С. 150–166.
8. Gupta R. Flow Physics of a Three-Bucket Savonius Rotor using Computational Fluid Dynamics (CFD) / R. Gupta, K. K. Sharma // International Journal of research in Mechanical engineering and technology. – 2011. – Issue 1. – Vol. 1. – pp. 46–51.
9. Kamojia M. A. Experimental investigations on single stage modified Savonius rotor / M. A. Kamojia, S. B. Kedare, S. V. Prabhu // Applied Energy. – 2009. – Vol. 86. – pp. 1064–1073.
10. Tong Zhou Numerical study of detailed flow field and performance of Savonius wind turbines / Tong Zhou, Dietmar Rempfer // Renewable Energy. – 2013. – Vol. 51. – pp. 373–381.
11. Damak A. Experimental investigation of helical Savonius rotor with a twist of 180° / A. Damak, Z. Driss, M. S. Abid // Renewable Energy. – 2013. – Vol. 52. – pp. 136–142.
12. Kamojia M. A. Performance tests on helical Savonius rotors / M. A. Kamojia, S. B. Kedare, S. V. Prabhu // Renewable Energy. – 2009. – Vol. 34. – pp. 521–529.
13. Saha U. K. On the performance analysis of Savonius rotor with twisted blades / U. K. Saha, M. Jaya Rajkumar // Renewable Energy. – 2006. – Vol. 31. – pp. 1776–1788.
14. Saha U. K. Twisted bamboo bladed rotor for Savonius wind turbines / U. K. Saha, P. Mahanta, A. S. Grinspan, P. S. Kumar, P. Goswami // Journal of the Solar Energy Society of India (SESI). – 2005. – Vol. 4. – pp. 1–10.
15. Menet J.-L. A double-step Savonius rotor for local production of electricity: a design study / J.-L. Menet // Renewable Energy. – 2004. – Vol. 29. – pp. 1843–1862.
16. Saha U. K. Optimum design configuration of Savonius rotor through wind tunnel experiments / U. K. Saha, S. Thotla, D. Maity // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. – 2008. – Vol. 96. – pp. 1359–1375.
17. Bo Yang Fluid dynamic performance of a vertical axis turbine for tidal currents // Bo Yang, Chris Lawn. – Renewable Energy. – 2011. – Vol. 36. – pp. 3355–3366.
18. Buripin Deda Altan. An experimental study on improvement of a Savonius rotor performance with curtaining / Buripin Deda Altan, Mehmet Atilgan, Aydog, Ozdamar // Experimental Thermal and Fluid Science. – 2008. – Vol. 32. – pp. 1673–1678.
19. Kailash Golecha. Influence of the deflector plate on the performance of modified Savonius water turbine / Kailash Golecha, T.I. Eldho, S.V. Prabhu // Applied Energy. – 2011. – Vol. 88. – pp. 3207–3217.
20. Pope K. Effects of stator vanes on power coefficients of a zephyr vertical axis wind turbine / K. Pope, V. Rodrigues, R. Doyle, A. Tsopelas, R. Gravelsins, G. F. Naterer, E. Tsang // Renewable Energy. – 2010. – Vol. 35. – pp. 1043–1051.
21. Bin Yaakob O. Computer simulation studies on the effect overlap ratio for Savonius type vertical axis marine current turbine / O. Bin Yaakob, K.B. Tawi, D.T. Suprayogi Sunanto // IJE Transactions A: Basics. – 2010. – Vol. 23. – No. 1. – pp. 79–88.
22. Nahidul Khan. On scaling laws for Savonius water current turbines / Nahidul Khan, Michael Hinchey, Tariq Iqbal, Vlastimil Masek // Journal of Ocean Technology. – 2010. – Vol. 5. – No. 2. – pp. 93–101.
23. Nahidul Khan. Performance of Savonius rotor as a water current turbine / Nahidul Khan, Michael Hinchey, Tariq Iqbal, Vlastimil Masek // Journal of Ocean Technology. – 2009. – Vol. 4. – No. 2. – pp. 72–83.
24. Gupta R. Comparative study of a three-bucket Savonius rotor with a combined three-bucket Savonius –three-bladed Darrieus rotor / R. Gupta, A. Biswas, K. K. Sharma // Renewable Energy. – 2008. – Vol. 3 – pp. 1974–1981.
25. Gupta R. Sharma Flow physics of a combined Darrieus-Savonius rotor using computational fluid dynamics (CFD) / R. Gupta, K. K. Sharma // International Research Journal of Engineering Science, Technology and Innovation. – 2012. – Vol. 1(1). – pp. 1–13.
26. Pope K. Effects of stator vanes on power coefficients of a zephyr vertical axis wind turbine / K. Pope, V. Rodrigues, R. Doyle, A. Tsopelas, R. Gravelsins, G. F. Naterer, E. Tsang // Renewable Energy. – 2010. – Vol. 35. – pp. 1043–1051.
27. Сизов Д.А. Развитие и применение метода дискретных вихрей в задачах аэродинамики и динамики ротора Савониуса: дис. ... канд. тех. наук: 01.02.05 / Сизов Дмитрий Александрович. – Казань: Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева, 2013. – 153 с.
28. Говорова А.И. Математическое моделирование нестационарного отрывного обтекания разомкнутого контура: дис. ... канд. физ.-мат. наук: 01.01.07 / Говорова Анастасия Ивановна. – Омск: Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского, 2015. – 92 с.

#### Список литературы латинскими символами / References in Roman script

1. Vetrojenergetika [Wind energy] / edited by. D. de Renzo; trans. from English; edited by Ja. I. Sheftera. – М.: Jenergoatomizdat, 1982. – 272 pp. [in Russian]
2. Onawumi A. S. A Review of Savonius Wind Turbine as a Source of Energy Generation in Nigeria / A. S. Onawumi, O. S. Olaoye // International Journal of Emerging trends in Engineering and Development. – 2011. – I. 1. – V. 3. – P. 325–336.
3. Belov I. A. Chislennoe issledovanie otryvnogo obtekanija krivolinejnyh poverhnostej [Numerical study of separated flow around curved surfaces] / I. A. Belov, M. I. Nisht, L. I. Shub // Nauchno-metodicheskie materialy po aerodinamike letatel'nyh apparatov [Scientific and methodical materials on aerodynamics of aircraft]; edited by. M. I. Nishta. – М.: VVIA named by prof. N. E. Zhukovskogo, 1981. – P. 89–124. [in Russian]

4. Ostrovoj A. V. Metod diskretnykh vihrej v zadachah otryvnogo obtekanija ortogonal'nyh rotorov vetrosilovykh ustanovok [The method of discrete vortices in the separated flow task orthogonal rotors of wind turbines] : dis. ... of PhD in Engineering: 01.02.05 / Ostrovoj Aleksandr Vladimirovich. – Samara: SGAU named by academic S. P. Koroleva, 2003. – 183 p. [in Russian]
5. Vashkevich K. P. Raschet ajerodinamicheskikh harakteristik vetrokoles vertikal'no-osevogo tipa s ispol'zovaniem metoda diskretnykh vihrej [The calculation of the aerodynamic characteristics of the propeller vertical-axis type using the method of discrete vortices] / K. P. Vashkevich, V. V. Samsonov // Promyshlennaja ajerodinamika. Ajerodinamika lopatochnykh mashin, kanalov, strujnykh apparatov i vetrovykh nagruzok [Industrial aerodynamics. Aerodynamics of impeller machines, channels, jet devices and wind loadings]. – 1998. – V. 3 (35). – P. 159–170. [in Russian]
6. Samsonov V. V. Uovershenstvovannyj metod rascheta ajerodinamicheskikh harakteristik vetrokoles vertikal'no-osevogo tipa, osnovannyj na impul'snoj teorii [An improved method for the calculation of the aerodynamic characteristics of the propeller vertical-axis type based on the impulse theory] / V. V. Samsonov // Promyshlennaja ajerodinamika. Ajerodinamika lopatochnykh mashin, kanalov, strujnykh apparatov i vetrovykh nagruzok [Industrial aerodynamics. Aerodynamics of impeller machines, channels, jet devices and wind loadings] – 1998. – V. 3 (35). – P. 171–182. [in Russian]
7. Redchic D. A. Modelirovanie nestacionarnykh turbulentnykh techenij pri obtekanii podvizhnykh tel slozhnoj geometrii na osnove uravnenij Nav'e – Stoksa [Modeling unsteady turbulent flows in the flow of moving bodies of complex geometry on the basis of the Navier - Stokes equations] / D. A. Redchic // Vestnik Har'kovskogo nacional'nogo universiteta. Serija «Matematicheskoe modelirovanie. Informacionnye tehnologii. Avtomatizirovannye sistemy upravlenija» [Bulletin of the Kharkiv national university. Series "Mathematical modeling. Information technologies. Automated control systems"]. – 2009. – V. 847. – P. 150–166. [in Russian]
8. Gupta R. Flow Physics of a Three-Bucket Savonius Rotor using Computational Fluid Dynamics (CFD) / R. Gupta, K. K. Sharma // International Journal of research in Mechanical engineering and technology. – 2011. – I. 1. – V. 1. – P. 46–51.
9. Kamojia M. A. Experimental investigations on single stage modified Savonius rotor / M. A. Kamojia, S. B. Kedare, S. V. Prabhu // Applied Energy. – 2009. – V. 86. – P. 1064–1073.
10. Tong Zhou. Numerical study of detailed flow field and performance of Savonius wind turbines / Tong Zhou, Dietmar Rempfer // Renewable Energy. – 2013. – V. 51. – P. 373–381.
11. Damak A. Experimental investigation of helical Savonius rotor with a twist of 180° / A. Damak, Z. Driss, M. S. Abid // Renewable Energy. – 2013. – V. 52. – P. 136–142.
12. Kamojia M. A. Performance tests on helical Savonius rotors / M. A. Kamojia, S. B. Kedare, S. V. Prabhu // Renewable Energy. – 2009. – V. 34. – P. 521–529.
13. Saha U. K. On the performance analysis of Savonius rotor with twisted blades / U. K. Saha, M. Jaya Rajkumar // Renewable Energy. – 2006. – V. 31. – P. 1776–1788.
14. Saha U. K. Twisted bamboo bladed rotor for Savonius wind turbines / U. K. Saha, P. Mahanta, A. S. Grinspan, P. S. Kumar, P. Goswami // Journal of the Solar Energy Society of India (SESI). – 2005. – V. 4. – P. 1–10.
15. Menet J.-L. A double-step Savonius rotor for local production of electricity: a design study / J.-L. Menet // Renewable Energy. – 2004. – V. 29. – P. 1843–1862.
16. Saha U. K. Optimum design configuration of Savonius rotor through wind tunnel experiments / U. K. Saha, S. Thotla, D. Maity // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. – 2008. – V. 96. – P. 1359–1375.
17. Bo Yang Fluid dynamic performance of a vertical axis turbine for tidal currents // Bo Yang, Chris Lawn. – Renewable Energy. – 2011. – V. 36. – P. 3355–3366.
18. Buripin Deda Altan. An experimental study on improvement of a Savonius rotor performance with curtaining / Buripin Deda Altan, Mehmet Atilgan, Aydog, Ozdamar // Experimental Thermal and Fluid Science. – 2008. – V. 32. – P. 1673–1678.
19. Kailash Golecha. Influence of the deflector plate on the performance of modified Savonius water turbine / Kailash Golecha, T.I. Eldho, S.V. Prabhu // Applied Energy. – 2011. – V. 88. – P. 3207–3217.
20. Pope K. Effects of stator vanes on power coefficients of a zephyr vertical axis wind turbine / K. Pope, V. Rodrigues, R. Doyle, A. Tsopelas, R. Gravelins, G. F. Naterer, E. Tsang // Renewable Energy. – 2010. – V. 35. – P. 1043–1051.
21. Bin Yaakob O. Computer simulation studies on the effect overlap ratio for Savonius type vertical axis marine current turbine / O. Bin Yaakob, K.B. Tawi, D.T. Suprayogi Sunanto // IJE Transactions A: Basics. – 2010. – V. 23. – P. 79–88.
22. Nahidul Khan. On scaling laws for Savonius water current turbines / Nahidul Khan, Michael Hinchey, Tariq Iqbal, Vlastimil Masek // Journal of Ocean Technology. – 2010. – V. 5. – P. 93–101.
23. Nahidul Khan. Performance of Savonius rotor as a water current turbine / Nahidul Khan, Michael Hinchey, Tariq Iqbal, Vlastimil Masek // Journal of Ocean Technology. – 2009. – V. 4. – P. 72–83.
24. Gupta R. Comparative study of a three-bucket Savonius rotor with a combined three-bucket Savonius –three-bladed Darrieus rotor / R. Gupta, A. Biswas, K. K. Sharma // Renewable Energy. – 2008. – V. 3. – P. 1974–1981.
25. Gupta R. Sharma Flow physics of a combined Darrieus–Savonius rotor using computational fluid dynamics (CFD) / R. Gupta, K. K. Sharma // International Research Journal of Engineering Science, Technology and Innovation. – 2012. – V. 1(1). – P. 1–13.
26. Pope K. Effects of stator vanes on power coefficients of a zephyr vertical axis wind turbine / K. Pope, V. Rodrigues, R. Doyle, A. Tsopelas, R. Gravelins, G. F. Naterer, E. Tsang // Renewable Energy. – 2010. – V. 35. – P. 1043–1051.
27. Sizov D.A. Razvitie i primenenie metoda diskretnykh vihrej v zadachah ajerodinamiki i dinamiki rotora Savoniusa [The development and application of the method of discrete vortices in the problems of aerodynamics and dynamics of rotor Savonius]: dis. ... of PhD in Engineering: 01.02.05 / Sizov Dmitrij Aleksandrovich. – Kazan': Kazan National Research Technological University named by A.N. Tupolev, 2013. – 153 p. [in Russian]
28. Govorova A.I. Matematicheskoe modelirovanie nestacionarnogo otryvnogo obtekanija razomknutogo kontura [Mathematical modeling of the unsteady separated flow in an open contour]: dis. ... of PhD in Physics and Mathematics: 01.01.07 / Govorova Anastasija Ivanovna. – Omsk: Omsk State University named by. F.M. Dostoevskiy, 2015. – 92 p. [in Russian]



DOI: 10.18454/IRJ.2016.54.212

Бубенчикова Т.В.<sup>1</sup>, Молодых В.О.<sup>2</sup>, Руденок А.И.<sup>3</sup>, Данилов Д.И.<sup>4</sup>, Шевченко Д.Ю.<sup>5</sup>  
<sup>1,2,3,4,5</sup>Студент-магистрант

Омский государственный технический университет

Работа выполнена при поддержке гранта № МК-5098.2016.8

**ВЫБОР ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРОВ ДЛЯ ВЭУ****Аннотация:**

С бурным развитием технологий ветроэнергетики и существенным ростом ее мощности, были разработаны различные концепции ветроустановок. Система преобразования ветровой энергии требовала быть более конкурентоспособной, поэтому сравнение различных генераторов, применимых для ветроустановок, необходимо. Выбор типа генератора является главным вопросом комплектации ветроустановок. В настоящий момент, независимо от мощности и типа крыльчатки, почти всегда в них устанавливают асинхронные генераторы. Расширение диапазона мощностей ветроэнергетических установок требует определения вида генератора с учетом этих параметров. Здесь представлен обзор различных ветрогенераторов и их сравнения. Затем представлены количественные сравнения различных ветряных генераторов и их проникновение на рынок.

**Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии, ветроэнергетические установки, электрогенераторы, асинхронные генераторы, синхронные генераторы.

Bubenchikova T.V.<sup>1</sup>, Molodikh V.O.<sup>2</sup>, Rudenok A.I.<sup>3</sup>, Danilov D.I.<sup>4</sup>, Shevchenko D.Y.<sup>5</sup>  
<sup>1,2,3,4,5</sup>Undergraduate student, Omsk State Technical University

This work was supported by grant number MK-5098.2016.8

**SELECTION OF ELECTRICAL GENERATORS FOR WIND TURBINES****Abstract**

With the rapid development of wind energy and the significant growth of its power technology, varieties of wind turbine concepts were developed. Wind energy conversion system is required to be more competitive, so a comparison of different generators applicable for wind turbines is necessary. Choosing the type of generator is the main issue of wind power equipment. At the moment, regardless of the power and the impeller type, almost always they set asynchronous generators. The expansion of wind power plants power range requires the determination of the form of the generator with these parameters. Here is an overview of the various wind turbines and their comparison. In addition, it presents quantitative comparisons of different wind generators and their market impact.

**Keywords:** renewable energy, wind turbines, generators, asynchronous generators, synchronous generators.

Недостаточность и неравномерность размещения ископаемых энергетических носителей по Земле с каждым годом становится все более важной проблемой. Стоит задача о незамедлительном нахождении и практическом использовании возобновляемых источников энергии (ВИЭ) для решения энергетических проблем [1]. По данным Международного энергетического агентства (МЭА) первичные энергоносители, или классические источники производства энергии, составляют на данный момент основу электроэнергетики любой страны. По данным МЭА электростанции работают: на нефти – 38 %, на природном газе – 20 %, на угле – 27 %, что составляет 85 % от общего производства энергетических ресурсов. Остальные 15 % приходится на АЭС и на электростанции, работающие от возобновляемых энергетических источников. Росту интереса к ВИЭ содействовало подорожание с 70-х годов 20 века энергоносителей (преимущественно нефти), которое, в свою очередь, создало сокращение использования минеральных топливных ресурсов для выработки электрической энергии. Объем добычи и стоимость энергоносителей в большей степени определяют направление развития мировой энергетики. К тому же, тепловая и атомная энергетика создают сильные нарушения в окружающей природной среде, а расширение масштабов производства электрической энергии на базе органического топлива может повергнуть к глобальным экологическим проблемам для всей планеты. Все это способствует повышению внимания к ВИЭ [2].

Западная Европа стремительной скоростью развивает энергетику на возобновляемых и неиссякаемых источниках – альтернативную энергетику, главная роль в которой относится к ветроэнергетике, как самому широкодоступному способу получения энергии среди возобновляемых источников.

Среднегодовой темп роста установки ветряной турбины составляет около 30% в течение последних 10 лет [3]. В конце 2006 года, мощность выработки ветряной энергии увеличилась до 74 223 МВт с 59 091 МВт в 2005 году (Рис. 1). К концу 2020 года, ожидается, что эта цифра возрастет более чем до 1 260 000 МВт, которой будет достаточно для 12% потребления электроэнергии в мире [4], [5]. Рис. 2 изображает общую установленную мощность энергии ветра в некоторых странах с 1985 по 2006 год. Странами с наибольшей общей установленной мощностью являются Германия (20 622 МВт), Испания (11 615 МВт), США (11 603 МВт), Индия (6270 МВт) и Дания (3136 МВт). По данным доклада глобального совета по ветровой энергии, Европа по-прежнему лидирует на рынке с 48 545 МВт установленной мощностью в конце 2006 года, что составляет 65% от мировой. Европейская ветроэнергетическая ассоциация поставила перед собой цель удовлетворить 23% европейских электрических потребностей в энергии ветра к 2030 году [6]. Понятно, что глобальный рынок для электроэнергии, выработанной генераторами ветровой турбины, неуклонно растет, что непосредственно толкает ветровую технологию в более конкурентную область.

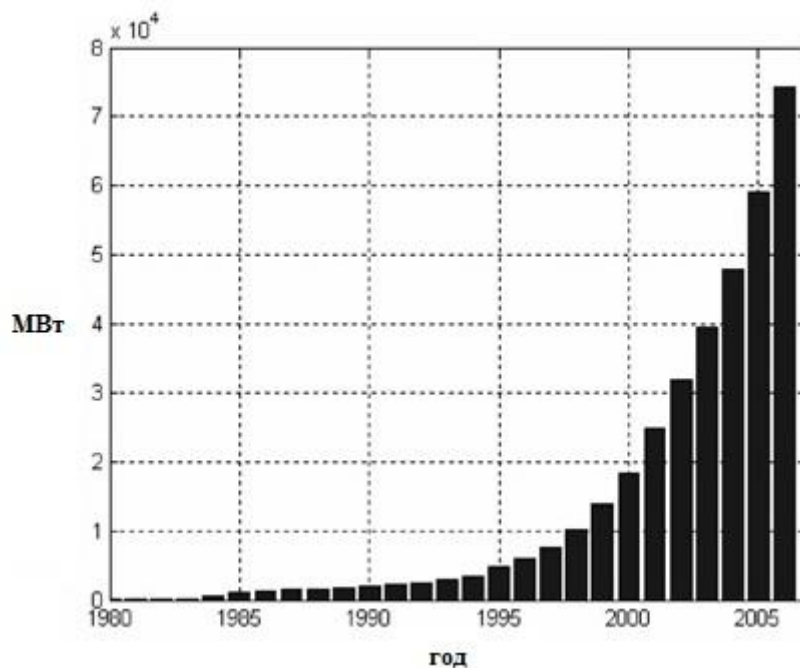


Рис. 1– Установленная мощность мировой ветряной энергии (1980 – 2006)

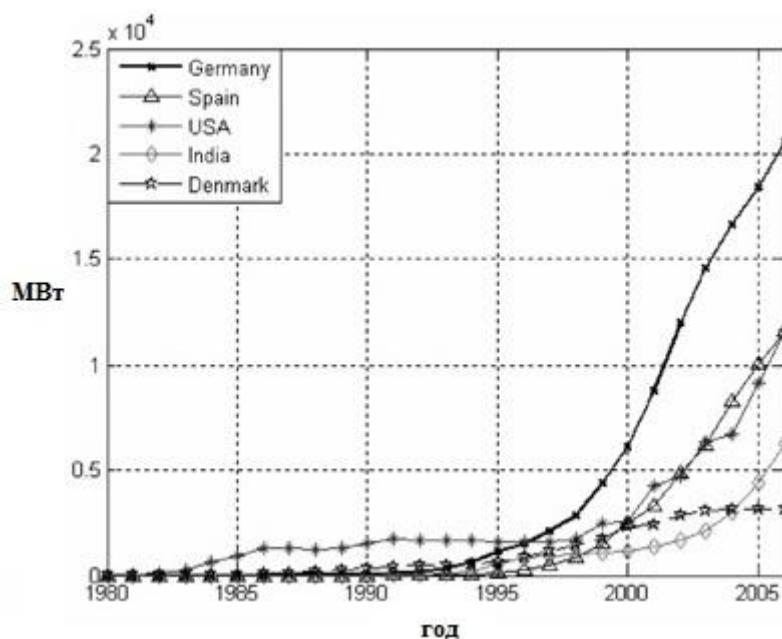


Рис. 2 – Общая установленная мощность ветряной энергии в различных странах (1980 – 2006)

Развитие технологии современного преобразования ветряной энергии начинается с 1970 годов, и быстрый рост наблюдается с 1990-х годов.

Выгодность ветроэнергетической установки (ВЭУ), значение КПД зависят не столько от конструкции лопастей и другого оборудования, но от правильности выбора электрогенератора.

**Основная цель данной работы** – дать общий анализ различных типов генераторов для ветроэнергетических установок, а также сравнения их в литературе и на рынке. Статья организована следующим образом. Во-первых, представлены количественные сравнения разных ветряных генераторных систем, основанные на имеющихся сведениях из технической литературы. Во-вторых, показаны тенденции и представленные разработки систем ветряного генератора и критерии сравнения их.

**Определение типа ветрогенератора.** Для работы на единую энергетическую сеть необходимы ветроэнергетические установки большой мощности, порядком в несколько МВт. Для поддержания уровня жизни в мелких населенных пунктах и в индивидуальных хозяйствах требуется сооружать системы малых энергоустановок [7]. Исходя из опыта вышеупомянутых стран известно, что суточная потребность семьи в деревне и селах составляет до 2 кВт\*час, зажиточного крупного фермерского хозяйства – до 10 кВт, маленькой деревни (до 30-40 семей) – 50 кВт\*час. Малая ветроэнергетика является малотребовательной к территории. Локальные ветроустановки могут быть применимы практически везде, где среднегодовая скорость ветра не менее 4-5 м/с, а для тихоходных многолопастных ветроэнергетических установок – не менее 3 м/с [8].

Главные проблемы создания и обслуживания ветроустановок - это их эффективность, безопасность и надежность, воздействие на окружающую среду, а к основным проблемам технического характера относятся – выбор расчетных параметров ветроэнергетических установок, аэродинамического профиля ветроколеса, конструктивных и компоновочных решений основных узлов, методов и способов монтажа. Выбор расчетных параметров для каждой определенной ветроэнергетической установки приходится на установление расчетной скорости ветра, единичной мощности и размеров ветроколеса, установленной мощности и типа генератора, определения системы регулирования, условий монтажа и обслуживания ветроустановок. Отсюда следует вывод, что определение типа генератора для ветроэнергетической установки следует отнести к основным вопросам ветроэнергетики.

Выбором типов генераторов для ветроустановок занимались такие известные ученые как: Вольдек А.И., Балагуров В.А., Завалишин Д.А., Данилевич Я.Б., Ледовской А.Н., Сидельников Б.В., Н. Li, Z. Chen, D. Bang, H. Polinder, G. Shrestha, J.A. Ferreira и др.

Генератор – главный элемент электрооборудования автономной энергоустановки. Помимо прямого назначения генератор обязан выполнять определенные функции по стабилизации и регулированию параметров, которые отвечают за качество производимой электрической энергии.

Такие работы ведутся учеными всего мира. В Греции (г. Афины) изучают возможность эксплуатации асинхронизированного генератора двойного питания; в Великобритании (г. Ноттингем) – коммутируемый реактивный синхронный генератор; в Нидерландах и Шотландии тестируют управляемый реактивный синхронный генератор для безредукторной установки; в Японии (г. Хатинойе) – работу асинхронного генератора с короткозамкнутым ротором, оборудованного системой тиристорного управления реактивной мощностью в цепи статора и т.д [9]. Но почти все генераторы данных типов, при современном положении экономики, к промышленному выпуску возможно будут предложены только после тщательного анализа.

Необходимо веское обоснование выбора типа генератора, т.к. выбор потребует огромных материальных капиталовложений в организацию их производства, такие как научные исследования, создание новых технологических процессов и оснащения, экспериментальных стендов, подготовка инженерно-технического персонала и рабочих. Таким образом, на наш взгляд, более оптимально использование классических типов генераторов или генераторов специального типа, но более традиционного, исполнения, что также в свою очередь является значительным фактором при определении типа генератора.

Для использования на ветроэнергетических установках возможны следующие типы генераторов:

- 1) асинхронные генераторы с короткозамкнутым ротором;
- 2) синхронные генераторы с электромагнитным возбуждением;
- 3) асинхронизированный синхронный генератор;
- 4) асинхронные генераторы с фазным ротором;
- 5) синхронные генераторы (СГ) с магнитоэлектрическим возбуждением, т.е. с возбуждением от постоянных магнитов.
- 6) Специальные СГ: индукторные СГ, генераторы с когтеобразным ротором и некоторые другие.

Каждый из вышеуказанных типов генераторов имеет свои «плюсы» и «минусы». Ниже представлена краткая информация этих факторов для каждого типа, табл. 1.

Таблица 1 – Преимущества и недостатки разных типов генераторов для ветроустановок

№ пп	Тип генератора	Преимущества	Недостатки
1	Асинхронный генератор с короткозамкнутым ротором	1) простота и надежность в обслуживании; 2) невысокая стоимость; 3) имеют сравнительно малые колебания генерируемой мощности, электромагнитного момента и тока при параллельной работе и при переменной скорости ветра и его порывах. 4) возможно устанавливать безредукторные установки с хорошими массогабаритными показателями, высоким КПД и возможностью регулировать напряжение и его частоту в широких пределах.	1) необходимость установления редукторов, т.к. используют дешевые тихоходные турбины (с частотой вращения 20-30 об/мин). Поэтому генератор присоединяют через редуктор с высоким коэффициентом преобразования ( $K_{ред}=50-70$ ), что требует дополнительных расходов на установку, обслуживание, ремонт, снижает надежность, является источником механического шума. 2) невозможно управлять режимными параметрами, что необходимо при порывистом ветре; 3) для работы в автономном режиме необходим автономный источник реактивной мощности; 4) ограничение в промышленном применении из-за искаженной формы выходного напряжения и неудовлетворительных динамических свойств.
2	Синхронный генератор с магнитоэлектрическим возбуждением	1) исключение скользящего контакта, 2) высокая надежность работы, 3) высокое значение КПД.	1) необходимость в приобретении дорогих постоянных магнитов 2) постоянно магнитного потока, невозможно его регулировать. 3) высокая стоимость. 4) отсутствие отечественной базы производства.

Окончание табл. 1 – Преимущества и недостатки разных типов генераторов для ветроустановок

№ пп	Тип генератора	Преимущества	Недостатки
3	Асинхронный генератор с фазным ротором	<p>1) Возможно использовать в автономных системах в сочетании с другими машинами. Возможно каскадное соединение двух АГ или соединение АГ и ДПТ с параллельным возбуждением.</p> <p>2) простота в обслуживании;</p> <p>3) надежность,</p> <p>4) имеют сравнительно малые колебания генерируемой мощности, электромагнитного момента и тока при параллельной работе, при переменной скорости ветра и его порывах.</p>	<p>1) необходимость установления редукторов, т.к. используют дешевые тихоходные турбины (с частотой вращения 20-30 об/мин). Необходим редуктор с высоким коэффициентом преобразования (<math>K_{ред}=50-70</math>), что требует дополнительных расходов на установку, обслуживание, ремонт, снижает надежность, является источником механического шума.</p> <p>2) невозможно управлять режимными параметрами, что бывает необходимо при порывистом ветре;</p> <p>3) в автономном режиме необходим автономный источник реактивной мощности;</p> <p>4) ограничение в промышленном применении из-за искаженной формы выходного напряжения и неудовлетворительных динамических свойств.</p> <p>5) наличие скользящего контакта, что снижает надежность.</p>
4	Специальные СГ с магнитно-электрическим возбуждением	<p>1) исключение скользящего контакта;</p> <p>2) просты и удобны в эксплуатации, высокое КПД;</p> <p>3) сохраняют устойчивые рабочие характеристики на протяжении не менее десяти лет.</p>	<p>1) необходимость в приобретении дорогих постоянных магнитов</p> <p>2) постоянство магнитного потока, т.е. невозможность его регулировать;</p> <p>3) высокая стоимость генераторов;</p> <p>4) отсутствие отечественной базы производства</p>
5	СГ с электромагнитным возбуждением	<p>1) При применении преобразователя с явным звеном постоянного тока и инвертором напряжения при широтно-импульсном управлении, возможно получить в токе низкий состав гармоник, улучшение динамических свойства объекта;</p> <p>2) возможность управления реактивной мощностью с генераторной стороны.</p>	<p>1) выше стоимость, сложнее конструкция, ниже надежность, чем у АМ;</p> <p>2) наличие скользящего контакта и необходимость источника постоянного тока для обмотки возбуждения;</p> <p>3) при необходимости безредукторной установки усложняется конструкция, увеличивается вес и цена;</p> <p>4) жесткая зависимость частоты ЭДС от скорости вращения. Это ограничивает, а в регионах с резкими порывами ветра делает невозможным, использование СГ для прямого включения в сеть без ППЧ.</p> <p>5) Для обеспечения параметров тока и напряжения с допустимыми техническими характеристиками необходимо применять преобразователи с явным звеном постоянного тока и инвертором напряжения.</p>
6	Асинхронизированный синхронный генератор	<p>1) Возможно использовать в автономных системах в сочетании с другими машинами. Возможно каскадное соединение с АГ или соединение с АГ и ДПТ с параллельным возбуждением.</p> <p>2) Большая устойчивость.</p>	<p>1) наличие на роторе скользящего контакта для подвода напряжения к обмотке возбуждения ротора и необходимость в преобразователе частоты для регулирования напряжения возбуждения;</p> <p>3) при отклонении скорости от синхронной требуется значительное увеличение реактивной мощности и напряжения в обмотке возбуждения.</p> <p>4) при приближении скольжения к нулю и несинусоидальности в выпрямителе, питающем обмотку возбуждения, в напряжении генератора возникают значительные субгармоники, а при параллельной работе и регулировании напряжения по величине и фазе скольжения, в вырабатываемом напряжении возникают пульсации, практически повторяющие пульсации момента ветротурбины.</p>

Эффективность работы ВЭУ не сильно зависит от направления ветра. Однако, на различной местности, ветры разных румбов имеют неодинаковую порывистость и скорость. Их цикличность определяют по розе ветров. Угловые градиенты скорости оказывают сильное влияние на работу механизмов автоматической ориентации и на величину гироскопических нагрузок [10]. Мощность ВЭУ [11]:

$$P = C_p * \frac{\rho v^3}{2} * \frac{\pi D^2}{4} * \eta_{эл} * \eta_{мех}, \text{ Вт} \quad (1)$$

где  $\rho$  – плотность воздуха, изменяющаяся сезонно, и зависящая от давления и температуры,  $\text{кг/м}^3$ ;

$v$  – скорость ветра,  $\text{м/с}$ ;

$C_p$  – коэффициент мощности ветроустановки;

$D$  – диаметр ветроколеса,  $\text{м}$ ;

$\eta_{эл}$  – КПД генератора;

$\eta_{мех}$  – КПД ветроустановки.

Согласно мнению многих исследователей, (EWEA, 1991; Андерсон, 1992, Beurskens and Jensen, 2001), для ориентировочного расчета количества вырабатываемой электроэнергии в год ( $\mathcal{E}$ ,  $\text{кВт} \cdot \text{час}$ ), при известной средней скорости ветра на участке установки ветротурбины, можно использовать формулу [11]:

$$\mathcal{E} = K * V_m^3 * A_t * N, \text{ кВт} \cdot \text{час}, \quad (2)$$

где  $K = 3,2$  – численный коэффициент, полученный для типичных характеристик работы ветрогенератора, зная приблизительное значение средней скорости и частоту изменения скорости ветра;

$V_m$  – среднегодовая скорость ветра через сечение поверхности, образуемой лопастями ветротурбины,  $\text{м/с}$ ;

$A_t$  – сечение поверхности, образуемой лопастями ветротурбины,  $\text{м}^2$ ;

$N$  – число ВЭУ, шт.

Рассматривая энергетические соотношения, условимся пренебрегать потерями в системах и примем коэффициент мощности  $\cos\varphi = \text{const}$ . Уравнения баланса мощностей для автономной системы электроснабжения имеющей асинхронный генератор с самовозбуждением при включении конденсаторов в цепь статорной обмотки представим в виде:

$$m_1 * U_1 * I_1 * \cos\varphi_1 = m_1 * U_1 * I_1 * \cos\varphi_1, \quad (3)$$

Далее запишем уравнения баланса реактивных мощностей при активно-индуктивной или активной нагрузке, и при использовании в генераторной установке только шунтирующих конденсаторов или шунтирующих и компаундирующих конденсаторов.

$$m_1 \left[ \frac{I_k^2}{\omega_1 * C} - I^2 * \omega_1 * L \right] = Q_{AG}; \quad (4)$$

$$m_1 * \frac{I_k^2}{\omega_1 * C} = Q_{AG};$$

$$m_1 * \frac{I_k^2}{\omega_1 * C} + m_1 * I^2 * \left[ \frac{1}{\omega_1 * C_k} - \omega_1 * L \right] = Q_{AG};$$

$$\frac{m_1}{\omega_1} \left[ \frac{I_k^2}{C} + \frac{I_k^2}{C_k} \right] = Q_{AG},$$

где  $I_1, I, I_k$  – токи фазы генератора, нагрузки и шунтирующих конденсаторов,  $\text{А}$ ;

$U_1$  – напряжение на статорной обмотке,  $\text{В}$ ;

$\omega_1$  – угловая частота напряжения генератора;

$L$  – индуктивность фазы нагрузки;

$C, C_k$  – емкость шунтирующих и компаундирующих конденсаторов;

$\varphi_1, \varphi$  – фазовые углы сдвига генератора и нагрузки;

$m_1$  – количество фаз генератора;

$m_1 * U_1 * I_1 * \cos\varphi_1 = P_{ЭМ}$  – электромагнитная мощность генератора,  $\text{Вт}$ ;

$Q_{AG}$  – реактивная мощность генератора, определяемая из соотношения:

$$m_1 * U_1 * I_1 * \sin\varphi_1 = Q_{AG}$$

Уравнения баланса реактивной мощности могут быть использованы для автономной системы лишь тогда, когда для выравнивания частоты у потребителей автономной системы не применяется вставка выпрямитель-инвертор. Если данная вставка имеется, то балансы реактивной мощности составляются отдельно для АГ (асинхронного генератора) с целью его возбуждения и для автономной электрической сети с целью обеспечения надлежащего качества электроэнергии путем компенсации реактивной мощности.

При совместной параллельной работе генераторов на активно-индуктивную нагрузку их активные мощности складываются, а реактивная мощность системы становится равной суммарной реактивной мощности шунтирующих и компаундирующих конденсаторов [14].

Работа любой асинхронной машины в генераторном режиме требует наличие источника реактивной мощности. Значение емкости, необходимой для возбуждения генератора при данной частоте [13]:

$$C = \frac{1}{[(2\pi * f_1)^2 * (L_1 + L_m)]}$$

где  $L_1$  и  $L_m$  – индуктивность обмотки статора и намагничивающего контура генератора,  $\text{Гн}$ .

В общем случае, емкость, требующаяся для получения напряжения на генераторе при значении нагрузки, определяется:

$$Q_c = \frac{m_1 * U_c^2}{X_c} = Q_c + Q_n = P_c tg\varphi_c + P_n tg\varphi_n, \text{вар.}$$

Примем  $P_c = P_n = P_{ном}$  и выразим

$$X_c = \frac{1}{\omega_1 C} = \frac{1}{2\pi f_1 C}, \text{ Ом,}$$

и получим финальное значение емкости, необходимой для работы асинхронного генератора с переменной частотой вращения приводного двигателя:

$$C = P_{ном} * \frac{tg\varphi_c + tg\varphi_n}{2\pi f_1 * m_1 * U_c^2}, \Phi.$$

где  $P_{ном}$  – мощность, отдаваемая генератором, Вт;

$U_c$  – напряжение на конденсаторах, В;

$f_1$  – частота вырабатываемого тока, Гц;

$\varphi_c$  и  $\varphi_n$  – углы сдвига фаз между напряжением  $U_c = U_c$  и токами генератора и нагрузки.

Автономные АГ разумно использовать при значениях

$$n_c/n_{ном} \geq 0,9.$$

При меньших  $n_c$  требуемая емкость быстро возрастает и генератор почти полностью загружается реактивным током.

Из уравнения (4) – баланса реактивной мощности для активно-индуктивной нагрузки, – можно найти зависимость угловой частоты вращения вектора напряжения:  $f = \omega_1/2\pi$  с частотой  $f$  в сети.

АГ в отличие от синхронных генераторов (СГ), которым необходима строгая синхронизация частоты вращения при параллельном включении, в свою очередь могут быть настроены на довольно простую параллельную работу. У параллельно работающих АГ частоты вращения могут различаться, при этом в общей цепи статорных обмоток создается ток такой частоты, которая соответствует резонансу в полной эквивалентной схеме, включающей, помимо цепи нагрузки и конденсаторной батареи, цепи объединенных статорных и роторных обмоток генераторов с соответствующими активными и реактивными сопротивлениями.

АГ находят малое применение в относительно слабых источниках тока в автономных энергоустановках. Соблюдая определенные условия допускается работа в режиме АГ мощных турбогенераторов. Перспективы совершенствования АГ и их более широкого внедрения связаны с проводимой в настоящее время разработкой высокоэффективных легких конденсаторов.

#### Выводы:

1. Большое количество стран в последние 20-25 лет уделяют особое внимание развитию нетрадиционных способов получения энергии, и немалая часть приходится на использование энергии ветра. Увеличение области использования ВЭУ может идти в направлениях:

- обеспечение электроэнергией малых объектов. Такие ВЭУ должны иметь мощность в пределах 30-100 кВт;
- обеспечение совместной работы с уже имеющимися энергосистемами традиционной энергетики. Мощность таких ВЭС может определяться в интервале 3-15 МВт;
- предоставление электроэнергии промыслам нефтегазовой отрасли, которые находятся вдали от центральных систем энергоснабжения.

2. Установлено, что в автономных электрических сетях, при использовании ВЭУ мощностью до 200 кВт, рекомендуется применение синхронных генераторов (СГ) с постоянными магнитами (СГПМ), которые имеют преимущества по мощности, экономическим показателям, малому количеству потерь и КПД [8]. Этому способствует появление нового поколения ПМ с высокими технико-экономическими показателями, имеющих высокую коэрцитивную силу и возможность долго ее сохранять. В рабочей зоне (воздушном зазоре), с помощью таких магнитов, мы можем получить значение магнитной индукции до 0,8-0,9 Тл, что в некоторых случаях даже превышает значение индукции, получаемое при электромагнитном возбуждении. Учитывая заинтересованность в постоянных магнитах, их производство улучшается, а стоимость снижается, как и стоимость силовой электроники, судя по последним годам.

3. СГ классической конструкции с электромагнитным возбуждением монтируются на установках либо малой, либо очень большой мощности. Технология изготовления и опыт расчета таких машин позволяет устанавливать мощные безредукторные установки (мощностью до 2 МВт) с хорошими структурными показателями, высоким КПД и возможностью регулировать напряжение в широких пределах за счет изменения тока возбуждения.

4. У СГ существует жесткая зависимость частоты генерируемой ЭДС от скорости вала. Если ветер порывистый, то в генераторе образуются высокие значения переменных составляющих в режимных параметрах и вместе с сетью работа таких генераторов ухудшается. Это ограничивает, а в регионах с резкими переменными ветрами делает невозможным, использование СГ для прямого включения в сеть. При такой работе между генератором и сетью устанавливают полупроводниковый преобразователь частоты.

5. Асинхронизированные синхронные генераторы (АСГ) находятся скорее в стадии разработки, чем в стадии промышленного применения. У АСГ к симметричному в магнитном отношении ротору, через три кольца, к трехфазной (иногда, двухфазной) обмотке возбуждения подводят напряжение, величина и фаза которого изменяется пропорционально скольжению. Регулирование напряжения возбуждения осуществляется за счет преобразователя частоты.

6. С быстрым развитием технологий ветротурбин, будущие тенденции в промышленности ветротурбин вероятно будут сконцентрированы на постепенном усовершенствовании уже известных технологий. – Мощность одной ветротурбины будет продолжать возрастать, так как это сокращает стоимость установки ветротурбины, особенно это важно для оффшорных (морских) ветропарков.



- Оффшорная ветряная энергия является более привлекательной, чем эта же энергия на суше в связи с увеличением скорости ветра у моря и свободного пространства.
- Увеличение проникновения энергии ветра в энергетическую систему.
- 7. Будущий успех разных понятий ветроустановок будет сильно зависеть от их способности соответствовать ожиданиям рынка и требованиям электросетевой компании.

#### Список литературы / References

1. Кривцов В. С. Неисчерпаемая энергия. Кн. 1. Ветроэнергетика / В. С. Кривцов, А. М. Олейников, А. И. Яковлев. – Харьков : Нац. аэрокосм. ун-т (ХАИ); Севастополь: Севастоп. нац. техн. ун-т, 2004. – 519 с.
2. Григораш О.В. Возобновляемые источники электроэнергии / О.В. Григораш, Ю. П. Степура, Р. А. Сулейманов и др. Краснодар, 2012, с. 272.
3. Chen Z. Wind energy-the world's fastest growing energy source / Z. Chen, F. Blaabjerg // IEEE Power Electronics Society Newsletter. – 2006. – Т. 18. – № 3. – С. 17-19.
4. Hansen A. D. Wind turbine concept market penetration over 10 years (1995–2004) / A. D. Hansen, L. H. Hansen // Wind energy. – 2007. – Т. 10. – № 1. – С. 81-97.
5. Erlich I., Winter W., Dittrich A. Advanced grid requirements for the integration of wind turbines into the German transmission system // 2006 IEEE Power Engineering Society General Meeting. – IEEE, 2006. – С. 7.
6. Global wind energy council (GWEC) global wind 2015 report, available at: [http://www.gwec.net/wp-content/uploads/vip/GWEC-Global-Wind-2015-Report\\_April-2016\\_22\\_04.pdf](http://www.gwec.net/wp-content/uploads/vip/GWEC-Global-Wind-2015-Report_April-2016_22_04.pdf), accessed September 2016.
7. Фатеев Е.М. Ветро двигатели и ветроустановки – М.: Сельхозиздат, 1957. – 536 с.
8. Сидельников Б.В. Современное состояние и сравнительный анализ конструктивных схем ветрогенераторов / Б. В. Сидельников // Вестник Щецинского технического университета, Польша, 2001.
9. Hall D. Renewable Energy. Power for a Sustainable Future. / D. Hall // Oxford Unit. Press, 1996. – 478 p.
10. Шевченко В.В. Проблемы, перспективы и основные направления развития экологически чистых источников электроэнергии в Украине / В.В. Шевченко, И.Я. Лизан // Качество технологий и образования. Сборник научных трудов. – Вып. 1. – Х.: УИПА, 2011. – С. 77–87.
11. Лукутин Б.В. Энергоэффективные управляемые генераторы для ветроэлектростанций / Б.В. Лукутин, Е. Б. Шандарова, А. И. Муравлев // Известия вузов. Сер. Электромеханика. – 2008. – № 6. – С. 63–66.
12. Шевченко В. В. Анализ возможности использования разных типов генераторов для ветроэнергетических установок с учетом диапазона мощности / В. В. Шевченко, Я. Р. Кулиш // ISSN 2079-3944. Вестник НТУ "ХПИ". 2013. № 65 (1038) – Харьков : Нац. Тех. Ун-т (ХПИ), – 2013. – С. 107–117.
13. Miller N. W. Frequency responsive wind plant controls: Impacts on grid performance / N. W. Miller, K. Clark, M. Shao // 2011 IEEE Power and Energy Society General Meeting. – IEEE, 2011. – С. 1-8.
14. Boyle G. . Renewable Energy. – Oxford University Press, 2004. – 464 с.

#### Список литературы латинскими символами / References in Roman script

1. Krivtsov V.S. Neischerpaemaya energiya [Unlimited energy]. Kn. 1. Vetroenergetika [Wind power] / V.S. Krivtsov, A.M. Oleynikov, A.I. Yakovlev. – Kharkov : Nats. Aerokosm. Un-t (HAI); Sevastopol: Sevastop. Nats. Tehn. Un-t, 2004. – P. 519. [in Russian]
2. Grigorash O.V. Vozobnovlyaemie istochniki elektroenergii [Renewable energy sources] / O.V. Grigorash, Y. P. Stepura, P.A. Suleymanov i dr. Krasnodar, 2012, P. 272. [in Russian]
3. Chen Z. Wind energy-the world's fastest growing energy source / Z. Chen, F. Blaabjerg // IEEE Power Electronics Society Newsletter. – 2006. – I. 18. – V. 3. – P. 17–19.
4. Hansen A. D. Wind turbine concept market penetration over 10 years (1995–2004) / A. D. Hansen, L. H. Hansen // Wind energy. – 2007. – I. 10. – V. 1. – P. 81–97.
5. Erlich I., Winter W., Dittrich A. Advanced grid requirements for the integration of wind turbines into the German transmission system // 2006 IEEE Power Engineering Society General Meeting. – IEEE, 2006. – 7 pp.
6. Global wind energy council (GWEC) global wind 2015 report, available at: [http://www.gwec.net/wp-content/uploads/vip/GWEC-Global-Wind-2015-Report\\_April-2016\\_22\\_04.pdf](http://www.gwec.net/wp-content/uploads/vip/GWEC-Global-Wind-2015-Report_April-2016_22_04.pdf), accessed September 2016.
7. Fateev E.M. Vetrodvigateli i vetroustanovki [Wind engines and wind turbines] – М.: Selhozizdat, 1957. – 536 P. [in Russian]
8. Sidelnikov B.V. Sovremennoe sostoyanie i sravnitelniy analiz konstruktivnih shem vetrogeneratorov [Present status and comparative analysis of construction schemes of wind turbines] // Vestnik Schetsinskogo technicheskogo universiteta [Bulletin of the Szczecin Technical University], Polsha, 2001.
9. Hall D. Renewable Energy. Power for a Sustainable Future. / D. Hall // Oxford Unit. Press, 1996. – 478 pp.
10. Shevchenko V.V. Problemi, perspektivi i osnovnie napravleniya razvitiya ekologicheski chistih istochnikov elektroenergii v Ukraine [Problems, perspectives and main directions of development of energy clean sources in Ukraine] / V.V. Shevchenko, I. Y. Lizan // Kachestvo tehnologii i obrazovania. Sbornik nauchnih trudov [Technology quality and education. Collection of scientific papers]. – R. 1. –H.: UIPA, 2011. –P. 77-87.
11. Lukutin B.V. Energoeffektivnie upravlyaemie generator dlya vetroelektrostantsiy [Energy-driven generators for wind power plants] / B.V. Lukutin, E.B. Shandarova, A.I. Muravlev // Izvestiya vuzov. Ser. Elektromehaniika [Proceedings of the universities. Series Electromechanics]. – 2008. – № 6. – P. 63-66.
12. Shevchenko V. V. Analiz vozmozhnosti ispolzovaniya raznih tipov generatorov dlya vetroenergeticheskikh ustanovok s uchetom diapazona moshnosti [Analysis of the possibility of using different types of generators for wind power plants, taking into account the power range] / V. V. Shevchenko, Y. R. Kulish // ISSN 2079-3944. Vestnik NTU "HPI" [Bulletin of National

Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"]. 2013. № 65 (1038) – Kharkov : Nats. Teh. Un-t (HPI), – 2013. – P. 107-117.

13. Miller N. W. Frequency responsive wind plant controls: Impacts on grid performance / N. W. Miller, K. Clark, M. Shao // 2011 IEEE Power and Energy Society General Meeting. – IEEE, 2011. – P. 1-8.

14. Boyle G. Renewable Energy. – Oxford University Press, 2004. – 464 pp.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.54.213

Бубенчикова Т.В.<sup>1</sup>, Молодых В.О.<sup>2</sup>, Руденок А.И.<sup>3</sup>, Данилов Д.И.<sup>4</sup>, Шевченко Д.Ю.<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Студент-магистрант,

Омский государственный технический университет

Работа выполнена при поддержке гранта № МК-5098.2016.8

## МЕТОД ТЕОРИИ ПОДОБИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Аннотация

В статье отражен процесс проектирования ветроэнергетической установки и рассмотрены основные аспекты проектирования. Проанализирована методика проведения экспериментального исследования на моделях ветроэнергетической системы в жидкой и газовой средах, основанная на условии имитации реальной модели ВЭУ. Рассмотрены методы теории подобия при проектировании ветроэнергетической установки. Указана необходимость обобщения опытных данных, получая единичные уравнения для всех подобных явлений. Указан принцип работы с критериями подобия.

**Ключевые слова:** ветроэнергетика, теория подобия, альтернативный источник энергии, энергетика.

Bubenchikova T.V.<sup>1</sup>, Molodikh V.O.<sup>2</sup>, Rudenok A.I.<sup>3</sup>, Danilov D.I.<sup>4</sup>, Shevchenko D.Y.<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup> Undergraduate student, Omsk State Technical University

This work was supported by grant number MK-5098.2016.8

## THEORY OF SIMILARITY SIMULATION WIND TURBINES

Abstract

The article presents the design process of the wind power plant and describes the main aspects of the design. Analyzed the methodology of experimental studies on models of wind energy systems in liquid and gaseous media, based on the condition of simulating realistic models of wind turbines. Considers the methods of similarity theory in the design of the wind turbine. The necessity of generalization of experimental data, obtaining a single equation for all such phenomena. Specify the principle of the similarity criteria.

**Keywords:** wind energy, similarity theory, an alternative source of energy, energetic.

На дворе 21 век, всё больше технологий приходят в нашу жизнь. Тем самым увеличивается потребление электрической энергии. Привычные энергоресурсы, такие как нефть, уголь и природный газ, в скором времени иссякнут, и выработка большого количества энергии станет проблемой. Люди стремятся сделать энергию чистой, чтобы не влияло на окружающую среду. Для этого было введено понятие альтернативные источники энергии. Одним из самых распространённых является «Ветроэнергетическая Установка». Бурное развитие ветроэнергетики свидетельствует о том, что отрасль в будущем станет самым важным источником электроэнергии, удовлетворяющая потребности человечества [3].

Подтверждение бурного развития показана в [2], где было проанализирована мировая ветроэнергетическая промышленность за 3 года. В июне 2013 году общая мировая мощность, выработанная с помощью ветра, составила почти 300 ГВт. То есть ВЭУ производят около 3,5% электроэнергии от мирового спроса. За период 3 года глобальный потенциал ВЭУ вырос. Четырём странам в первой половине 2013 года удалось достичь мощности более 1 ГВт: Китай (5,5 ГВт); Великобритания (1,3 ГВт); Индия (1,2 ГВт); Германия (1,1 ГВт). Постепенно к ним присоединяются: Швеция (526 МВт); Австралия (475 МВт); Дания (416 МВт); Румыния (384 МВт); Канада (377 МВт); Бразилия (281 МВт).

При проектировании ветроэнергетической установки нужно учесть множество аспектов. Процесс осуществляется специалистами разных областей, направлений науки и техники, поэтому он довольно сложен и трудоемок. Так же проектирование установки не малого количества времени, т.к. от принятия важного стратегического решения зависит успех самого проекта [5].

Проектирование ВЭУ обычно включает в себя несколько фаз, каждая из которых проводится с разными методами проектирования, это одна из главных особенностей. В среднем, весь процесс от создания эскиза проекта, до разработки основной конструкторской документации, а так же первого рабочего прототипа, готового к тестированию занимает около 2-х лет. [2]

В работе [5] были сформулированы процесс проектирования ВЭУ которые могут быть условно разделены:

**установка параметров ВЭУ.** Этот этап является основным, на нем принимается решение об задании номинальной мощности; классе ВЭУ (I, II, III, S); типе корректировки частоты вращения ветроколеса; наличии и типе редуктора; типе генератора. Так же в данной фазе проводится предварительная оценка значений нагрузок; разработка эскизного проекта ВЭУ, первоначальный расчет массогабаритных характеристик ВЭУ, а также оценка факторов безопасности эксплуатации согласно действующим нормам и стандартам;

**расчет статических и динамических нагрузок, влияющих на элементы ВЭУ.** С помощью программных средств, производится выбор расчетной модели; по предварительным расчетным случаям и сочетаниям ожидаемых нагрузок ожидаемых на ВЭУ, производится классификация установки;

**разработка и расчет механических узлов и компонентов ВЭУ.** На этом этапе производится расчет на механическую прочность конструктивных элементов и частей ВЭУ;

**уточнение нагрузок, действующих на элементы ВЭУ.** Производится уточнение нагрузок с целью выявления и устранения нежелательных резонансных явлений; по завершению уточнения нагрузок нужно производить оценку с учетом механических взаимодействий элементов ВЭУ с использованием параметров, полученных ранее на прошлом этапе;

**модернизация механических узлов и компонентов.** Этот этап проектирования наиболее важен, т.к. его целью является доработка узлов и конструкций, механических частей ветроэнергетической установки и выполнение первого опытного образца. При этом проводится контроль качества деталей установки и основные производственные процедуры;

**разработка электрической части и управления.** Данный этап включает в себя разработку электрической части ВЭУ, т.е. органы управления и основные электротехнические части, а также схемы и алгоритмы работы оборудования;

**написание руководства.** Итогом выполнения данного этапа является создание руководство оператора и эксплуатационное руководство;

**техническая экспертиза проектной документации.** На данном этапе проводится техническая экспертиза проекта на предмет полного соответствия всех требований и условий выполнения проекта, изложенных в действующих стандартах и нормах в стране фирмы производителя установки;

**техническая экспертиза опытного образца.** Над созданным прототипом ВЭУ производятся проверки на устойчивость к любым наихудше возможным природно-климатическим условиям, так же определяют влияние предельно возможной скорости ветрового потока. Проводятся заключительные измерения выработки мощности на контактных щетках и основном вале. Производится замер электромагнитных помех и общего уровня шума ВЭУ. Для получения сертификата соответствия привлекается сторонняя организация для проведения экспертизы;

**внесение исправлений.** В процессе прохождения опытного образца технической экспертизы обычно выявляются ошибки и не соответствия, вносятся изменения и исправления;

**получение сертификата.** По результатам проведенных проверок, полученных на этапах технических экспертиз проектной документации, опытного образца, производственных условий, выдается сертификат позволяющий наладить массовое производство и продажу ВЭУ.

При построении ВЭУ значимую часть играет эксперимент. Из-за больших габаритных размеров, сложного внесения изменений при поисковых исследованиях и не стабильных внешних условий, трудно изучить явления, которые происходят во время испытаний ВЭУ. Проведение опыта на настоящем ВЭУ является трудным процессом. Для экономии бюджета и времени используют эксперименты на моделях, подобной реальной ВЭУ по свойствам, важным для изучаемого явления.

«Теория подобия является учением о методах научного обобщения эксперимента. Она указывает, как надо ставить опыты и как обрабатывать их результаты, чтобы при проведении небольшого числа экспериментов иметь возможность обобщать опытные данные, получая единичные уравнения для всех подобных явлений» [4].

Первое условие имитации является геометрическое подобие (пропорциональность сходственных геометрических параметров) модели и реальной ВЭУ. Остальные условия вытекают из понятия физического подобия – одинаковости отношений сходственных физических величин в сходственных точках пространства и в сходственные моменты времени. Отсюда следует, что каждый член уравнения, описывающего какое – либо физическое явление в реальной машине, будет равен соответствующему члену уравнения для модели, умноженному на постоянное число. Поэтому безразмерные формы уравнений, для модели и реальной машины должны быть одинаковыми [1,14].

Уравнение гидромеханики связывает основные и составляющие параметры гидромеханических и тепловых систем и для стационарного трехмерного случая имеет вид

$$\begin{aligned} \nabla \cdot \rho \cdot W &= 0; \\ (W \cdot \nabla)W &= f - \frac{1}{\rho} \nabla \cdot P + v \cdot \nabla \cdot \nabla \cdot W + \frac{1}{3} v \cdot \nabla \cdot \nabla \cdot W; \\ \rho \cdot C_v \cdot W \cdot \nabla \cdot T + P \cdot \nabla \cdot W &= \lambda \cdot \nabla^2 \cdot T + \mu \cdot D, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\rho$ ,  $v$ ,  $C_v$ ,  $\lambda$  – плотность, кинематический коэффициент вязкости, теплоемкость (при постоянном объёме), коэффициент теплопроводности среды;  $f$  – вектор напряжённости массовых сил;  $P$  – гидростатическое давление;  $\mu \cdot D$  – функция диссипации, учитывающая подогрев среды за счёт рассеивания в ней работы сил вязкости;  $\nabla = i \frac{\partial}{\partial x} + j \frac{\partial}{\partial y} + k \frac{\partial}{\partial z}$  ( $i, j, k$  – орты осей координат  $x, y, z$ ) [3].

Записав уравнение (1) в безразмерной форме, мы увидим, что совпадение их, для модели и реальной ВЭУ, возможно лишь при равенстве комплектов, которые в связи с этим названы критериями (числами) подобия: они носят имена учёных Фруда, Эйлера, Рейнольдса, Пекле и обозначают  $Fr$ ,  $Eu$ ,  $Re$ ,  $Pe$  соответственно.

Равенство значений  $Fr$ ,  $Eu$ ,  $Re$  для модели и реальной ВЭУ является условием гидродинамического подобия, так как эти критерии являются отношением конвективной составляющей ускорения к напряжению сил: массовых, давления и трения [3].

Уравнение подобия имеет вид:

$$Eu = f(Re)$$

и выражает связь потерь давления  $\Delta P$  в гидравлической сети с числом Рейнольдса (число Эйлера записано в виде  $Eu = 2 \cdot \Delta P / \rho \cdot V^2$ ). Определяющим является число Рейнольдса, поэтому при проведении опытов на модели должно быть выдержано помимо геометрического подобия условие  $Re_m = Re_n$ . В ряде случаев удовлетворить этому условию не удаётся. Тогда прибегают к замене теплоотводящей среды на модели или используют явление автомодельности. В таких условиях подобие гидродинамических процессов в модели и реальной ВЭУ обеспечивается и при  $Re_m \neq Re_n$ .

Подобие модели натуре выражается в пропорциональности всех линейных размеров модели и натуре. Аналогично определяются понятия и о других масштабах: времени, силовой, плотности и др.

Закон аэродинамического подобия: два явления называются подобными, если у них всюду в подобных точках получаются одинаковые масштабы для однородных величин [1].

Число Рейнольдса оценивает силы вязкости, тормозящие движение жидкости. Эта величина очень важна при решении аэро- и гидродинамических задач. Также важен критерий Маха, оценивающим упругость жидкости.

Как описано в [3] «Переход от модели к натуре. Из равенства  $V_1 \cdot l_1 = V \cdot l = const$  имеем

$$V_1/V = l/l_1 = 1/k_1$$

где  $l_1/l = l \cdot k_1$  – линейный масштаб. Таким образом, при испытании модели в аэродинамической трубе, где можно принимать  $\rho_1 = \rho$  и  $\mu_1 = \mu$ , подобие будет соблюдено, если взять скорость в трубе  $V_1 = Vl/l_1 = V1/k_1$  т.е. скорость  $V_1$  у модели должна быть во столько раз больше скорости  $V$  натуре, во сколько раз линейные размеры модели меньше натуре.

Экспериментальными исследованиями установлено, что при малых числах Рейнольдса коэффициент сопротивления тел больше, а с увеличением  $V_1 \cdot l_1$  сопротивление падает и при некотором значении  $V_1 \cdot l_1$  оно практически становится постоянным. Для ветротурбин процесс передачи энергии от потока ветра к ротору определяется в основном двумя критериями: Рейнольдса и Струхала  $Sh$ , который для ВЭУ будет

$$Sh = b/U \cdot T,$$

где  $b$  – хорда лопасти,  $T$  – период вращения ветроколеса.

Например, в работах [6,7,8,9,10,11] были проведены эксперименты с подвижными роторами ветроагрегатов Дарье и Савониуса в аэродинамической трубе. В каждом опыте были соблюдены геометрические подобие объектов исследования. Одним из основных параметров исследований был критерий Рейнольдса. На рисунке 1 показано, что из-за роста числа  $Re$  происходит увеличение коэффициента мощности. У ротора Дарье рост числа  $Re$  приводил к небольшому увеличению аэродинамических свойств.

На основе проведенного исследования можно сделать вывод, что разработка современных проектов ВЭУ носит немаловажный характер. Безусловно ВЭУ обладают определенной спецификой в проектировании и

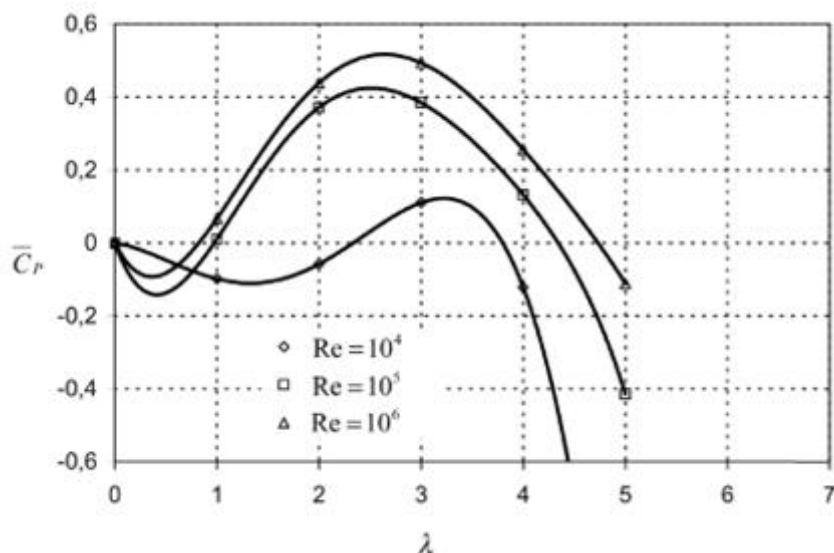


Рис.1 – Зависимость осреднённого коэффициента мощности ротора Дарье от коэффициента быстроходности для различных чисел Рейнольдса

строительстве, по сравнению с другими установками, работающими на основе альтернативных источников энергии. Наличие большого количества свободного пространства позволяет развивать мощности ВЭУ до тысяч МВт. Для успешного развития комплекса в целом требуется изучение распределения ветроэнергетического потенциала на территории, а также моделирование новых типов установок, тем самым повышая их эффективность и мощность.

#### Список литературы / References

1. Горелов Д.Н. Энергетические характеристики ротора Дарье (обзор) / Д.Н. Горелов // Теплофизика и аэромеханика. — 2010. — №3. — С. 325–333.
2. Соломин А.С. Анализ развития мировой ветроэнергетической промышленности за 2010–2013 года / Е.В. Соломин, А.С. Аникин, Е.А. Сироткин // Наука ЮУрГУ: материалы 66-й научной конференции 2013г. — С.1366–1370.
3. Кривцов В.С., Олейников А.М. Неисчерпаемая энергия. — Харьков: 2004. — 519 с.
4. Гатапова Н.Ц. Основы теории и техники физического моделирования и эксперимента: учебное пособие / Н.Ц. Гатапова, А.Н. Колиух, Н.В. Орлова, А.Ю. Орлов. — Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2014. — 77 с.
5. Елистратов В. В. Проектирование и эксплуатация установок нетрадиционной и возобновляемой энергетики. Ветроэлектрические установки: учебное пособие. / В. В. Елистратов, А. А. Панфилов. — СПб.: Изд-во Политех. ун-та. — 2011.
6. Редчиц Д. А. Аэродинамика роторов Дарье и Савониуса / Д. А. Редчиц, А. А. Приходько //Авиационно-космическая техника и технология. — 2007. — №. 5. — С. 26–31.
7. Редчиц Д. А. Численное моделирование нестационарных турбулентных отрывных течений при обтекании ротора Савониуса / Д.А. Редчиц //Авиационно-космическая техника и технология. — 2008. — №. 5. — С. 53–58.

8. Котов А. В. Экспериментальное исследование аэродинамических характеристик и качества смешения в низкоэмиссионном горелочном устройстве / А. В. Котов, В. Г. Ванцовский, В. В. Вилкул // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2009. – Т. 4. – №. 6 (40). – С.19–23.
9. Michael S. Selig, Wind Tunnel Aerodynamic Tests of Six Airfoils for Use on Small Wind Turbines / S. Selig Michael, D. McGranahan Bryan // Journal of Solar Energy Engineering. – 2004 г.–Vol.126.–pp.986–1001.
10. Maître T. Modeling of the flow in a Darrieus water turbine: Wall grid refinement analysis and comparison with experiments / T. Maître, E. Amet, C. Pellone //Renewable Energy. – 2013. – Т. 51. – С. 497–512.
11. Mohamed M. H. Performance investigation of H-rotor Darrieus turbine with new airfoil shapes / M. H. Mohamed // Energy. – 2012. – Т. 47. – № 1. – С. 522–530.
12. Demircan E. Design and analysis of a vertical axis water turbine for river applications using computational fluid dynamics : dis. – Middle East technical university, 2014.
13. Wang S. Turbulence modeling of deep dynamic stall at relatively low Reynolds number / S. Wang, D. B. Ingham, L. Ma, M. Pourkashanian, Z. Tao //Journal of Fluids and Structures. – 2012. – Т. 33. – С. 191–209.
14. Wilson R. E. Wind-turbine aerodynamics / R. E. Wilson //Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. – 1980. – Т. 5. – №. 3-4. – С. 357–372.
15. Migliore P. Wind tunnel aeroacoustic tests of six airfoils for use on small wind turbines / P. Migliore, S. Oerlemans // Journal of Solar Energy Engineering. – 2004. – Т. 126. – №. 4. – С. 974–985.

#### Список литературы латинскими символами / References in Roman script

1. Gorelov D.N. Energeticheskie kharakteristiki rotora Dar'e (obzor) [Power characteristics of a rotor to Darya (review)] / D.N. Gorelov // Teplofizika i aeromekhanika [Thermophysics and aeromechanics]. — 2010. — V. 3. — P. 325–333. [in Russian]
2. Solomin A.S. Analiz razvitiya mirovoy vetroenergeticheskoy promyshlennosti za 2010–2013 goda [The analysis of development of the world wind power industry for 2010-2013] / E.V. Solomin, A.S. Anikin, E.A. Sirotkin// Nauka YuUrGU: materialy 66-y nauchnoy konferentsii [Science YUrSU: materials of the 66th scientific conference]–2013g. –P.1366–1370. [in Russian]
3. Krivtsov V.S., Oleynikov A.M. Neischerpaemaya energiya [Inexhaustible energy]. — Khar'kov: 2004. — 519 pp. [in Russian]
4. Gatapova N.Ts. Osnovy teorii i tekhniki fizicheskogo modelirovaniya i eksperimenta: uchebnoe posobie [Bases of the theory and technology of physical modeling and experiment: education guidance] / N.Ts. Gatapova, A.N. Koliukh, N.V. Orlova, A.Yu. Orlov. — Tambov: Izd-vo TGTU, 2014. — 77 pp. [in Russian]
5. Elistratov V. V. Proektirovanie i ekspluatatsiya ustanovok netraditsionnoy i vobnovlyaemoy energetiki. Vetroelektricheskie ustanovki: uchebnoe posobie [ Designing and operation of installations of nonconventional and renewable power. Vetroelektrichesky installations: education guidance] / V. V. Elistratov, A. A. Panfilov. – SPb.: Izd-vo Politekh. un-ta. – 2011. [in Russian]
6. Redchits D. A. Aerodinamika rotorov Dar'e i Savoniusa [Aerodynamics three-blade rotor Savonius] / D. A. Redchits, A. A. Prikhod'ko // Aviatsionno-kosmicheskaya tekhnika i tekhnologiya [Aerospace equipment and technology]. – 2007. – V. 5. – P. 26–31. [in Russian]
7. Redchits D. A. Chislennoe modelirovanie nestatsionarnykh turbulentnykh otrivnykh techeniy pri obtekanii rotora Savoniusa [Numerical modeling of non-stationary turbulent detachable flows at a flow of a rotor of Savonius] / D.A. Redchits // Aviatsionno-kosmicheskaya tekhnika i tekhnologiya[Aerospace equipment and technology]. – 2008. – V. 5. – P. 53–58. [in Russian]
8. Kotov A. V. Eksperimental'noe issledovanie aerodinamicheskikh kharakteristik i kachestva smesheniya v nizkoemissionnom gorelochnom ustroystve [Pilot study of aerodynamic characteristics and quality of mixture in the nizkoemissionny gorelochny device] / A. V. Kotov, V. G. Vantsovskiy, V. V. Vilkul //Vostochno-Evropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy [East European magazine of advanced technologies]. – 2009. – I. 4. – V. 6 (40). –P. 19–23. [in Russian]
9. Michael S. Selig, Wind Tunnel Aerodynamic Tests of Six Airfoils for Use on Small Wind Turbines / S. Selig Michael, D. McGranahan Bryan // Journal of Solar Energy Engineering. – 2004 g.–V.126.–P. 986–1001.
10. Maître T. Modeling of the flow in a Darrieus water turbine: Wall grid refinement analysis and comparison with experiments / T. Maître, E. Amet, C. Pellone //Renewable Energy. – 2013. – I. 51. – P. 497–512.
11. Mohamed M. H. Performance investigation of H-rotor Darrieus turbine with new airfoil shapes / M. H. Mohamed // Energy. – 2012. – I. 47. – V. 1. – P. 522–530.
12. Demircan E. Design and analysis of a vertical axis water turbine for river applications using computational fluid dynamics : dis. – Middle East technical university, 2014.
13. Wang S. Turbulence modeling of deep dynamic stall at relatively low Reynolds number / S. Wang, D. B. Ingham, L. Ma, M. Pourkashanian, Z. Tao //Journal of Fluids and Structures. – 2012. – I. 33. – P. 191–209.
14. Wilson R. E. Wind-turbine aerodynamics / R. E. Wilson //Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. – 1980. – I. 5. – V. 3-4. – P. 357–372.
15. Migliore P. Wind tunnel aeroacoustic tests of six airfoils for use on small wind turbines / P. Migliore, S. Oerlemans // Journal of Solar Energy Engineering. – 2004. – I. 126. – V. 4. – P. 974–985.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.54.023

Бурханова А.Г.<sup>1</sup>, Забалуева Ю.Ю.<sup>2</sup>, Баженова Б.А.<sup>3</sup>, Герасимов А.В.<sup>4</sup>, Филиппов А.С.<sup>5</sup><sup>1</sup>Магистр, <sup>2</sup>ORCID: 0000-0001-5366-8811, Кандидат технических наук,<sup>3</sup>ORCID: 0000-0001-7380-5959 Доктор технических наук,<sup>4</sup>Аспирант, <sup>5</sup>Магистр,

Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления

Работа выполнена при поддержке гранта «Молодые ученые ВСГУТУ»

**МОДЕЛИРОВАНИЕ СОСТАВА МЯСНЫХ ЭМУЛЬСИЙ  
ДЛЯ МЯСНЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ****Аннотация**

*В статье представлены результаты моделирования рецептур мясных эмульсии, основным сырьем для которых являются субпродукты говяжьи. Методом линейного программирования были спроектированы рецептуры, которые кроме основного мясного сырья содержат также растительные и жировые компоненты. На основе полученных мясных эмульсий были разработаны полуфабрикаты в виде замороженных колбасок, которые по показателям пищевой ценности соответствуют требованиям, предъявляемым к мясным продуктам для детского питания.*

**Ключевые слова:** моделирование, рецептура, эмульсия, мясной продукт

Burchanova A.G.<sup>1</sup>, Zabalueva Yu.Yu.<sup>2</sup>, Bazhenova B.A.<sup>3</sup>, Gerasimov A.V.<sup>4</sup>, Filippov A.S.<sup>5</sup><sup>1</sup>Undergraduate, <sup>2</sup>ORCID: 0000-0001-5366-8811, PhD in Engineering,<sup>3</sup>ORCID: 0000-0001-7380-5959, PhD in Engineering,<sup>4</sup>Postgraduate student, <sup>5</sup>Undergraduate, East-Siberian State University of Technology and Management

This work was supported by the grant "Young scientists VSGUTU"

**SIMULATION THE RECIPE OF THE MEAT EMULSION FOR SEMI-PREPARED MEAT****Abstract**

*The article presents the results of simulation the recipes of meat emulsions, the main raw material for which are beef offal. Simulated recipes that have been obtained by linear programming techniques also have plant and fatty components. The semi-finished products in the form of frozen sausages from obtained meat emulsions were developed and the products have met for requirements of nutritional value for the meat products for baby food.*

**Keywords:** simulation, recipe, emulsion, meat product.

**В** настоящее время перед производителями мясной промышленности остро встает сырьевой вопрос. Помимо нехватки и дороговизны сырья, страдает его качество. Тем не менее, перерабатывающие предприятия стараются обеспечить максимальную выработку готовых продуктов с каждой единицы перерабатываемого сырья с одновременным повышением пищевой ценности и потребительских показателей изделий. Сегодня наметилась тенденция получения разнообразного ассортимента готовой продукции с учетом спроса потребителей и изменения конъюнктуры рынка. Для решения поставленной задачи актуальным является рациональное использование животного сырья с внедрением ресурсосберегающих технологий.

Для повышения пищевой ценности продуктов животного происхождения и регулирования их функционально-технологических свойств перспективным является создание комбинированных продуктов питания на основе комплексного использования традиционного животного белкового сырья и ингредиентов растительного происхождения [1-3].

Анализ современных технологий мясных продуктов показал, что на производстве все чаще применяют мясные эмульсии, в состав которых вводят жировое сырье животного и растительного происхождения, например, субпродукты, мясную массу от механической дообвалки костей скота и птицы, белковые и углеводные препараты.

Применение белковых и углеводных препаратов при производстве продуктов из сырья животного происхождения позволяет рационально использовать сырье, поступающее на переработку, увеличивать выработку изделий и повышать потребительские характеристики готовых продуктов, путем улучшения их функционально-технологических характеристик [4, 5]. При этом возможно использование эмульсии в качестве самостоятельных продуктов питания, так как они имеют диетические или лечебно-профилактические свойства.

Нами разработаны новые полуфабрикаты на основе мясных эмульсий из субпродуктов в виде охлажденных или замороженных сырых колбасок в натуральной оболочке (говяжьи или свиные черева). При разработке рецептур и технологии полуфабрикатов их рассматривали как многокомпонентные сложные дисперсные системы, свойства которой определяются характером взаимодействия и структурной совместимостью основных компонентов, прежде всего, белков и жиров.

Для определения оптимальных рецептур мясных эмульсии были разработаны математические модели рецептур эмульсий, учитывающие не только изменения функционально-технологические свойства компонентов, но и качественные характеристики готового продукта.

Сущность рецептурной задачи состоит в определении состава продукта, отвечающему заданным требованиям по комплексу показателей (в данном случае по пищевой ценности). Подбор всех компонентов был проведен с учетом свойств основных ингредиентов, пищевых добавок и органолептических показателей готового продукта, при этом в рецептуру могли войти обязательные и необязательные компоненты. Общий подход к разработке рецептуры эмульсий приведен на рисунке 1.

При разработке модели эмульсии основным ее наполнителем была говяжья стабилизированная кровь. Жировыми компонентами – масло сливочное, подсолнечное или жир-сырец свиной, отличающийся высокой степенью усвояемости по сравнению с жиром сырцом говяжьим или бараньим. В некоторые рецептуры колбас-полуфабрикатов на основе крови добавляли печень говяжью, молоко сухое обезжиренное, крупу манную и муку пшеничную первого сорта.





Рис. 1 – Общий подход к разработке рецептов эмульсионных продуктов

При решении задачи по определению оптимального состава мясных эмульсий совокупность требований к качеству готового продукта формулируется в виде множества ограничений, которые касаются как элементов химического состава, так и процентного содержания отдельных ингредиентов.

Так, ограничения, накладываемые на элементы химического состава эмульсий, имели следующий вид:

$$9 \leq C_1 \leq 18; 5 \leq C_2 \leq 10; 1 \leq C_3 \leq 2; 0 \leq C_4 \leq 10; 0,2 \leq C_2 / C_1 \leq 1; 65 \leq C_6 \leq 100,$$

где  $C_1, C_2, C_3, C_4$  – содержание белка, жира, золы, углеводов соответственно;  $C_6$  – уровень влагосвязывающей или влагоудерживающей способности.

Ограничения на использование ингредиентов, входящих в состав рецептуры эмульсий, можно выразить таким образом:

$$65 \leq y_1 \leq 95; 0 \leq y_2 \leq 15; 0 \leq y_3 \leq 10; 0 \leq y_4 \leq 10; 0 \leq y_5 \leq 10; 0 \leq y_6 \leq 10; 0 \leq y_7 \leq 7; 0 \leq y_8 \leq 5; 0 \leq y_9 \leq 10; 0 \leq y_{10} \leq 5; \\ \sum Y_{(1,2,3...10)} = 1$$

где  $y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6, y_7, y_8, y_9, y_{10}$  – массовые доли соответственно крови говяжьей стабилизированной, печени говяжьей, мозгов говяжьих, жира-сырца свиного, масла сливочного, масла растительного, молока сухого, манной крупы, муки пшеничной, соевого изолята.

Выбор ограничений осуществляли с учетом влияния отдельных ингредиентов и их химического состава на качество эмульсий. Для определения количества основных компонентов в каждой рецептуре функцией цели была энергетическая ценность.

Последовательность поиска оптимальных комбинаций ингредиентов представлена блок-схемой алгоритма поиска (рис. 2).

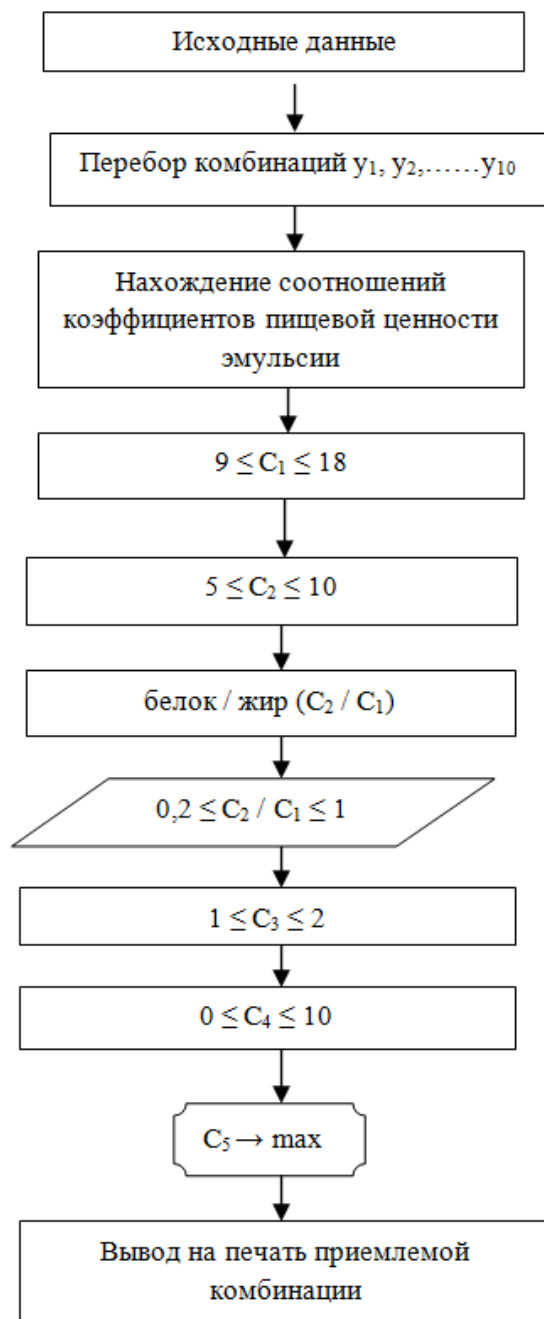


Рис. 2 – Блок-схема алгоритма поиска

В результате проведенных расчетов было получено несколько комбинаций рецептурных ингредиентов, для которых определены ожидаемые значения показателей химического состава и уровня технологических свойств.

В работе предложено несколько вариантов эмульсий в качестве колбас-полуфабрикатов для детского питания (табл. 1). Общее содержание белка в колбасах составляло от 14 до 20%, а жира – от 6 до 10 %. На основании органолептической оценки и динамики ФТС определены количества в составе колбасок-полуфабрикатов: молока сухого – от 4 до 6 %, цельной крови – от 67 до 92 %, масла сливочного или жира-сырца свиного – 3-10%, муки и манной крупы – до 7 %.

Таблица 1 – Состав эмульсий

Основное сырье (кг на 100 кг продукта)	Варианты рецептуры									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. Кровь говяжья стабилизированная	68,0	75,0	67,0	79,5	92,0	86,0	86,0	75,0	84,0	80,0
2. Печень говяжья	12,0	13,0	14,0	5,0	0	0	0	0	0	0
3. Мозги говяжьи	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,0
4. Жир-сырец	0	0	0	5,0	0	0	0	10,0	9,0	0
5. Масло сливочное	6,0	0	10,0	5,0	3,0	9,0	9,0	0	0	0
6. Масло растительное	8,0	0	0	0	0	0	0	10,0	0	5,0
7. Молоко сухое	6,0	0	5,0	0	0	0	0	4,0	0	5,0
8. Манная крупа	0	0	0	4,0	5,0	3,0	0	1,0	0	2,0
9. Мука пшеничная	0	0	0	0	0	0	5,0	0	7,0	0
10. Соевый изолят	0	2,0	4,0	1,5	0	2,0	0	0	0	0
Общая органолептическая оценка, баллы	7,8	6,3	6,8	8,0	6,9	7,8	7,2	7,5	6,3	7,5

Полученные данные легли в основу разработки рецептов эмульсий новых видов продуктов питания - колбасок-полуфабрикатов. Корректирующей функцией цели была сумма незаменимых аминокислот. Оптимальные рецепты колбасок-полуфабрикатов, ориентированные на химический состав и биологическую ценность, представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Оптимальные рецепты колбасок-полуфабрикатов

Сырье	Ассортимент				
	Молоч-ные	Детские	Минутка	Школьные	Переменка
Кровь говяжья стабилизированная	52	75	86	80	76
Печень говяжья	20	10	-	-	-
Жир-сырец		5		5	9
Молоко сухое	12			10	2
Масло сливочное	6	5	9		
Масло подсолнечное	8			5	8
Манная крупа		5			5
Соевый изолят	2		2		
Мука пшеничная			3		
Соотношение «белок:жир»	1:0,7	1:0,2	1:0,5	1:0,6	1:1
F <sub>ц</sub> энерг. ценность, ккал	202,8	151,7	140,4	166,3	205,8

Таким образом, рецепты колбасок-полуфабрикатов, рассчитанные методом линейного программирования, вполне рациональны за счет введения нетрадиционных видов сырья, растительных компонентов, растительных масел. Готовые продукты по таким важным показателям пищевой ценности, как белки и жиры соответствуют требованиям, предъявляемым к мясным продуктам для детского питания, и могут быть рекомендованы для питания детей дошкольного и школьного возраста.

#### Список литературы / References

1. Баженова Б.А., Данилов М.Б., Забалуева Ю.Ю., Бадмаева Т.М., Аюшеева Г.Н. Биологически активная добавка для мясных продуктов // Все о мясе. 2016. № 3. С. 14-19
2. Забалуева Ю.Ю., Баженова Б.А., Попова А.О., Полозова Т.В. Использование белково-жировых суспензий в технологии мясорастительных котлет // Мясные технологии. 2016. № 7 (163). С. 37-39.
3. Колесникова Н.В., Забалуева Ю.Ю., Старцева А.А., Власова Н.Ю. Растительные наполнители в технологии производства рубленых полуфабрикатов из баранины // Мясная индустрия. 2012. № 11. С. 53-55.

4. Баженова Б.А., Забалуева Ю.Ю., Иванов А.Ю. Новые составы эмульсий для мясных рубленых полуфабрикатов // Мясная индустрия. 2016. № 3. С. 15-18.

5. Иванов А.Ю., Колесникова Н.В., Забалуева Ю.Ю., Баженова Б.А. Перспективы использования белково-жировых эмульсий при производстве пищевых продуктов // Мясной ряд. 2013. № 4. С. 32.

#### Список литературы на английском языке / References in English

1. Bazhenova B.A. Biologicheski aktivnaya dobavka dlya myasnykh produktov [Biologically active additive for meat products] / B.A. Bazhenova, M.B. Danilov, Yu.Yu. Zabalueva, T.M. Badmaeva, G.N. Ayusheeva // Vse o myase [All About Meat]. 2016. № 3. P. 14-19. [in Russian]

2. Zabalueva Yu.Yu. Ispol'zovanie belkovo-zhirovyykh suspenzii v tekhnologii myasorastitel'nykh kotlet [The use of protein-fatty suspensions in technology of cutlets from meat and vegetable] / Yu.Yu. Zabalueva, B.A. Bazhenova, A.O. Popova, T.V. Polozova // Myasnye tekhnologii [Meat Technology]. 2016. № 7 (163). P. 37-39. [in Russian]

3. Kolesnikova N.V. Rastitel'nye napolniteli v tekhnologii proizvodstva rublenykh polufabrikatov iz baraniny [Vegetable fillers in technology of semi-prepared of lamb] / N.V. Kolesnikova, Yu.Yu. Zabalueva, A.A. Startseva, N.Yu. Vlasova // Myasnaya industriya [Meat Industry]. 2012. № 11. P. 53-55. [in Russian]

4. Bazhenova B.A. Novye sostavy emul'sii dlya myasnykh rublenykh polufabrikatov [New compositions of emulsion for semi-prepared meat] / B.A. Bazhenova, Yu.Yu. Zabalueva, A.Yu. Ivanov // Myasnaya industriya [Meat Industry]. 2016. № 3. P. 15-18. [in Russian]

5. Ivanov A.Yu. Perspektivy ispol'zovaniya belkovo-zhirovyykh emul'sii pri proizvodstve pishchevykh produktov [Perspectives of using of protein-fatty emulsions in the manufacture of food products] / A.Yu. Ivanov, N.V. Kolesnikova, Yu.Yu. Zabalueva, B.A. Bazhenova // Myasnoi ryad [Meat Series]. 2013. № 4. P. 32. [in Russian]

DOI: 10.18454/IRJ.2016.54.114

Волкова О.Р.<sup>1</sup>, Саркисова И.О.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ORCID: 0000-0002-2364-5691, кандидат технических наук; <sup>2</sup>кандидат технических наук, ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

### ОШИБКИ, ОКАЗЫВАЮЩИЕ ВЛИЯНИЕ НА ПРОЦЕДУРУ ИДЕНТИФИКАЦИИ И МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИАГНОСТИРУЕМОЙ СИСТЕМЫ

*Аннотация*

Работа посвящена видам ошибок, с которыми сталкиваются исследователи при применении взаимно-корреляционного метода, предложенного Н. Винером при диагностировании высокоэффективных технических систем.

**Ключевые слова:** идентификация, моделирование, диагностика, функциональные ряды Винера.

Volkova O.R.<sup>1</sup>, Sarkisova I.O.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ORCID: 0000-0002-2364-5691, PhD in Engineering, <sup>2</sup> PhD in Engineering, MSTU «STANKIN».

### ERRORS THAT AFFECT THE PROCESS OF IDENTIFYING AND MODELING DIAGNOSED SYSTEM

*Abstract*

The article describes the main types of errors encountered by researchers when using cross-correlation method proposed by N Wiener in diagnosis of highly technical systems.

**Keywords:** identification, modeling, diagnostics, functional series Wiener.

Решение задач оперативной диагностики современных высокоэффективных систем различного назначения невозможно без широкого использования методов математического моделирования. Одной из важнейших проблем при этом является формализованное описание поведения диагностируемой системы соответствующей достоверной математической моделью. В случае недостаточности или отсутствии априорных данных об исследуемой динамической системе предпочтительней оказывается подход, при котором для установления причинно-следственных зависимостей применяются методы идентификации, базирующиеся на оценивании структуры и параметров модели по экспериментальным данным, получаемым при опытных или эксплуатационных испытаниях. Одним из инструментов, реализующим это направление, является подход, который основывается на разложениях выходного процесса диагностируемой технической системы в функциональные ряды ([1], [2]) и позволяет естественным образом интерпретировать результаты его применения в удобных для пользователя терминах. Идея подхода заключается в аппроксимации выхода (построении математической модели)  $y(t) \in L_2(C)$  диагностируемой системы ортогональным рядом Винера:

$$y(t) = \sum_{j=1}^{\infty} G_j[h_j, x(t)], \quad (1)$$

где  $G_j[h_j, x(t)]$  – ортогональный функционал Винера порядка  $j$ ,  $h_j(t, \tau_1, \dots, \tau_j)$  – ядро функционала Винера порядка  $j$ . При этом конструирование модели диагностируемой системы по взаимосвязи между входным и выходным процессам  $x(t)$  и  $y(t)$  сводится к реализации следующих двух основных этапов:

- определение ядер функционалов в (1) (идентификация характеристик диагностируемой системы);
- конструирование модели исследуемой системы в виде конечной суммы (1) (моделирование реакции (прогноз поведения) диагностируемой системы).

Далее достаточно оценить рассматриваемые функции в условиях, характерных для нормальной работы диагностируемой системы и сравнивать с ними измеряемые зависимости.

Несмотря, что данный подход имеет возможность широкого применения при диагностировании реальных систем различной природы и назначения, он до сих пор не нашел широкого практического применения. Связано это с рядом экспериментальных трудностей, вызванных технологией вычисления функционалов Винера более высоких порядков, и ошибками применения данного метода. Остановимся более подробно на рассмотрении некоторых ошибок, влияющих на результат диагностирования исследуемых систем. Так как, если иметь в виду ошибки моделирования, которые получаются при построении моделей с помощью рядов из функционалов (1), то они образуются в основном из трех видов погрешностей:

- ошибок в задании вида функционалов;
- ошибок вызванных неточным вычислением ядер;

– вычислительных ошибок, в частности, поскольку реализация моделей осуществляется с применением цифровой техники, то это – ошибки дискретного представления многомерных сверток. Эти ошибки на практике значительно меньше, в сравнении с первыми двумя, поэтому нет необходимости в их детальном рассмотрении в данной статье.

Весьма значительное влияние на результат моделирования оказывает первый вид ошибок, а соответственно, и на результат диагностирования исследуемой системы. Данный вид ошибок при построении моделей с помощью взаимно-корреляционного метода идентификации вызван нарушением ортогональности  $G_n$ -функционалов. Это связано с тем, что выражения для ортогональных функционалов в виде, предложенным в [1] или [2], справедливы только при идеальном «белом шуме» на входе. На практике же используются сигналы, отличные от «белого шума», что приводит к тому, что функционалы в представлении (1) не являются ортогональными (рис.1а). А, следовательно, необоснованное применение выражений для функционалов  $G_n$  является основным источником грубых ошибок при вычислении ядер и построении моделей. Однако если при идентификации исследуемого объекта использовать метод [3], основанный на построении ортогональных функционалов относительно применяемого тестирующего воздействия [4] (рис.1б), то появление ошибок вызванных нарушением ортогональности практически полностью исключается. Причем сама процедура ортогонализации осуществляется непосредственно при вычислении ядер.

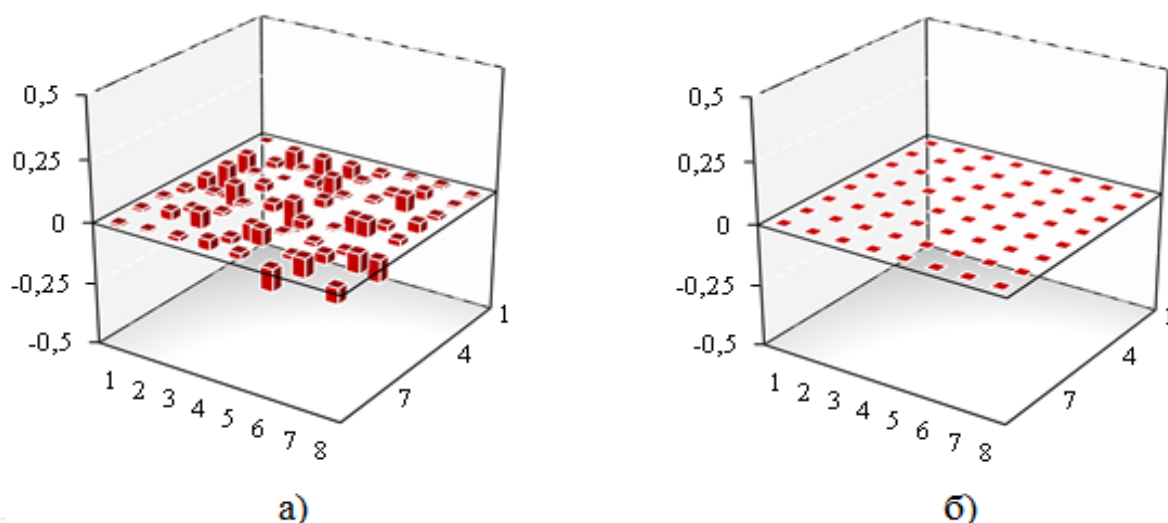


Рис. 1 – Оценка АКФ 3-го порядка сигнала, подаваемого на вход исследуемых моделей: а) сформированного стандартным генератором СП, б) подвергнутому преобразованию с целью обеспечения ортогональности

На рис.2. приведены зависимости дисперсий ошибки  $\delta$  двух квадратических моделей от количества учитываемых точек в ядрах системы  $m$ , где первая модель была построена с использованием взаимно-корреляционного метода без дополнительного преобразования построенного сигнала типа «белый шум», а для создания второй модели использовался подход, основанный на построении ортогональных функционалов относительно применяемого тестового воздействия соответствующего сигналу «белый шум».

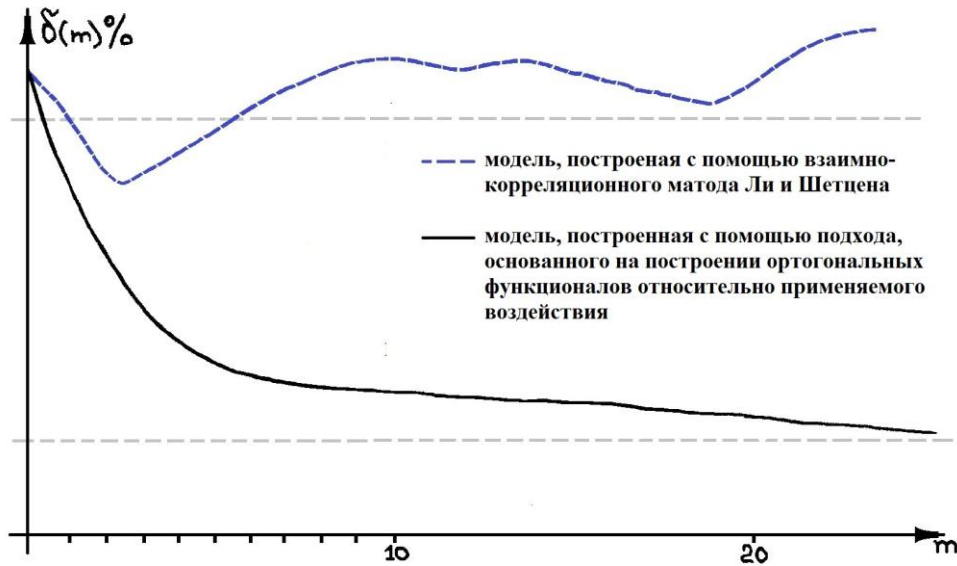


Рис. 2 – Зависимость дисперсии ошибки квадратической модели от количества учитываемых точек в ядрах системы

Как видно из рисунка, с ростом числа учитываемых точек в ядрах дисперсия ошибки 1-ой модели существенно возрастает, а для второй модели она уменьшается, становясь практически постоянной, после того как число точек в ядре охватило всю память системы.

Второй тип ошибок, который оказывает влияние на результат моделирования с помощью рядов из функционалов, связан непосредственно с самим процессом вычисления ядер диагностируемой системы.

Среднеквадратическую ошибку произведенного моделирования. Пусть исследуемая система носит квадратический характер. Тогда её выходной сигнал при воздействии  $x(t)$  можно представить в виде:

$$y_2(t) = h_0 + \hat{h}_{02} + \int_{E^1} h_1(\tau) x(t - \tau) d\tau + \int_{E^2} h_2(\tau_1, \tau_2) \prod_{i=1}^2 x(t - \tau_i) d\tau_1 d\tau_2, \quad (2)$$

где  $h_0, \hat{h}_{02}, h_1(\tau), h_2(\tau_1, \tau_2)$  – набор ядер, соответствующий диагностируемой системе.

Допустим, что в результате проведения процедуры идентификации экспериментально вычислен набор ядер  $\{\hat{h}\}$ . Тогда построенная по этому набору модель исследуемой системы образует выходной сигнал:

$$\hat{y}_2(t) = \hat{h}_0 + \hat{h}_{02} + \int_{E^1} \hat{h}_1(\tau) x(t - \tau) d\tau + \int_{E^2} \hat{h}_2(\tau_1, \tau_2) \prod_{i=1}^2 x(t - \tau_i) d\tau_1 d\tau_2,$$

Соответственно, среднеквадратическая ошибка произведенного моделирования с учетом, что входное воздействие  $x(t)$  является идеальным "белым" гауссовским шумом, определяется выражением вида:

$$\begin{aligned} M[(\hat{y}_2(t) - y_2(t))^2] &= \\ &= (\hat{h}_0 - h_0)^2 + N \int_{E^1} (\hat{h}_1(\tau) - h_1(\tau))^2 d\tau + \\ &+ 2N^2 \int_{E^2} (\hat{h}_2(\tau_1, \tau_2) - h_2(\tau_1, \tau_2))^2 d\tau_1 d\tau_2 \end{aligned} \quad (3)$$

В общем случае определяется в виде для входного сигнала в виде идеального "белого" шума среднеквадратическая ошибка моделирования:

$$\begin{aligned} M[(\hat{y}(t) - y(t))^2] &= \\ &= \sum_{n=0}^{\infty} n! N^n \int_{E^n} (\hat{h}_n(\tau_1, \dots, \tau_n) - h_n(\tau_1, \dots, \tau_n))^2 d\mathcal{G}_n^\tau = \\ &= \sum_{n=0}^{\infty} n! N^n \int_{E^n} (\delta h_n(\tau_1, \dots, \tau_n))^2 d\mathcal{G}_n^\tau \end{aligned} \quad (4)$$

зависит от квадрата рассогласования  $\delta h_n^2$  между оцененными и истинными значениями ядер.

Из выше сказанного следует, что точность искомых динамических характеристик диагностируемой системы во многом определяется требованиями к параметрам формируемого входного сигнала и к правильной организации самой процедуры идентификации:

- проведение предварительного тестирования системы сигналом специального вида с целью: уточнения интервала дискретности по времени как для входного, так и выходного сигнала, определения полосы пропускания и глубины памяти системы, порядка нелинейности и стационарности процессов, протекающих в системе;
- на основе полученных предварительных данных с помощью сформированного случайного процесса, отвечающего требованиям сигнала «белый шум», определение соответствующих диагностируемой системе набора ядер функционалов Винера и степени адекватности полученных характеристик реальному объекту.

#### Список литературы / References

1. Винер Н. Нелинейные задачи в теории случайных процессов/ Н. Винер. – М. Изд-во иностранной литературы, 1961 – 159с.
2. Ли Ю.В., Шетцен М. Определение ядер Винера-Хопфа для нелинейных систем методом взаимной корреляции/ Ю.В. Ли, М. Шетцен // В сб. Техническая кибернетика за рубежом. М.: Машиностроение, 1968. - 278 с.
3. Волков Н.В. Функциональные ряды в задачах динамики автоматизированных систем/ Н.В. Волков - М.: Янус-К., 2001. – 100 с.
4. Соломенцев Ю.М., Волков Н.В., Волкова О.Р. Конструирование моделей СП с заданными свойствами методом Винера для идентификации динамических систем/ Ю.М. Соломенцев, Н.В. Волков, О.Р. Волкова // - ИТ и ВС РАН – 2005. – №3. – С.36-46
5. Дейч А.М. Методы идентификации динамических объектов/ А.М. Дейч – М.: Энергия, 1979.- 240 с.

#### Список литературы на английском языке / References in English

1. Wiener N. Nelinejnye zadachi v teorii sluchajnyh processov [Nelinear problems in the theory of random processes]/ N. Wiener - M. Publishing House of Foreign Literature, 1961 – 159 p. [in Russian]
2. Li Ju.V., M. Stetcen. Opredelenie jader Vinera-Hopfa dlja nelinejnyh sistem metodom vzaimnoj korrelyacii [Defining of the cross-correlation method core Wiener-Hopf for nonlinear systems]/ Ju.V. Li, M. Stetcen // V sb. Tehnicheskaja kibernetika za rubezhom [The collection Tech. Cybernetics overseas] – M.: Engineering, 1968. – 278 p. [in Russian]
3. Volkov N.V. Funkcional'nye rjady v zadachah dinamiki avtomatizirovannyh system [Functional series in the problems of the dynamics of automated systems]/ N.V. Volkov. – M. Janus-K, 2001. - 100 p. [in Russian]
4. Solomentsev Y.M., Volkov N.V., Volkova O.R. Konstruirovanie modelej SP s zadannymi svojstvami metodom Vinera dlja identifikacii dinamicheskix system [Construction of models of random processes with specified properties by the Wiener method for the identification of dynamical systems]/ Y.M. Solomentsev, N.V. Volkov, O.R. Volkova// – IT i VS RAN [IT and CS the RAS] – 2005. – №3. – P. 36-46 [in Russian]
5. Dejch A.M. Metody identifikacii dinamicheskix obektov [Methods of identification of dynamic objects]/ Dejch A.M. – M.: Jenergiya, 1979.- 240 p. [in Russian]

DOI: 10.18454/IRJ.2016.54.193

Волощенко Л.В.<sup>1</sup>, Салаткова Н.П.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Кандидат сельскохозяйственных наук, <sup>2</sup>кандидат технических наук,  
Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина

#### ПРИМЕНЕНИЕ ВТОРИЧНЫХ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ КРОВИ В ТЕХНОЛОГИИ МЯСНЫХ ПРОДУКТОВ

##### Аннотация

*Проанализирована возможность использования вторичных продуктов переработки крови в технологии мясных рубленых полуфабрикатов. Проведены исследования светлого пищевого альбумина крови и его функционально-технологические свойства. Также проведены исследования по влиянию светлого пищевого альбумина на физико-химические и органолептические показатели готовых изделий и определены потери после термической обработки. Проведённые на модельных фаршевых системах из свинины готовые продукты исследования показали, что введение светлого пищевого альбумина в фарш целесообразно вносить в количестве 15 %.*

**Ключевые слова:** светлый альбумин крови, модельные фаршевые системы, функционально-технологические свойства.

Voloshchenko L.V.<sup>1</sup>, Salatkova N.P.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>PhD in Agriculture, <sup>2</sup>PhD in Engineering, Belgorod state agricultural university of V. Ya. Gorin  
**APPLICATION OF BY-PRODUCTS OF CONVERSION OF BLOOD IN TECHNOLOGY OF MEAT PRODUCTS**

##### Abstract

*The possibility of use of by-products of conversion of blood in technology of meat chopped semifinished products is analysed. Researches of light food albumine of blood and its functional and technological properties are conducted. Researches on influence of light food albumine on physical and chemical and organoleptic indicators of finished products are also conducted and losses after heat treatment are determined. Carried out on model the farshevykh systems from pork ready-made products of a research showed that it is reasonable to bring entering of light food albumine in forcemeat in number of 15%.*

**Keywords:** light albumine of blood, model farshevy systems, functional and technological proper.

**В** настоящее время дефицит белка в рационе человека и продуктов, содержащих белок – является очень важной проблемой [4, С. 39].

Белки животного происхождения способны удовлетворять организм человека в незаменимых аминокислотах. Помимо этого, они являются пластическим материалом организма, входя в состав ферментов и гормонов, участвуют в



обмене веществ. В рационе человека животный белок должен составлять 50-60% общего количества потребляемого белка. Учёными было доказано, что если содержание белков в питании человека оптимально, то это положительно сказывается на работе центральной нервной системы – повышается её работоспособность. Но, как известно больше половины жителей России, а именно 56% испытывают дефицит белка. Решением этой проблемы может быть применение в рационах питания продуктов, обогащённых легкоусвояемым белком [2, С. 30].

Важную роль в решении проблемы белковой недостаточности играет вторичное сырьё мясоперерабатывающей отрасли, которая по концентрации белка и биологической ценности занимает одно из первых мест среди других видов сырья.

Особую роль в таком сырье играет кровь убойных животных, а именно белковая фракция плазмы крови. Она является максимально перевариваемой и усвояемой [1, С. 54].

В связи с этим представляет широкий интерес создание новых видов мясных продуктов, имеющих в своём составе белок плазмы крови, а именно светлый пищевой альбумин. Создание таких продуктов позволит не только обогатить продукт легкоусвояемым белком, но и создать безотходное производство [3, С. 33].

Проведя исследования светлого пищевого альбумина крови, мы пришли к выводу, что он обладает высокими функционально-технологическими свойствами: водопоглащающей, эмульгирующей, гелеобразующей способностями. Также светлый альбумин уменьшает потери мясных продуктов при тепловой обработке, а, следовательно, увеличивает выход готового продукта. Исходя из этого, было решено использовать светлый пищевой альбумин при производстве рубленых полуфабрикатов (котлет).

Исследования проводились на модельных фаршевых системах из свинины. Замену мясного сырья производили от 5% до 25% по белку и по массе.

Полученные результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Физико-химические и органолептические показатели модельных фаршевых систем из свинины (n=3, V<5)

№	Показатели	Конт-роль	ОН№1	ОН№2	ОН№3	ОН№4	ОН№5
Сырой фарш							
1	Массовая доля влаги, %	62,64	45,94	50,42	57,70	60,52	71,66
2	ВСС, % к общей влаге	97,40	95,90	96,60	97,33	97,89	98,90
3	pH, ед.	6,45	6,69	6,79	6,80	6,81	6,81
4	Пластичность, см <sup>2</sup> /г	17,3	11,9	16,2	17,3	17,5	17,7
Готовый продукт							
1	Массовая доля влаги, %	56,96	40,37	44,44	51,18	54,89	67,22
2	ВУС, % к общей влаге	66,07	62,05	64,39	66,93	67,73	67,77
3	pH, ед.	6,67	6,76	6,83	6,85	6,85	6,90
4	Пластичность, см <sup>2</sup> /г	6,0	7,1	6,9	6,6	6,3	6,1
5	Потери, %	10,10	12,54	10,66	9,12	9,04	9,01
6	Органолептическая оценка, балл	5,0	4,9	4,8	4,8	4,7	4,5

По полученным данным видно, что светлый пищевой альбумин влияет на физико-химические и органолептические показатели мясных фаршевых систем из свинины.

Массовая доля влаги в исследуемых образцах - сырых и готовых - изменяется. Было установлено, что этот показатель по мере увеличения введения светлого пищевого альбумина возрастает. В образцах с ОН№1 по ОН№4 массовая доля влаги и в сыром и в готовом продуктах меньше, чем в контрольных образцах. В образце ОН№5 в 1,5 раза превышает контрольные образцы сырого и готового продукта. Из полученных данных следует вывод, что светлый пищевой альбумин положительно сказывается на связывании влаги в продукте.

Данные по водородному показателю меняются незначительно. В сырых образцах и готовом продукте наблюдается увеличение pH, что положительно сказывается на ВСС, ВУС и потерях готового продукта.

Водосвязывающая способность по мере увеличения введения светлого пищевого альбумина увеличивается с 95,90% до 98,90%. В образцах ОН№1 и ОН№2 ВСС минимально - это связано с перераспределением влаги в структуре мышечного белка и альбумина. В образцах ОН№4 и ОН№5 ВСС превышает контрольный образец на 1%. Был установлен рост водоудерживающей способности. В опытных образцах ОН№1 и ОН№2 ВУС меньше чем в контрольном образце, а в образцах ОН№3-ОН№5 водоудерживающая способность увеличивается и превышает контрольный образец на 1-1,5%. Из этого следует, что матрица белка – светлого пищевого альбумина - после термической обработки связывает влагу.

Было выявлено, что при наибольшем добавлении светлого пищевого альбумина сырой фарш становится более пластичным (11,9-17,7 см<sup>2</sup>). В готовом продукте пластичность, наоборот, уменьшается с 7,1 до 6,1 см<sup>2</sup>. Это объясняется тем, что белок при термообработке образует более плотные гели [1, С. 55].

После термической обработки были определены потери модельных фаршевых систем из свинины. С увеличением уровня введения светлого пищевого альбумина потери снижаются. Наименьшие потери отмечаются в образцах ОН№3-ОН№5 и составляют 9,12 г, 9,04 г и 9,01 г, соответственно, в то время, как в контрольном образце, потери равны 10,1 г.

Данные по органолептической оценке показали, что светлый пищевой альбумин отрицательно сказывается на вкусе и запахе готового продукта, но улучшает структурно-механические показатели. Исходя из этого, рекомендовано вводить светлый пищевой альбумин в рецептуру рубленых полуфабрикатов не более 20%.

Проведённые на модельных фаршевых системах из свинины исследования показали, что введение светлого пищевого альбумина в фарш целесообразно.

В качестве контрольного образца были приняты котлеты «Киевские» ТУ 9214-012-84579933-09. Светлый пищевой альбумин вводили с заменой мясного сырья 15% (ОН№1) и 20% (ОН№2). Рецептуры опытных образцов котлет представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Рецептуры опытных образцов котлет

№ п/п	Сырьё, пряности и материалы, г	Контроль	ОН№1	ОН№2
1	Мясо котлетное свиное	52,74	44,83	42,25
2	Жир-сырец говяжий или свиной или обрезки шпика несолёные	4	4	4
3	Хлеб из пшеничной муки	14	14	14
4	Сухари панировочные	4	4	4
5	Лук репчатый свежий очищенный измельчённый	3	3	3
6	Перец чёрный молотый	0,06	0,06	0,06
7	Соль поваренная пищевая	1,2	1,2	1,2
8	Вода питьевая	21	21	21
9	Светлый пищевой альбумин	-	1,38	1,83
10	Вода на гидратацию альбумина	-	6,53	8,66
11	Итого:	100	100	100

Данные по физико-химическим и органолептическим показателям сырого фарша и готового продукта приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Физико-химические и органолептические показатели опытных образцов мясных рубленых полуфабрикатов (n=3, V&lt;5%)

№ п/п	Показатели	Контроль	ОН№1	ОН№2
Сырой фарш				
1	Массовая доля влаги, %	72,52	69,49	71,41
2	pH, ед.	6,25	6,31	6,35
3	ВСС, % к общей влаге	76,92	78,07	79,81
4	Пластичность, см <sup>2</sup> /г	12,5	12,7	14,2
Готовый продукт				
1	Массовая доля влаги, %	56,93	56,76	57,84
2	pH, ед.	6,30	6,38	6,41
3	ВУС, % к общей влаге	66,21	66,91	68,29
4	Пластичность, см <sup>2</sup> /г	7,7	7,3	6,9
5	Потери, %	10,11	9,32	9,18
6	Органолептическая оценка, балл	4,9	4,8	4,3

Из данных таблицы видно, что тенденция изменения физико-химических свойств рубленых полуфабрикатов аналогична модельным фаршевым системам из свинины, содержащих светлый пищевой альбумин.

Данные по водородному показателю меняются незначительно, как в сыром фарше, так и в готовом продукте. Это положительно сказывается на вкусе продукта после термической обработки.

Анализируя массовую долю влаги, установили, что и в сыром и в готовом продукте она на 1-2% ниже, чем в контрольном образце.

Данные по водосвязывающей способности показали, что в опытных образцах этот показатель повышается относительно контроля на 2-3%.

Водоудерживающая способность увеличивается с увеличением уровня введения светлого пищевого альбумина с 66,91% до 68,29%.

Показатель пластичности опытных образцов сырого фарша повышается относительно контроля незначительно. В сыром продукте пластичность увеличивается с 12,7 до 14,2 см<sup>2</sup>/г, а в готовом продукте снижается с 7,3 до 6,9 см<sup>2</sup>/г.

Проведя органолептическую оценку, сделали вывод о том, что образцы имеют приемлемые показатели внешнего вида, цвета, консистенции, но чувствуется субпродуктовый вкус и запах, который наиболее ярко выражен в образце ОН№2.

Проведённые исследования на модельных фаршевых системах и мясных рубленых полуфабрикатах подтверждают целесообразность замены мясного сырья светлым пищевым альбумином в количестве 15%.

#### Список литературы / References

1. Антипова Л. В. Возможность использования плазмы крови убойных животных в новых белковых продуктах / Л. В. Антипова, А. Л. Кульпина // Известия вузов. Пищевая технология. - 1998. - № 6. - С.53-55.
2. Кудряшов Л. С. Переработка и применение крови животных / Л. С. Кудряшов // Мясная индустрия. – 2010. - № 9. – С. 28 – 31.

3. Семенова А. А. Применение светлого альбумина при производстве мясопродуктов / А. А. Семенова, Ф. В. Холодов // Все о мясе. – 2008. – № 6. – С. 33 – 37.

4. Файвишевский М. Л. К вопросу о переработке и использовании пищевой крови / М.Л. Файвишевский // Мясные технологии. – 2014. – № 11. – С. 38 - 41.

#### Список литературы на английском языке / References in English

1. Antipova L.V. Vozmozhnost ispolzovaniya plazmy krovi uboynykh zhivotnykh v novykh belkovykh produktakh [A possibility of use of plasma of blood of lethal animals in new proteinaceous products] / L.V. Antipova, A.L. Kulпина // Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya [News of higher education institutions. Food technology]. - 1998. - №6. – P. 53-55. [in Russian]

2. Kudryashov L. S. Pererabotka i primeneniye krovi zhivotnykh [Conversion and use of blood of animals] / L. S. Kudryashov // Myasnaya industriya [Meat industry]. – 2010. - №9. – P. 28 – 31. [in Russian]

3. Semenova A. A. Primeneniye svetlogo albumina pri proizvodstve myasoproduktov [Use of light albumine in case of production of meat products] / A. A. Semenova, F. V. Holodov // Vse o myase [All about meat]. – 2008. – №6. – P. 33 – 37. [in Russian]

4. Fayvishevsky M. L. K voprosu o pererabotke i ispolzovanii pishchevoy krovi [To a question of conversion and use of alimentary blood] / M. L. Fayvishevsky // Myasnye tekhnologii [Meat technologies]. – 2014. - №11. – P. 38 - 41. [in Russian]

DOI: 10.18454/IRJ.2016.54.199

Глозман О.С.

ORCID: 0000-0002-2665-7284, кандидат технических наук, советник РААСН, Государственное унитарное предприятие Московской области «Научно-исследовательский институт комплексного проектирования»

#### МЕЖДУНАРОДНАЯ ДИСКУССИЯ НА ТЕМУ ПОДЗЕМНОЙ УРБАНИСТКИ

#### Аннотация

*Статья подготовлена по материалам 15-ой Всемирной конференции ACUUS. Описаны основные мировые тенденции использования подземного пространства для улучшения качества городской среды. Рассмотрены два принципиально разных подхода к использованию подземного ресурса для развития транспортной инфраструктуры крупных городов. На примере Мадрида показано как под землю перемещается автомобильное движение. Пример Москвы демонстрирует, как возможно организовать пешеходные улицы ниже уровня земли. Подчеркивается значимость вступления России в мировую научную дискуссию о градостроительном освоении подземного пространства.*

**Ключевые слова:** градостроительство, геоурбанистика, подземное пространство, подземные улицы, генеральный план, общественные пространства, ACUUS.

Glozman O.S.

ORCID: 0000-0002-2665-7284, PhD in Engineering, adviser RAASN, State unitary enterprise of Moscow region “Scientific research institute of integrated design”

#### INTERNATIONAL DISCUSSION ABOUT URBAN UNDERGROUND

#### Abstract

*The article is based on the 15 World Conference ACUUS. The main world trends of using underground space for improvement quality the urban environment were described. We consider two fundamentally different approaches to the use of underground resources for the development of transport infrastructure of major cities. For example, Madrid is shown as vehicular traffic moves under the ground. The example of Moscow shows as it is possible to organize pedestrian streets lower than the level of the earth. The importance of the entry of Russia in a world scientific discussion about town-planning development of underground space is emphasized.*

**Keywords:** town planning, urban geography, underground space, master plan, public spaces, ACUUS.

«Подземная урбанизация как необходимое условие устойчивого развития городов» - под такой темой прошла в сентябре в Санкт-Петербурге 15-я Всемирная конференция ACUUS.

Конференция ACUUS проходит раз в два года в разных городах мира на протяжении 30 лет и собирает различных специалистов: архитекторов, градостроителей, строителей, которые заняты вопросами освоения подземного пространства. Впервые конференция состоялась в Сиднее в 1983 году. С тех пор мероприятие проводилось в разных городах по всему миру. В этом году состоялась очередная конференция, прошедшая в России и ставшая 15-ой по счету. [1]

Всемирная конференция проходила от имени Объединения исследовательских центров подземного пространства мегаполисов. Это крупнейшая международная организация, занятая вопросами развития подземного городского пространства (Associated research Centers for the Urban Underground Space), которая в настоящее время представлена 15 странами, где подземное строительство наиболее востребовано и имеет перспективный вектор развития. С 2012 года к этому списку присоединилась и Россия. Целью конференции являлось привлечение ведущих специалистов со всего мира, занятых в области подземного строительства, для обмена опытом и полезной информацией. Конференция сопровождалась техническими экскурсиями на объекты, которые в данное время находятся на этапе строительства. [2]

В сентябре этого года впервые конференция прошла в Санкт-Петербурге. Стоит отметить, что большой вклад в проведение конференции ACUUS вложил Сергей Николаевич Апатов, генеральный директор НП «Объединение подземных строителей», предложивший провести конференцию в 2016 году во второй столице России - Санкт-Петербурге. 9 августа 2013 года Совет директоров дал положительный ответ на это предложение. Инициатива

российских специалистов к теме строительства в подземном пространстве наглядно демонстрирует, что наша страна приходит к необходимости интенсивнее использовать подземный ресурс для развития городов.

В состав Научного комитета конференции вошли 33 эксперта из 19 стран мира. За 4 дня в конференции приняли участие более 600 человек из 38 зарубежных стран и 17 регионов России. В рамках конференции прозвучало порядка 117 сообщений от ведущих специалистов, собравшихся с разных уголков планеты.

Необходимо отметить официальный и высоконучный статус мероприятия в нашей стране. Целью конференции являлось привлечение ведущих специалистов со всего мира, занятых в области подземного строительства, для обмена опытом и полезной информацией. Конференция сопровождалась техническими экскурсиями на объекты, которые в данное время находятся на этапе строительства. По окончании международной конференции эксперты сошлись во мнении, что встреча ведущих специалистов мира в России пойдет на пользу как самой России, так и самим специалистам, посетившим ACUUS 2016.

Традиционно дискуссионная площадка формировалась пленарным заседанием и отдельными секциями, где обменивались накопленными знаниями эксперты в области освоения подземного пространства. В ходе секционных заседаний обсуждался широкий круг вопросов, касающихся планирования, проектирования, строительства и эксплуатации подземных сооружений. Россия была представлена как одна из ведущих стран в сфере подземного строительства.

Российская академия архитектуры и строительных наук была представлена в секции «Градостроительное планирование подземного пространства в целях создания благоприятной среды обитания, сохранения исторических центров городов, улучшения экологической обстановки». С докладом «Зоны многофункционального общественного подземного пространства в новом Генеральном плане города Москвы» выступила советник РААСН, кандидат технических наук О.С. Глозман.

Ниже представлен краткий обзор нескольких из наиболее интересных и масштабных докладов.

На пленарном заседании глава департамента по координированию работы с другими департаментами администрации города Мадрид Эмилио Мартинес поделился уникальным опытом столицы Испании в формировании городского парка на месте магистральной улицы за счет освоения подземного пространства. Проект называется Madrid Rio и охватывает территории трассы М30, проходящей по берегам реки Мансанарес. Суть проекта заключается в освобождении городских территорий занятых в настоящее время автомагистралью, путем строительства тоннелей. Докладчик отметил, что для того чтобы убрать под землю 10 километров автомагистрали потребовалось прорыть 40 километров тоннелей с учетом прямого и обратного хода и всех примыканий, в связи с чем, реализация проекта потребовала достаточно продолжительного времени.

По словам Эмилио Мартинеса горожане с пониманием отнеслись к временным неудобствам, поскольку ожидаемый результат был подробно донесен до каждого жителя и горожане одобрили концепцию, основанную на развитии разнообразных зеленых пространств в сочетании развитием сети пешеходных маршрутов, реконструкцией исторических объектов, а также реконструкцией существующих и строительством новых мостов через реку.

Полностью работы над проектом закончились в 2013 году. Реконструкции подверглись значительные территории, более 650 гектаров в шести округах Мадрида: Монклоа, Центр, Аргансуэла, Латина, Карабанчель и Усера.

На освободившихся от автомагистрали территориях создали большой сосновый парк. С целью повышения связанности территории города были построены дополнительные пешеходные мосты через реку, сохраняемые мосты приспособили для более комфортного движения пешеходов и велосипедистов. [3]

Доклад главы департамента по координированию работы с другими департаментами администрации города Мадрид вызвал большой интерес у участников конференции. Профессиональное сообщество в обсуждениях вспомнило примеры перекладки автомагистралей в подземное пространство с последующим благоустройством освободившихся территорий в городах Бостон и Сан-Франциско.

Доклад советника РААСН Ольги Глозман был посвящен научно-исследовательской работе, в рамках которой были определены зоны многофункционального общественного пространства в городе Москве. В результате проведенного исследования, впервые в истории градостроительства России в генеральный план города, в частности Москвы, включены зоны многофункционального общественного подземного пространства. В настоящий момент документ разработан, идет подготовка к общественным слушаниям. Таким образом, результаты научно-исследовательской работы были апробированы в градостроительной практике на территории города Москвы. В итоге определена 41 перспективная территория для формирования многофункциональных объектов в подземном пространстве.

Описываемая докладчиком научно-исследовательская работа заключалась в разработке методологии выявления территорий города, на которых исчерпан резерв развития городских пространств на поверхности земли, а подземные территории еще не полностью освоены. Подробно разработанная метрология была описана в журнале Градостроительство. [4]

В рамках конференции прозвучали доклады специалистов из Азии, США, Европы и России, благодаря широкой географии доложенных проектов стало возможно четко проследить тенденции освоения подземного пространства. Приоритеты между транспортом и пешеходами относительно поверхности земли определяются в основном климатом территории, так в Мадриде, Сан-Франциско, где мягкие климатические условия, под землю определяют автодороги, а в Канаде, Санкт-Петербурге, Москве, где зимы суровые и много осадков, территории ниже уровня земли обустройства для движения пешеходов. Более подробно о влиянии климата на комфорт передвижения пешеходов изложено в журнале «Градостроительство». [5]

Проведенная конференция в России положительно способствует развитию подземного строительства с применением новейших технологий как в самой России, так и во всем мире в целом. Участники конференции получили незаменимый опыт в сфере всего подземного мира. В результате проведения ACUUS 2016 стало очевидно, что развитие подземного пространства – это во многом вопрос не отсутствия технологий или финансирования, а вопрос градостроительного планирования и поддержки государства. Следующая конференция пройдет в 2018 году и состоится в Гонконге, где ее участники вновь встретятся и поделятся накопленным опытом.

### Список литературы / References

1. Подземная урбанизация как необходимое условие устойчивого развития городов [Электронный ресурс] // URL: <http://acuus2016.com/ru> (дата обращения: 21.11.2016).
2. Объединения исследовательских центров подземного пространства мегаполиса [Электронный ресурс] // URL: [http://acuus.primexpo.ru/ru/about\\_ACUUS](http://acuus.primexpo.ru/ru/about_ACUUS) (дата обращения: 21.11.2016).
3. Автомагистраль М30 «Мадрид» [Электронный ресурс] // URL: [http://www.roadtraffic-technology.com/projects/m30\\_madrid/](http://www.roadtraffic-technology.com/projects/m30_madrid/) (дата обращения: 21.11.2016).
4. Семенова О.С. Методология выявления зон размещения объектов многофункционального общественного пространства, как части транспортной системы, при функциональном зонировании подземной территории крупных городов / О.С. Семенова // Градостроительство. - 2014 - № 2 (30) - С. 62-68.
5. Семенова О.С. Комфорт пешеходных перемещений // Градостроительство. - 2015 - № 5 (33) - С. 43-47.

### Список литературы на английском языке / References in English

1. Podzemnaja urbanizacija kak neobhodimoe uslovie ustojchivogo razvitija gorodov [Underground urbanization as a prerequisite for sustainable cities] [Electronic resource] // URL: <http://acuus2016.com/ru> (accessed: 21.11.2016). [In Russian]
2. Ob#edinenija issledovatel'skih centrov podzemnogo prostranstva megapolisov [Associated research Centers for the Urban Underground Space] [Electronic resource] // URL: [http://acuus.primexpo.ru/ru/about\\_ACUUS](http://acuus.primexpo.ru/ru/about_ACUUS) (accessed: 21.11.2016). [In Russian]
3. Avtomagistral' M30 «Madrid» [Madrid M30 motorway] [Electronic resource] // URL: [http://www.roadtraffic-technology.com/projects/m30\\_madrid/](http://www.roadtraffic-technology.com/projects/m30_madrid/) (accessed: 21.11.2016). [In Russian]
4. Semenova O.S. Metodologija vyjavlenija zon razmeshhenija ob#ektov mnogofunkcional'nogo obshhestvennogo prostranstva, kak chasti transportnoj sistemy, pri funkcional'nom zonirovanii podzemnoj territorii krupnyh gorodov [Methodology of project arrangement zones in multifunctional public spaces as a part of the transportation system under specific land use of underground spaces in major cities] / O.S. Semenova // Gradostroitel'stvo [Town planning]. - 2014 - № 2 (30) - P. 62-68. [In Russian]
5. Semenova O.S. Komfort peshehodnyh peremeshhenij [Comfort pedestrian movement] / O.S. Semenova // Gradostroitel'stvo [Town planning]. - 2015 - № 5 (33) - P. 43-47. [In Russian]



*Все статьи, опубликованные в «Международном научно-исследовательском журнале», загружаются в РИНЦ.*

*Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) — библиографическая база данных научных публикаций российских учёных. Для получения необходимых пользователю данных о публикациях и цитируемости статей на основе базы данных РИНЦ разработан аналитический инструмент ScienceIndex.*

DOI: 10.18454/IRJ.2016.54.198

Горохов С.Н.<sup>1</sup>, Шербаклова Т.Ф.<sup>2</sup>, Галимзянов Э.Р.<sup>3</sup>, Уланов А.В.<sup>4</sup><sup>1</sup>ORCID:0000-0001-6152-9483, кандидат технических наук, доцент,<sup>2</sup>кандидат технических наук, доцент<sup>3</sup>старший преподаватель, <sup>4</sup>ассистент,

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ  
**РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОБРАБОТКИ ЭЛЕКТРОКАРДИОСИГНАЛА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ  
 ПОРТАТИВНОГО АНАЛИЗАТОРА АРИТМИЙ**

**Аннотация**

В статье рассмотрен метод анализа электрокардиосигнала (ЭКС) для определения аритмий, необходимых для построения портативного анализатора аритмий. Описан выбор спектральных параметров для различения «нормальных» и «патологических» QRS-комплексов электрокардиосигнала. Приведены примеры построенных спектров различных QRS-комплексов реальных сигналов. Рассмотрен экспериментальный выбор граничного значения частоты, отделяющего высокочастотную и низкочастотную части спектра для различных случаев. Кроме того, описан корреляционный метод классификации P-зубцов, позволяющий повысить достоверность их обнаружения и различения.

**Ключевые слова:** электрокардиосигнал, спектральный анализ ЭКС, аритмии.

Gorohov S.N.<sup>1</sup>, Scherbakova T.F.<sup>2</sup>, Galimzyanov E.R.<sup>3</sup>, Ulanov A.V.<sup>4</sup><sup>1</sup>ORCID:0000-0001-6152-9483, PhD in Engineering, associate professor,<sup>2</sup>PhD in Engineering, associate professor, <sup>3</sup>Senior Lecturer, <sup>4</sup>Assistant lecturer,

Kazan National Research Technical University named after A.N.Tupolev – KAI

**DEVELOPMENT OF ELECTROCARDIOGRAM SIGNAL ANALYSIS METHOD FOR USE IN PORTABLE  
 ARRHYTHMIA DETECTORS**

**Abstract**

The article presents an electrocardiogram signal analysis method for use in portable arrhythmia detectors. The selection of spectrum values for differentiating between normal and abnormal QRS complexes of the electrocardiogram signal is described. Sample spectra for various QRS complexes of real life signals are given. The article discusses an experimental selection of the borderline frequencies between high-frequency and low-frequency portions of the spectrum for a variety of cases. In addition, we present a P-waves correlation method allowing for higher reliability of their detection and differentiation.

**Ключевые слова:** electrocardiosignal, spectral analysis of ECS, arrhythmias.

Задача модернизации уже существующих и создание новых устройств обработки биомедицинских сигналов является очень важной в современном мире. Решение данной задачи дает возможность увеличить качество и объем информации о состоянии сердца человека.

Автоматический анализ ЭКС, особенно, для обнаружения предсердных и желудочковых аритмий является важным аспектом диагностики состояния сердца человека. Во-первых, потому что ряд аритмий носит жизнеугрожающий характер: внезапная аритмическая смерть может наступить в течение нескольких минут после возникновения аритмии. Во-вторых, аритмии предупреждают о более серьезных сердечнососудистых заболеваниях (ССЗ).

Применение методов обнаружения и распознавания слабых сигналов на фоне шумов позволит создавать программное обеспечение для портативных кардиомониторов (КМ), которые не только измеряют частоту сердечных сокращений, но и эффективно исследуют области предсердий и желудочков сердца человека, что так же поможет обнаружению предсердных и желудочковых аритмий [1].

Так использование достоверной информации о форме P-зубца, позволит обнаруживать в автоматическом режиме такие аритмии, как предсердная тахикардия, внутрисердечная блокада, эктопический предсердный ритм и некоторые другие, которые приводят к деформации P-зубца. Следовательно, анализ формы QRS-комплекса и P-зубцов в алгоритме обработки ЭКС позволит расширить функциональные возможности портативных КМ.

Для автоматического анализа ритма сердца (в частности, для распознавания желудочковых экстрасистол) необходима информация не только о длительностях последовательных RR-интервалов, но и о характере формы (морфологии) QRS-комплексов. Наиболее важно при этом определить, является ли очередной комплекс фоновым (т.е. нормальным) или же искаженным, патологическим.

В большинстве известных алгоритмов эта задача решается в два этапа. Сначала анализируемый QRS-комплекс относят к одному из классов морфологии, а затем для каждого из полученных классов принимается решение о принадлежности всех его представителей к какой-либо из заранее заданных категорий (например, «норма», «патология» и «неопределенность»). Для сопоставления форм QRS-комплексов и оценки степени сходства их морфологий используют специальные признаки формы, которые определяются, как правило, во временной области. Определение параметров QRS-комплекса может осуществляться на основе следующих методов: пороговые, оконные, методы оптимальной оценки параметров. Однако применение метода оценки параметров связано с проблемой использования значительных вычислительных ресурсов. Остальные методы выполняются по косвенно определенным параметрам, что приводит к ошибкам, связанным с несовершенством способов определения этих параметров. При создании же портативного прибора анализа сердечного ритма необходимо использовать более достоверный и быстрый метод обнаружения патологий. В данной работе предлагается использовать спектральный метод.

Для построения алгоритма различения сигналов на основе спектральных параметров QRS-комплекса необходимо выбрать информативные параметры и определить пороги принятия решения. Для анализа были взяты 100 реализаций сигналов ЭКГ из базы данных ресурса PhysioNet [2]. С помощью алгоритма быстрого преобразования Фурье был

вычислен спектр участка сигнала, содержащего QRS-комплекс, с использованием прямоугольной оконной функцией [1]. Результаты исследования представлены на рис. 1, в виде отдельно наложенных друг на друга спектров нормальных QRS комплексов и спектров QRS-комплексов с патологией у пациентов, страдающих бигеминией и тригеминией.

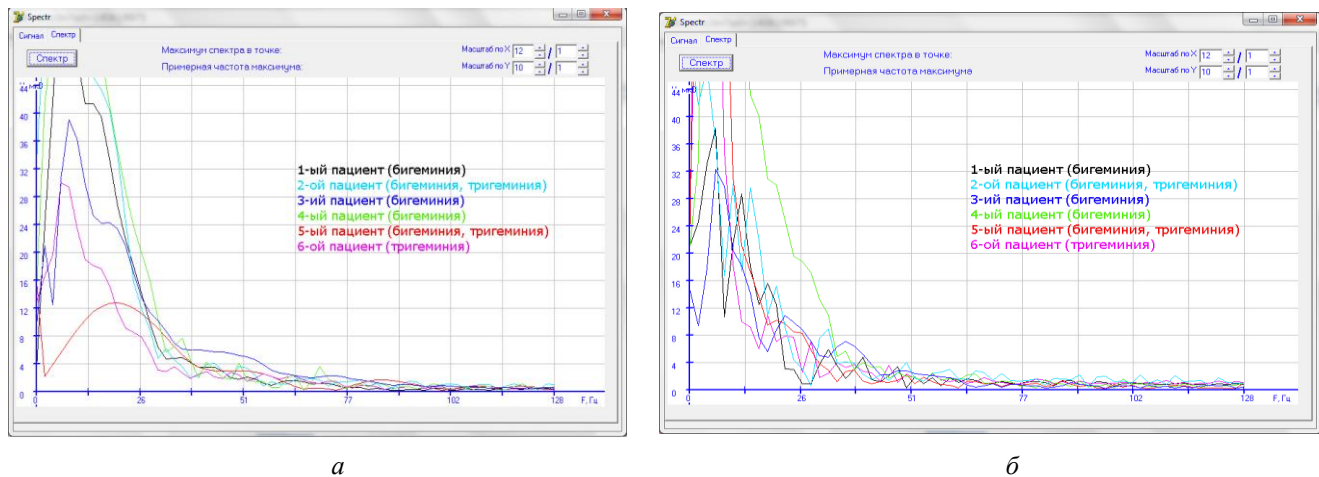


Рис. 1 – Спектры QRS-комплексов: *а* - «нормальных» QRS-комплексов, *б* - «патологических» QRS-комплексов

Был рассмотрен следующий параметр спектра: отношение энергий высокочастотной части спектра QRS-комплекса к низкочастотной. На рис. 2. представлены зависимости математических ожиданий (*а*) и дисперсий (*б*) значений отношений энергий высокочастотной части спектра к низкочастотной в зависимости от частоты.

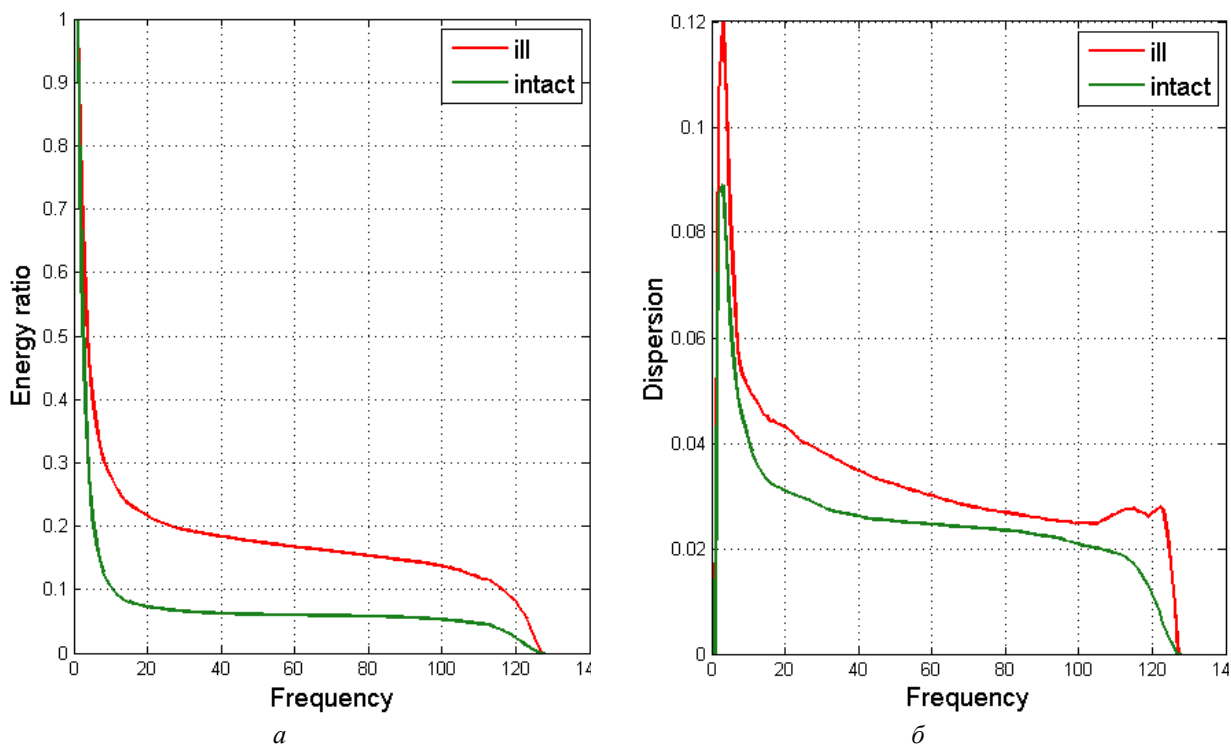


Рис. 2 - Экспериментальные кривые: *а* – математических ожиданий значений отношений энергий высокочастотной части спектра к низкочастотной для «нормальных» и «патологических» QRS-комплексов в зависимости от частоты; *б* - дисперсий значений отношений энергий высокочастотной части спектра к низкочастотной для «нормальных» и «патологических» QRS-комплексов

Для всех групп сигналов были построены гистограммы распределения, которые использовались для непосредственного определения порога принятия решения. Наилучшее различение групп удалось достичь при пороге  $F_{пор1}=15$  Гц для патологических комплексов, и  $F_{пор2}=20$  Гц для нормальных комплексов. При этом точность различения составила 96%. Таким образом, можно говорить о целесообразности применения спектрального анализа QRS-комплексов ЭКС в портативных анализаторах аритмий сердца.

Для выделения слабых сигналов сложной формы в радиотехнических системах широко применяются корреляционные методы и алгоритмы [1,4], которые можно использовать для обнаружения и распознавания Р-зубца. Для более достоверного анализа формы Р-зубца в данном алгоритме используется предварительное усреднение десяти Р-зубцов.

В виду невозможности определения точки синхронизации при усреднении, как точки максимума Р-зубца, распространение получили корреляционные методы выбора опорной точки синхронизации [3]. При этом точку, в



которой достигается максимум коэффициента корреляции для сравниваемого участка, принимают за точку синхронизации.

Достоинством корреляционного метода является то, что выбор опорной точки происходит внутри каждого анализируемого ЭКС, и не зависит от индивидуальных особенностей пациента. При этом для усреднения используются все *P*-зубцы на ЭКС с синхронизацией в точках наибольшей схожести, и не учитывается вариативность их формы, которая сама по себе может быть важным диагностическим параметром.

Поэтому предлагается провести предварительную классификацию *P*-зубцов, обнаруженных на предыдущем этапе обработки ЭКС. Если на анализируемом ЭКС были обнаружены *P*-зубцы более чем одного типа, то класс с наибольшим числом *P*-зубцов считается «типичным» для данной записи ЭКС, остальные – «не типичные». Если количество «нетипичных» *P*-зубцов более 10% от общего числа, то можно говорить о частых предсердных или узловых экстрасистолических сокращениях.

Если на анализируемом ЭКС были обнаружены *P*-зубцы только одного типа, то все они считаются «типичными». Так или иначе, из класса «типичных» *P*-зубцов выбирается эталон для поиска опорных точек для процедуры синхронного усреднения. Для этого строится матрица коэффициентов корреляции каждого зубца, выступающего эталоном (*E*), со всеми остальными зубцами (*X*), вычисленных по формуле:

$$R(n) = \frac{\sum_{k=1}^K (E(k) - \bar{E}) \cdot (X(k+n) - \bar{X}_n)}{\sqrt{\sum_{k=1}^K (E(k) - \bar{E})^2 \cdot \sum_{k=1}^K (X(k+n) - \bar{X}_n)^2}}$$

где  $n \in (-5; 5)$ , *E* – это сигнал эталонного комплекса, *X* – сравниваемый сигнал,  $\bar{E}$  – среднее значение сигнала *E* для рассматриваемых отсчетов, *k* – временной индекс сигнала *X*, соответствующий отсчету, по которому эталон совмещен с сигналом,  $\bar{X}_n$  – среднее значение той части сигнала *X*, которая используется для согласования с образцом при заданном *k*, и вычисляется по формуле:

$$\bar{X}_n = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K X(k+n).$$

Далее вычисляется среднее значение коэффициента корреляции для каждого зубца. Элемент с наибольшим значением принимается за эталон для всей записи. Он используется для предварительной классификации *P*-зубцов, которые будут использованы при дальнейшем усреднении сигнала. Порог для каждого из анализируемых сигналов выбирается индивидуально. И если значение коэффициента корреляции меньше установленного порога, то считают, что сравниваемый участок сигнала ошибочно принят за зону *P*-зубца. Для усреднения используются *P*-зубцы, коэффициент корреляции которых с эталоном равен 0,99. Если усреднение не покрывает 75% всех зубцов из класса «типичных», то порог коэффициента корреляции уменьшается на 0,01 и процедура усреднения проводится для нового числа *P*-зубцов.

Таким образом, данным методом позволяет повысить достоверность обнаружения и распознавания *P*-зубцов на ЭКС.

#### Список литературы / References

1. Галимзянов Э.Р. Оптимизация метода выделения низкоамплитудных потенциалов с использованием модели электрической активности сердца // Биомедицинская радиоэлектроника. - 2012. - № 11. - С. 49-54.
2. PhysioNet [Electronic resource] / St.-Petersburg Institute of Cardiological Technics 12-lead Arrhythmia Database. – URL: <http://www.physionet.org/physiobank/database/incartdb/>
3. Классификация *P*-зубца и QRS-комплекса электрокардиосигнала в рамках корреляционной теории для задач обнаружения аритмий сердца / Галимзянов Э.Р., Козлов С.В., Хомяков А.В. и др. // Инфокоммуникационные технологии. - 2012. - Т.10. - №2. - С. 59-64.
4. Горохов С.Н., Галимзянов Э.Р. Корреляционный метод обработки электрокардиосигнала для построения устройства анализа аритмий // Международный научно-исследовательский журнал. - 2016. - Часть 3. - №8. - С. 36-38.

#### Список литературы на английском языке / References in English

1. Galimzyanov E.R. Optimizacija metoda vydelenija nizkoamplitudnyh potencialov s ispol'zovaniem modeli jelektricheskoj aktivnosti serdca [Optimization of the method for allocation of low-amplitude potentials using heart electrical activities models] // Biomedicinskaja radioelektronika [Biomedical electronics]. - 2012. - № 11. - P. 49-54. [in Russian]
2. PhysioNet [Electronic resource] / St.-Petersburg Institute of Cardiological Technics 12-lead Arrhythmia Database. – URL: <http://www.physionet.org/physiobank/database/incartdb/>
3. Klassifikacija *P*-zubca i QRS-kompleksa jelektrikardiosignala v ramkah korrelyacionnoj teorii dlja zadach obnaruzhenija aritmij serdca [The classification of p-wave and qrs-complex on electrocardiosignal within the correlation theory for heart arrhythmias detection] / Galimzyanov E.R., Kozlov S.V., Khomyakov A.V. et al. // Infokommunikacionnye tehnologii [Infocommunication technologies]. - 2012. - V.10. - №2. - P. 59-64. [in Russian]
4. Gorohov S.N., Galimzyanov E.R. Korrelyacionnyj metod obrabotki jelektrikardiosignala dlja postroenija ustrojstva analiza aritmij [Correlation method of electrocardiosignal processing for building a arrhythmia analyzer] // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International Research Journal]. - 2016. - Part 3. - №8. - P. 36-38. [in Russian]

DOI: 10.18454/IRJ.2016.54.175

Двадцатов Р.В.

ORCID 0000-0003-2342-7624,

Аспирант, Санкт-Петербургский Горный Университет

**КЛАССИФИКАЦИЯ И ОПТИМИЗАЦИЯ МНОГОЦЕЛЕВЫХ АЛЬТЕРНАТИВ НА ПРИМЕРЕ ХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА****Аннотация**

В данной работе рассматривается методика классификации и оптимизации многоцелевых альтернатив на примере химического производства. За основу взяты два направления увеличения надежности производства и снижения стоимости продукции. В работе проводится классификация выбранных альтернатив по алгоритму Ларичева. Составляется таблица доминантных альтернатив. По итогам расчетов выбираются несколько массивов целей. Оптимизация в выбранном массиве альтернатив проводится по трех уровневой шкале. Что позволит увидеть степень значимости альтернатив в выбранном массиве целей.

**Ключевые слова:** выбор множества альтернатив, многокритериальная оптимизация, экспертная оценка, классификация альтернатив.

Dvadcatov R.V.

ORCID 0000-0003-2342-7624,

Postgraduate student, Saint-Petersburg Mining University

**CLASSIFICATION AND OPTIMIZATION OF MULTIFUNCTIONAL ALTERNATIVES TO THE EXAMPLE OF CHEMICAL INDUSTRY****Abstract**

In this paper, the technique of classification and optimization of multi-purpose alternatives to the example of the chemical industry. It is based on two lines increase the reliability of production and reducing the cost of production. The work carried out by the classification algorithm selected alternatives Laricheva. Generating tables of dominant alternatives. Following the results of the calculations are selected multiple arrays purposes. Optimization of the selected array of alternatives carried out by the three-level scale. That will allow to see the degree of importance of alternatives in the selected array of purposes.

**Keywords:** choosing a set of alternatives, multicriteria optimization, expert evaluation, classification alternatives.

**Введение**

В задачах принятия решений в условиях многокритериальности актуальным является вопрос классификации этих критериев. В данной работе рассматривается методика классификации и оптимизации многоцелевых альтернатив, разработанная профессором Юдицим Семеном Абрамовичем. Рассмотрим эту методику на примере производства неконцентрированной азотной кислоты.

Заранее было выбрано множество целей производства. В данном примере рассматриваем два направления развития для улучшения качества производства. Первое направление это повышение надежности. Под надежностью подразумеваем, способность системы сохранять во времени свои основные задачи, такие как смешение  $\text{NH}_3$  и воздуха, фильтрация и сжатие воздуха, окисление аммиака и т.д. Второе направление это уменьшение финансовых затрат, т.е. нужно найти баланс между финансовыми затратами и повышением надежности системы. Полный список целей для рассматриваемого метода представлен в таблице 1.

Методика заключается в распределение на классы множества альтернатив  $A = \{a_i\}$ ,  $i=1, \dots, B$ , где  $a_i$  – значение набора целей  $(e_1 \dots e_N^*)$ ;  $B = (N^*)^k$ ,  $k$  – число уровней цели. [1, С. 27]

Множество альтернатив  $A$  распределяются на классы  $L_1, \dots, L_R$  исходя из временных ограничений  $V$  и на имеющиеся ресурсы  $\Phi$ .

$$\bigcup_i L_i = A, L_{i_1} \cap L_{i_2} = \emptyset, \\ i, i_1, i_2 \in \{1, \dots, R\}, R \leq B, i_1 \neq i_2. \quad (1)$$

В данном примере  $k=3$ , где 1 – это низкий уровень, 2 – это средний и 3 – это высокий уровень достижения цели.

Таблица 1 – Список целей предложенных экспертом для рассмотрения

Обозначение	Содержание
$E_0$	Производство неконцентрированной азотной кислоты
$E_1$	Надежность ХТС
$E_{1.1}$	Уменьшить среднее время восстановления после отказа
$E_{1.2}$	Уменьшить интенсивность отказов
$E_{1.3}$	Резервирование элементов
$E_{1.4}$	Разработка и внедрение способов прогнозирования неисправностей
$E_{1.5}$	Применение высоконадежных элементов и оптимизация режимов их работы
$E_{1.6}$	Упрощение системы
$E_2$	Стоимость продукции
$E_{2.1}$	Снизить транспортные расходы
$E_{2.2}$	Внедрить новые технологии

Исходя из таблицы видно два класса решений:

$$L_1(\Phi \leq \Phi_0, V \leq V_0) \text{ и } L_2(\Phi > \Phi_0, V > V_0),$$

где  $\Phi_0, V_0$  – варьируемые пороговые значения капиталовложений и временем на выполнения.

При минимизации числа локальных альтернатив выяснили, что оптимальный вариант это множество  $E = \{e_1, e_2, e_3, e_4, e_5\}$ . [7, С. 38]

$e_1$  – уменьшить среднее время восстановления после отказа;

$e_2$  – уменьшить интенсивность отказов;

$e_3$  – разработка и внедрение способов прогнозирования неисправностей;

$e_4$  – упрощение системы;

$e_5$  – внедрить новые технологии;

Итоговая таблица минимизации числа локальных целей представлена ниже. [7, С. 37-38]

Таблица 2 – Итоговый расчет минимизации локальных целей

$E_j$	$E_{1.1}$	$E_{1.2}$	$E_{1.3}$	$E_{1.4}$	$E_{1.5}$	$E_{1.6}$	$E_{2.1}$	$E_{2.2}$
$J(C_j)$	0,145	0,207	-0,07	0,195	0,109	0,163	0,104	0,149
$e_j$	$e_1$	$e_2$	–	$e_3$	–	$e_4$	–	$e_5$

### Классификация

Произведем сортировку альтернатив по классам  $L_1$  и  $L_2$ . Если массив, который будет иметь значение: например  $A = 11111$ , то это будет считаться как «худшая» альтернатива и будет удовлетворять введенным ограничениям на ресурсы, т.е. принадлежит классу  $L_1$ , а «лучшая» альтернатива  $A = 33333$  будет относиться к классу  $L_2$  и отвечать «ресурсным возможностям» (здесь и далее альтернативы обозначены 5-значными кодами).

На основе бинарных отношений, которым классифицируется множество  $A$ , определяется следующим образом: альтернатива  $a_i = e_{i1}, \dots, e_{iN^*}$  доминирует над альтернативой  $a_j = e_{j1}, \dots, e_{jN^*}$ , если для любого  $g = 1, \dots, N^*$  имеет место  $e_{ig} \geq e_{jg}$  и существует по меньшей мере одно  $h = 1, \dots, N^*$  такое, что  $e_{ih} > e_{jh}$ . [1, С. 27]

Классификация альтернатив осуществляется по алгоритму Ларичева. [1, С. 28]

В первом пункте вычисляются число доминантных альтернатив для каждого  $a_i \in A$  варианта сравнения. Где  $D_i$  – число альтернатив,  $D'_i$  – число альтернатив, над которыми доминирует  $a_i$ .

Затем из множества выбираются те альтернативы, для которых  $|D_i - D'_i| = \min$

Из полученных результатов отфильтровываем максимальные значения.

Если еще остались несколько альтернатив, то выбираем любую альтернативу  $a_p$ .

Предъявляем ее эксперту, который относит  $a_p$  к одному из классов и после ее классификации экспертом исключаем  $a_p$  из множества  $A$ .

Если  $a_p$  отнесена к классу  $L_1$ , то из множества  $A$  исключаем также все альтернативы, которые доминируются альтернативой  $a_p$ , соответствуют классу  $L_1$ .

Если  $a_p$  отнесена к классу  $L_2$ , то из множества  $A$  исключаем все альтернативы, доминирующие по отношению к  $a_p$ , соответствуют классу  $L_2$ .

Если  $|A| > \emptyset$ , то возвращаемся к первому пункту, если  $|A| = 0$ , то заканчиваем классификацию. [1, С. 28]

Определение в классе доминантных альтернатив проводим на основе квадратной таблицы, строки и столбцы которой соответствуют альтернативам, принадлежащим выбранному классу.

Примером итоговой данного метода служит таблица 3. Таблица рассматривается построчно и в пустые ячейки ставится знак «+» если  $(a_i, a_j), i \neq j$ , соответственно, если альтернатива  $a_i$  преобладает над альтернативой  $a_j$ . Так же если  $a_j$  не доминирует над  $a_i$  и в клетку  $(a_j, a_i)$  ставится знак «-». Незаполненной считается клетка, если в ней нет ни одного знака. Знака «-» упрощает работу и время на рассмотрения пар альтернатив. [1, С. 29]

Если в столбце нет знака «+», то такие альтернативы являются доминантными. Согласно таблице 3 это подмножество альтернатив  $A^* = \{33312, 33321, 33311, 23322, 23211\}$ .

Таблица 3 – Пример работы рассматриваемого алгоритма

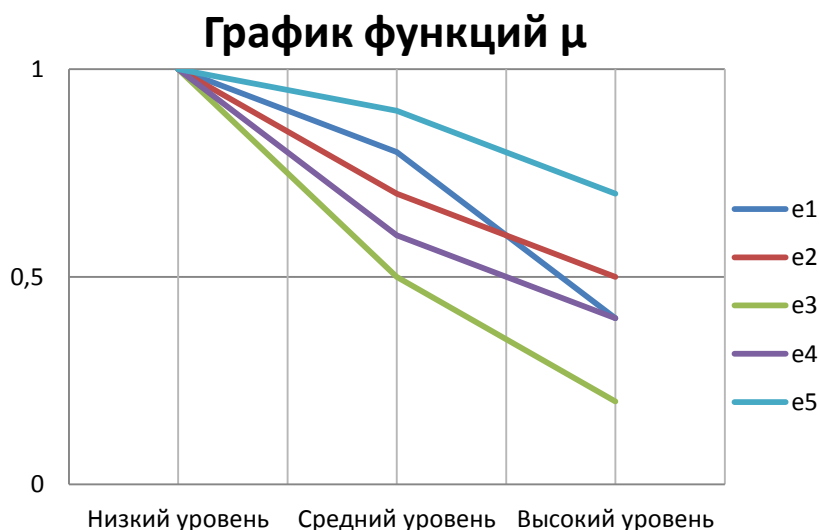
	33312	33321	33311	23322	23211	22222	23223	12333	22333	23231	12311	21312
33312						+				+		
33321							+				+	
33311								+				+
23322									+			
23211										+		
22222	-										+	
23223		-										+
12333			-									
22333				-								
23231	-				-							
12311		-				-						
21312			-				-					

### Оптимизация

В выбранном классе  $L_1$  для каждой доминантной альтернативы  $a_p \in A^*$ , полученной на предыдущем этапе, вычисляем интегральный показатель  $G(a_p)$  по формуле (2). [1, С. 30]

$$G(a_p) = \sum_{i=1}^n \mu(e_{ij}) \cdot W(e_i) \quad (2)$$

Для каждой локальной цели  $e_i$ ,  $i = 1, \dots, n$  сопоставляем экспертную функцию принадлежности  $\mu_i(e_{ij})$ , значение этой функции трактуется как задаваемая экспертом вероятность достижения локальной цели. Отображающую уровни  $e_{ij}$  достижимости цели, выраженные «качественными» значениями, в числа из интервала  $[0, 1]$ . Графики функций  $\mu_1, \dots, \mu_5$  для рассматриваемого примера даны ниже.

Рис. 1 – График функций  $\mu_1, \dots, \mu_5$ 

Далее для каждой доминантной альтернативы, входящей в множество  $A^*$ , рассчитывается показатель  $G$ , равный сумме произведений весов целей  $e_i$ ,  $i = 1, \dots, 5$  на соответствующие значения функций принадлежности  $\mu$ . Результаты даны в таблице 4.

Таблица 4 – Расчет показателя  $G$ 

Альтернатива	Расчет $G$	Значение $G$
33312	$0,05 \cdot 0,4 + 0,08 \cdot 0,5 + 0,25 \cdot 0,2 + 0,25 + 0,06 \cdot 0,9$	0,4098
33321	$0,05 \cdot 0,4 + 0,08 \cdot 0,5 + 0,25 \cdot 0,2 + 0,25 \cdot 0,6 + 0,06$	0,3174
33311	$0,05 \cdot 0,4 + 0,08 \cdot 0,5 + 0,25 \cdot 0,2 + 0,25 + 0,06$	0,4158
23322	$0,05 \cdot 0,8 + 0,08 \cdot 0,5 + 0,25 \cdot 0,2 + 0,25 \cdot 0,6 + 0,06 \cdot 0,9$	0,331
23211	$0,05 \cdot 0,8 + 0,08 \cdot 0,5 + 0,25 \cdot 0,5 + 0,25 + 0,06$	0,5092

### Заключение

В нашем примере выбираем альтернативу 23211, которая предусматривает максимальное значение 0,51 для показателя G. Эта альтернатива предусматривает:

- средний уровень уменьшения среднее время восстановления после отказа;
- высокий уровень уменьшения интенсивность отказов;
- средний уровень разработки и внедрения способов прогнозирования неисправностей;
- низкий уровень упрощение системы;
- низкий уровень внедрить новые технологии;

Таким образом, данная методика классификации и оптимизации многоцелевых альтернатив позволяет выделить приоритет развития предприятия. В данном примере экспертная оценка не проводилась, необходимо было показать методику. Но уже можно сказать, что данная методика позволит решить поставленную задачу с нахождением баланса между экономией на производство и общим повышением надежности системы.

### Список литературы / References

1. Юдицкий С.А., Владислав П.Н. Основы предпроектного анализа организационных систем: учебное пособие. – М.: Финансы и статистика, 2005. – 144 с.
2. Анкудинов Г.И., Анкудинов И.Г., Иванова И.В., Принятие решений в системном проектировании: Учебник. – СПб: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2013. – 176 с.
3. Ларичев О.Н. Теория и методы принятия решений, а также Хроника событий в Волшебных странах: Учебник. – М.: Логос, 2000. – 296 с.
4. Лотов. А.В., Поспелова И.И., Многокритериальные задачи принятия решений: Учебное пособие. – М.: МАКС Пресс, 2008. – 197 с.
5. Черноморов Г.А. Теория принятия решений: Учебное пособие. Новочеркасск: Ред. журн. «Изв. вузов. Электромеханика», 2002.– 276 с.
6. Двдцатов, Р.В. Анализ метода взвешивания целей на примере производства азотной кислоты на агрегатах укл-7 / Р. В. Двдцатов // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – № 10 (52).– С. 30–34.
7. Двдцатов, Р.В. Минимизация числа локальных целей системы / Р. В. Двдцатов // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – № 10 (52).– С. 35–38.

### Список литературы на английском языке / References in English

1. Judickij S.A., Vladislav P.N. Osnovy predproektnogo analiza organizacionnyh system [Basics of pre-analysis of organizational systems]: Textbook. – М.: Finansy i statistika, 2005. – P. 144. [in Russian]
2. Ankudinov G.I., Ankudinov I.G., Ivanova I.V., Prinjatje reshenij v sistemnom proektirovanii [Decision-making in the system design]: Textbook. – SPb: Nacional'nyj mineral'no-syr'evoj universitet «Gornyj», 2013. – P. 176. [in Russian]
3. Larichev O.N. Teorija i metody prinjatija reshenij, a takzhe Hronika sobytij v Volshebnyh stranah [Theory and methods of decision-making, as well as the chronicle of events in a magical land]: Textbook. – М.: Logos, 2000. – P. 296. [in Russian]
4. Lotov. A.V., Pospelova I.I., Mnogokriterial'nye zadachi prinjatija reshenij [Multicriteria decision making problems]: Textbook. – М.: MAKS Press, 2008. – P. 197. [in Russian]
5. Chernomorov G.A. Teorija prinjatija reshenij [Decision theory]: Textbook. Novoherkassk: Red. zhurn. «Izsv. vuzov. Jelektromehaniка», 2002.– P. 276. [in Russian]
6. Dvadcatov, R.V. Analiz metoda vzveshivanija celej na primere proizvodstva azotnoj kisloty na agregatah ukl-7 [Analysis method for example purposes weighing nitric acid production at ukl-7]/ R. V. Dvadcatov // International Research Journal. – 2016. – № 10 (52).– P. 30–34. [in Russian]
7. Dvadcatov, R.V. Minimizacija chisla lokal'nyh celej sistemy / R. V. Dvadcatov [Minimizing the number of local objectives system]// International Research Journal. – 2016. – № 10 (52).– P. 35–38. [in Russian]

DOI: 10.18454/IRJ.2016.54.036

Дементьев А.С.<sup>1</sup>, Проскуряков Р.М.<sup>2</sup>, Паляницин П.С.<sup>3</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-0001-7777-0087, аспирант; <sup>2</sup>доктор технических наук, профессор; <sup>3</sup>студент,  
Санкт-Петербургский горный университет**МАГНИТНАЯ АНТЕННА СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ  
ТРУБОПРОВОДА****Аннотация**

В данной статье описан принцип действия диагностической системы технического состояния трубопровода на основе импульсного магнитного поля. Описывается работа магнитной антенны, модулирующей постоянное магнитное поле. Приведена структурная схема предлагаемой диагностической системы нефтепровода. Показан выходной сигнал, полученный с помощью магнитных датчиков, преобразованный из-за неисправностей стенок трубы: трещин, каверн, ржавчин, отверстий. Описан принцип работы схемы модуляции постоянного магнитного поля.

**Ключевые слова:** нефтепровод, система диагностики, магнитная антенна.

Dementev A.S.<sup>1</sup>, Proskuryakov R.M.<sup>2</sup>, Palyanin P.S.<sup>3</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-0001-7777-0087, Postgraduate student; <sup>2</sup>PhD in Engineering, Professor; <sup>3</sup>Student,  
Saint-Petersburg Mining University**MAGNETIC ANTENNA FOR DIAGNOSIS SYSTEM OF TECHNICAL STATE OF PIPELINE****Abstract**

This article describes the principle of operation of the technical condition of the pipeline diagnostic system based on pulsed magnetic field. Describes the work of magnetic antenna, modulating a constant magnetic field. The block diagram of the proposed pipeline diagnostic system. Illustrates an output signal produced by the magnetic sensors, converted due to faults of the pipe wall: cracks, cavities, rust, holes. The principle of operation of modulation schemes of a constant magnetic field.

**Keywords:** pipeline, diagnostic system, magnetic antenna

Приступая к разработке системы диагностики нефтепровода необходимо твердо обосновать, какую среду мы собираемся использовать в качестве носителя информации о состоянии нефтепровода. Опыт разработчиков таких систем очень большой как у отечественных прибористов, так и у зарубежных. Но на сегодня не известно ни одной разработки, отвечающей основным требованиям трубопроводных систем: обладать достаточной чувствительностью, точностью, быстродействием, энергопотреблением, надежностью, способностью к полной автоматизации, способной охватывать достаточно сложную систему трубопроводов, функционировать без непосредственного доступа к потоку.

На сегодня возможно использовать 3 носителя информации:

- 1 – поле;
- 2 – волны;
- 3 – сигналы.

Волны и сигналы преимущественно используются сегодня, но они обладают неустранимыми недостатками – сильное затухание на незначительном участке нефтепровода. Если использовать мощные электромагнитные пучки от фазированных антенн или лазерные импульсные системы, то, очевидно, что невозможно обеспечить идеально прямолинейно направленный трубопровод как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскости. [1] Использование же нефтепровода как волновода для гидравлических, ультразвуковых и электромагнитных колебаний также не способно обеспечить контроль достаточно протяженных нефтепроводов в силу того же затухания. Использование для сбора информации движущихся внутри нефтепровода устройств хоть и устраивает прибористов, но не устраивает производителей ввиду их огромной трудоёмкости, требующей высокой квалификации в обслуживании. В данной работе предлагается использовать для построения системы постоянное магнитное поле, потому что оно распространяется на любой ферромагнитной системе сколь угодно далеко, включая все ответвления, повороты, подземные и подводные участки трубопровода.

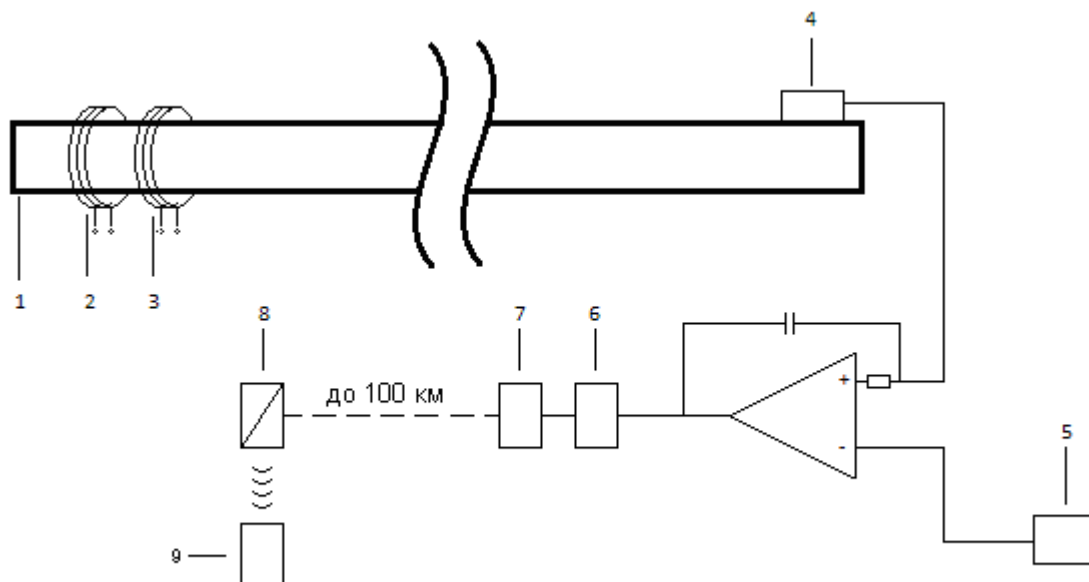


Рис. 1 – Структура диагностической системы нефтепровода:

- 1 – Трубопровод; 2 – Катушка индуктивности с постоянным напряжением;  
 3 – Катушка индуктивности с переменным прямоугольным напряжением;  
 4 – Пьезокерамический преобразователь магнитного поля в напряжение;  
 5 – Генератор прямоугольных импульсов, синхронный с генератором 3;  
 6 – Пороговый элемент с зависимой амплитудой; 7 – Преобразователь «напряжение – временной код»;  
 8 – Пороговый элемент с передатчиком по сотовой сети; 9 – Пульт диспетчера

Магнитное поле генерируется с помощью катушки с постоянным напряжением (2) и магнитной антенной (3), питаемой от силового триггера, который модулирует постоянное магнитное поле (рис.1) [2]. Здесь есть одна особенность: надо помнить, что магнитное и электрическое поле существуют вместе, синфазно и под углом  $\pi/2$  друг к другу.

Индукционное (электрическое) поле нам не нужно, так как оно будет только искажать информацию. И к тому же быстро затухать, а постоянное модулированное магнитное поле, согласно закону полного тока  $Hl = Iw$  практически не имеет ограничений по дальности и не требует подпитки энергией на протяжении зоны контроля. Чтобы обеспечить нулевой баланс энергии постоянного магнитного поля, необходимо соблюдать особенности его подключений к нефтепроводу. Подключение с экранировкой магнитной системы от электрического поля позволяет «напитать» трубу магнитным полем.

На приёмном пункте (3) на трубу наклеена пьезоэлектрическая пленка в виде меандра или компланарного датчика (рис. 1), преобразующего магнитное поле в электрический сигнал, с помощью которого осуществляется кодирование и передача информации после соответствующей логической обработки.

Данная концептуальная система обоснована ещё и её физической сущностью. Известно, что  $I^2R$  – это энергия электрического тока, преобразуемая в тепло,  $L^2w$  – энергия магнитного поля катушки,  $\frac{1}{C^2}$  – энергия конденсатора, то есть везде, где среда содержит энергетический поток магнитного поля, а его значение в квадрате – это всегда характеризует энергию. Поток в трубе – это энергетический поток. Поэтому разная его плотность, обусловленная наличием парафина, смольных или битумных включений, и составляющая для разных нефтей от  $0.7 - 1.2 \text{ м}^3/\text{м}^3$  даже при единой скорости потока делает его энергетику разной по времени. Поэтому и принимают, что плотность при постоянной скорости характеризует качество потока нефти. Это удобно, так как те же корреляционные функции могут быть как показателями динамики случайных сигналов о потоке, так и показателями качества потока нефти. Система технической диагностики и качество её работы зависят от гидродинамики энергетического (нефтяного) потока. [3]

Модулированное постоянное магнитное поле обтекает какие-либо технические погрешности трубопровода (сварка, трещины, ржавчина). На этих недостатках трубопровода естественное магнитное поле Земли индуцирует вихревые токи, которые взаимодействуют с постоянным магнитным полем, являющимся носителем измерительной информации системы диагностики трубопровода. Таким образом, постоянное магнитное поле, модулируемое генератором прямоугольных импульсов (рис. 2) модулируется ещё вихревыми токами, индуцируемыми в трубопроводе в местах, где имеются его технические отклонения.



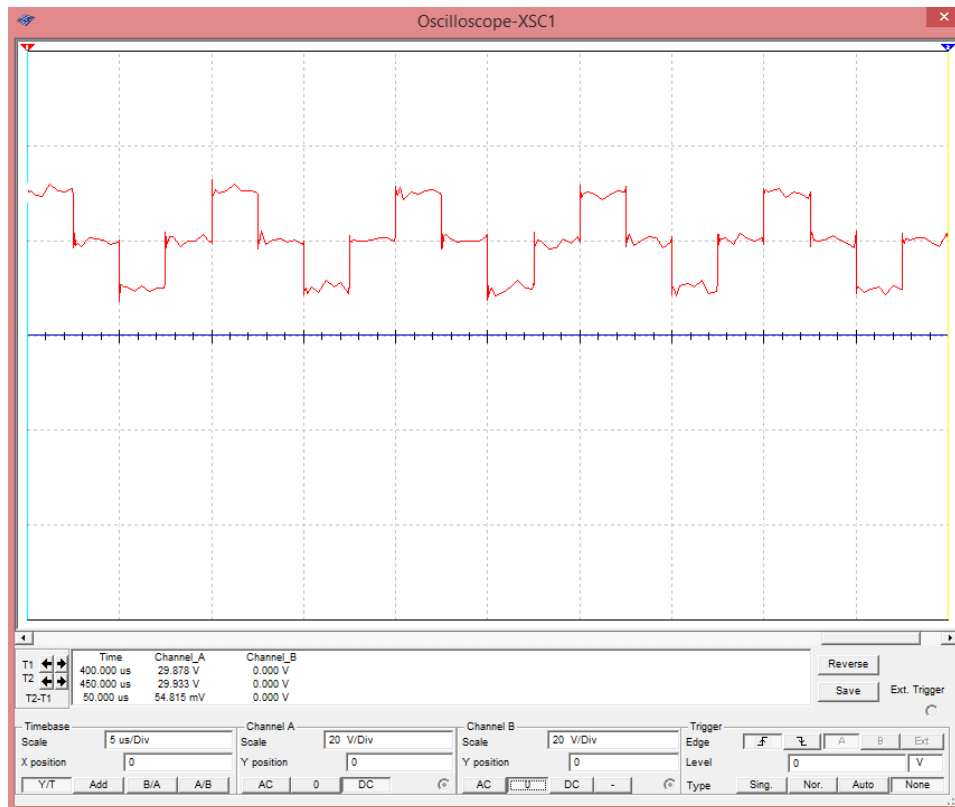


Рис. 2 – Деформированная осциллограмма магнитного поля

На осциллограмме видно, что чем больше неисправностей в трубопроводе, тем больше деформируется осциллограмма магнитного поля, то есть изменяется его энергетическая характеристика. Логическая схема на приёмном пункте сравнивает эту осциллограмму с первоначальным её значением и на выходе приёмного блока получаем степень неисправности трубопровода в количественном выражении.

Рассмотрим теперь каким образом «напитать» трубопровод магнитным полем.

Излучатель (генератор антенны) состоит из двух различных антенн, синфазно возбуждаемых генератором прямоугольных импульсов, отстоящих друг от друга на расстоянии, равном контролируемой дистанции. Вся трубопроводная сеть состоит из набора таких отрезков.

Генератор через коаксиальный кабель подключен к витку рамки, подключенной в разрезное полое металлическое кольцо и погруженному на активное сопротивление  $R_n$ . При этом полное сопротивление рамки выбирается  $R_n = \rho$ . Поле такой рамки создаётся током, циркулирующим по периметру наружной поверхности кругового экрана. Ток, протекаемый по внутренней стенке рамки, встречает у зажимов активное сопротивление  $R_n = \rho$  и индуктивное сопротивление между зажимами  $\omega L_p$ , где  $L_p$  - индуктивность экрана. К зажимам подключена цепочка  $R_n - C$ , подключенная так, что  $\sqrt{\frac{L_p}{C}} = R_n = \rho$ . Эта цепочка вместе с параллельно соединенной с ней цепочкой  $L_p \cdot R_n$  образует схему «вечного резонанса», входной импеданс которого не зависит от частоты и равен  $Z_{ex} = \rho$ . При таком согласовании фидерной линии генератора на любой частоте открывается нагруженный на активное сопротивление, равное  $\rho/2$ , измерительный прибор.

При конструировании излучателя следует выбирать сравнительно небольшие рамки (по сравнению с длиной волны). При этом можно пользоваться понятием сосредоточенной индуктивности рамки. Для вычисления предельно допустимого радиуса рамки  $R_{пред}$  можно пользоваться формулой

$$R_{пред}(см) = 2,5\lambda_{мин}(м),$$

где  $\lambda_{мин}$  - минимальная длина волны модулируемого сигнала.

В используемом на практике излучателе радиус рамки выбран  $R=20,4$  см, что обеспечивает его работу в диапазоне волн, вплоть до 8 м. Таким образом, трубопровод будет «насыщен» постоянным магнитным полем, а описанная система позволяет добавить к нему модулирующий сигнал, частота которого определяется генератором прямоугольных импульсов. Генератор импульсов должен быть согласован с нагрузкой излучающей антенны для сравнения входных и выходных данных.

#### Список литературы / References

1. Патент 2315230 РФ. Система для контроля утечки газа из магистрального газопровода / С.В.Власов, И.И.Губанок, А.Н.Дудови др. Опубл. 20.01.2008. Бюл. № 2.
2. Проскуряков Р.М., Дементьев А.С. Построение системы диагностики технического состояния нефтепровода на основе постоянного пульсирующего магнитного поля. Записки Горного института / Санкт-Петербургский горный университет. СПб, 2016. Т.218. 208 с.
3. Смолдырев А.Е. Трубопроводный транспорт. М.: Недра, 1970. 272 с

**Список литературы на английском языке / References in English**

1. Vlasov S.V., Gubanok I.I., Dudov A.N. et al. Patent 2315230 RU. Sistema dlya kontrolya utechki gaza iz magistral'nogo gazoprovoda (A system for monitoring gas leakage from a main pipeline). Publ. 20.01.2008. Bul. N 2 [in Russian]
2. Proskurjakov R.M., Dementev A.S. Postroenie sistemy diagnostiki tehničeskogo sostojanija nefteprovoda na osnove postojannogo pul'sirujushhego magnitnogo polja (The building a system of diagnosing the technical condition of the pipeline on the basis of continuous pulsed magnetic field). Zapiski Gornogo instituta / Sankt-Peterburgskij gornyj universitet. SPb, 2016. T.218. 208s [in Russian]
3. Smoldyrev A.E. Truboprovodnyi transport (Pipeline transport). Moscow: Nedra, 1970, p.272 [in Russian]

**DOI: 10.18454/IRJ.2016.54.001****Дерябин И.П.<sup>1</sup>, Токарев А.С.<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Доктор технических наук, Южно-Уральский государственный Университет<sup>2</sup>ORCID: 0000-0003-3902-5785, Аспирант, Южно-Уральский государственный Университет,

старший преподаватель, Трехгорный технологический институт – филиал

«Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СРЕЗАНИЯ ПРИПУСКОВ ЗЕНКЕРАМИ С МНП ПРИ ОБРАБОТКЕ ТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ****Аннотация**

*В статье исследуется процесс формообразования срезаемых сечений припуска трех лезвийным зенкером с многогранными неперетачиваемыми пластинами, при обработке твердых материалов. Разработана масштабная и математическая модель для расчета площадей срезаемых сечений. Для построения масштабной модели использовалась программа КОМПАС-3D V16, которая позволила измерить площади сечений срезаемые каждым лезвием. Сравнение моделей показало адекватность применения данного метода при обработке точных и глубоких отверстий.*

**Ключевые слова:** Зенкер с МНП, обработка точных и глубоких отверстий, увод оси, математическая модель.

**Deryabin I.P.<sup>1</sup>, Tokarev A.S.<sup>2</sup>**<sup>1</sup>PhD in Engineering, South Ural state University,<sup>2</sup>ORCID: 0000-0003-3902-5785, Postgraduate student, South Ural state University,

senior lecturer, Trekhgorny technological Institute branch, "National research nuclear University "MEPhI"

**STUDY OF THE PROCESSES OF CUTTING ALLOWANCES BY COUNTERBORING, WITH MNES IN THE PROCESSING OF SOLID MATERIALS****Abstract**

*This article examines the process of forming cut sections of the stock three bladed countersink with a multifaceted profile inserts, when machining hard materials. Developed large-scale and mathematical model for calculation of areas cut away sections. To build a scale model we used the program КОМПАС-3D V16, which allowed to measure area of cross sections cut away each blade. Comparison of models showed the adequacy of this technique in processing accurate and deep holes.*

**Keywords:** Zenker with MNP, processing accurate and deep holes, pull the axis mathematical model.

Для обработки цилиндрических и конических поверхностей часто используется такой метод обработки как зенкерование. Зенкер – это специальный режущий инструмент, для обработки отверстий. Этот инструмент, позволяет увеличить точность обработки и значительно повысить качество обрабатываемой поверхности. [1, С. 45]

Зенкерование обычно является получистовой обработкой резанием. Исходя из полученных сведений, можно сделать следующие основные назначения зенкерования:

- Очистка и сглаживание поверхности отверстий: перед нарезанием резьбы или развёртыванием;
- Калибрование отверстий: для болтов, шпилек и другого крепежа.

Зенкерование выполняется после сверления или в литьевых отверстиях

Процесс зенкерования можно отнести к точным механическим операциям. Такие операции требуют высокой мощности, и выполняются на следующих станках:

Сверлильные станки всех типов: наиболее часто. Станки токарной группы: наиболее часто. Расточные станки: часто как вторичная операция. Фрезерные (горизонтальные и вертикальные): редко. В основном на фрезерных с ЧПУ (как часть программы). Агрегатные станки: как одна из операций в автоматической линии. [2, С. 78]

Инструментом зенкерования является зенкер. Он представляет из себя многолезвийный инструмент, в среднем насчитывается от трех до двенадцати лезвий. Зенкер имеет ось вращения, а обработка ведется кромками режущих лезвий.

Диаметр зенкера всегда принимают меньше окончательного отверстия, так как окончательной операцией является обработка развёртыванием. Очень редко зенкерование является окончательной операцией, в основном зенкер используют для промежуточной операции. [3, С. 89]

Основными материалами для изготовления зенкеров являются быстрорежущие стали. Встречаются конструкции этого инструмента, когда на режущих кромках крепятся специальные пластины из твердого сплава. При зенкерании широко применяются смазочно-охлаждающие вещества.

Зенкера с многогранными неперетачиваемыми пластинами (МНП), в последнее время становятся все более популярными. Рассмотрим конструкцию зенкера на рисунке 1.

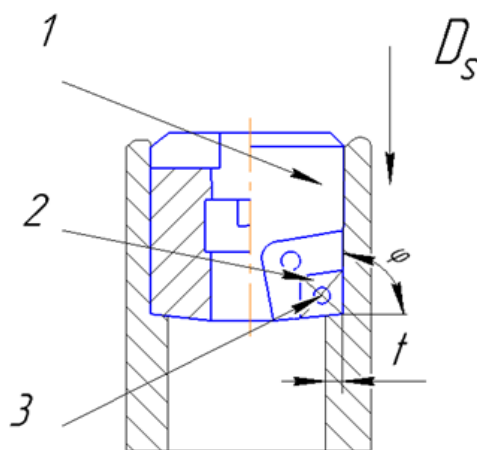


Рис. 1 – Конструкция зенкера с МНП

При обработке отверстий зенкерами исследуется схема формообразования отверстий. Режущая пластинка 2 закрепляется в корпусе зенкера 1. Где:  $\varphi$  – главный угол в плане;  $t$  – подача;  $D_s$  – направление движение инструмента.

Различные схемы получаются из-за различных конструкций данного лезвийного инструмента, которые представлены на рисунках 2–3.

На рисунке 2 представлена схема формообразования зенкеров оснащенных МНП, без разделения срезаемого слоя, где:  $t$  – припуск;  $D_s$  – направление подачи;  $D_{max}$  – максимальный диаметр обработанного отверстия;  $D_{исх}$  – исходный диаметр отверстия

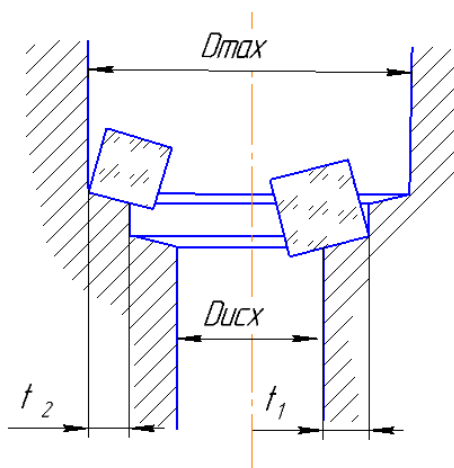


Рис. 2 – Схема формообразования зенкеров оснащенных МНП, без разделения срезаемого слоя

На рисунке 3 представлена схема формообразования зенкеров оснащенных МНП, с разделением срезаемого слоя, где:

$t_1$  и  $t_2$  – припуск 1 и 2 лезвия соответственно;  $D_{\max}$  – максимальный диаметр обработанного отверстия;  $D_{\text{исх}}$  – исходный диаметр отверстия.

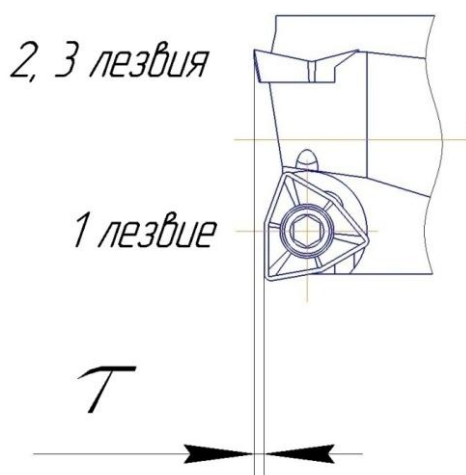


Рис. 3 – Схема формообразования зенкеров оснащенных МНП, с разделением срезаемого слоя

Такие схемы формообразования не дают полного представления об обработке отверстий. Для получения фактических сечений срезаемых слоев припуска и расчета их площадей необходимо учитывать погрешности расположения пластин в инструменте.

Рассмотрим случай формообразования отверстия зенкером с МНП, когда погрешность расположения пластин  $\tau$ , будет больше подачи на зуб, (рис. 4), такое возникает при обработке отверстий с малыми подачами, когда обрабатываются твердые материалы: стали и чугуны. Для этого в среде Компас 3D V16 построим схему формообразования и масштабную модель площадей срезаемых слоев. На схеме условно изображены три лезвия исследуемого инструмента, показаны вершины радиус-векторов  $\rho_1(\psi)$ ,  $\rho_2(\psi+120^\circ)$ ,  $\rho_3(\psi+240^\circ)$ ,  $\rho_1(\psi+360^\circ)$ ,  $\psi$  - угол поворота зенкера с МНП; подача на оборот  $S$ , и главные углы в плане,  $\phi_1=88^\circ$ ,  $\phi_2=90^\circ$ ,  $\phi_3=92^\circ$ , также показана погрешность расположения пластин  $\tau$ .

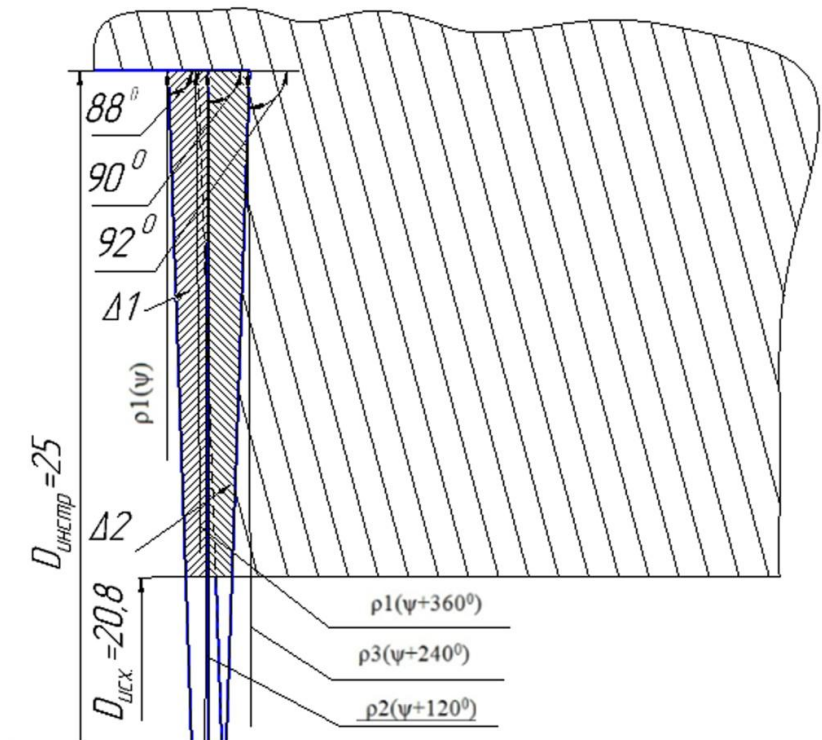


Рис. 4 – Погрешность расположения пластин

Схема формообразования показана на рисунке 5:

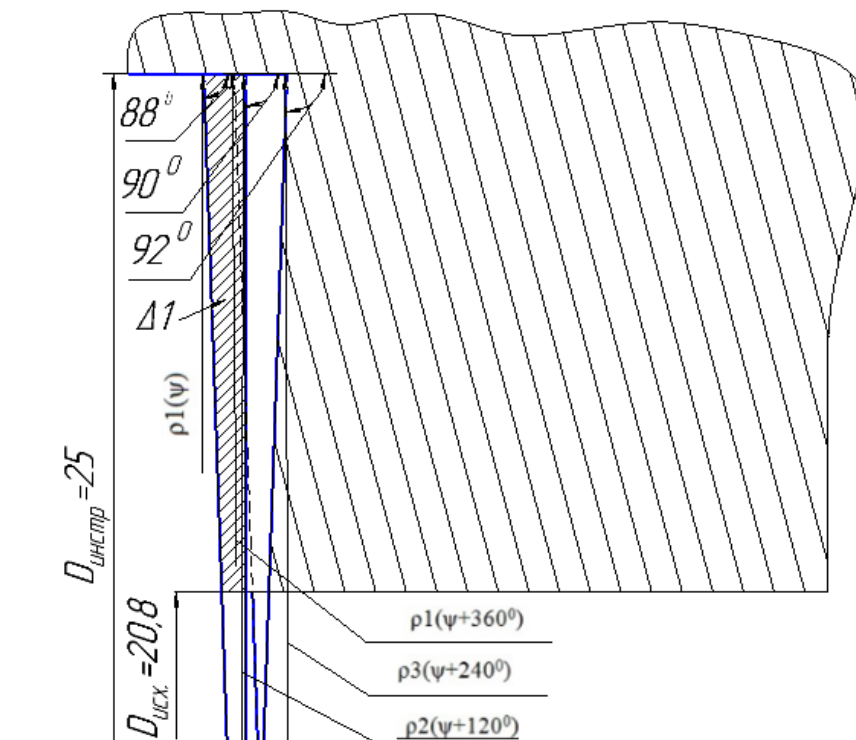


Рис. 5 – Схема формообразования

Зададим необходимые параметры. Диаметр исследуемого зенкера 25 мм. Диаметр предварительного отверстия 20,8 мм. Погрешность расположения пластин 0,2 мм. Подача инструмента 0,15 мм/об. Погрешность главных углов в плане  $\pm 2$  градуса, в нашем случае  $\varphi_1=88^\circ$ ,  $\varphi_2=90^\circ$ ,  $\varphi_3=92^\circ$ .

Для нахождения площади срезаемой первым лезвием рассмотрим подробно схему формообразования.

На рисунке 6 показана площадь сечения припуска срезаемая первым лезвием.

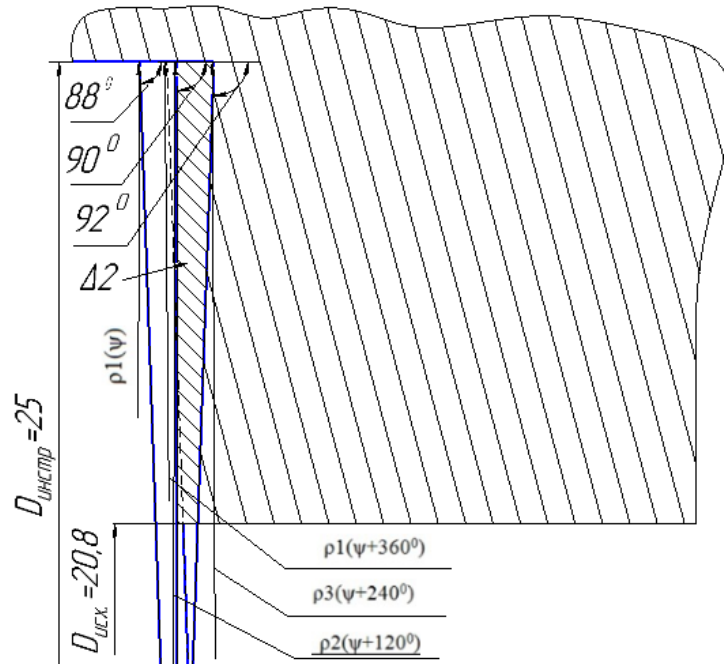


Рис. 6 – Площадь сечения припуска срезаемая первым лезвием

Из рисунка 6 видно, что участок срезаемый первым лезвием это прямоугольная трапеция. Поэтому площадь этого участка будем искать как площадь трапеции по формуле 1.

$$\Delta 1 = \frac{h}{2} (BC + AD), \quad (1)$$

где  $h$  – (AK) – высота трапеции ABCD;

BC и AD – основания трапеции.

Найдем высоту трапеции по формуле 2:

$$h = \rho_1(\psi) - \frac{d_{исх}}{2}, \quad (2)$$

где  $\rho_1(\psi)$  – координаты радиус-вектора вершины первого лезвия;

$d_{исх}$  – диаметр предварительного отверстия.

Найдем длину верхнего основания трапеции, по формуле 3:

$$BC = \frac{S}{3}, \quad (3)$$

где  $S$  – подача инструмента;

$\tau$  – погрешность расположения пластин.

Найдем длину нижнего основания трапеции, по формуле 4:

$$AD = \frac{S}{3} + \left( tg(90 - \varphi_1) \cdot \rho_1(\psi) - \frac{d_{исх}}{2} \right), \quad (4)$$

Подставляя полученные выражения в уравнение 5 найдем площадь сечения припуска срезаемую первым лезвием:

$$\Delta 1 = \left( \frac{\rho_1(\psi) - \frac{d_{исх}}{2}}{2} \right) \cdot \left[ \frac{S}{3} + \left( tg(90 - \varphi_1) \cdot \rho_1(\psi) - \frac{d_{исх}}{2} \right) \right] \quad (5)$$

На рисунке 7 показана площадь сечения припуска срезаемая вторым лезвием.

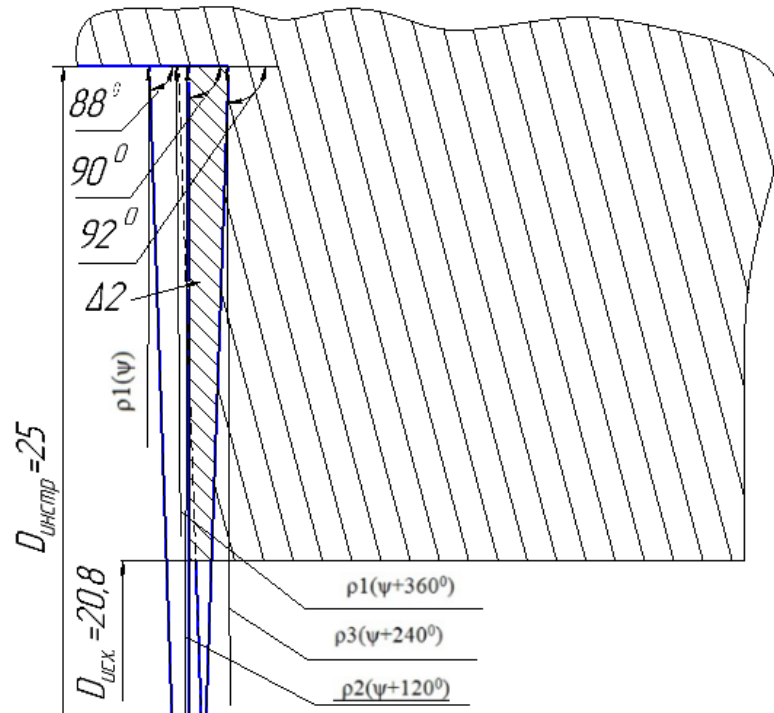


Рис. 7 – Площадь сечения припуска срезаемая вторым лезвием

Из рисунка видно, что участок срезаемый вторым лезвием, также как и в первом случае это прямоугольная трапеция.

Площадь, срезаемую вторым лезвием, найдем по формуле 1.

Высоту трапеции найдем по формуле 6:

$$h = \rho_2(\psi + 120^\circ) - \frac{d_{исх}}{2}, \quad (6)$$

где  $\rho_2(\psi + 120^\circ)$  – координаты радиус-вектора вершины второго лезвия.

Найдем верхнее основание трапеции по формуле 7:

$$CE = \frac{S}{3} + \tau. \quad (7)$$

Найдем нижнее основание трапеции по формуле 8:

$$AD = \frac{S}{3} + tg(\varphi_2 - \varphi_1) \cdot \left( \rho_2(\psi + 120^\circ) - \frac{d_{исх}}{2} \right). \quad (8)$$

Подставляя полученные выражения в формулу 8 найдем площадь, срезаемую вторым лезвием:

$$\Delta 2 = \left( \frac{\rho_2(\psi + 120^\circ) - \frac{d_{исх}}{2}}{2} \right) \cdot \left[ \frac{S}{3} + \frac{S}{3} + tg(\varphi_2 - \varphi_1) \cdot \left( \rho_2(\psi + 120^\circ) - \frac{d_{исх}}{2} \right) \right]. \quad (9)$$

Когда погрешность расположения пластин  $\tau$ , будет меньше подачи на зуб, 3 лезвие зенкера не срезает никакого слоя, т.е. является зачистным.

В итоге получившаяся математическая модель расчета площадей срезаемых слоев для первого случая примет вид:

$$\begin{cases} \Delta 1 = \left( \frac{\rho_1(\psi) - \frac{d_{исх}}{2}}{2} \right) \cdot \left[ \frac{S}{3} + \left( tg(90 - \varphi_1) \cdot \rho_1(\psi) - \frac{d_{исх}}{2} \right) \right] \\ \Delta 2 = \left( \frac{\rho_2(\psi) - \frac{d_{исх}}{2}}{2} \right) \cdot \left[ \frac{S}{3} + \frac{S}{3} + tg(\varphi_2 - \varphi_1) \cdot \left( \rho_2(\psi + 120^\circ) - \frac{d_{исх}}{2} \right) \right] \end{cases} \quad (10)$$

В построенной модели в среде КОМПАС-3D V16 были количественно измерены площади (рис. 8, 9) и сравнены с расчетными, полученными по математической модели (табл. 1).

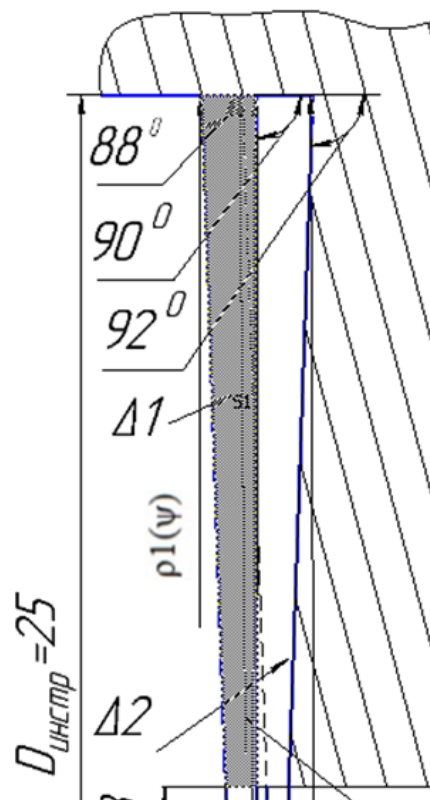
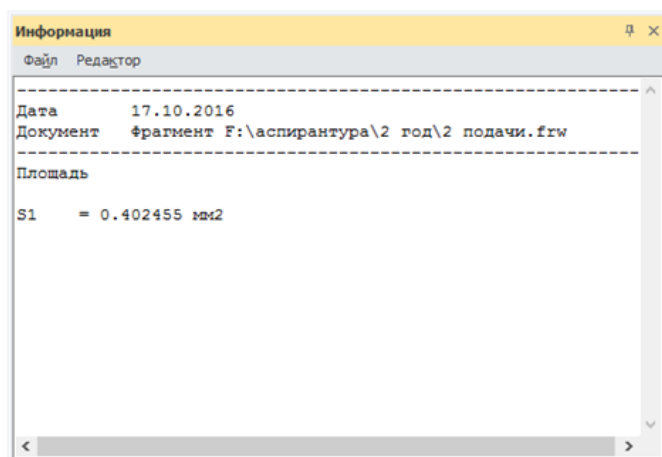


Рис. 8 – Измерение площади сечения припуска срезаемой первым лезвием

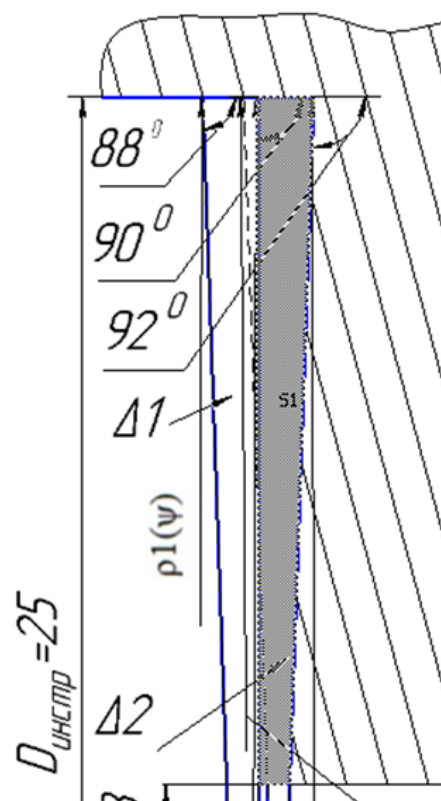
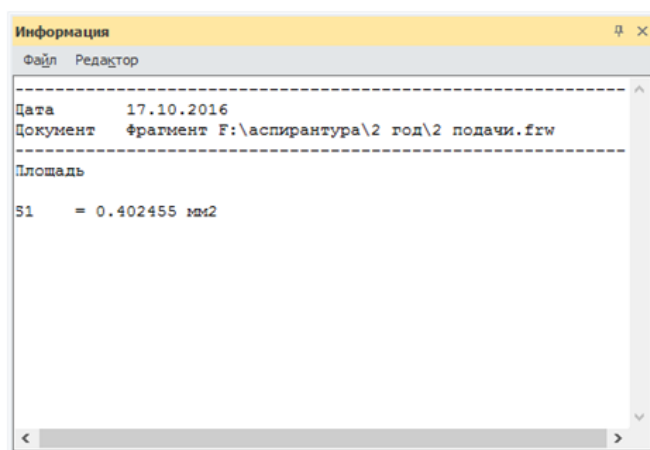


Рис. 9 – Измерение площади сечения припуска срезаемой вторым лезвием

Таблица 1 – Проверка адекватности математической модели

Площадь	Измеренная, мм <sup>2</sup>	Рассчитанная, мм <sup>2</sup>	Погрешность измерения, %
$\Delta_1$	0,402455	$\approx 0,397243$	1,3
$\Delta_2$	0,402455	$\approx 0,415475$	3,2



**Вывод:**

Как видно из таблицы, погрешность измерений и вычислений составляет не более 3,2%, что является допустимым отклонением.

Таким образом, можно сделать вывод, что данная математическая модель адекватна и может применяться при расчетах точности обработки.

**Список литературы / References**

1. Драгун А.П. Режущий инструмент / А. П. Драгун. – Л.: Лениздат, 1986. – 271 с.
2. Петрушин С.И. Основы формообразования резанием лезвийными инструментами / С. И. Петрушин . Учебное пособие. Томск: Изд. ТГУ, 2003. – 172с.
3. Пестрецов, С.И. Компьютерное моделирование и оптимизация процессов резания: учеб. пособие / С.И. Пестрецов. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2009 – 104 с. – 100 экз. – ISBN978-5-8265-0795-7.

**Список литературы на английском языке/ References in English**

1. Dragun A.P. Rezhushhij instrument [Cutting instrument] / A. P. Dragun. – L.: Lenizdat, 1986. – 271 s. [in Russian]
2. Petrushin S.I. Osnovy formoobrazovaniya rezaniem lezviynymi instrumentami [Fundamentals of forming cutting blade tools] / S. I. Petrushin . Uchebnoe posobie. Tomsk: Izd. TGU, 2003. – 172s. [in Russian]
3. Pestrecov, S.I. Komp'yuternoe modelirovanie i optimizaciya processov rezaniya: ucheb. posobie [Computer simulation and optimization of cutting processes: proc. allowance] / S.I. Pestrecov. – Tambov: Izd-vo Tamb. gos. tehn. un-ta, 2009 – 104 s. – 100 jekz. – ISBN978-5-8265-0795-7. [in Russian]

DOI: 10.18454/IRJ.2016.54.058

Дмитриев М.С.

Доктор технических наук, Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет

**ОЦЕНКА СЛОЖНОСТИ АЛГОРИТМА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАТОРОВ  
ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН****Аннотация**

*В статье рассмотрены принципы алгоритмического описания деятельности операторов по управлению технологическим процессом транспортно-технологических машин. Показаны примеры логической и блочной записи алгоритма выполнения технологической настройки зерноуборочного комбайна, приведены нормированные показатели логической сложности и стереотипности, позволяющие оценить сложность работы операторов. Результаты расчета указанных показателей позволяют сделать вывод о значительной информационной перегрузке и сложности деятельности операторов по управлению технологическим процессом зерноуборочных комбайнов, что, в свою очередь, негативно сказывается на безопасности, производительности и качестве их работы.*

**Ключевые слова:** безопасность транспортно-технологических процессов, зерноуборочный комбайн, алгоритм, логическая сложность, стереотипность.

Dmitriev M.S.

PhD in Engineering, Ural State Humanitarian Pedagogical University

**ASSESSMENT OF COMPLEXITY OF TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL MACHINES OPERATORS'  
ACTIVITY ALGORITHM****Abstract**

*In this paper the principles of the algorithmic description of operators' activities for technological process of transport and technological machines management are considered. Examples of logical and block record of algorithm of a combine harvester technological regulation are shown, the rated indicators of logical complexity and stereotype allowing to estimate complexity of operators' work are given. Results of calculation of these indicators allow to draw a conclusion on a considerable information overload and complexity of operators' activities for combine harvesters technological process management that negatively affects safety, productivity and quality of their work.*

**Keywords:** safety of transport and technological processes, combine harvester, algorithm, logical complexity, stereotype.

**В** последние годы в нашей стране происходит большое количество несчастных случаев при работе на транспортно-технологических машинах в различных отраслях народного хозяйства. Причинами такой неблагоприятной ситуации является устаревшая техника, нехватка квалифицированных специалистов, а также несовершенство конструкции узлов и механизмов указанных машин. Все вышесказанное в полной мере можно отнести и к сельскохозяйственному производству.

Согласно статистическим данным [1] показатели травматизма среди операторов мобильных сельскохозяйственных машин в 3 раза выше, чем в целом по отрасли. По имеющимся данным основными источниками травмирования с временной потерей трудоспособности или летальным исходом являются тракторы – около 50 % и транспортные средства – 18...23%. Зерноуборочные комбайны также относятся к таким источникам (около 13 %).

Как отмечалось выше, одной из причин несчастных случаев является конструктивное несовершенство техники, ее недостаточная приспособленность к психофизиологическим возможностям операторов. То есть, деятельность операторов по управлению, технологической настройке и техническому обслуживанию сельскохозяйственных транспортно-технологических машин зачастую оказывается сложна и небезопасна.

Деятельность оператора транспортно-технологической машины по управлению технологическим процессом может быть описана различными методами. Для более наглядного представления о деятельности оператора и последующей количественной оценки ее сложности наибольшее распространение получил операционно-структурный

метод. Данный метод осуществляется на операционно-психологическом уровне и основан на алгоритмическом описании работы оператора [2].

В данном случае алгоритм является описанием выполнения в определенной последовательности элементарных операций, в сумме представляющих систему операций, при решении той или иной задачи по управлению технологическим процессом. В качестве критерия элементарности операций при анализе деятельности оператора принята способность выполнять их как единый целостный акт. Элементарные операции, воспринимаемые как единое целое, и логические условия (условия, определяющие, какой из возможных «операторов» будет иметь место при выполнении или невыполнении этого условия) составляют алгоритм. Логические условия выступают как информационные единицы в процессе формирования или выбора условия, а «операторы» – как те или иные действия человека.

Из существующих двух основных форм записи алгоритмов (логической и блочной) предпочтение отдается первой по причине ее компактности. Однако блочная схема записи является более наглядной.

Рассмотрим в качестве примера описание упрощенного алгоритма деятельности оператора зерноуборочного комбайна (ЗУК) в процессе регулирования положения шнека жатки по высоте (не учитываются подготовительные операции такие, как подход к объекту регулирования, выбор инструмента и т.п.) (рис.1).

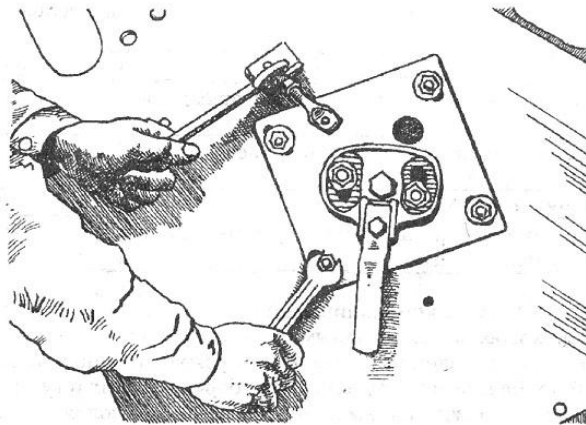


Рис.1 – Регулировка положения шнека жатки по высоте

Запись логической схемы алгоритма осуществляется в строчку в виде последовательности «операторов», которые обозначаются заглавными буквами латинского алфавита, и логических условий, обозначаемых строчными буквами. После каждого логического условия стоит начальная нумерованная стрелка; конечная стрелка с таким же номером стоит перед каким-либо другим членом алгоритма.

Структура алгоритма регулирования зазора между спиралью шнека и днищем жатки (для одной стороны жатки) выглядит следующим образом:  $A_1$  – замер имеющегося зазора;  $A_2, A_3, A_4, A_5$  – ослабление первой, второй, третьей и четвертой гайки плиты соответственно;  $A_6$  – ослабление нижней гайки регулировочного винта;  $A_7$  – вращение верхней гайки регулировочного винта по часовой стрелке;  $A_8$  – вращение гайки против часовой стрелки;  $A_9$  – замер зазора;  $A_{10}$  – затягивание нижней гайки регулировочного винта;  $A_{11}, A_{12}, A_{13}, A_{14}$  – затягивание первой, второй, третьей и четвертой гайки плиты соответственно;  $P_1$  – проверка условия, был ли имеющийся зазор меньше требуемого для данных условий уборки;  $P_2$  – проверка условия, был ли зазор отрегулирован правильно [3].

Поскольку «операторы»  $A_7$  и  $A_8$  одновременно сработать не могут, для их разделения вводится ложное логическое условие, которое обозначается буквой  $\omega$ . В соответствии с принятыми правилами и обозначениями логическая схема представленного алгоритма будет выглядеть следующим образом:

$$A_1 A_2 A_3 A_4 A_5 A_6 \downarrow P_1 \uparrow A_7 \omega \uparrow \downarrow A_8 \downarrow A_9 P_2 \uparrow A_{10} A_{11}, A_{12}, A_{13}, A_{14}. \quad (1)$$

$\begin{matrix} 1 & 2 & 3 \\ \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ 3 & 1 & 2 \end{matrix}$

Блочная схема записи данного алгоритма представлена на рис. 2.

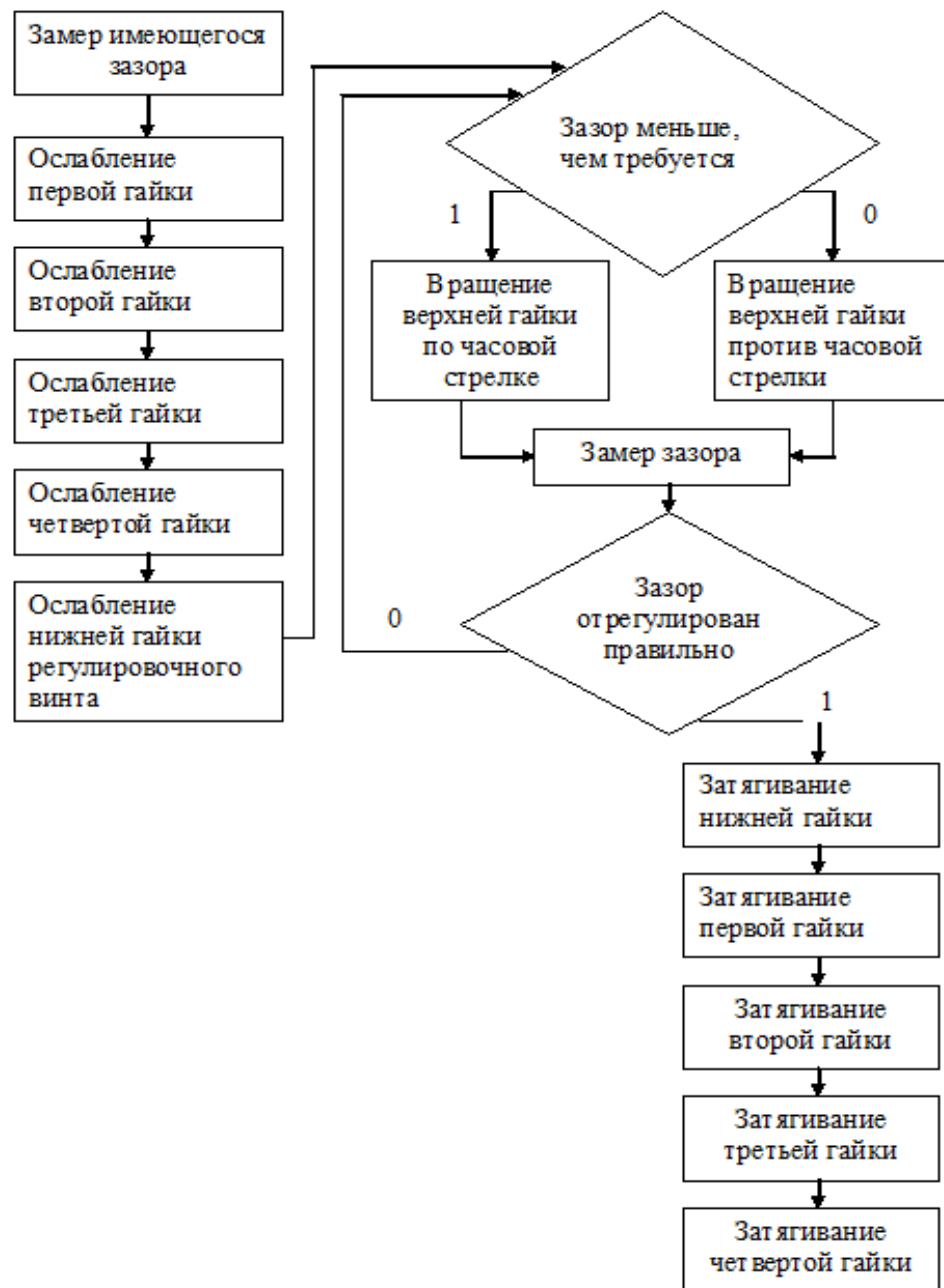


Рис. 2 – Пример блочной записи алгоритма

Алгоритмическая запись процесса выполнения технологических регулировок позволяет определить количественные показатели, характеризующие его сложность. Наиболее характерными являются нормированные показатели стереотипности и логической сложности.

Предположим, что алгоритм состоит из  $N$  членов, включающих  $N_o$  элементарных «операторов» и  $N_l$  логических условий. Разбив алгоритм на комплексные группы, включающие по одной группе «операторов» и логических условий, получим  $n_o$  и  $n_l$  групп, каждая из которых содержит  $m$  элементов, в их числе  $m_o$  и  $m_l$  логических условий. Отношение  $\frac{N_o}{N}$  характеризует долю элементарных «операторов» в алгоритме; отношения

$\frac{m_{oi}}{m_o}$  и  $\frac{m_{li}}{m_l}$  – распределение «операторов» по группам.

$N_o$   $m_o$

Нормированный коэффициент стереотипности определяется как сумма произведений этих отношений:

$$Z_n = \sum_{i=1}^{n_o} \frac{N_o}{N} \cdot \frac{m_{oi}}{m_o} \cdot \frac{m_{oi}}{m_o} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{n_o} \frac{m_{oi}}{m_i} \quad (2)$$

Аналогично можно определить нормированный коэффициент логической сложности:

$$L_n = \frac{1}{N^*} \sum_{j=1}^{n_l} \frac{m_{lj}^2}{m_j} \quad (3)$$

При вычислении нормированного коэффициента стереотипности алгоритм разбивается на комплексные группы, начиная с первой группы «операторов». При определении нормированного коэффициента логической сложности – с первой группы логических условий. В этом случае группа «операторов» до первого логического условия не учитывается, поэтому в формуле (3) количество членов алгоритма вместо  $N$  обозначено через  $N^*$ .

На основании имеющихся экспериментальных данных [2] установлено, что если  $Z_n \geq 0,25$  и  $L_n \leq 0,20$ , то при реализации данного алгоритма возможности человека учтены достаточно полно.

Нормальная работа оператора будет при выполнении условия:

$$0,25 \leq Z_n \leq 0,85 \text{ и } L_n \leq 0,20 \quad (4)$$

При  $Z_n > 0,85$  необходимо автоматизировать данный процесс; при  $L_n > 0,20$  работа оператора сложна, имеет место информационная перегрузка и т.д.

Результаты оценки сложности алгоритмов деятельности операторов по управлению технологическим процессом ЗУК в зависимости от изменения различных факторов условий уборки, полученные в ходе экспериментальных исследований в хозяйствах Челябинской области, представлены в табл.1.

Таблица 1 – Результаты расчета нормированных показателей стереотипности и логической сложности алгоритма по управлению технологическим процессом ЗУК

Факторы условий уборки	Способ уборки*	N	N*	N <sub>о</sub>	n <sub>о</sub>	Z <sub>n</sub>	N <sub>л</sub>	n <sub>л</sub>	L <sub>n</sub>
Культура	ПК	165	158	49	39	0,19	118	38	0,49
	ПО	159	151	47	37	0,17	112	36	0,46
Урожайность	ПК	188	179	54	46	0,14	154	45	0,52
	ПО	178	171	63	41	0,20	115	40	0,45
Влажность	ПК	210	201	61	54	0,11	149	53	0,55
	ПО	189	181	55	48	0,11	134	47	0,55
Высота стеблестоя	ПК	129	122	52	38	0,21	77	37	0,43
Густота стеблестоя	ПК	98	91	39	27	0,24	59	26	0,38
Засоренность	ПК	158	151	61	43	0,19	97	42	0,66
	ПО	125	118	50	34	0,21	75	34	0,45
Полеглость	ПК	123	116	48	31	0,11	68	30	0,61

Примечание: \* ПК – прямое комбайнирование; ПО – подбор и обмолот валков

Как видно из табл. 1, условие (4) в деятельности оператора зерноуборочного комбайна по управлению технологическим процессом при изменении факторов условий уборки не выполняется, поскольку значения нормированного коэффициента стереотипности  $Z_n$  меньше установленного, а значения нормированного коэффициента логической сложности  $L_n$  в несколько раз превышают норму. Это позволяет сделать вывод о том, что возможности оператора в данном случае учтены недостаточно. Результаты оценки сложности алгоритма деятельности по управлению технологическим процессом ЗУК подтверждают значительную информационную перегрузку и сложность работы оператора (необходимость слежения за большим количеством выходных параметров и выполнения большого количества различных управляющих действий). Что, в свою очередь, негативно сказывается на функциональном состоянии оператора и повышает вероятность возникновения несчастных случаев [4].

Кроме того, наблюдения показали, что в реальных условиях уборки оператор невольно упрощает алгоритм деятельности. В результате, фактически выполняемый алгоритм управления технологическим процессом и его характеристика значительно отличаются от предписываемого, что отрицательно сказывается на количественных и качественных показателях работы зерноуборочных комбайнов.

Таким образом, дальнейшие исследования в области повышения безопасности, производительности и качества работы сельскохозяйственных транспортно-технологических машин (в т.ч. зерноуборочных комбайнов) должны быть направлены на упрощение деятельности операторов по управлению технологическим процессом.

#### Список литературы / References

1. Официальный Интернет-сайт Росстата: URL: <http://www.gks.ru>.
2. Справочник по инженерной психологии / Под ред. Б.Ф. Ломова. – М.: Машиностроение, 1982. – 368 с.
3. Дмитриев М.С. Улучшение условий и охраны труда операторов зерноуборочных комбайнов за счет совершенствования механизмов регулирования рабочих органов: Дис. ... канд. техн. наук. – Челябинск, 2004. – 230 с.
4. Кутепов Б.П., Дмитриев М.С. и др. Оценка риска травмирования механизаторов при выполнении регулировок зерноуборочных комбайнов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – М., 2005 - №3 – С. 20-21.

## Список литературы на английском языке / References in English

1. Official Internet site of Rosstat: URL: <http://www.gks.ru>.
2. Spravochnik po inzhenernoi psikhologii/ pod red. B.F. Lomova. [The reference book on engineering psychology]. М.: Mashinostroyeniye, 1982. - 368 P. [in Russian]
3. Dmitriev M.S. Uluchsheniye usloviy i okhrany truda operatorov zernouborochnykh kombainov za schyot sovershenstvovaniya mekhanizmov regulirovaniya rabochikh organov: Dis. ...kand. tekhn. nauk [Improvement of combine harvesters operators conditions and labor protection due to perfection of mechanisms of regulation of working parts: Ph.D. thesis]. – Chelyabinsk, 2004. – 230 P. [in Russian]
4. Kutepov B. P., Dmitriev M. S. Otsenka riska travmirovaniya mekhanizatorov pri vypolneniiy regulirovok zernouborochnykh kombainov [Assessment of machine operators' risk of traumatizing when performing adjustments of combine harvesters] // Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya selskogo khozyaistva [Mechanization and electrification of agriculture]. – М, 2005 - # 3 – P 20-21. [in Russian]

DOI: 10.18454/IRJ.2016.54.250

Забалуева Ю.Ю.<sup>1</sup>, Баженова Б.А.<sup>2</sup>, Бурханова А.Г.<sup>3</sup>, Мелешкина Н.В.<sup>4</sup>, Андреева С.В.<sup>5</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-0001-5366-8811, Кандидат технических наук,<sup>2</sup>ORCID: 0000-0001-7380-5959, Доктор технических наук,<sup>3</sup>Магистр, <sup>4</sup>Аспирант,

Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления,

<sup>5</sup>Кандидат технических наук,

Забайкальский институт предпринимательства – филиал Сибирского университета потребительской кооперации

Работа выполнена при поддержке гранта «Молодые ученые ВСГУТУ»

## ИЗУЧЕНИЕ КАЧЕСТВА НАСТОЕВ И ОТВАРОВ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

## Аннотация

В статье представлены результаты исследования качественных показателей настоев из плодов шиповника Даурского и отвара цетрарии исландской. Выявлено, что экстракты дикоросов обладают высокими органолептическими характеристиками, обогащены биологически активными компонентами и могут быть использованы в технологиях мясных изделий. Настои из плодов шиповника предполагается вводить в качестве добавки в рецептуры сырокопченых мясопродуктов, а отвары цетрарии исландской – в рецептуры эмульгированных мясных изделий.

**Ключевые слова:** настой, отвар, растительные компоненты, биологически активные вещества, продукты питания.

Zabalueva Yu.Yu.<sup>1</sup>, Bazhenova B.A.<sup>2</sup>, Burchanova A.G.<sup>3</sup>, Meleshkina N.V.<sup>4</sup>, Andreeva S.V.<sup>5</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-0001-5366-8811, PhD in Engineering,<sup>2</sup>ORCID: 0000-0001-7380-5959, PhD in Engineering,<sup>3</sup>undergraduate, <sup>4</sup>postgraduate student,

East-Siberian State University of Technology and Management,

<sup>5</sup>PhD in Engineering,

Zabaikalian Institute of business-branch of the Siberian University of consumer cooperation

## THE STUDY OF THE QUALITY OF EXTRACTS AND DECOCTIONS FROM PLANT MATERIAL

## Abstract

The article presents the results of the research of quality characteristics of extracts from *Rosa daurica* Pall and decoction from *Cetraria Islandica*. It has been revealed that the extracts of the wild plants have high sensory characteristics, enriched with biologically active components and can be used in meat products technology. The extracts from dog-rose hips are supposed to be administered as an additive in the recipes of uncooked smoked meat product and the decoction from *Cetraria Islandica* - in the recipes of emulsified meat products.

**Keywords:** extract, decoction, plants, biologically active substance, food products.

**П**оиск эффективных растительных источников биологически активных веществ (БАВ), изучение их химического состава и свойств, для использования в составе пищевых продуктов, как массового потребления, так и специализированного питания является одним из перспективных направлений современного развития производства продуктов питания. Для получения важных физиологически активных компонентов пищи используются растительные ресурсы, среди которых интерес представляют дикоросы, как дополнительные источники БАВ [1].

Перспективными источниками растительного сырья при создании мясопродуктов являются плоды шиповника Даурского *Rosa daurica* Pall и цетрария исландская *Cetraria Islandica* (L.) Ach.

Шиповник Даурский и цетрария исландская привлекают внимание специалистов пищевых отраслей из-за уникального химического состава и содержания БАВ широкого спектра действия. Известно, что с целью придания сырокопченым колбасам специфических вкусо-ароматических свойств в традиционной технологии используются виноматериалы – товары высокой ценовой категории. Поэтому исследования, посвященные возможности применения взамен вино-водочной продукции фитонастоев в производстве сырокопченых мясных изделий являются на сегодняшний день перспективными. Ранее проведенными исследованиями было доказано, что настойка из плодов шиповника является источником природных БАВ и выполняют полифункциональную роль в качестве антиоксиданта, цветокооректора и ароматизатора [2].

Современное производство мясопродуктов немыслимо без использования гидроколлоидов (каррагинанов, альгинатов, крахмал и др.), наличие углеводов в химическом составе цетрарии исландской, дает основание предполагать, что использование отваров цетрарии исландской будет способствовать улучшению функционально-технологических свойств мясного сырья, что имеет первостепенное значение при производстве вареных колбасных изделий, реструктурированных продуктов, рубленых полуфабрикатов.

Также необходимо отметить, что наличие в дикоросах биологически активных веществ приведет к обогащению готовых продуктов.

Кустарники шиповника Даурского произрастают в Мухоршибирском, Бичурском и Кяхтинском районах республики Бурятия. Сбор их плодов был осуществлен в начале осени, когда в плодах накапливается наибольшее количество витаминов. Время сбора может изменяться в зависимости от условий созревания. Необходимо отметить, что витамин С и каротин накапливаются в наибольшем количестве в течение 8-10 дней после наступления биологической спелости. Сбор цетрарии исландской также проводили в осенний период, при этом местом ее произрастания была Республика Саха (Якутия).

Для положительного решения вопроса по рациональному использованию плодов шиповника Даурского и высушенных слоевищ цетрарии исландской, в работе были изучены их витаминный состав, а также содержание углеводов. Результаты анализов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Содержание витаминов в дикоросах

Показатель	Содержание	
	Плоды шиповника	Цетрария исландская
Витамин С, мг %	1250,00 ± 16,33	0,1 ± 0,01
Витамин В <sub>1</sub> , мкг %	37,18 ± 0,05	48,13 ± 0,04
β – каротин мг%	6,71 ± 0,01	-
Углеводы, %	29,7 ± 0,14	80,54 ± 4,80

Как показывают данные по изучению витаминного состава плодов шиповника Даурского, произрастающего на территории Бурятии, в них присутствуют каротиноиды, токоферол, а также содержится значительное количество витамина С. В составе слоевища цетрарии присутствуют аскорбиновая кислота и В<sub>1</sub>. Наличие витаминов делает привлекательными эти дикоросы для использования в составе пищевых продуктов с целью их обогащения. В нашем случае важно было установить содержание углеводов, способных участвовать в улучшении консистенции и стабильности мясных фаршей. Анализ углеводов показал, что их общее содержание в сушеном *Cetraria Islandica* (L.) Ach. зафиксировано в пределах 80-81 %.

Наиболее эффективным способом использования растительного сырья для сохранения комплекса биологически активных компонентов является получение настоев и экстрактов.

В работе были проведены исследования по определению условий экстрагирования БАВ. Было установлено, что при переработке цетрарии водное извлечение биологически активных веществ является наиболее оптимальным. Результаты исследований показали, что технология получения отвара из цетрарии, предусматривающая вымачивание дикороса в водном растворе пищевой соды концентрацией 1 % в течение 2-3 часов (гидромодуль 10:1), с последующей просушкой, измельчением до частичек размером не более 5 мм, заливкой водой (гидромодуль 1:20), доведением до кипения и охлаждением является перспективной [3]. Водное извлечение БАВ из измельченных плодов шиповника проводили смешанным холодно-горячим способом, предусматривающим заливку плодов водой комнатной температуры (гидромодуль 1:10), настаивание в течение 4 часов и фильтрование. Приготовленный настой смешивали с настоем, полученным из оставшегося после процесса фильтрования жмыха. Жмых подвергали следующим операциям: заливка водой температурой 100 °С, с последующей выдержкой на водяной бане 15-20 минут и фильтрованием. Приготовление водно-спиртовой настойки осуществляли методом классической мацерации, включающим в себя следующие этапы: измельчение плодов, подготовку навески, заливку 40%-ной водно-спиртовой жидкостью в соотношении 1:10, настаивание (при комнатной температуре в течение 7 суток, извлечение сливается, шрот прессуется, промывается, вновь прессуется, все извлечения объединяются и отстаиваются в течение 3 суток) и фильтрование [4].

Органолептическая оценка полученных экстрактов показала, что настой и настойка из плодов шиповника представляли собой жидкость без осадка, обладающую приятным запахом, кисловатым вкусом, красно-коричневого цвета. Отвар из цетрарии имел слизистую, монолитную консистенцию прозрачного чуть зеленоватого цвета без запаха и без горечи.

Физико-химические показатели отвара и настоев представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристика отвара и настоев

Показатели	Характеристика		
	Отвар цетрарии	Настой плодов шиповника	Настойка плодов шиповника
Углеводы, %	6,5	1,3	1,04
Аскорбиновая кислота, мг%	0,062	118,8	80,0

Анализ уровней аскорбиновой кислоты показал, что в свежеприготовленном водном настое содержание витамина С составило 118,8 мг%, тогда как в водно-спиртовой настойке витамина С было 80,0 мг%, т.е. независимо от выбора экстрагента в настое переходит значительное количество витамина С.

Основная часть сухих веществ отвара из цетрарии – углеводы. Известно, что в водные извлечения цетрарии исландской преимущественно переходит лишенин, который придает отварам слизистую консистенцию. Кроме лишенина обнаружены растворимые пектиновые вещества, а также кислоты, содержание которых в отваре незначительно.

Таким образом, результаты исследований показали, что водный настой и водно-спиртовая настойка из плодов шиповника Даурского являются наиболее оптимальными добавками с показаниями к применению – сырокопченые мясные продукты. А наличие в водном экстракте из цетрарии высокого уровня полисахаридов, способных образовывать устойчивые гели, дает возможность его использования в технологиях эмульгированных мясных изделий.

#### Список литературы / References

1. Битуева Э.. Использование посевной редьки при производстве мясного полуфабриката / Э.Б Битуева., Т.В. Бильтрикова // Мясная индустрия. – 2014. – № 2. – С. 21-24.
2. Забалуева Ю.Ю. Влияние настоев дикорастущих растений Забайкалья на цветообразование мясных продуктов / Ю.Ю. Забалуева, Б.А. Баженова // Мясная индустрия. – 2006. – №7. – С. 21-22.
3. Брюхова С.В. Технология получения отвара из цетрарии исландской / С.В. Брюхова, М.Б. Данилов, Б.А. Баженова // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2012. – № 6. – С. 59-61.
4. Забалуева Ю.Ю. Получение биологически активной пищевой добавки для мясных продуктов / Ю.Ю. Забалуева, Б.А. Баженова // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2015. – № 4 (15). – С. 75-82.

#### Список литературы на английском языке / References in English

1. Bitueva E.B. Ispol'zovanie posevnoi red'ki pri proizvodstve myasnogo polufabrikata [Using the seed radish in the production of semi-finished meat] / E.B Bitueva., T.V. Bil'trikova // Myasnaya industriya [Meat Industry]. – 2014. – № 2. –P. 21-24. [in Russian]
2. Zabalueva Yu.Yu. Vliyanie nastoev dikorastushchikh rastenii Zabaikal'ya na tsvetoobrazovanie myasnykh produktov [Effect of extracts of wild plants Transbaikalia color formation of meat products] / Yu.Yu. Zabalueva, B.A. Bazhenova // Myasnaya industriya [Meat Industry]. – 2006. – №7. – P. 21-22. [in Russian]
3. Bryukhova S.V. Tekhnologiya polucheniya отвара iz tsetrarii islandskoi [The technology of broth from Iceland Moss] / S.V. Bryukhova, M.B. Danilov, B.A. Bazhenova // Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya [Storage and processing of agricultural raw materials]. – 2012. – № 6. – P. 59-61. [in Russian]
4. Zabalueva Yu.Yu. Poluchenie biologicheskii aktivnoi pishchevoi dobavki dlya myasnykh produktov [Preparation of biologically active nutritional supplement for meat products] / Yu.Yu. Zabalueva, B.A. Bazhenova // Izvestiya vuzov. Prikladnaya khimiya i biotekhnologiya [Proceedings of the universities. Applied Chemistry and Biotechnology]. – 2015. – № 4 (15). – P. 75-82. [in Russian]

«Международный научно-исследовательский журнал» включен в систему **OpenAIRE**.

**OpenAIRE** — европейская поисковая система по академическим материалам открытого доступа. Один из главнейших репозиториев научной информации в Европейском Союзе. Данная база позволяет увеличить цитируемость Ваших материалов в Европе.





DOI: 10.18454/IRJ.2016.54.083

Зимакова Г.А.<sup>1</sup>, Солонина В.А.<sup>2</sup>, Зелиг М.П.<sup>3</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-0002-4624-5746, Кандидат технических наук, доцент,<sup>2</sup>ORCID: 0000-0002-0873-627X, Кандидат технических наук,<sup>3</sup>ORCID: 0000-0001-8073-1898, Старший преподаватель,

Тюменский индустриальный университет

**ЗОЛЬНЫЕ МЕХАНОАКТИВИРОВАННЫЕ МИКРОСФЕРЫ – КОМПОНЕНТ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ БЕТОНОВ****Аннотация**

*Представлены результаты экспериментальных исследований цементного камня, изготовленного с применением исходных зольных микросфер и зольных микросфер, подвергнутых механоактивации. Индекс пуццолановой активности зольных микросфер установлен и повышен за счет помола до удельной поверхности 360 м<sup>2</sup>/кг, что способствовало разрушению отдельных зерен, формированию дефектов на поверхности сфер.*

*Установлено, что при замене части цемента активированной золой прочность, водонепроницаемость и морозостойкость тяжелого бетона остаются на высоком уровне, что обеспечивается активным участием золы в процессах структурообразования.*

*Применение активированной золы обеспечит экономию клинкерного фонда, при постоянстве реологических характеристик бетонной смеси и росте физико-механических свойств цементного камня и бетона.*

**Ключевые слова:** зольные микросферы, механоактивация, прочность, водонепроницаемость, тяжелый бетон.

Zimakova G.A.<sup>1</sup>, Solonina V.A.<sup>2</sup>, Zelig M.P.<sup>3</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-0002-4624-5746, PhD in Engineering, Associate professor,<sup>2</sup>ORCID: 0000-0002-0873-627X, PhD in Engineering,<sup>3</sup>ORCID: 0000-0001-8073-1898, Senior lecturer,

Tyumen Industrial University

**ASHY MECHANOACTIVATED MICROSPHERES AS THE COMPONENT OF HIGHLY EFFICIENT CONCRETE****Abstract**

*The article presents the results of experimental research of the cement produced with the use of the initial ashy microspheres and mechanoactivated ashy microspheres. The index of ashy microspheres' pozzolanic activity has been stated and increased due to grinding till surface area 360 sq.m/kg. This led to the destruction of some grains, damages of the spheres' surfaces.*

*It is stated that replacing some part of cement with activated ash does not decrease strength, waterproofing qualities, freeze-thaw resistance of heavy weight concrete. Active participation of ash in structure forming processes provides high quality of the concrete.*

*The use of activated ash can ensure the economy of clinker fund provided that the rheological characteristics of concrete mix and the increase of physical and mechanical qualities of hardened cement paste and concrete are constant.*

**Keywords:** ashy microspheres, mechanoactivation, strength, waterproofing qualities, heavy weight concrete.

**П**роцесс формирования структуры цементного камня в бетоне, по современным воззрениям, происходит вследствие целого ряда физико-химических процессов, в результате которых формируются новые гидратные фазы, образующие пространственную решетку. Детальное знание и понимание механизмов реакций, которые протекают при твердении вяжущих веществ, быстро расширяется. Тем не менее, многие вопросы остаются дискуссионными. Основная роль гидратообразования при твердении вяжущих веществ – это обеспечение условий для развития конденсационных процессов, так как образование гидратов при химическом связывании жидкости еще недостаточно для формирования камнеподобной структуры.

Наиболее сложным при изучении процессов формирования структуры цементного камня является вопрос о взаимодействии продуктов гидратации с минеральными добавками ультрадисперсного и нанометрического диапазона. В качестве минеральных добавок применяют разнообразные неорганические материалы и вещества из разряда многочисленных разновидностей вторичного минерального сырья.

Если тонкодисперсные добавки получают путем целенаправленного синтеза и они относятся к веществам мономинеральной природы, то при использовании техногенного сырья полиминеральной природы описание процессов структурообразования может быть обеспечено за счет целого ряда химических процессов.

В данной работе на начальном этапе были изучены процессы структурообразования цементной матрицы, наполненной зольными микросферами (ЗМС). На втором этапе исследований выполнена механоактивация зольных микросфер путем помола в шаровой мельнице до величины удельной поверхности 360 м<sup>2</sup>/кг.

В ходе эксперимента использовалась зола-унос с содержанием оксидов: SiO<sub>2</sub> – 60,0÷62,0%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 29,0÷31,0%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 4,0÷5,0%, CaO+MgO – 1,5÷2,5%. Размер зерен – 30-80 мкм, 80-100 мкм до 25 %, в основном представлены стеклянными частицами практически идеальной сферической формы [1, С. 24]. Индекс пуццолановой активности зольных микросфер находится в интервале 120-128 мг/г. После механоактивации пуццолановая активность частиц зольных микросфер увеличилась до 140 мг/г.

Для изучения микроструктуры ЗМС-цементных композиций был использован метод рентгенофазового анализа. Для испытания был подготовлен состав цемент-ЗМС при соотношении компонентов 1:0,2 с В/Ц=0,32. Кинетика процесса структурообразования в системе исследовалась в возрасте 1 и 90 суток (рис. 1, 2).

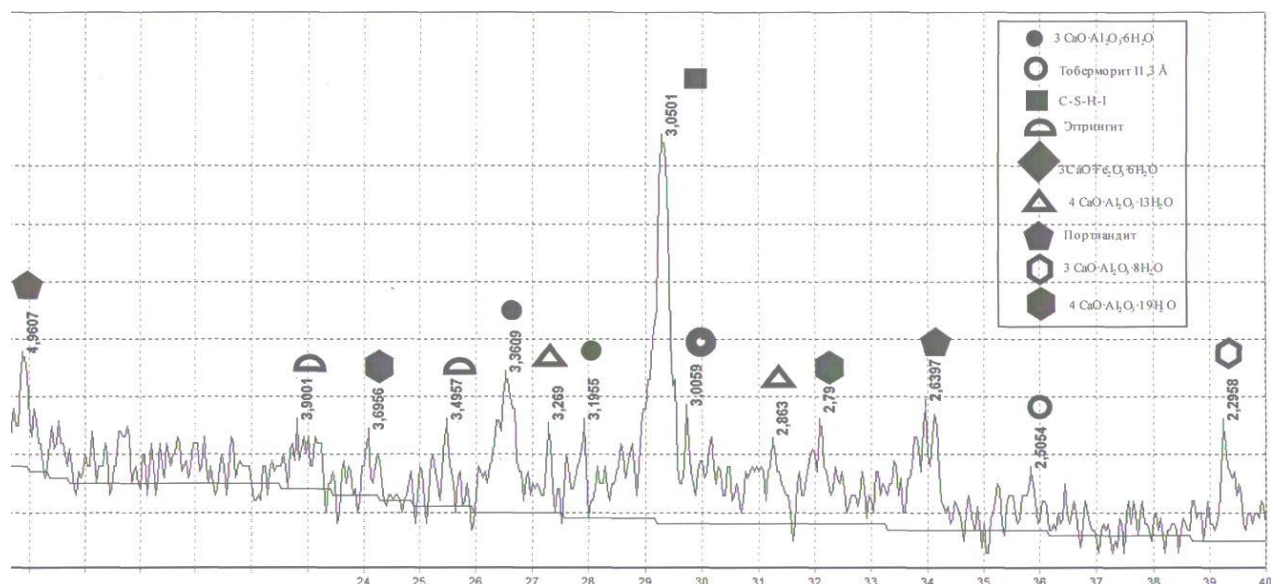


Рис. 1 - Дифрактограмма цементного камня с добавкой ЗМС по результатам твердения в нормальных условиях в течение 1 суток

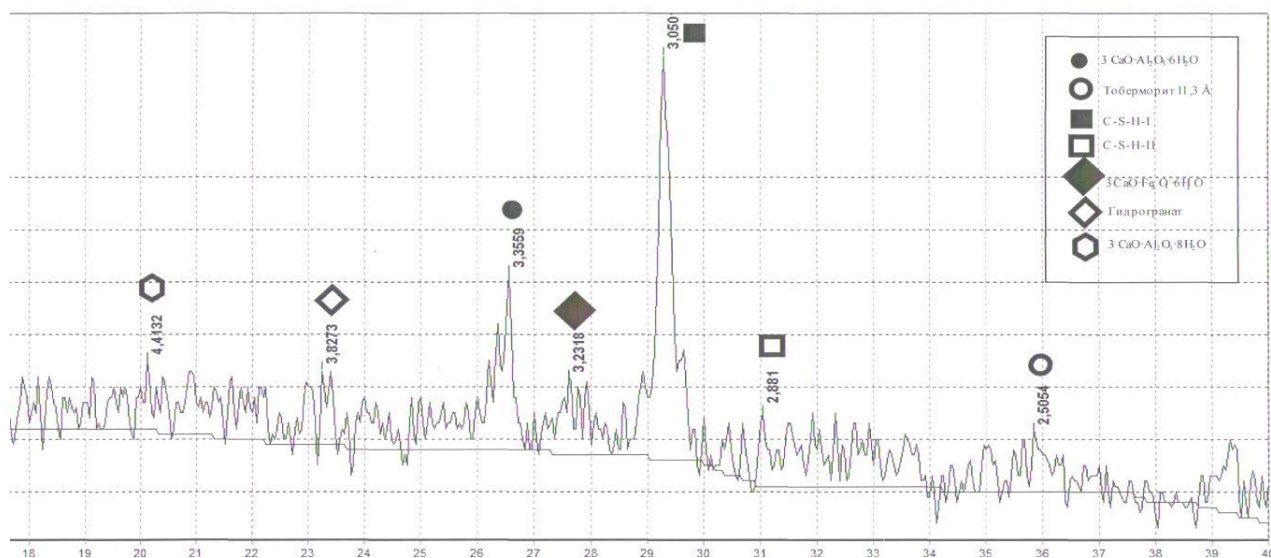


Рис. 2 - Дифрактограмма цементного камня с добавкой ЗМС по результатам твердения в нормальных условиях в течение 90 суток

Гидросиликат кальция с соотношением Ca/Si менее 1,5-2,0 – C-S-H (I) диагностирован по наиболее сильному пику в спектре ( $d=3,05 \text{ \AA}$ ) образца в возрасте 90 суток (см. рис. 2). C-S-H (II) также присутствует в спектре (дифракционный максимум на ( $d=2,88 \text{ \AA}$ )) [2, С. 163], однако интенсивность значительно ниже. Переход первого типа гидросиликата во второй связан с тем, что CaO в смеси более доступен, чем SiO<sub>2</sub>. Согласно данным Тейлора, полученным для цементного теста с добавкой золы-уноса, в реакцию вступает порядка 6% от стеклофазы золы [3, С. 349]. Принимая во внимание свойства и происхождение ЗМС, имеются основания предположить, что взаимодействие с продуктами гидратации ЗМС имеет аналогичный характер.

Основываясь на результатах изучения поглощения CaO [4, С. 44], согласно которым наиболее активно процесс проявляется в первые 6 суток после начала взаимодействия ЗМС с Ca(OH)<sub>2</sub>, можно утверждать, что реакция на границе раздела цементная матрица-ЗМС преимущественно протекает в ранние сроки твердения.

Характер изменения интенсивности дифракционных максимумов, характерных для C-S-H (I), для образцов в возрасте 1 сутки подтверждает предположение о преимущественной активности ЗМС в начальные сроки твердения (см. рис.1). C-S-H (II) на рентгенограммах не диагностировано, что объясняется дополнительными количествами Si, образующимися при гидролизе ЗМС, и формирующие среду с более низким Ca/Si, способствующую формированию C-S-H первого типа.

Формирование структуры и свойств плотного бетона с применением зольных микросфер и водоредуцирующей добавки MC Bauchemie Muraplast FK63 при различных исходных значениях водоцементного фактора показало, что с введением ЗМС прочность бетона изменяется по экстремальной зависимости, максимум которой приходится на диапазон 5% для В/Ц=0,32 и В/Ц=0,4 (рис.4). По полученным результатам исследования большим потенциалом с позиции формирования прочной и плотной структуры бетона обладает механоактивированная зола. Механоактивация частиц золы позволила увеличить их содержание в составе бетона до 15% без снижения прочностного показателя по отношению к составу с ЗМС при В/Ц=0,4.

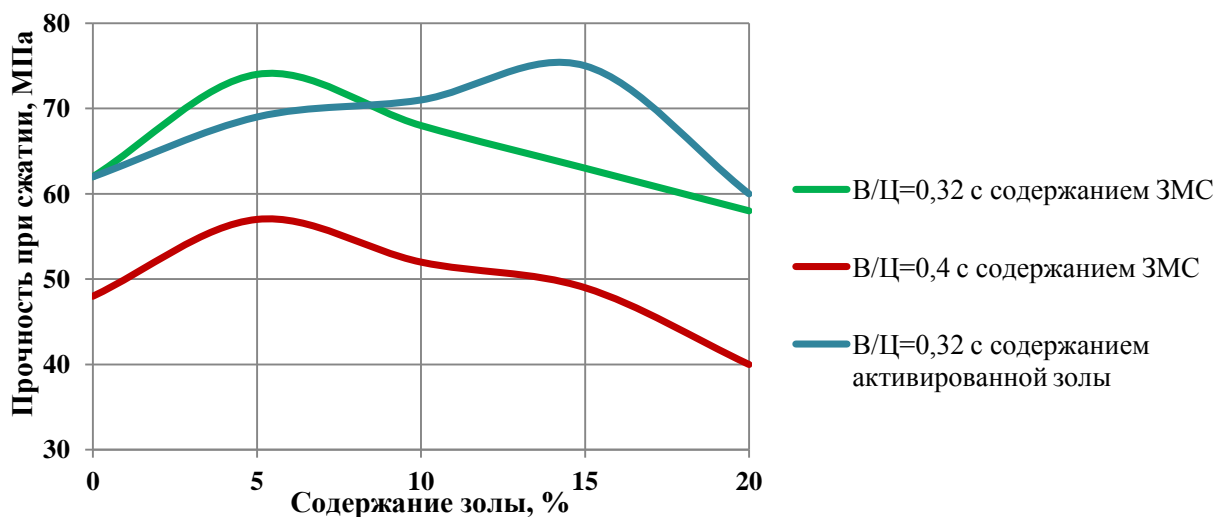


Рис. 4 – Влияние дозировки золных микросфер на прочность бетона

Выявлено, что при введении в составе бетона золных микросфер изменяется поровая структура цементной матрицы [5, С. 29]. При использовании ЗМС пористость цементного камня составляет 3%, при замене на активированные золные частицы снижается до 1,8 %.

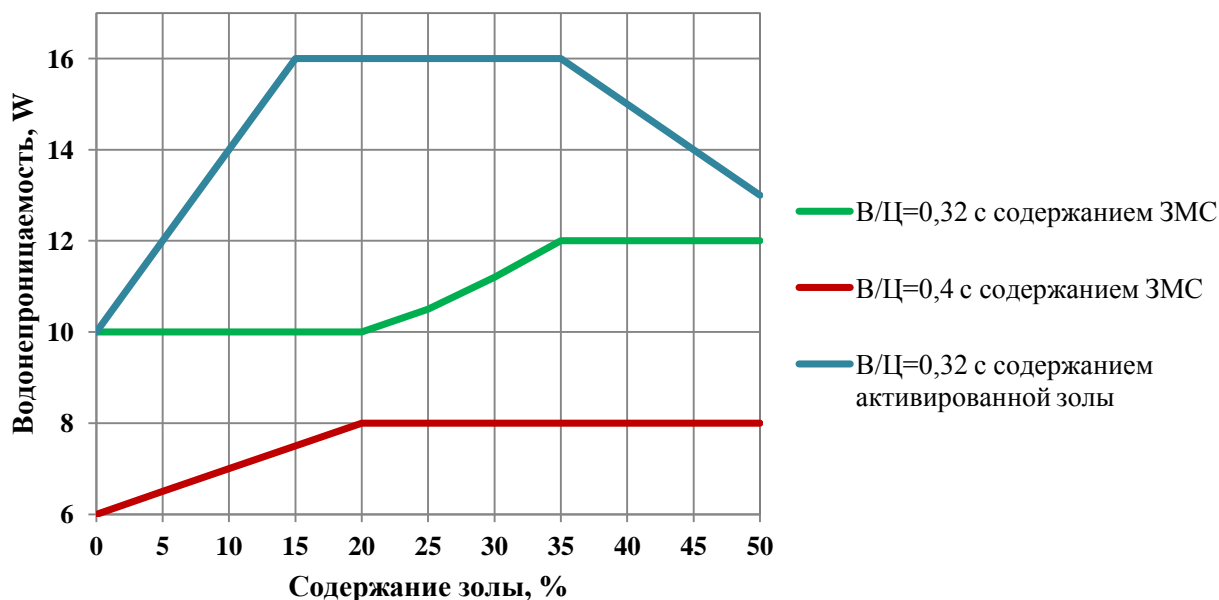


Рис. 5 – Влияние дозировки золных микросфер на водонепроницаемость бетона

Апробация применения механоактивированных частиц золы-уноса в дозировке 15% от массы портландцемента при изготовлении бетонов показало высокое влияние на следующие характеристики: повышение марки по водонепроницаемости с W10 до W16 (см. рис. 5), повышение на одну, две ступени морозостойкости с достижением прочности при сжатии до 75 МПа.

Эффективность применения механоактивированной золы на процесс роста прочности объясняется с позиции участия микросфер в процессах гидратообразования. С одной стороны это постулируется ростом пуццолановой активности (до 140 мг/г), с другой стороны изменениями морфологии силикатных фаз. Приведенные на рис. 6 микрофотографии поверхности цементного камня демонстрируют существенное преобладание в цементной матрице кристаллов столбчатой, пластинчатой морфологии.

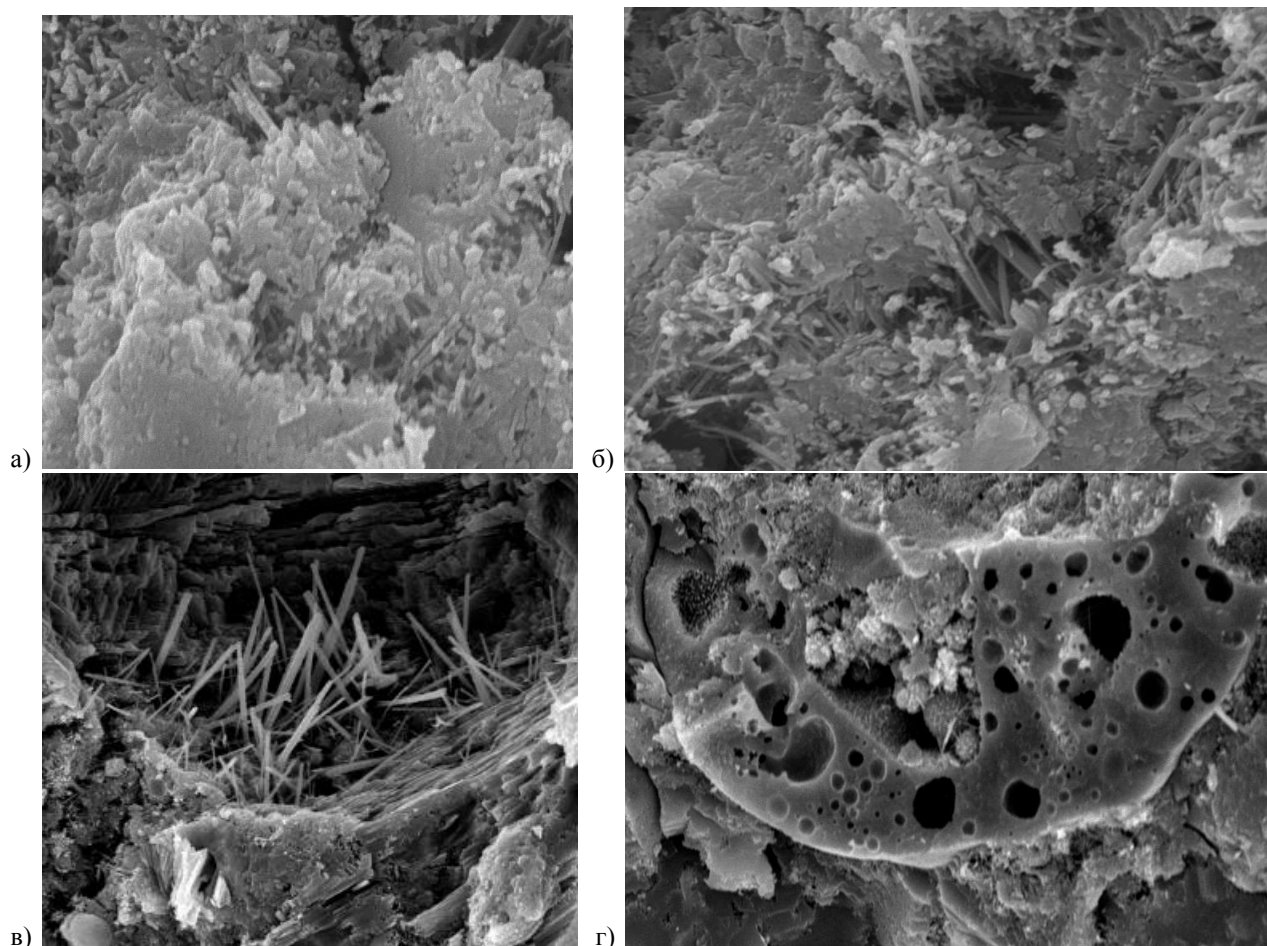


Рис. 6 – Микроструктура поверхности цементного камня

Сросток цементного камня образован несколькими типами новообразований из которых выделяются: коротко призматические кристаллы, имеющие продольное срастание в блоки (см. рис. 5а); гексагональные пластинки; игловидные кристаллы, пронизывающие поровое пространство (см. рис. 5б).

Активированная поверхность разрушенных зольных сфер выполняет роль подложки для формирования гидросиликатов и гидроалюминатов кальция с иной природой срастания – столбчатые гидраты, сросшиеся в форме дендритов или мелкокристаллические (см. рис. 5в), сформированные в результате хемозпитексии (см. рис. 5г).

Плотность цементного камня возрастает, сформированные на начальном этапе твердения поры постепенно зарастают кристаллизующимися гидратными минералами. Тип и рост кристаллов определяется соотношением размеров пор и величиной пересыщения жидкой фазы, наполняющей зону капиллярного пространства твердеющего цементного камня. Чем меньше размер пор, тем больше должно быть пересыщение жидкой фазы, чтобы кристаллизующиеся из нее кристаллогидраты могли прорасти в поры.

Современное производство строительных материалов и изделий на основе минеральных вяжущих веществ предусматривает рациональное использование материальных и энергетических ресурсов. В решении этих задач все большее значение приобретают прогрессивные технологические разработки в области направленного структурообразования и создания систем с заданными свойствами при использовании техногенных отходов [6, С. 24].

В результате детального исследования структурообразования в цементной системе, по данным физико-механических испытаний цементного камня и бетона с применением маханоактивированной золы установлено, что при введении 15-18% золы прирост прочности бетона по сравнению с контрольным составом без добавки золы достигает 21%, водонепроницаемость повышается до марки W16.

#### Список литературы / References

1. Зырянов, В.В. Зола-уноса – техногенное сырье / В.В. Зырянов, Д.В. Зырянов. -М.: ИИЦ «Маска», 2009. -319 с.
2. Горшков, В.С. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ / В.С. Горшков, В.В. Тимашев, В.Г. Савельев. -М.:Высш.школа, 1981. -335 с.
3. Тейлор, Х. Химия цемента / Х.Тейлор. -М.:Мир, 1996. -560 с.
4. Саградян, А.А. Исследование пуццоланической активности зольных микросфер / А.А. Саградян, Г.А. Зимакова // Известия вузов. Строительство. – 2012. – №2. С.43-47.
5. Саградян, А.А. Изучение свойств тяжелого бетона, модифицированного органоминеральной добавкой, включающей зольные микросферы / А.А. Саградян, Г.А. Зимакова // Известия вузов. Строительство. – 2012. – №4. С.26-31.
6. Дворкин, Л. И. Высокопрочные бетоны с применением золы-уноса / Л. И. Дворкин, И. Б. Шабман, С. М. Чудновский [и др.] // Бетон и железобетон. -1993. -№ 1. С. 23–25.

**Список литературы на английском языке / References in English**

1. Zyrianov, V.V. Zola-unosa – tehnogennoe syr'e [Fly ash – technogenic material] / V.V. Zyrianov, D.V. Zyrianov. - М., 2009. 319 pp. [in Russian]
2. Gorshkov, V.S. Metody fiziko-himicheskogo analiza vjazhushhih veshhestv [Physicochemical Methods in the Analysis of Binding Materials] / V.S. Gorshkov, V.V. Timashev, and V.G. Savel'ev. - М.: Vysshaya Shkola, 1981. - 335 pp. [in Russian]
3. Taylor, H. Himiya cementa [Chemistry of cement] / H. Taylor. - М.: Mir, 1996. - 560 pp. [in Russian]
4. Sagradian, A.A. Issledovanie puccolanicheskoy aktivnosti zol'nykh mikrosfer [The research of pozzolanic activity of ash microspheres] / A.A. Sagradian, G.A. Zimakova // Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [Building]. - 2012. - №2. P.43-47. [in Russian]
5. Sagradian, A.A. Izuchenie svoystv tzhelozhogo betona, modificirovannogo organomineral'noj dobavkoj, vkluchajushhej zol'nye mikrosfery [The study of the qualities of heavy concrete modified by organomineral additive including ash microspheres] / A.A. Sagradian, G.A. Zimakova // Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [Building]. - 2012. - №4. P.26-31. [in Russian]
6. Dvorkin, L. I. Vysokoprochnye betony s primeneniem zoly-unosa [High strength concrete with fly ash additive] / L. I. Dvorkin, I. B. Shabman, S. M. Chudnovski [and others.] // Beton i zhelezobeton [Concrete and reinforced concrete]. - 1993. - № 1. - P. 23-25. [in Russian]

DOI: 10.18454/IRJ.2016.54.079

Иванцовский В.В.<sup>1</sup>, Скиба В.Ю.<sup>2</sup>, Рубцова Н.С.<sup>3</sup>, Скиба П.Ю.<sup>4</sup><sup>1</sup>Доктор технических наук, доцент, <sup>2</sup>ORCID: 0000-0002-8242-2295, Кандидат технических наук, доцент, <sup>3</sup>студент, <sup>4</sup>студент,

Новосибирский государственный технический университет

**ПОВЕРХНОСТНАЯ ЗАКАЛКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО НАГРЕВА ТОКАМИ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ: ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ****Аннотация**

Объектом данных исследований является поверхностная закалка высокоэнергетическим нагревом токами высокой частоты (ВЭН ТВЧ). Данному источнику энергии свойственно весьма сложное распределение энергии по толщине нагреваемого слоя. Теоретически обоснована и практически доказана возможность возникновения жидкой фазы в глубине поверхностного слоя при поверхностной закалке стальных деталей с использованием высокоэнергетического нагрева токами высокой частоты и душевого охлаждения. Это может являться причиной образования в глубине материала микрообъемов расплавленного металла, приводящее к существенному снижению качества обрабатываемого изделия. Следовательно, при назначении технологических режимов, необходимо учитывать характерные особенности обработки данными источниками нагрева.

**Ключевые слова:** поверхностная закалка, токи высокой частоты, конструкционная сталь, жидкая фаза.Ivancivsky V.V.<sup>1</sup>, Skeeba V.Yu.<sup>2</sup>, Rubtsova N.S.<sup>3</sup>, Skeeba P.Yu.<sup>4</sup><sup>1</sup>PhD in Engineering, Associate professor, <sup>2</sup>ORCID: 0000-0002-8242-2295, PhD in Engineering, Associate professor, <sup>3</sup>student, <sup>4</sup>student,

Novosibirsk State Technical University

**SURFACE HARDENING USING HIGH-ENERGY HEATING BY HIGH FREQUENCY CURRENTS: FEATURES OF THE DISTRIBUTION OF TEMPERATURE FIELD****Abstract**

The target of the research is high-energy heat hardening of the surface by high-frequency currents (HEH HFC). This energy source is characterized by highly complicated energy distribution in the depth of the heated layer, which may cause the formation of micro volumes of molten metal in the depth of the material, leading to a significant reduction in the quality of the workpiece. Quenching of steel 45 using high-frequency induction-heating (440000 Hz) with simultaneous shower water cooling was studied. The possibility of liquid-phase creation in the bulk (appr. 0.2 mm) in the material being treated in the absence of melting on the surface was clearly demonstrated by both numerical simulation of the temperature field in the material during hardening and experimental results. Consequently, when setting the process parameters, it is necessary to take into account the processing characteristics by the given heat sources.

**Keywords:** surface hardening, high-frequency currents, structural steel, liquid phase.**Введение**

Поверхностная закалка стальных деталей с использованием концентрированных источников энергии характеризуется высокими скоростями нагрева (десятки тысяч градусов в секунду) [1 - 5]. В этих условиях для завершения процесса аустенитизации разогрев стали осуществляют вплоть до температуры плавления. При использовании поверхностных источников нагрева (лазер, плазма и др.) максимальные значения температур, безусловно, наблюдаются именно на поверхности материала. Однако для объемных источников энергии (электронный луч, токи высокой частоты) данный факт не очевиден. Это объясняется, прежде всего, физической природой объемного источника, то есть закономерностью распределения энергии по глубине нагреваемого слоя [6]. Так в работах [7, 8] показана возможность образования в глубине материала микрообъемов расплавленного металла при нагреве в воздушной атмосфере с использованием электронного пучка. На данных участках при поверхностной закалке заэвтектидной стали была зафиксирована структура ледебурита, характерная для термической обработки чугунов.



При нагреве сталей в воздушной среде с использованием концентрированного электронного пучка распределение выделяемой энергии в материале носит подобный характер, как и при высокоэнергетическом нагреве токами высокой частоты (ВЭН ТВЧ) [6, 9]. В этом случае при поверхностной закалке с использованием ВЭН ТВЧ можно так же ожидать возможность возникновения локальных объемов жидкой фазы в глубине материала.

Целью данной работы является определение наиболее теплонапряженного слоя при высокоэнергетическом нагреве токами высокой частоты (ВЭН ТВЧ) стальных деталей с использованием душевого охлаждения.

## 2. Описание эксперимента

ВЭН ТВЧ позволяет реализовать удельные мощности при непрерывно-последовательном способе нагрева порядка 300 МВт/м<sup>2</sup>. Характерные особенности присущие ВЭН ТВЧ заключаются в следующем. Для максимальной концентрации энергии в локальном объеме материала нагрев осуществляется при частоте тока 440000 Гц. Инструментом является индуктор петлевого типа, изготовляемый плоским с минимальной шириной активного провода индуктора ( $b_{min} = 1,2$  мм) и оснащенный ферритовым магнитопроводом с высокой магнитной проницаемостью. Обработка осуществляется с минимальными технологически возможными зазорами  $\delta = 0,1...0,5$  мм. С целью устранения возможности перегорания активного провода и обеспечения надежного отвода теплоты толщина стенок индуктора составляет  $a = 0,12...0,15$  мм.

При нагреве ТВЧ источником выделения энергии являются вихревые токи, возникающие в материале при воздействии переменных магнитных и электрических полей. Величина удельной мощности нагрева будет определяться плотностью тока  $J$ , характер изменения которого по глубине металла описывается зависимостью

$$J_z/J_0 = e^{-Z \cdot \sqrt{\frac{\pi \mu_0 \mu f}{\rho_e}}}.$$

Здесь  $J_z$  – плотность тока на глубине  $Z$ ;  $J_0$  – плотность тока на поверхности;  $\rho_e$  – удельное электрическое сопротивление;  $f$  – частота тока;  $\mu_0$  – абсолютная магнитная проницаемость вакуума;  $\mu$  – относительная магнитная проницаемость материала.

При нагреве стали, изменяются ее удельное электрическое сопротивление и магнитная проницаемость, причем удельное сопротивление возрастает вплоть до точки магнитных превращений, после чего его рост замедляется. Магнитная проницаемость слабо зависит от температуры примерно до 650...700 °С, после чего быстро уменьшается и достигает величины, примерно равной магнитной проницаемости вакуума. Из вышеизложенного следует, что распределение энергии по глубине материала, не является постоянным.

Кинетические кривые нагрева ТВЧ поверхности изделия имеют перегиб в интервале температур 700...800 °С. Процесс нагрева разделяется на начальный этап с большой почти постоянной скоростью нарастания температуры и этап замедленного нагрева выше температуры потери стали магнитных свойств. Основной причиной замедления нагрева в точке магнитных превращений является перераспределение энергии по сечению изделия. Действительно, в процессе нагрева всегда создается некоторый температурный градиент по сечению обрабатываемого объекта. Величины  $\rho_e$  и  $\mu$  зависят от температуры материала. Распространение электромагнитного процесса происходит, таким образом, в среде с переменными  $\rho_e$  и  $\mu$ . В работе [10] рассмотрен случай, когда материал как бы состоит из двух слоев, имеющих разные  $\rho_e$  и  $\mu$ . Если первый слой нагрет выше температуры 800 °С, а второй не подвергся нагреву (20 °С), то распределение вихревого тока точно соответствовало бы зависимости, представленной на рис. 1. Следовательно, при условии, когда верхний слой материала потерял ферромагнитные свойства, а нижележащий слой нагрет до температуры не превышающей температуры точки Кюри, происходит перераспределение плотности тока. Максимум энерговыделения смещается от поверхности в слой, не потерявший ферромагнитные свойства.

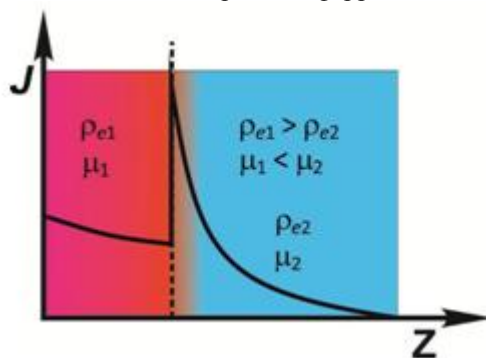


Рис. 1 – Распределение плотности тока по глубине в двухслойной среде

В процессе моделирования температурных полей в сталях при ВЭН ТВЧ по алгоритму, представленному в работе [9], было установлено, что при определенном сочетании режимов нагрева температура нижележащего слоя может достигать более высоких значений, чем на поверхности (рис. 2). Так температура слоя на глубине  $Z = 0,2$  мм от поверхности, достигает значений температуры плавления материала, в то время как температура поверхностного слоя ниже этого значения. Это происходит за счет того, что при разогреве поверхностного слоя до температуры точки Кюри  $T_k$ , когда сталь теряет ферромагнитные свойства, большая часть энергии выделяется в нижележащем слое. При этом в поверхностном слое происходит интенсивный отбор тепла охлаждающей жидкостью, подающейся непосредственно в зону нагрева, в то время как в нижележащем слое отвод тепла регламентируется условиями теплопроводности. В этом случае становится возможным образование жидкой фазы не на поверхности, а в более глубоких слоях нагреваемого металла.

Для подтверждения полученных результатов моделирования температурных полей был проведен эксперимент, реализующий режимы нагрева, приведенные на рис. 2. В процессе обработки цилиндрического образца было зафиксировано возникновение автоколебаний индуктора, вызванного периодическими выбросами расплавленного металла на поверхность.

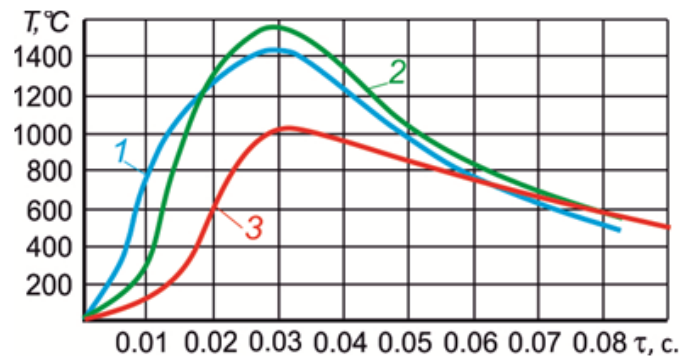


Рис. 2 – Термические циклы, реализуемые на различной глубине поверхностного слоя при нагреве ВЭН ТВЧ: материал – сталь 45;  $q_n = 200 \text{ МВт/м}^2$ ,  $V_d = 60 \text{ мм/с}$ ,  $R_n = 1,2 \text{ мм}$ ; 1 –  $Z = 0$ ; 2 –  $Z = 0,2 \text{ мм}$ ; 3 –  $Z = 0,8 \text{ мм}$

### 3. Обсуждение результатов

Это явление можно объяснить следующим образом. В данных условиях источник энергии является медленно движущимся, то есть скорость теплопередачи выше скорости движения источника. Поэтому в начальный момент нагрева не наблюдается расплавления металла (рис. 2). Через определенный момент времени температура на глубине порядка 0,2 мм достигает значений температуры плавления металла (кривая 2). В этом случае в приповерхностном слое в зоне, расположенной непосредственно под индуктором, происходит образование замкнутого объема расплавленного металла. Тепловое расширение расплава приводит к возрастанию давления в данном объеме. Поверхностный слой металла, разогретый до высоких температур (кривая 1), становится пластичным. Это приводит к кинжальному проплавлению, то есть расплавленный металл из нижележащего слоя выбрасывается наружу, оставляя на поверхности образца кратер (лунку), а так же наплывы и капли расплавленного металла (рис. 3).

Следует отметить, что при определенных сочетаниях режимов поверхностной закалки оплавление материала может начинаться и с поверхностного слоя. Однако, как видно на рис. 3, следов оплавления металла до лунки не наблюдается. Отсутствие следов оплавления после лунки объясняется тем, что в процессе выброса расплавленного металла происходит уменьшение зазора между активным проводом индуктора и обрабатываемой поверхностью, что приводит к увеличению интенсивности магнитного поля между индуктором и нагреваемым объектом. Это, в свою очередь, приводит к возрастанию отталкивающего удельного механического усилия между индуктором и деталью, что вызывает упругую деформацию токоподводящих медных трубок и, как следствие, происходит увеличение зазора и снижению удельной мощности нагрева. После прохождения зоны расплавления за счет упругости индуктора величина зазора восстанавливается, и цикл нагрева поверхности детали повторяется. Именно с этим связана периодичность возникновения на образцах следов проплава металла. При этом следует подчеркнуть, что в процессе обработки не наблюдалось замыкания активного провода индуктора с обрабатываемой поверхностью, что привело бы к короткому замыканию и плавлению меди активного провода индуктора, приводящих к его разрушению. Для подтверждения данного факта был проведен микрорентгеноспектральный анализ оплавленного слоя, который показал отсутствие следов меди в расплаве.

Выброс расплавленного металла происходит не по всей ширине обрабатываемого образца, а в двух локальных зонах. Это объясняется достаточно трудоемкой технологией изготовления индуктора для реализации высокоэнергетического нагрева ТВЧ. При этом весьма сложно обеспечить абсолютную прямолинейность активного провода индуктора. Его профиль имеет отклонения от прямолинейности в пределах 0,02...0,04 мм, что, безусловно, сказывается и на уровне удельной мощности нагрева. Наиболее глубокий проплав металла происходит именно в тех двух зонах, где зазор между индуктором и обрабатываемой поверхностью был минимальным.

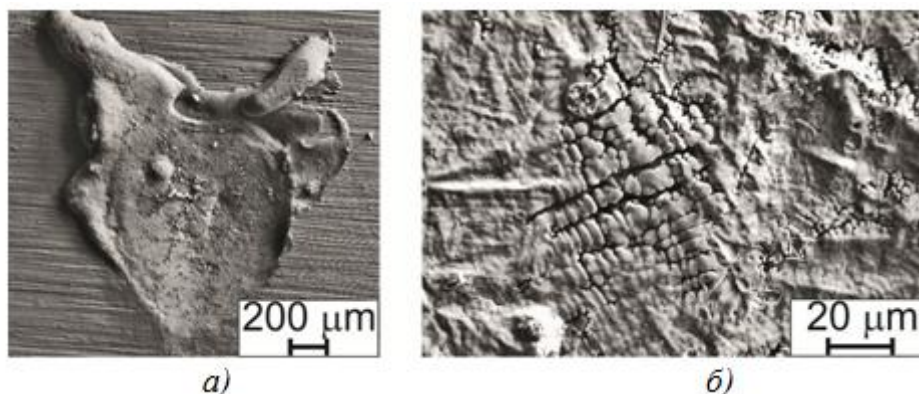


Рис. 3 – Лунка, образовавшаяся на поверхности образца после выброса расплавленного металла (а) и фрагмент поверхности внутри лунки (б)



На рис. 4 представлены снимки различных участков зоны оплавления металла, зафиксированные на растровом электронном микроскопе *Carl Zeiss EVO50 XVP*. Наличие жидкой фазы металла, интенсивное охлаждение с поверхности за счет подачи охлаждающей жидкости непосредственно в зону нагрева и интенсивный отвод тепла вглубь металла за счет теплопроводности позволяет сделать вывод о возможности получения переохлажденного расплава. Как видно из рисунков на поверхности лунок формируется дендритное построение материала. Кристаллизация металла происходила в условиях быстрого охлаждения, что привело к возникновению значительных по величине градиентов напряжений, и, как следствие, к возникновению микротрещин.

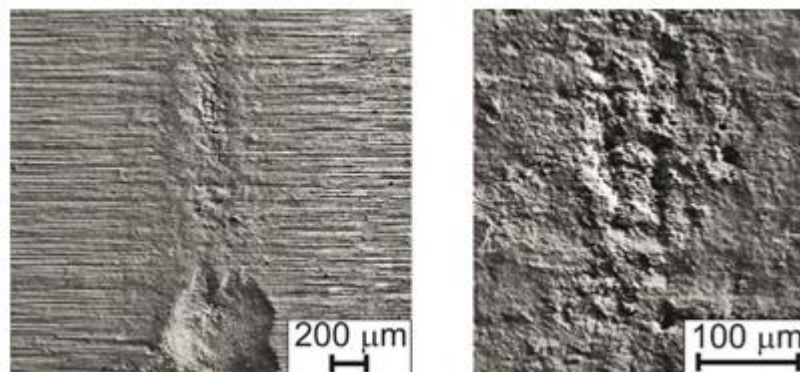


Рис. 4 – Фрагменты зоны, соответствующей начальной стадии проплавления металла

### 3. Вывод

Таким образом, на основании проведенных исследований сделан вывод о том, что назначать режимы поверхностной закалки с использованием ВЭН ТВЧ с одновременным душевым охлаждением необходимо исходя из наиболее теплонапряженного слоя. Так, например, для стали 45 максимальные значения температур реализуются на глубине 0,15...0,2 мм.

### Список литературы / References

1. Иванцовский В.В., Скиба В.Ю., Зуб Н.П. Методика назначения режимов обработки, обеспечивающих рациональное распределение остаточных напряжений при поверхностной закалке ВЭН ТВЧ // Научный вестник НГТУ. -2008. -№ 3 (32). - С. 83-94.
2. Скиба В.Ю. Обеспечение требуемого характера распределения остаточных напряжений при упрочнении высокоэнергетическим нагревом токами высокой частоты // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). -2007. -№ 2 (35). -С. 25-27.
3. Структура износостойких плазменных покрытий после высокоэнергетического воздействия ТВЧ / Ю.С. Чёсов, Е.А. Зверев, В.В. Иванцовский, В.Ю. Скиба, Н.В. Плотникова, Д.В. Лобанов // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). -2014. -№ 4 (65). -С. 11-18.
4. Formation of high-carbon abrasion-resistant surface layers when high-energy heating by high-frequency currents / N.V. Plotnikova, V.Y. Skeebea, N.V. Martyushev, R.A. Miller, N.S. Rubtsova // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2016. - Vol.156. - P.012022
5. Skeebea V. Quality improvement of wear-resistant coatings in plasma spraying integrated with high-energy heating by high frequency currents / V. Skeebea, V. Pushnin, D. Kornev // Applied Mechanics and Materials. - 2015. - Vol. 788. - P. 88-94.
6. Numerical Simulation of Temperature Field in Steel under Action of Electron Beam Heating Source / V.Yu. Skeebea, V.V. Ivancivsky, N.V. Martyushev, D.V. Lobanov, N.V. Vakhrushev, A.K. Zhigulev // Key Engineering Materials. – 2016. – Vol. 712. – P. 105–111.
7. The features of steel surface hardening with high energy heating by high frequency currents and shower cooling / V.V. Ivancivsky, V.Y. Skeebea, I.A. Bataev, D.V. Lobanov, N.V. Martyushev, O.V. Sakha, I.V. Khlebova // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2016. - Vol.156. - P.012025.
8. Особенности структурных превращений в сталях, обусловленные использованием источников высококонцентрированной энергии / А.А. Батаев, И.А. Батаев, В.Г. Буров, В.В. Иванцовский // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2004. -№ 4(25) – С. 18-19.
9. Иванцовский В.В. Численное моделирование температурных полей в материалах при упрочнении с использованием концентрированных объемных источников нагрева // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. - 2004. - № 2. - С. 161-172.
10. Бабат Г.И. Индукционный нагрев металлов и его промышленное применение – М.-Л.: Энергия, 1965. – 552 с.

### Список литературы на английском языке / References in English

1. Ivancivsky V.V., Skeebea V.Yu., Zub N.P. Metodika naznacheniya rezhimov obrabotki, obespechivayushchikh ratsional'noe raspredelenie ostatochnykh napryazhenii pri poverkhnostnoi zakalke VEN TVCh [Method of determining processing modes, ensuring the rational distribution of residual stresses in surface hardening HEH HFC] // Nauchnyi vestnik NGTU [Science Bulletin of Novosibirsk State Technical University]. -2008. № 3 (32). P. 83-94. [in Russian]
2. Skeebea V.Yu. Obespechenie trebuemogo kharaktera raspredeleniya ostatochnykh napryazhenii pri uprochnenii vysokoenergeticheskim nagrevom tokami vysokoi chastoty [Providing the required character of the residual stress distribution for hardening high-energy high-frequency heating] // Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) [Metal Working and Material Science]. -2007. № 2 (35). P. 25-27. [in Russian]

3. Chesov Yu.S., Zverev E.A., Ivancivsky V.V., Skeebe V.Yu., Plotnikova N.V., Lobanov D.V. Struktura iznosostoikikh plazmennyykh pokrytii posle vysokoenergeticheskogo vozdeistviya TVCh [Structure of wear resistant plasma coatings after high-energy treatment using high-frequency currents]. Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) [Metal Working and Material Science]. – 2014. №. 4 (65). P. 11-18. [in Russian]
4. Formation of high-carbon abrasion-resistant surface layers when high-energy heating by high-frequency currents / N. V. Plotnikova, V. Y. Skeebe, N. V. Martyushev, R. A. Miller, N. S. Rubtsova // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. V.156. P.012022. [in English]
5. Skeebe V. Quality improvement of wear-resistant coatings in plasma spraying integrated with high-energy heating by high frequency currents / V. Skeebe, V. Pushnin, D. Kornev // Applied Mechanics and Materials. – 2015. V. 788. P. 88-94. [in English]
6. Skeebe V.Yu., Ivancivsky V.V., Martyushev N.V., Lobanov D.V., Vakhrushev N.V., Zhigulev A.K. Numerical Simulation of Temperature Field in Steel under Action of Electron Beam Heating Source // Key Engineering Materials. – 2016. V. 712. P. 105–111. [in English]
7. The features of steel surface hardening with high energy heating by high frequency currents and shower cooling / V.V. Ivancivsky, V.Y. Skeebe, I.A. Bataev, D.V. Lobanov, N.V. Martyushev, O.V. Sakha, I.V. Khlebova // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. V. 156. P.012025. [in English]
8. Bataev A.A., Bataev I.A., Burov V.G., Ivancivsky V.V. Osobennosti strukturnykh prevrashchenii v stalyakh, obuslovlennye ispol'zovaniem istochnikov vysokokontsentrirovannoi energii [Features of structural transformations in steels based on highly concentrated energy sources]. Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) [Metal Working and Material Science]. – 2004. № 4(25). P. 18-19. [in Russian]
9. Ivancivsky V.V. Chislennoe modelirovanie temperaturnykh polei v materialakh pri uprochnenii s ispol'zovaniem kontsentririrovannykh ob'emnykh istochnikov nagreva [Numerical modeling of temperature fields in materials hardening using concentrated volumetric heat sources]. Nauchnyi vestnik NGTU [Science Bulletin of Novosibirsk State Technical University], 2004, no. 2, pp. 161-172. [in Russian]
10. Babat G.I. Induktsionnyi nagrev metallov i ego promyshlennoe primeneniye [Induction heating of metals and its industrial application]. Moscow-Leningrad, Energiya Publ., 1965. 552 P.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.54.200

Кабалдин Ю.Г.<sup>1</sup>, Шатагин Д.А.<sup>2</sup>, Сидоренков Д.А.<sup>3</sup>, Головин А.А.<sup>4</sup>, Аносов М.С.<sup>5</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-0003-4300-6659, доктор технических наук, профессор, <sup>2</sup>аспирант,<sup>3</sup>аспирант, <sup>4</sup>аспирант, <sup>5</sup>ORCID: 0000-0003-4300-6659, аспирант,

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

*Работа выполнена в рамках гранта РНФ: «Разработка программного и аппаратного обеспечения для системы интеллектуальной диагностики состояния транспортных средств и конструкций в условиях Арктики при удаленном доступе»*

#### РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ОЦЕНКИ И ДИАГНОСТИКИ СТРУКТУРНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ МАТЕРИАЛОВ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОДХОДОВ НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИКИ И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

**Аннотация**

*Статья посвящена изучению процесса разрушения ряда групп материалов в условиях низких температур. С использованием нейронных сетей проведена классификация сигналов акустической эмиссии при растяжении ряда материалов при низких температурах. Показано, что при низких температурах предел текучести и предел прочности возрастают, а относительное удлинение снижается. Проведен анализ сигналов как временных рядов с использованием вейвлет анализа с построением скалограмм так и рассчитана их фрактальная размерность и информационная энтропия.*

**Ключевые слова:** акустическая эмиссия, низкие температуры, вейвлет анализ, фрактальная размерность.

Kabaldin Yu.G.<sup>1</sup>, Shatagin D.A.<sup>2</sup>, Sidorenkov D.A.<sup>3</sup>, Golovin A.A.<sup>4</sup>, Anosov M.S.<sup>5</sup><sup>1</sup> ORCID: 0000-0003-4300-6659, PhD in Engineering, professor, <sup>2</sup>postgraduate student,<sup>3</sup>postgraduate student, <sup>4</sup>postgraduate student, <sup>5</sup>ORCID: 0000-0003-4300-6659, postgraduate student,

Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev

*The work was performed as part of the grant RNF: "Development of hardware and software for intelligent diagnostics system of the state of the vehicles and structures in the Arctic for remote access "*

#### DEVELOPMENT OF METHODS FOR ASSESSMENT AND DIAGNOSTICS STRUCTURAL STABILITY OF MATERIALS AT LOW TEMPERATURES USING NONLINEAR DYNAMICS APPROACHES AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE

**Abstract**

*The paper studies the process of destruction of materials groups at low temperatures. Using neural network acoustic emission signals held in tension classification of materials at low temperatures. It is shown that at low temperatures the yield stress and the tensile strength increases and the elongation decreases. The analysis of the signals as a time series using wavelet analysis to the construction scalograms and calculated their fractal dimension and information entropy.*

**Keywords:** acoustic emission, low temperature, wavelet analysis, fractal dimension.

Для России ускоренное освоение крайнего Севера и Арктики, включая побережье и шельф арктических морей, является важным условием повышения экономического потенциала [1-4]. Прежде всего, оно означает развитие базовых отраслей промышленности (горнодобывающей, нефтяной и газовой) с созданием соответствующей инфраструктуры, транспорта, связи. В связи с этим задача обеспечения безопасности технических объектов в регионах холодного климата получает новое звучание.

В свою очередь, для обеспечения безопасности функционирования технических объектов в условиях севера необходимо провести правильный выбор материалов, из которых изготавливается технический объект и его отдельные основные подсистемы (узлы), а также в целом обеспечить непрерывное и безопасное функционирование технических объектов. В этой связи, актуальным вопросом в настоящее время является изучение хладноломкости материалов, из которых изготавливаются отдельные детали ответственных узлов транспортных средств.

Для изучения процесса разрушения материалов при низких температурах, нами были поставлены следующие цели:

- разработать методы оценки разрушения и устойчивости структурного состояния металлических материалов;
- исследовать механизмы потери структурной устойчивости дефектной подсистемы при внешних нагрузках при различных видах нагружения (статического и усталостного);

Для решения поставленной цели были поставлены задачи:

- разработать аппаратное и программное обеспечение для исследования структурных перестроек в металлических материалах при их деформации в частности в условиях низких температур, для фрактального анализа сигналов акустической эмиссии (АЭ);
- изучить возможность использования фрактальных и информационных характеристик сигналов АЭ для оценки разрушения и устойчивости структурного состояния металлических материалов;
- исследовать структурные изменения в металлических материалах при различных видах нагружения (растяжении и усталостных нагрузках);
- разработать механизмы, структурных изменений в материалах при деформации и обосновать выбор критериев оценки устойчивости структурного состояния на различных масштабных уровнях в условиях низких температур.

При нагружении конструкции происходит динамическая локальная перестройка структуры материала, вызывающая испускания акустических волн [5]. Данные упругие волны образуют сигнал акустической эмиссии (АЭ). Сигнал акустической эмиссии представляет собой последовательность импульсов различной энергии, длины, амплитуды и частоты. Пример сигнала АЭ при растяжении образца из стали 45 показан на рис.1. Параметры импульсов, их количество, форма и частота появления несут информацию о состоянии материала.

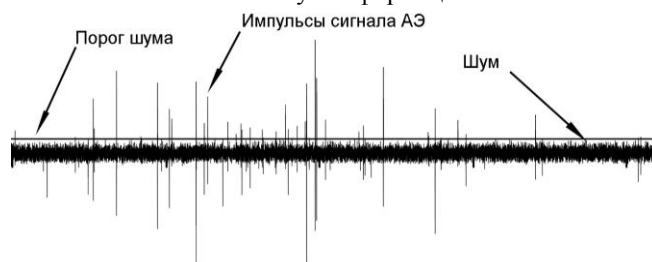


Рис. 1 – Типичная осциллограмма сигнала АЭ

Для обработки сигналов АЭ было разработано ПО позволяющее выявлять и классифицировать импульсы в сигнале АЭ с использованием подходов нелинейной динамики и искусственного интеллекта, и прогнозировать структурную устойчивость материалов. Схема ПО представлена на рисунке 2. Структура ПО представляет собой последовательное соединение девяти блоков выполняющих различные задачи.



Рис. 2 – Принципиальная схема ПО выявления и классификация импульсов в сигнале АЭ с использованием подходов нелинейной динамики и искусственного интеллекта, при диагностики структурной устойчивости материалов

При регистрации сигнала АЭ используются датчики АЭ трех типов: Резонансные, низкочастотные и широкополосные. При использовании широкополосных датчиков, необходимо убирать низкочастотные и высокочастотные полосы. Полоса пропускания широкополосных датчиков АЭ, как правило 100 – 800 кГц. Низкочастотные полосы несут в себе шумы от механизмов, а высокочастотные присутствуют в работе регистрирующих приборов. В разработанном ПО модуль 1 представляет собой цифровой фильтр ограничивающий полосу пропускания 100 – 800 кГц.

При обработке сигналов АЭ всегда присутствует шум во всем диапазоне измерений, который сильно мешает правильному определению характеристик импульсов. Известным подходом в удалении шума, является использование порога ограничения. Т.к. уровень шума примерно одинаковый, можно рассматривать сигнал выше шумового порога. Однако, такой подход может убрать полезную составляющую из сигнала, также некоторые импульсы могут находиться ниже шумового порога. В разработанном ПО для подавления шума используется Wavelet фильтр (рисунок 3).

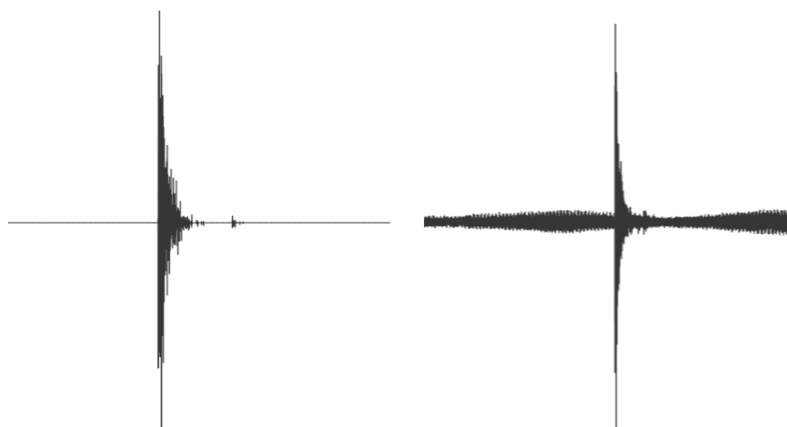


Рис. 3 – Импульсы сигнала АЭ с применением Wavelet фильтра и без

Wavelet фильтры декомпозируют сигнал на полезную и шумовую составляющую на разных уровнях. Количество уровней декомпозиции выбирается в зависимости от степени зашумленности сигнала. Большое количество уровней также может убрать и полезную составляющую из сигнала, поэтому количество уровней задается экспериментально. Шумовая и полезная составляющая сигнала определяется по уровню энтропии полученных функций. Декомпозиция продолжается до удовлетворительного значения энтропии.

Для определения границ и формы импульсов используется огибающая сигнала. Огибающая сигнала строится с применением преобразования Гильберта и последующим сглаживанием при помощи средней скользящей функции. Это позволяет получить более четкие границы и очертания импульса. Данные операции выполняются в модулях 3 и 4 ПО. Примеры импульсов и их огибающие представлены на рисунке 4.

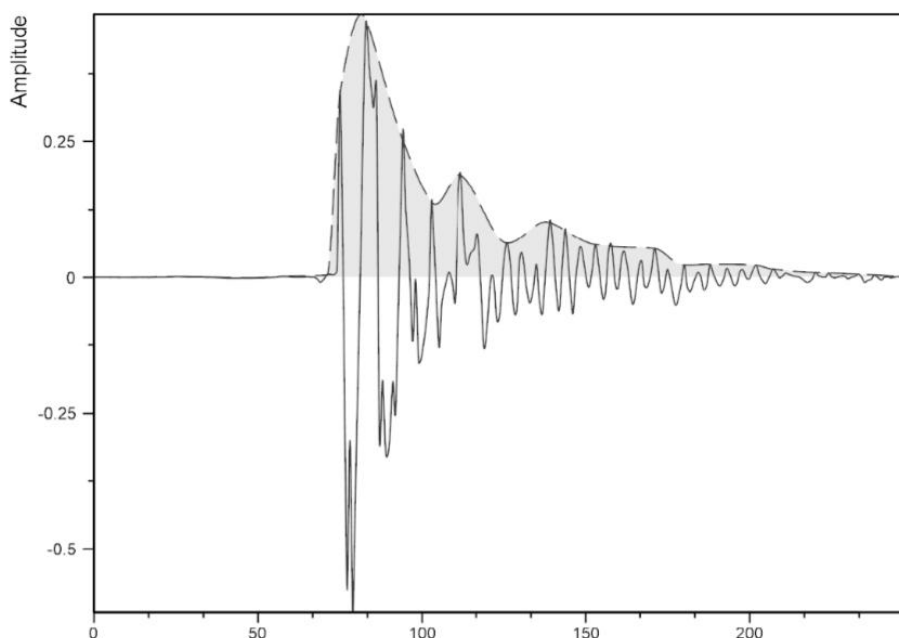


Рис. 4 – Импульс сигнала АЭ и его огибающая

После выделения всех импульсов сигнала АЭ, в модуле 5 происходит определение их параметров. Рассчитываются такие параметры, как время зарождения импульса (Т), максимальная амплитуда (А), продолжительность (τ), энергия (Р), энтропия (Е) и фрактальная размерность (D). Дополнительно каждому импульсу строится аттрактор и wavelet скалограмма, для более детального анализа. Полученные характеристики импульсов и сами импульсы записываются в специальную базу данных структурной устойчивости материалов. Пример таблицы БД показан на рисунке 5.

Таблица 1 – Пример таблицы БД

№	T (мс)	A (мВ)	T (мс)	P (Вт)	E (Бит)	D	Импульс
1	85	0,4	100	0,15	0,124	2,3	...

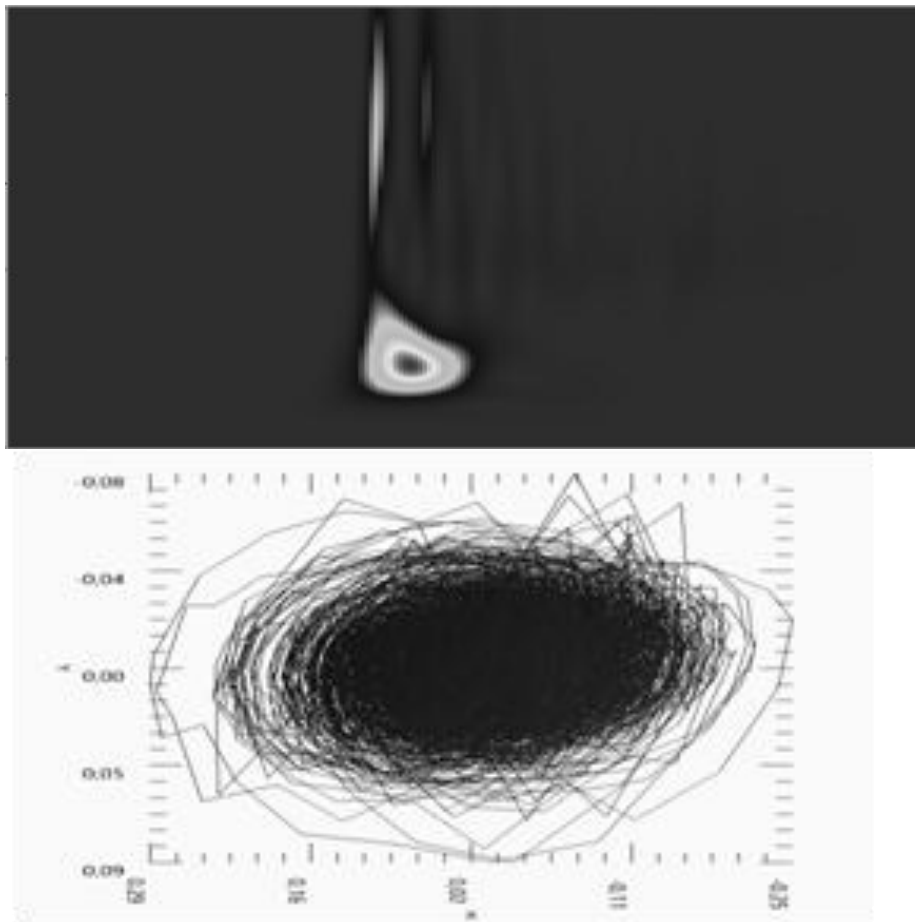


Рис. 5 – Пример таблицы БД структурной устойчивости материалов

Информация из полученной БД используется для обучения искусственной нейронной сети для задачи кластеризации. Обучение происходит без учителя с применением самоорганизующихся карт Кохонена. Количество классов импульсов можно варьировать. Минимальное количество классов 2 (рисунок 6). На вход нейронной сети подается массив импульсов в виде набора временных рядов. В процессе обучения нейронная сеть функционирует таким образом, чтобы схожие импульсы имели близкие значения весовых коэффициентов, тем самым формируя карту признаков. Импульсы с близкими признаками формируют классы, которые выдает на выходе нейронная сеть. В таком случае сеть распознает импульсы образованные в результате микропластической деформации материала и в результате страгивания и развития трещин.

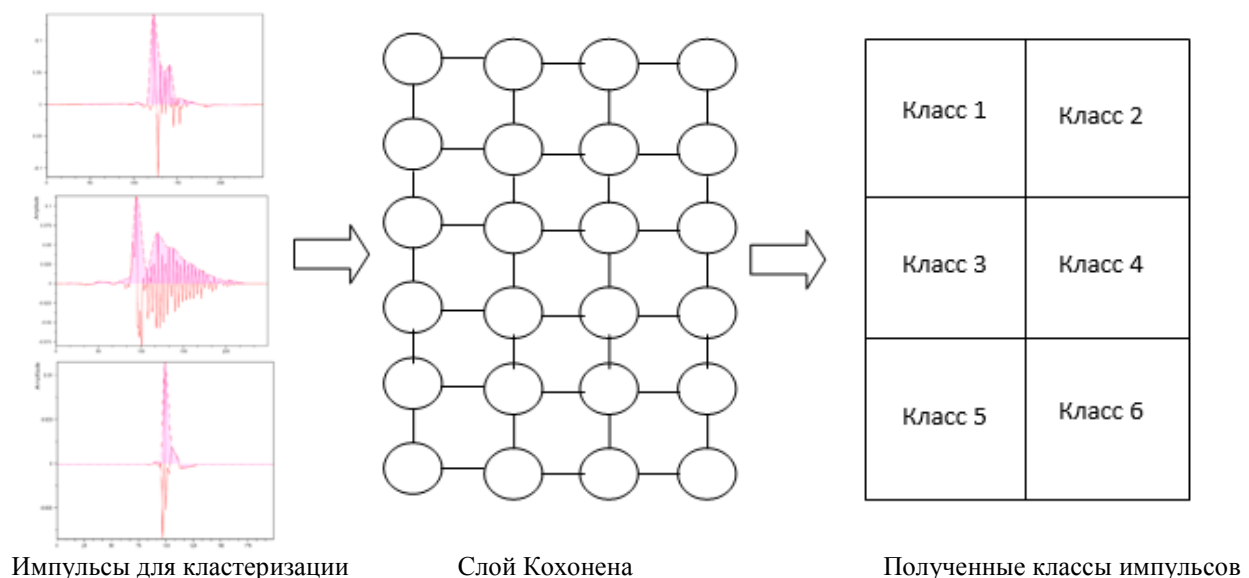


Рис. 6 – Обучение нейронной сети для задачи кластеризации

Полученные классы импульсов характеризуют определенные физико-механические процессы протекающие в ходе разрушения материала. Об интенсивности или об уровне происходящих физико-механических процессов можно судить по параметрам конкретных импульсов. При различных видах нагружения, перед процессом окончательного разрушения, могут доминировать различные классы импульсов, что можно использовать в качестве диагностирующего параметра. При диагностики образцов на растяжение, в качестве диагностирующего параметра удобно использовать параметр накопленной энтропии или суммарной энергии всех импульсов.

При растяжении в режиме реального времени выделяются импульсы из сигнала АЭ и рассчитывается их энергии и энтропия. Затем высчитывается суммарное значение энергии и энтропии для выявления предельного порога после которого следует разрушение (рисунок 7).

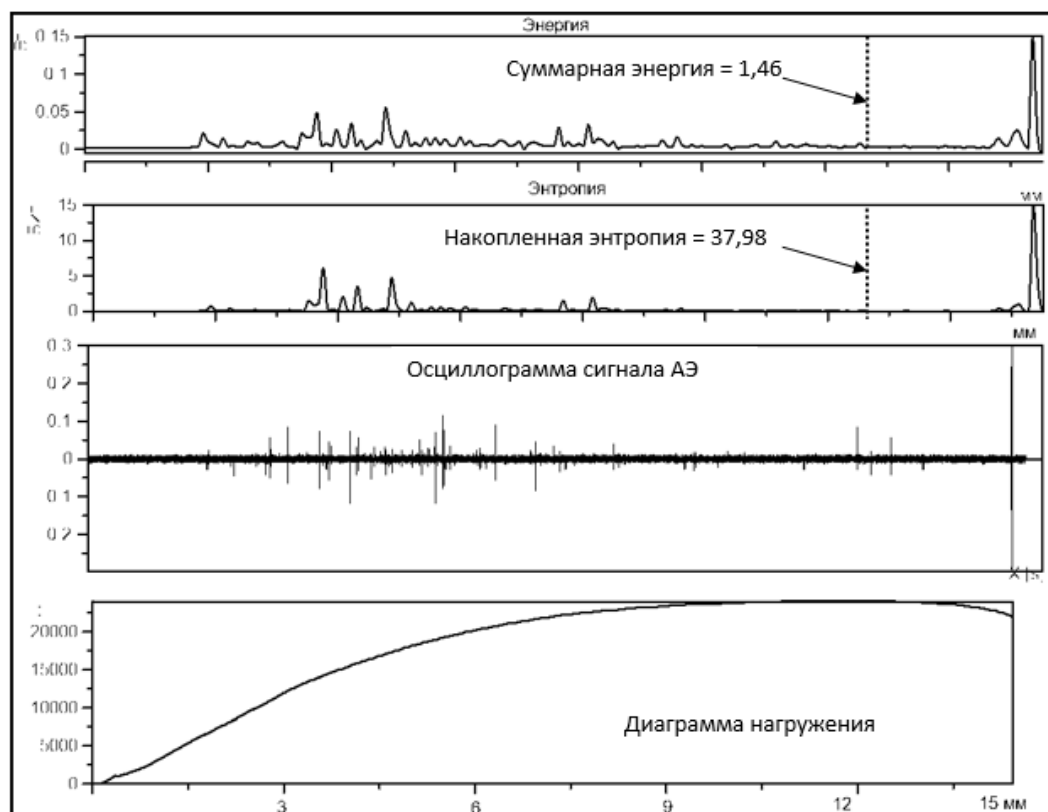


Рис. 7 – Прогнозирование структурной устойчивости материала на основе показателей суммарной энергии и накопленной энтропии ( $t = 20^{\circ}\text{C}$ )

Особой интерес при изучении классов импульсов, представляет оценка фрактальной размерности аттракторов. Это позволяет оценить динамику степеней свободы динамической системе, что позволяет судить о динамики на различных уровнях. На рисунке 8 представлен график зависимости фрактальной размерности огибающей импульсов от последовательности импульсов.

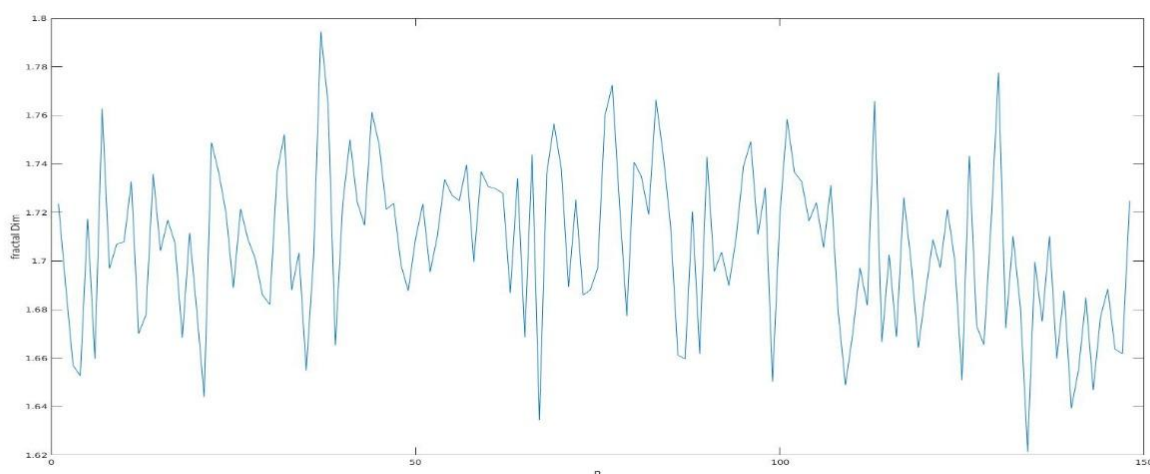


Рис. 8 – Изменение фрактальной размерности огибающей импульсов

Из графика видно, что динамика не постоянна, и в процессе разрушения материала присутствуют сигналы с разной степенью хаотичности.

На рисунке 9 представлены результаты анализа АЭ, полученные при температуре  $T = -30^{\circ}\text{C}$ , где показано изменение как информационной энтропии, так и фрактальной размерности. Следует отметить, что суммарная энергия импульсов при  $-30^{\circ}\text{C}$  меньше, чем при  $+20^{\circ}\text{C}$  (0,435 против 1,46). Энтропия импульсов также меньше, чем при  $+20^{\circ}\text{C}$  (17,419 против 37,98). Меньше также и число импульсов во всем сигнале (40 против 120). Кроме того, образец растянулся на 10 мм больше против 15 мм при  $+20^{\circ}\text{C}$ . Предел текучести наступает раньше на 1 мм против 3 мм при  $+20^{\circ}\text{C}$ .

Структурообразование - это сверхкритическое явление [6]. Поэтому, чтобы в системе началось формирование структуры, отдача энтропии должна достичь и превысить некоторое критическое значение. Из рисунка 7 и 9 следует, что на площадке текучести формируется новое структурное состояние. Затем наблюдается колебательный характер изменений структуры в процессе дальнейшего нагружения. Перед разрушением образца вновь происходит резкий рост  $S_{\text{ин}}$ , что связано с образованием критических структур и сменой механизма (масштаба) деформации вследствие ее локализации, вызывающих его разрушение.

Совместный анализ зависимостей «фрактальная размерность», истинная деформация, истинное напряжение показал, что началу каждого этапа роста фрактальной размерности соответствует удвоение удельной энергии, подведенной к образцу в процессе деформации на основе показателей суммарной энергии и накопленной энтропии при температуре  $-30^{\circ}\text{C}$ .

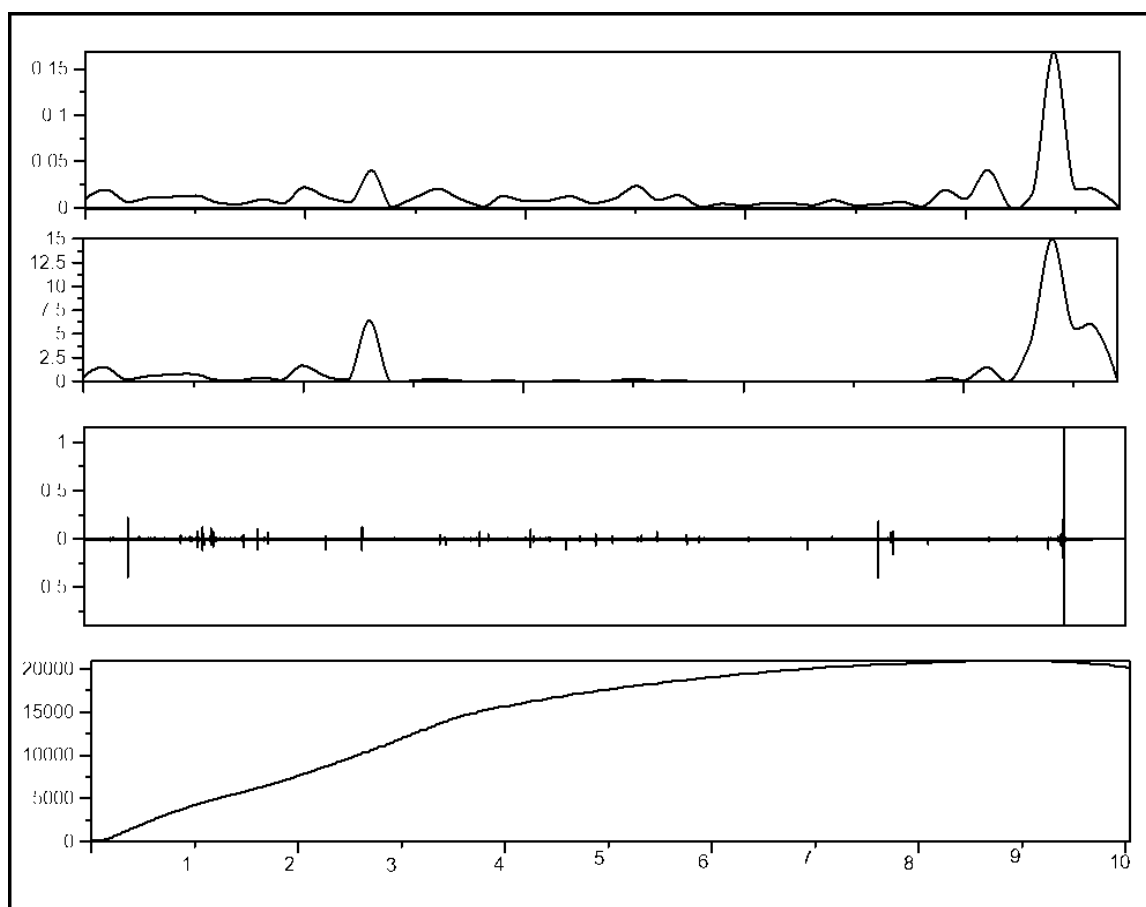


Рис. 9 – Прогнозирование структурной устойчивости материала на основе показателей суммарной энергии и накопленной энтропии ( $t = -30^{\circ}\text{C}$ )

Анализ изменения (колебаний) информационной  $S_{\text{ин}}$  энтропии (рис. 7,9)

указывает на то, что процесс разрушения образца - есть последовательные акты самоорганизации при  $dS \rightarrow \max$ , которые в зависимости  $P - \tau$  ( $P$  – усилие,  $\tau$  – время) проявляются как плато с последующим саморазрушением дефектных структур. Мягкая потеря устойчивости структурного состояния (рис. 1) на стадии текучести - есть результат снижения локальной сдвиговой неустойчивости кристалла, а образование шейки перед разрушением - потеря глобальной сдвиговой устойчивости, когда формирование хаотической (вихревой) структуры происходит по всей площади образца. Последнее согласуется с результатами исследований регистрации информационной энтропии  $S_{\text{ин}}$ , которая достигает минимума при разрушении образца (рис. 7,9). Поэтому последний этап разрушения следует классифицировать катастрофой [7].

Описанный выше сценарий (рис. 7,9) потери устойчивости структурного состояния и разрушения образца, по-видимому, имеет определенную закономерность. Дело в том, что развитие любого живого организма есть последовательная стадия автономных актов самоорганизации и бифуркации. Благодаря этому, развивающаяся структура характеризуется возможностью перейти в одно из очень большого числа допустимых равноправных состояний. В связи с этим, эволюционирующая живая система всегда проявляет только определенную динамику. Однако для сохранения самоорганизованной структуры, живой организм должен получать возможность



информационного развития, т.е. совершенствования своей структуры. Феноменологически этот процесс можно охарактеризовать как получение дополнительной информации из внешней среды, либо обмена с ней.

Как видно на рисунках 7 и 9, при растяжении образца стадия деформационного упрочнения сопровождается периодическим изменением (колебанием)  $S_n$  информационной энтропии сигнала АЭ. Разрушение образца происходило при резком росте энтропии. Это свидетельствует о периодическом изменении структурного состояния материала при деформации. В этой связи,  $S_n$  следует использовать для оценки механизма потери структурной устойчивости твердых тел при деформации.

Существует ряд механизмов (сценариев) развития динамического хаоса в системах, приводящих к ее разрушению. Согласно Фейгенбауму [8], универсальным сценарием развития хаоса в динамических системах, является удвоение периода. В работе [9] экспериментально показано, что при растяжении образца на стадии предразрушения изменение сигнала АЭ происходит по удвоенному периоду. В результате движение

структурных элементов (блоков, зерен) будет хаотическим (вихревым). Следовательно происходит изменение как масштаба деформации, так и механизма деформации.

#### Список литературы / References

1. Ларионов В.П., Ковальчук В.А. Хладостойкость и износ деталей машин и сварных соединений. Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1976.-205 с.
2. Левин А.И., Большаков А.М., Прохоров В.А. Риск анализ эксплуатации газопроводов в условиях низких температур // Сб. тр. конф. «Прочность материалов и конструкций при низких температурах». Санкт-Петербург: СПбГУ - НИПТ, 2000. 14-16 с.
3. Материаловедение: учебник для вузов / Б.Н. Арзамасов, В.И. Макаров, Г.Г. Мухин и др.; под общ. ред. Б.Н. Арзамасова, Г.Г. Мухина. – 5-е изд., стереотип. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 648 с.: ил.
4. Ю.П.Солнцев, Б.С.Ермаков, О.И.Слепцов. Материалы для низких и криогенных температур: Энциклопедический справочник. – СПб.: ХИМИЗДАТ, 2008. – 768 с.: ил.
5. Семашко Н.А., Шпорт В.И., Марьин Б.Н. и др. Акустическая эмиссия в экспериментальном материаловедении, М: Машиностроение, 2002. - 240 с.
6. Николис Г., Пригожин И. Структурообразование в неравновесных системах. М.: Мир, 1979. - 512 с.
7. Арнольд А.В. Теория катастроф, теория хаоса и их приложения / Сб. «Синергетика и психология. Тексты». - М.: Москва, 1987. — с. 230-251.
8. Фейгенбаум М. Универсальность в поведении нелинейных систем /Успехи физ. наук, 1983. Т. 141, № 2. - с. 343.
9. Трефилов В.И., Картузов В.В., Минаков Н.В. Связь фрактальной размерности поверхности разрушения с механическими свойствами / Сб.ФИПС-99. Фракталы и прикладная синергетика. Москва. 1999. с . 10-11.

#### Список литературы на английском языке / References in English

1. Larionov V.P., Koval'chuk V.A. Hladostojkost' i iznos detalej mashin i svarnyh soedinenij [Cold resistance and wear of machine parts and welded joints]. Novosibirsk: Nauka, Sibirskoe otделение, 1976.-205 p. [in Russian]
2. Levin A.I., Bol'shakov A.M., Prohorov V.A. Risk analiz jekspluatacii gazoprovodov v uslovijah nizkih temperature [Risk the analysis of operation of gas pipelines in the conditions of low temperatures] // Sb. tr. konf. «Prochnost' materialov i konstrukcij pri nizkih temperaturah». Sankt-Peterburg: SPbGU - NiPT, 2000. 14-16 p. [in Russian]
3. Materialovedenie: uchebnik dlja vuzov [Materials science: the textbook for high schools] / B.N. Arzamasov, V.I. Makarov, G.G. Muhin and others.; edited by B.N. Arzamasova, G.G. Muhina. – 5-e izd., stereotip. – M.: Izd-vo MGTU im. N.Je. Bauman, 2003. – 648 p.: il. [in Russian]
4. Ju.P.Solncev, B.S.Ermakov, O.I.Slepcev. Materialy dlja nizkih i kriogennyh temperatur: Jenciklopedicheskij spravocnik. [Materials for low and cryogenic temperatures: Encyclopedic Reference] – SPb.: HIMIZDAT, 2008. – 768 p.: il. [in Russian]
5. Semashko N.A., Shport V.I., Mar'in B.N. and others. Akusticheskaja jemissija v jeksperimental'nom materialovedenii [Acoustic emission in experimental materials science], M: Mashinostroenie, 2002. - 240 p. [in Russian]
6. Nikolis G., Prigozhin I. Strukturoobrazovanie v neravnesnyh sistemah [Pattern formation in nonequilibrium systems]. M.: Mir, 1979. - 512 p. [in Russian]
7. Arnol'd A.V. Teorija katastrof, teorija haosa i ih prilozhenija [Catastrophe theory, chaos theory, and their applications]/Sb. «Sinergitika i psihologija. Teksty». - M.: Moskva, 1987. — p. 230-251. [in Russian]
8. Fejgenbaum M. Universal'nost' v povedenii nelinejnyh system [Versatility in the behavior of nonlinear systems] / Uspehi fiz. nauk, 1983. V. 141, № 2. - s. 343. [in Russian]
9. Trefilov V.I., Kartuzov V.V., Minakov N.V. Svjaz' fraktal'noj razmernosti poverhnosti razrushenija s mehanicheskimi svojstvami [Contact fractal dimension of the fracture surface with mechanical properties] / Sb.FIPS-99. Fraktaly i prikladnaja sinergitika. Moskva. 1999. p. 10-11. [in Russian]

DOI: 10.18454/IRJ.2016.54.070

Киреев Д.С.<sup>1</sup>, Ксенз Н.С.<sup>2</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-0003-1499-5435, студент,<sup>2</sup>ORCID: 0000-0002-4131-8766, Кандидат технических наук,

Южный федеральный университет

**ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ СЕНСУСА ТЕРРИТОРИИ****Аннотация**

*Обоснована необходимость автоматизации процесса сенсуса территории. Проанализированы требования к мобильному приложению. Рассмотрены этапы работы с торговыми точками при проведении сенсуса с использованием мобильного приложения. Приведено описание процесса работы с мобильным приложением, его функций и особенностей. Показан процесс использования географических координат и их интеграция с googlemaps для визуализации данных сенсуса. Описаны преимущества использования цветового кодирования и задачи, решаемые с помощью их визуального анализа.*

**Ключевые слова:** сенсус территории, мобильные приложения, геоинформационная система.

Kireev D.S.<sup>1</sup>, Ksenz N.S.<sup>2</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-0003-1499-5435, student,<sup>2</sup>ORCID: 0000-0002-4131-8766, PhD in Engineering,

Southern Federal University

**INFORMATION SYSTEM FOR THE RETAIL CENSUS****Abstract**

*Retail census process automation needs of the territory was substantiated. Requirements for mobile applications were analyzed. Stages of work with merchants during the retail census using the mobile application were described. Functions, features and description of the working process with the mobile application were given. Processes of using Geographical coordinates and integration with GoogleMaps for visualization data were developed. Color coding advantages and visual analysis tasks were described.*

**Keywords:** retail census, Mobile applications, Geographic information system

Интеграции с базами непространственных данных значительно расширяет область применения электронной картографии. С другой стороны, современные мобильные информационные технологии открывают перспективы для улучшения множества бизнес-процессов. Один из таких процессов, предполагающий обязательное использование карт, сенсус территории (полная перепись всех точек розничной торговли на определённой территории [1]). Сенсус территории позволяет выявить новые торговые точки, определить количество необходимых торговых представителей, для работы с данными точками, а также сформировать новые, более удобные для торговых представителей. Потребность в проведении сенсуса территории обусловлена частым появлением новых торговых точек, а также изменения деятельности старых. Компаниям по продажам важно понимать в каком магазине представлен их товар, а в каком нет, а также почему это происходит [2, С. 296].

Процесс проведения сенсуса территории долгое время считался входящим в список обязанностей торговых представителей. Однако, проверки показывают, что торговые представители не добросовестно проводят проверку территории на наличие магазинов, они недостаточно мотивированы и привыкли ездить по торговым точкам по заранее заданным маршрутам в навигаторе, тогда как новый магазин может находиться за углом. Процесс сенсуса отображен на рис. 1. Региональный менеджер определяет стажеру территорию для проведения сенсуса, стажер получает от продавца информацию (адрес, формат торговли и др.) и заполняет данные, обобщенные результаты работы представляются региональному менеджеру, после чего он ставит задачу торговому представителю по посещению торговых точек.

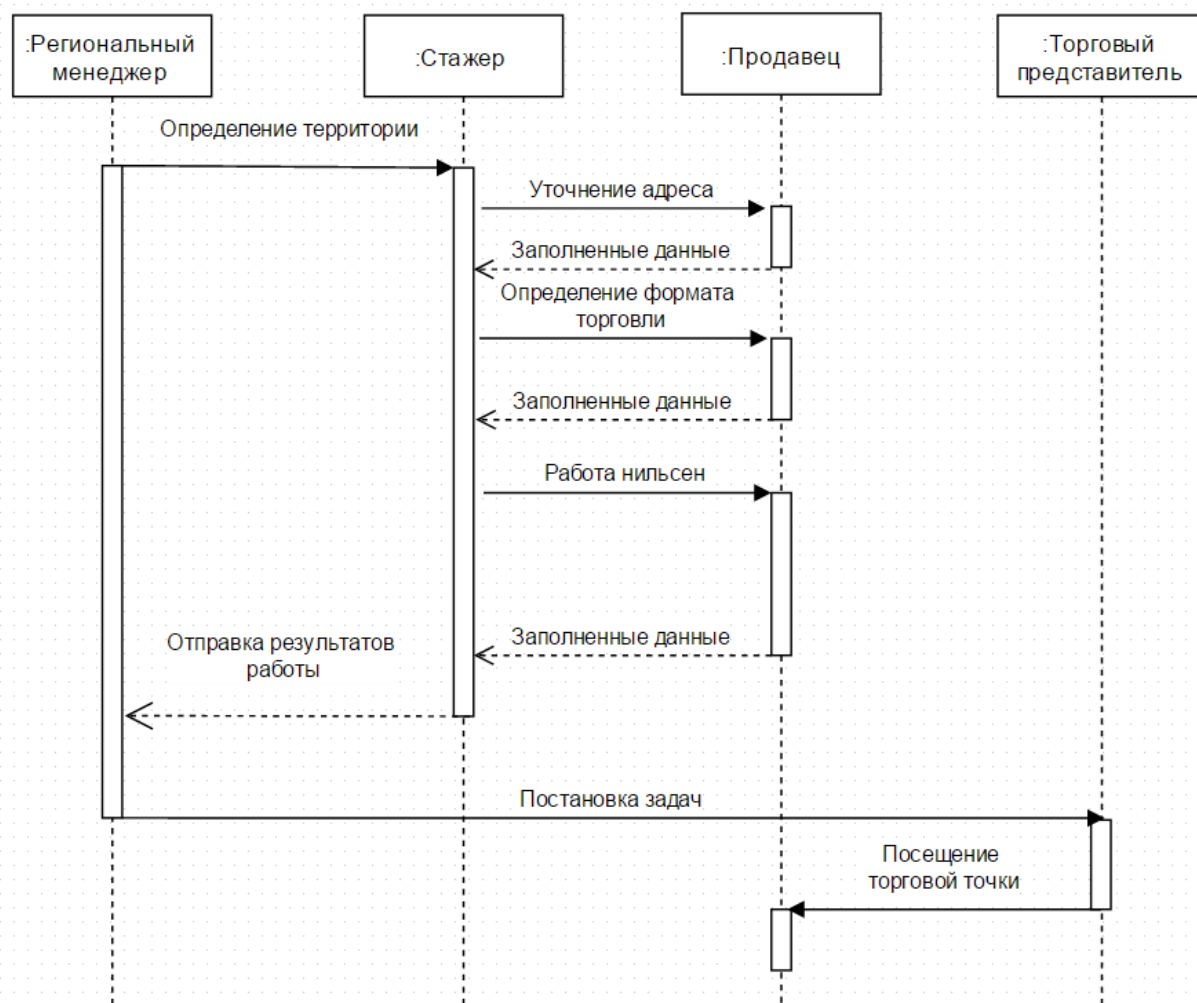


Рис. 1 – Процесс сенсуса территории

При проведении сенсуса запись данных на бумажные носители и дальнейших их перевод в электронный вид занимает определенное время и может стать причиной технических ошибок при вводе данных в компьютер и/или соотнесение фотографий торговым точкам. В тоже время, развитие технологий позволяет создавать новые аппаратные средства и помещать их в мобильные телефоны. Обилие операционных систем, сред разработки и подходов способствует скорейшему развитию рынка мобильных приложений. Современные мобильные устройства, как личные, так и служебные, уже имеют большинство сотрудников. Мобильное приложение для сенсуса территории упростит работу и сократит время проведения сенсуса, за счет добавления отметки на карте и фотографии фасада здания, в том месте, где находится лицо, проводящее сенсус, добавления информации и комментарии о торговой точке сразу в электронном виде. Важна возможность выгрузки информации в компьютер для удобства последующей работы с ней. Процесс сенсуса с учетом использования мобильного приложения состоит из следующих этапов: поиск новых торговых точек; запись информации о торговой точке на мобильное устройство; добавление торговой точки вместе с фотографией фасада; обработка данных. Таким образом, мобильное приложение для сенсуса территории должно обладать следующими функциями.

С помощью выпадающей клавиатуры пользователь вводит название торговой точки и выбирает форму собственности.

Далее, определяет цвет маркера, который появится на карте (новая точка – желтый маркер; рабочая точка – зеленый маркер; не рабочая точка – красный маркер).

Пользователь визуально определяет формат торговли в торговой точке: прилавков либо самообслуживание и отмечает нужный пункт в меню мобильного приложения.

Используя встроенную фотокамеру в андроид-устройстве, пользователь делает снимок фасада здания, в котором находится торговая точка.

При нажатии кнопки “Добавить” система определяет местонахождения по спутникам GPS и ставит в этом месте маркер.

Есть возможность в поле комментариев указать любую дополнительную информацию по торговой точке, например, ориентиры местонахождения, удобные часы посещения торговым представителем, номера телефонов и т.д.

В программной среде Eclipse разработано мобильное приложение для проведения сенсуса территории. Мобильное приложение работает на устройствах под управлением операционной системы Adnroid. Данные о торговых точках доступны для визуального просмотра не только на устройствах с операционной системой Adnroid, но и персональных компьютеров. Просмотр осуществляется с помощью сервисов от компании google, в частности googlemaps. При клике на маркер, высвечивается вся подробная информация о торговой точке, которая была занесена (рис. 2). Название и описание полей совпадают с мобильной версией и позволяют оперативно принимать решения. Предусмотрена

возможность разделения маркеров на группы и отображение их по отдельности. Например, при наложении слоя с новыми точками для определенного района есть возможность визуально определить, что количество желтых точек очень велико по отношению к зеленым. Возможно определить каждому территориальному менеджеру его часть города со всеми видами точек на его территории. Территориальный менеджер в свою очередь может проводить анализ и разделять свою зону по торговым представителям.

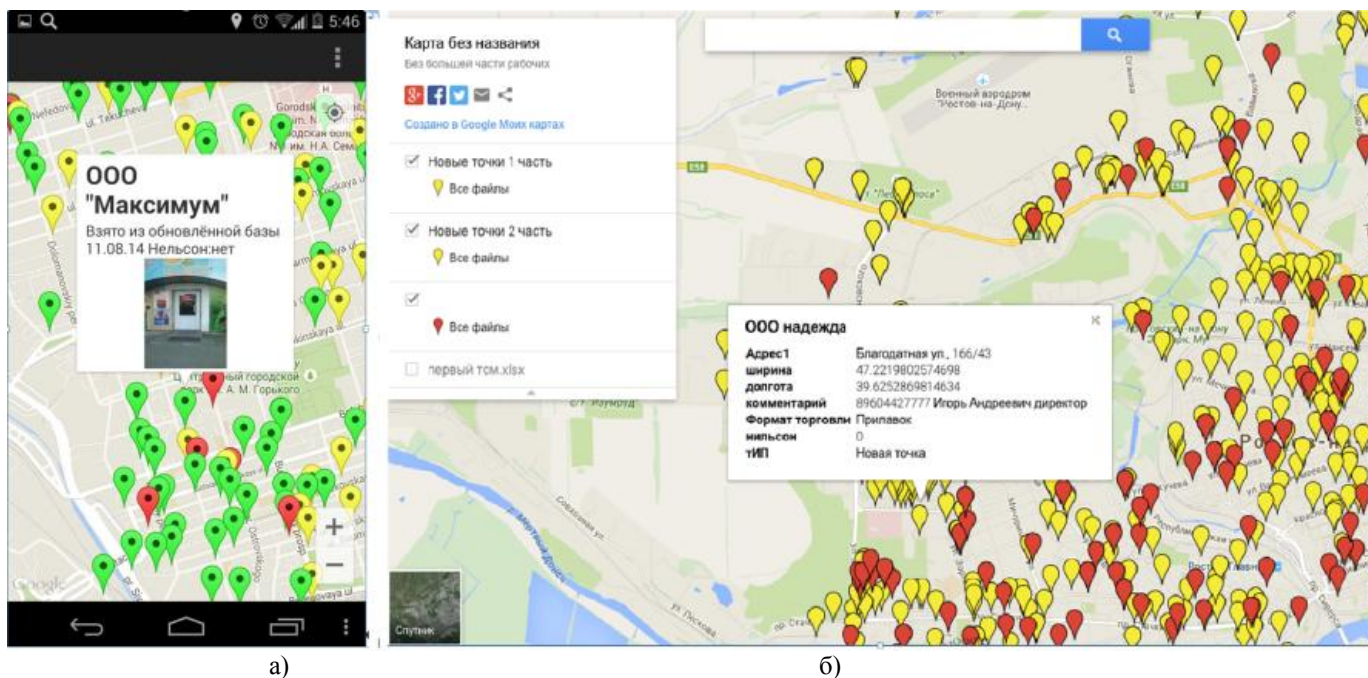


Рис. 2 – Информационная система для сенсуса территории: а – экран мобильного устройства; б – экран персонального компьютера

Мобильное приложение для сенсуса территории помогло значительно сократить время его проведения, а также избежать ошибок при переноси данных в компьютер. При работе с приложением на персональном компьютере можно определять количество торговых точек, торговых представителей, для работы с данными точками и удобные маршруты для них. Использование географических координат для интеграции с googlemaps позволило отображать данные сенсуса на экране персонального компьютера, с учетом цветового кодирования и возможностью отображения результатов по слоям для визуального анализа данных.

#### Список литературы / References

1. Nielsen A. C. Retail census // Santiago, Chile. – 2004.
2. Betancourt R. R., Gautschi D. A. The outputs of retail activities: concepts, measurement and evidence from US census data // The Review of Economics and Statistics. – 1993. – С. 294-301.



*«Международный научно-исследовательский журнал» включен в базу данных **WorldCat**.*

**WorldCat** — крупнейшая в мире библиографическая база данных, насчитывающая свыше 240 млн записей о всех видах произведений на 470 языках мира. База создается совместными усилиями более чем 72 тыс. библиотек из 170 стран мира в рамках организации OCLC.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.54.188

Киреев В.В.<sup>1</sup>, Чернышов М.О.<sup>2</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-0003-2285-1036, Кандидат технических наук,<sup>2</sup>ORCID: 0000-0001-8297-9993, Кандидат технических наук,

Тюменский индустриальный университет

**КОНСТРУКЦИЯ МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС****Аннотация**

*Приведено конструкторское решение металлорежущего инструмента повышенной работоспособности для изготовления эвольвентных цилиндрических зубчатых колес с использованием сменных твердосплавных пластин. Технологичности изготовления корпуса инструмента, опорных и упорных реек инструмента. Базирования режущего элемента в угловой паз и универсального корпуса инструмента которая обеспечивает расширение технологических возможностей за счет использования одного корпуса инструмента для нарезания зубчатых колес требуемого модуля путем замены сменного инструментального блока.*

**Ключевые слова:** зубофрезерование, твердый сплав, сборные фрезы.

Kireev V.V.<sup>1</sup>, Chernyshov M.O.<sup>2</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-0003-2285-1036, PhD in Engineering, <sup>2</sup>ORCID: 0000-0001-8297-9993, PhD in Engineering,

Tyumen industrial University

**DESIGN OF THE METAL-CUTTING TOOL FOR PRODUCTION OF COGWHEELS****Abstract**

*Powered design solution of cutting tools increased efficiency for the production of involute spur gears with interchangeable carbide inserts. Manufacturability tool body, bearing and thrust rods instrument. Basing the cutting element in the angular groove and universal tool body that provides the expansion of technological capabilities through the use of a tool body gear cutting of the desired module by replacing the removable tool box.*

**Keywords:** hobbing, hard alloy, composite mills.

В работе машиностроительных предприятий большую роль играет инструментальная оснастка, а также не маловажное значение — это черновое резание. Одним из важнейших элементов инструментальной оснастки является режущий инструмент. Замена инструмента из быстрорежущей стали на сборный инструмент с использованием сменных твердосплавных пластин даёт повышение производительности и в целом эффективности [1, С. 60], [2, С. 6], [3], [4], [5, С. 107]. Твердосплавные зуборезные инструменты предназначены для высокоскоростного нарезания зубьев зубчатых колёс из конструкционных и труднообрабатываемых сталей и сплавов, чугуна, цветных металлов. Твёрдые сплавы, применяемые для оснащения зуборезного инструмента, работающего при прерывистом резании с циклическими, динамическими и тепловыми нагрузками, кроме того, должны обладать высоким пределом выносливости, не разрушаться под действием напряжений. Физико-механические, а следовательно, и эксплуатационные свойства различных твёрдых сплавов зависят от химического состава и размеров зёрен. Сплавы с меньшим содержанием кобальта имеют большие твёрдость и теплоустойчивость, а следовательно, и износостойкость, что позволяет использовать высокие скорости резания. Но уменьшение содержания кобальта повышает хрупкость сплавов и снижает прочность, поэтому различные группы сплавов применяют в зависимости от условий работы инструмента. Особенно это актуально при черновой обработке деталей.

При повышении режущей способности инструментального материала универсальность его применения снижается, поэтому наиболее рациональным является комплексный подход к решению задач, связанных с проектированием твёрдосплавного зуборезного инструмента. Проектирование, изготовление и испытание зуборезного инструмента, отработка режимов резания должны осуществляться применительно к конкретной обрабатываемой заготовке и её материалу.

Для того чтобы проработать конструкцию металлорежущего инструмента нужно определить к какой области он будет относиться, а далее нужно определить аналог инструмента.

Металлорежущий инструмент относится к области обработки металлов резанием, к конструкциям металлорежущего инструмента. Выбранной в качестве прототипа, является сборная червячная фреза [6]. Инструмент содержит корпус, у которого имеется два расположенных у торцов в кольцеобразных пазах, в которых размещены клиновые сухари, взаимодействующие посредством шпилек с зажимными и опорными сухарями. В конических гнездах корпуса размещены клинья с винтами. Поверхность, контактирующая с корпусом, выполнена в виде боковой поверхности усеченного конуса, при этом прямая на которой расположены центры дуг, ограничивающие коническую поверхность, параллельна поверхности, которая является одновременно осью резьбового отверстия. Поверхность клина, контактирующая с режущими элементами, выполнена плоской с вертикальным пазом.

К недостаткам инструмента относится большая трудоемкость изготовления опорной поверхности под режущие элементы. При заворачивании винта клиновое закрепление совершает радиальное перемещение от оси инструмента и вытаскивает режущие элементы в радиальном направлении. Нетехнологичные режущие элементы, также повышают стоимость изготовления известной сборной червячной фрезы.

Задачей является создание сборной червячной фрезы повышенной работоспособности за счет достижения использования сменных многогранных пластин из твердого сплава, расширение технологических возможностей за счет использования одного корпуса инструмента для нарезания зубчатых колес требуемого модуля за счет установки сменного инструментального блока для соответствующего модуля.

Результат достигается тем, что сборная червячная фреза содержит ряд продольных пазов, в которых установлены опорные и упорные рейки, образующие сменные инструментальные блоки, которые в свою очередь закреплены винтами с помощью зажимных и опорных сухарей от осевого смещения, режущие элементы базируются в угловых

пазах упорных реек с помощью зажимных клиньев. В продольных пазах, имеются плоская вертикальная поверхность и противоположная поверхность, выполненная под углом  $\alpha_1$ . У зажимных клиньев имеются поверхности, одна поверхность выполнена плоской и вертикальной, а противоположная плоская и выполнена под углом  $\alpha$ . Каждый следующий сменный инструментальный блок смещен относительно предыдущего на величину  $\Delta P_{x0}$ , которая определяется по формуле:

$$\Delta P_{x0} = \frac{P_{x0}}{Z_0}, \text{ мм}$$

где:  $P_{x0}$  – осевой шаг фрезы, мм

$Z_0$  – количество продольных пазов.

Расширение технологических возможностей осуществляется за счет использования одного корпуса инструмента для нарезания зубчатых колес требуемого модуля путем установки сменного инструментального блока для соответствующего модуля. Сменный инструментальный блок представляет собой сборочный узел, состоящий из упорной рейки, опорной рейки, режущих элементов и прецизионных пластин. При заворачивании винта прижимной клин совершает движение к оси инструмента, что исключает перемещение режущего элемента в радиальном направлении от оси инструмента, что благоприятно сказывается для базирования режущего элемента в угловой паз упорной рейки. Сборная червячная фреза содержит корпус с продольными пазами, в которых установлены упорные, опорные рейки и прецизионные пластины, закрепленные винтами с помощью опорных и зажимных сухарей от осевого смещения. Режущие элементы базируются в угловых пазах опорных реек зажимными клиньями с помощью винтов от радиально смещения. Поверхность зажимных клиньев контактирует с поверхностью в виде плоской вертикальной поверхности. Поверхность корпуса, контактирующая с зажимным клином выполнена вертикальной. Поверхность зажимных клиньев, контактирующая с режущими элементами выполнена плоской, выполнена плоской, но под углом  $\alpha$  относительно поверхности. Поверхность, контактирующая с опорной рейкой корпуса, выполнена под углом  $\alpha_1$  относительно поверхности корпуса (рис. 1).

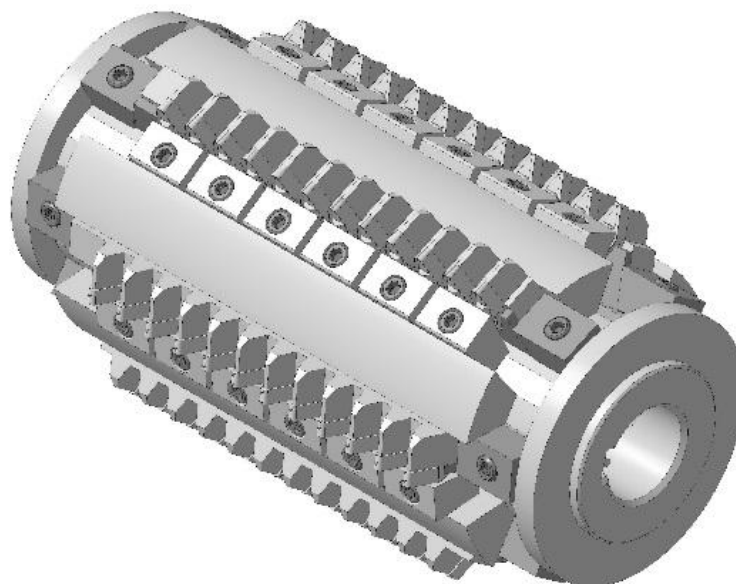


Рис. 1 – Сборная червячная фреза

Упорные и опорные рейки устанавливаются в продольные пазы корпуса. Прецизионные пластины позволяют располагать опорные и упорные рейки по винтовой линии. Закрепление опорных реек и прецизионных пластин производят при помощи опорных и зажимных сухарей. Опорные и зажимные сухари расположены в кольцеобразных пазах корпуса. Крепление режущих элементов в радиальном направлении осуществляют попарно зажимными клиньями, расположенными в продольных пазах корпуса. При вращении винтов, прижимные клинья перемещаются относительно корпуса, обеспечивают крепление режущих элементов. Каждый следующий сменный инструментальный блок смещен относительно предыдущего на величину  $\Delta P_{x0}$ , которая определяется по формуле:

$$\Delta P_{x0} = \frac{P_{x0}}{Z_0}, \text{ мм}$$

где:  $P_{x0}$  – осевой шаг фрезы, мм

$Z_0$  – количество продольных пазов.

Сборная червячная фреза является многомодульной, так как в её конструкции заложена смена опорных и упорных реек, которые в свою очередь изготовлены под требуемый модуль (рис. 2). Для этого требуется отвинтить винты, поставить в продольные пазы опорные и упорные рейки, режущие элементы и, если потребуется, заменить прижимные клинья, а также прецизионные пластины для достижения смещения реек друг относительно друга. В процессе фрезерования сборная червячная фреза совершает вращательное движение вокруг своей оси и поступательное в направлении подачи.



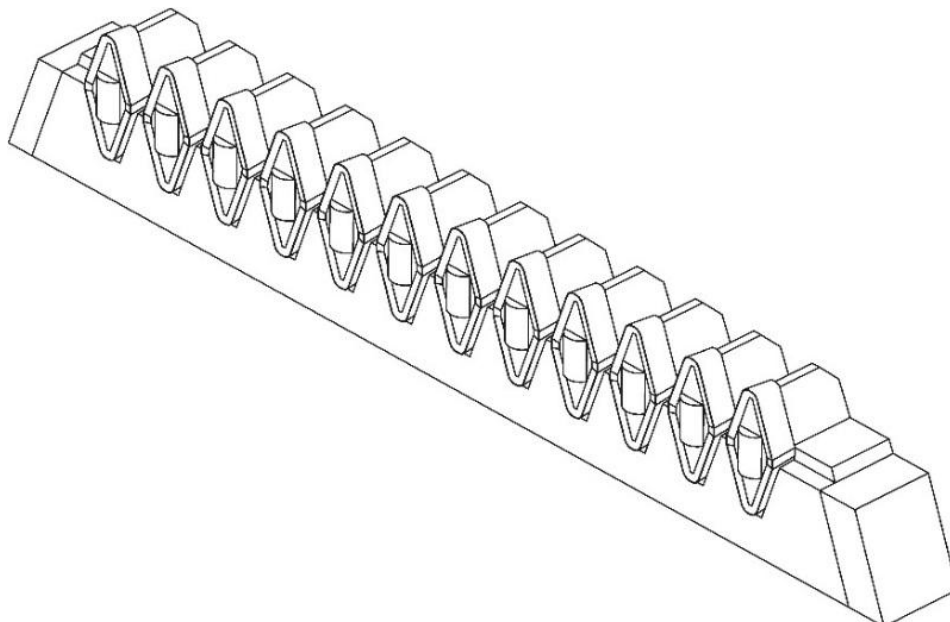


Рис. 2 – Сменный инструментальный модуль

Таким образом, разработанная сборная червячная обеспечивает расширение технологических возможностей за счет использования одного корпуса инструмента для нарезания зубчатых колес требуемого модуля путем замены сменного инструментального блока.

#### Список литературы / References

1. Артамонов Е.В. Прочность и работоспособность сменных твердосплавных пластин сборных режущих инструментов / Артамонов Е.В. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2003. – 192с.
2. Артамонов Е.В., Помигалова Т.Е., Утешев М.Х. Расчет и проектирование сменных режущих пластин и сборных инструментов / Артамонов Е.В., Помигалова Т.Е., Утешев М.Х. / Под общей ред. М.Х. Утешева. –Тюмень: ТюмГНГУ, 2011. -152с.
3. Артамонов Е.В., Кусков В.Н., Василега Д.С. Способ выбора инструментального твердого сплава для обработки стали резанием / Артамонов Е.В., Кусков В.Н., Василега Д.С. -патент на изобретение RUS 2373028 09.01.2008.
4. Artamonov E.V., Vasilega D.S., Tveryakov A.M. Determining the maximum-performance temperature of hard-alloy cutting plates: Russian Engineering Research. 2014. T. 34. № 6. C. 402-403.
5. Полохин О.В., Тарапанов А.С., Харламов Г.А. Нарезание зубчатых профилей инструментами червячного типа: справочник / Полохин О.В., Тарапанов А.С., Харламов Г.А. / под ред. Г.А. Харламова. – М.: Машиностроение, 2007. 240 с.
6. Сборная червячная фреза А. с. № 1689000, МКИ5 В23F 21/16, опубл. 07.11.1991. Бюл. № 41.

#### Список литературы на английском языке / References in English

1. Artamonov E.V. Prochnost' i rabotosposobnost' smennykh tverdosplavnykh plastin sbornyykh rezhushhih instrumentov [Durability and operability of replaceable hard-alloy plates of the combined cutting tools] / Artamonov E.V. – Tyumen': TyumGNGU, 2003. – 192p. [in Russian]
2. Artamonov E.V., Pomigalova T.E., Uteshev M.H. Raschet i proektirovanie smennykh rezhushhih plastin i sbornyykh instrumentov [Calculation and design of the replaceable cutting plates and combined tools] / Artamonov E.V., Pomigalova T.E., Uteshev M.H. / Edited by M.H. Utesheva. –Tyumen': TyumGNGU, 2011. -152p. [in Russian]
3. Artamonov E.V., Kuskov V.N., Vasilega D.S. Sposob vybora instrumental'nogo tverdogo splava dlja obrabotki stali rezaniem [The method of selecting a tool carbide for steel cutting] / Artamonov E.V., Kuskov V.N., Vasilega D.S. - Patent for invention RUS 2373028 09.01.2008. [in Russian]
4. Artamonov E.V., Vasilega D.S., Tveryakov A.M. Determining the maximum-performance temperature of hard-alloy cutting plates: Russian Engineering Research. 2014. T. 34. № 6. P. 402-403.
5. Polohin O.V., Tarapanov A.S., Harlamov G.A. Narezanie zubchatykh profilej instrumentami chervjachnogo tipa: spravochnik [Cutting tooth profile of the worm type tools: a guide] / Polohin O.V., Tarapanov A.S., Harlamov G.A. / Edited by G.A. Harlamova. – М.: Mashinostroenie, 2007. 240 p. [in Russian]
6. Sbornaja chervjachnaja freza [Combined worm mill] С. А. № 1689000, МКИ5 В23F 21/16, published 07.11.1991. Bulletin № 41. [in Russian]



DOI: 10.18454/IRJ.2016.54.119

Кравцов А.А.<sup>1</sup>, Тропченко А.А.<sup>2</sup>, Крихели А.М.<sup>3</sup><sup>1</sup>Магистр, <sup>2</sup>кандидат технических наук, доцент, <sup>3</sup>магистр,Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий,  
механики и оптики

## АЛГОРИТМ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СЕРИАЛИЗАЦИИ СО СЖАТИЕМ

**Аннотация**

*При передаче и хранении данных основными проблемами являются объем данных и скорость их передачи. При подготовке данных к передаче или хранению выполняется их сериализация. Производительность процесса передачи зависит от характеристик выбранного алгоритма сериализации (скорость сериализации, возможность сжатия данных, потребляемая память). Целью работы является исследование существующих алгоритмов автоматической сериализации и поиск возможных путей их оптимизации для выполнения специфических задач.*

**Ключевые слова:** автоматическая сериализация, сжатие данных, сжатие числовых последовательностей

Kravtsov A.A.<sup>1</sup>, Tropchenko A.A.<sup>2</sup>, Krikheli A.M.<sup>3</sup><sup>1</sup>Master, <sup>2</sup>PhD in Engineering, associate professor, <sup>3</sup>master,

Saint-Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics

## AUTOMATIC SERIALIZATION AND COMPRESSION ALGORITHM

**Abstract**

*In transmission and storage of data among the main problems is the amount of information transmitted and its transmission speed. In the preparation of objects for the transmission and storage performed their serialization. The performance of transmission process depends on characteristics of serialization algorithm (serialization speed, data compression ability, memory consumption). The objective is to analyze the existing algorithms of automatic serialization and finding possible ways of their optimization for specific tasks.*

**Keywords:** automatic serialization; data compression; numeric sequence compression.

Сериализация – это процесс перевода объекта в последовательность байт, который применяется для сохранения его состояния [1, С. 710]. В частности, она широко используется в таких технологиях, как REST, RPC и им подобных. Например, вызове удаленной процедуры, объекты, переданные как ее параметры, сериализуются в поток байт и отправляются на сервер вместе с информацией о вызываемой процедуре. В современных фреймворках межмоментного взаимодействия (таких как WCF), описанный процесс происходит автоматически. Также сериализованный объект может быть сохранен в файл и позже восстановлен, как это часто бывает при сохранении конфигурации. Целью исследования был поиск возможных путей улучшения существующих решений для автоматической сериализации.

Общая концепция процесса состоит в следующем. Бизнес-объект является некоторой сущностью, моделирующей реальный объект. В большинстве случаев он состоит из логических типов, поэтому сохранение состояния такого объекта не представляется возможным. Для выполнения этой задачи создается data transfer object (DTO). Это объект, формирующийся в результате обхода дерева логических типов, и состоящий из его листьев – примитивных типов. На следующем этапе записывается полученный набор примитивных типов, согласно выбранному алгоритму. В рефлексивных языках, где доступна метайнформация о типах данных, возможна автоматическая сериализация, которая полезна в случае значительной ширины и глубины дерева типов бизнес-объекта. Также автоматическая сериализация применяется в динамически-типизированных языках, где структура типа часто изменяется, либо вообще не определена во время компиляции.

Существует множество готовых решений для автоматической сериализации объектов. По сравнению с ручной сериализацией, готовые решения обладают рядом существенных недостатков, таких как большее время работы и низкий коэффициент сжатия данных (значительно меньше единицы). Эти недостатки вызваны накладными расходами на запись метаданных, необходимых для десериализации объекта. Необходимость в обходе дерева типов с помощью инструментов рефлексии также негативно сказывается на времени работы средств автоматической сериализации.

Рассмотрим подробнее формат объекта, сериализованного стандартными средствами .NET [2]. Заголовок содержит описание контракта. За ним следует структура данных и сами данные. Этой метайнформации достаточно, чтобы восстановить исходный объект. Но метайнформация имеет значительный объем, поэтому было принято решение записывать только данные, а структуру данных и контракт предоставлять непосредственно в момент чтения или записи. Контрактом в таком случае служит порядок обхода полей объекта, а структура описывается структурой сериализуемого типа. Для дальнейшего уменьшения объема объектов используется сжатие последовательностей однотипных объектов. Таким образом, разработанный алгоритм сериализации имеет следующую структуру (Рис. 1).

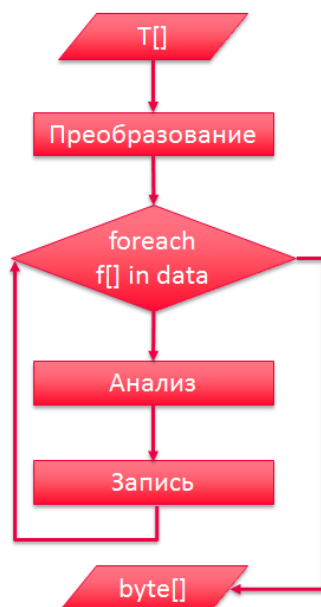


Рис. 1 – Сравнение результатов работы различных алгоритмов

На этапе преобразования происходит разбиение массива исходных объектов  $A[1..N]$  на несколько массивов примитивных типов  $P_1[1..N] \dots P_m[1..N]$  (где  $N$  – количество элементов в исходном массиве,  $m$  – количество полей объекта), причем значения элементов массивов  $P_1[x] \dots P_m[x]$  равны значениям соответствующих полей объекта  $A[x]$ .

Далее происходит сжатие каждого массива примитивных типов. Рассмотрим его на примере массива сообщений автомобильного датчика уровня топлива.

Пусть имеется некоторый массив сообщений, каждое из которых состоит из уровня топлива (целое число, отражающее объем топлива в баке в миллилитрах) и временной метки (целое число). Для простоты будет рассматриваться сжатие только показаний объема топлива.

Исходные данные выглядят следующим образом (Рис. 2)

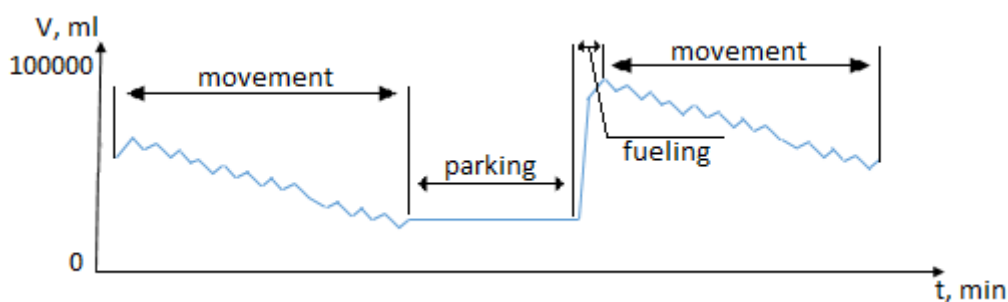


Рис. 2 – Временные периоды, когда машина находилась в движении, на стоянке и заправлялась и соответствующий уровень топлива

Анализ данных для сжатия проходит в три этапа.

На первом этапе весь массив разбивается на равные блоки [3, С. 6] (Рис. 3).

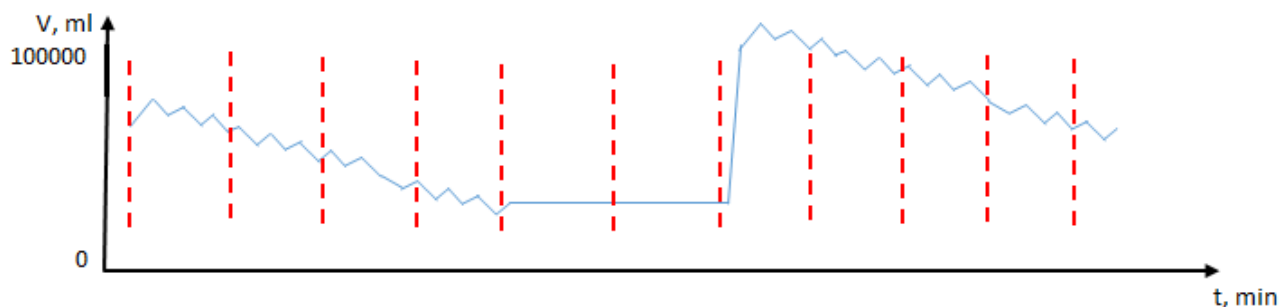


Рис. 3 – Разбиение на равные участки

На втором этапе (Рис. 4) для каждого блока выбирается лучшая стратегия сжатия, дающая на выходе наименьший объем информации. В текущей реализации выбор происходит между алфавитным кодированием, дифференциальным кодированием и записью без сжатия.

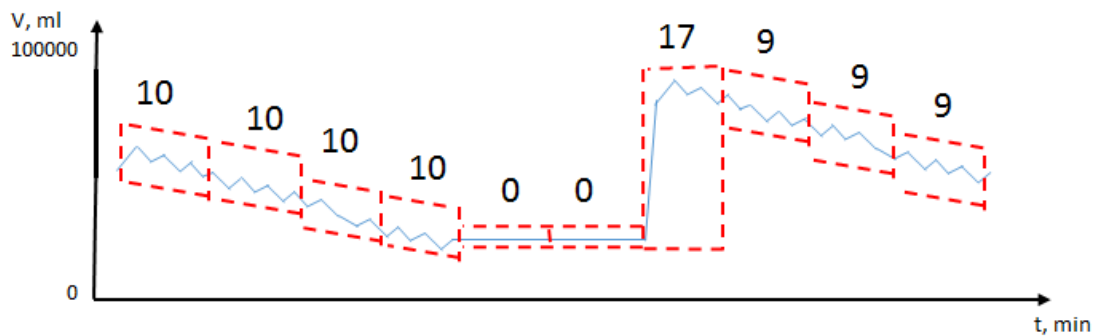


Рис. 4 – Блоки данных и минимальное количество информации, необходимое для записи одного сообщения в битах при кодировании по граничным значениям

На последнем этапе (Рис. 5) происходит слияние блоков, для которых выбрана одинаковая стратегия сжатия, а также одинаковое количество информации, что уменьшает количество заголовков. Если значения в блоке не изменялись, происходит кеширование заголовка. В этом случае записывается только заголовок с минимальным и максимальным значением (которые в данном случае равны), а данные блока не записываются. При чтении все данные блока будут равны минимальному значению из заголовка.

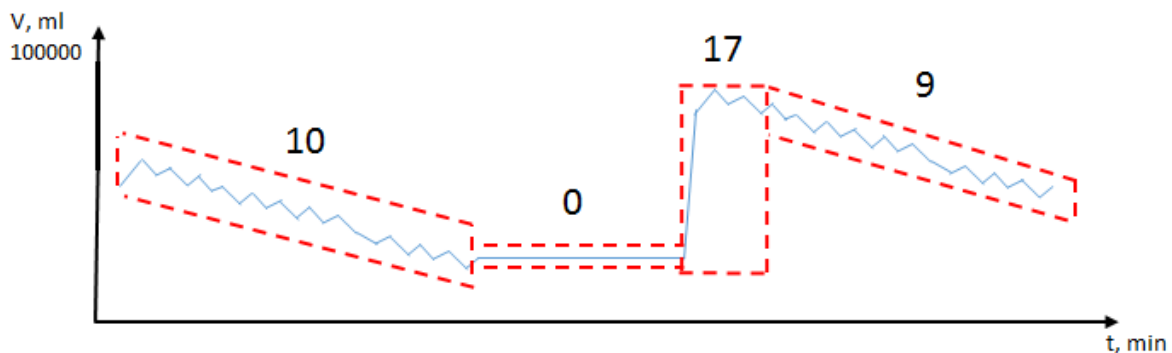


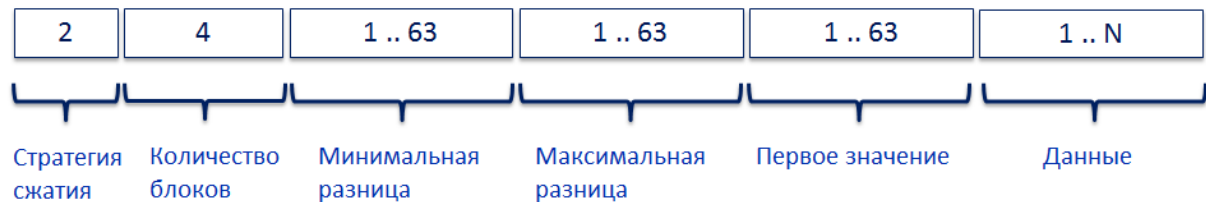
Рис. 5 – Макро-блоки, полученные слиянием нескольких исходных блоков

Полученные блоки данных имеют структуру, описанную на рис. 6.

### 1. Кодирование по границам величин



### 2. Дифференциальное кодирование



### 3. Без сжатия



Рис. 6 – Структура заголовков блоков

Цифрами обозначено количество бит, которыми кодируется элемент заголовка. В заголовках присутствуют следующие поля:

- 1) Стратегия сжатия. Присутствует во всех типах заголовков. Обозначает выбранную стратегию сжатия.
- 2) Количество блоков. Присутствует во всех типах заголовков. Обозначает количество блоков с этим заголовком. При формировании на этапе анализа всегда равно единице, может измениться на этапе слияния заголовков
- 3) Нижняя граница. Специфична для алфавитного кодирования. Обозначает минимальное значение в блоке.
- 4) Верхняя граница. Специфична для алфавитного кодирования. Обозначает максимальное значение в блоке.
- 5) Минимальная разница. Специфична для дифференциального кодирования. Обозначает минимальную разницу между соседними значениями.
- 6) Максимальная разница. Специфична для дифференциального кодирования. Обозначает максимальную разницу между соседними значениями.
- 7) Первое значение. Специфично для дифференциального кодирования. Первое значение в блоке.
- 8) Данные. Присутствует во всех типах заголовков. Содержит исходные данные, к которым не применялось сжатие.

Запись проводится с помощью битовых операций. Каждый байт заполняется по принципу FIFO, после чего отправляется в поток. Чтение происходит в обратном порядке. Такая организация записи даёт максимальную компактность данных, так как отсутствует избыточная информация. После проведения замеров получились следующие значения.

Таблица 1 – Сравнение результатов работы различных алгоритмов

Алгоритм	Данные	Коэффициент сжатия	Время работы, с
Автоматическая сериализация	Числовые	0.31	1.342
	Изображение	0.18	1.356
	Текст	0.43	1.298
Ручная сериализация	Числовые	0.97	0.121
	Изображение	0.99	0.143
	Текст	0.99	0.107
Сериализация со сжатием (разработанный алгоритм)	Числовые	4.71	0.534
	Изображение	1.64	0.542
	Текст	1.37	0.517

По полученным результатам можно сделать следующие выводы:

- В отличие от ручной сериализации, и автоматических решений, полученный алгоритм производит сжатие данных.
  - Сжатие рассчитано на обработку числовых последовательностей, вследствие чего коэффициент сжатия числовых объектов получается больше, чем у универсальных алгоритмов сжатия.
  - Благодаря отсутствия метainформации в полученном массиве данных, сериализация происходит быстрее.
- Ввиду некоторой специфичности алгоритма появляются следующие ограничения и недостатки:
- Так как описание структуры объекта не записывается вместе с данными, она должна быть известна при чтении и записи. Это накладывает ограничения на использование алгоритма в динамически-типизируемых языках.
  - Способ записи FIFO обеспечивает максимальную плотность данных, но при этом теряется возможность доступа к N-ному элементу, пока не будут прочитаны предыдущие [4, С. 198-202].
  - При сжатии таких данных, как изображения, текст и звук коэффициент сжатия получается ниже, чем у специализированных алгоритмов сжатия без потерь.

#### Список литературы / References

1. Рихтер Дж. CLR via C#. Программирование на платформе Microsoft .NET Framework 4.0 на языке C# / Рихтер Дж. – 3-е изд. – СПб.: Питер – 2012. – 928 с.
2. Serialization (C# and Visual Basic). [Электронный ресурс] // Microsoft. URL: <https://msdn.microsoft.com/ru-ru/library/ms233843.aspx> (дата обращения 15.12.2011);
3. Ватолин Д. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео / Ватолин Д., Ратушняк А., Смирнов М. и др. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ – 2003. – 384 с.
4. Вирт Н. Алгоритмы + структуры данных = программы / Вирт Н. – 7-е изд. – М.; Вильямс – 2001. – 410 с.

#### Список литературы на английском языке / References in English

1. Richter J. CLR via C#. Programmirovaniye na platforme Microsoft .NET Framework 4.0 na jazyke C# [CLR via C#. Programming in Microsoft .NET Framework 4.0 platform in C#] / Richter J. – 3rd edition. – SPb.: Piter. – 2012. – 928 p. [in Russian]
2. Serialization (C# and Visual Basic). [Electronic resource] // Microsoft. URL: <https://msdn.microsoft.com/ru-ru/library/ms233843.aspx> (accessed 15.12.2011). [in Russian]
3. Vatolin D. Metody szhatija dannyh. Ustrojstvo arhivatorov, szhatie izobrazhenij i video [Data compression methods. Implementation of archivers, image and video compression] / Vatolin D., Ratushnjak A., Smirnov M. and others. – M.; DIALOG-MIFI – 2003. – 384 p. [in Russian]
4. Wirth N. Algoritmy + struktury dannyh = programmy [Algorithms + data structures = programs] / Wirth N. – 7th edition. – M.; Viljams – 2001. – 410 p. [in Russian]

DOI: 10.18454/IRJ.2016.54.069

Ксенз Н.С.

ORCID: 0000-0002-4131-8766, Кандидат технических наук,

Южный федеральный университет

**УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ В ЖИЗНЕННОМ ЦИКЛЕ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ****Аннотация**

*Рассмотрены ГОСТы по проектному управлению и функциональной безопасности систем. Обоснована целесообразность использования методов проектного управления в жизненном цикле систем безопасности. В полном жизненном цикле систем безопасности выделены стадии, соответствующие жenenому циклу проектов. Создан шаблон структурной декомпозиции работ проектов и сетевой график на основе обобщения и анализа практической информации. Предложен перечень проектных документов для использования при реализации проектов разработки, модификации и повышения производительности систем безопасности.*

**Ключевые слова:** жизненный цикл, система безопасности, проект, структурная декомпозиция работ, сетевой график.

Ksenz N.S.

ORCID: 0000-0002-4131-8766, PhD in Engineering,

Southern Federal University

**APPLICATION OF PROJECT MANAGEMENT IN THE SECURITY SYSTEMS LIFE CYCLE****Abstract**

*State standards for project management and functional safety systems were considered. The expediency of the use of project management methods in the life cycle of security systems. The full life cycle of security systems marked stages corresponding project life cycle. Templates Works Breakdown Structure projects and network based on the compilation and analysis of practical information were created. List of project documents for the implementation of development, modifications and improved performance of security systems projects was given.*

**Keywords:** security system, system lifecycle, project, work breakdown structure, project network.

Методы управления проектами способствуют достижению целей эффективным путем при лучшем соотношении объема работ, качества, ресурсов времени и с учетом рисков. Использование методов сетевого и календарного графиков является одним из ключевых факторов успеха при управлении сроками проекта. Использование методов управления проектами в жизненном цикле систем безопасности позволит более точно провести планирование сроков разработки, а также повысить качество и оптимизировать стоимость.

Согласно ГОСТ Р МЭК 61508-1-2007 [1, С.8] полный жизненный цикл безопасности состоит из концепции, определения полной области применения, анализа опасностей и рисков, полных требований к безопасности, распределения требований к безопасности, полного планирования эксплуатации технического обслуживания, полного планирования подтверждения соответствия, полного планирования ввода в действие, реализации систем безопасности (на основе различных технологий), реализации внешних средств снижения рисков, полной установки и ввода в действие, полного подтверждения соответствия безопасности, эксплуатации, обслуживания и ремонта, полной модификации и видоизменения и вывода из эксплуатации или ликвидации.

Согласно [2, С.2] проект - это комплекс взаимосвязанных мероприятий, направленный на создание уникального продукта или услуги в условиях временных и ресурсных ограничений. В работе [3, С.134] определены признаки, позволяющие идентифицировать проекты - уникальность, целенаправленность и наличие ограничений времени и ресурсов. В полном жизненном цикле безопасности можно выделить несколько совокупностей стадий, идентифицируемых в качестве проектов. В частности, после проекта по созданию системы безопасности необходимо проводить эксплуатацию, обслуживание и ремонт на регулярной основе. Однако, согласно полному жизненному циклу безопасности через определенное время после введения в эксплуатацию возникает проект полной модификации системы либо принимается решение о выводе ее из эксплуатации. Также, могут возникать дополнительные проекты направленные на повышение производительности систем. Таким образом, в области систем безопасности жизненный цикл проекта является частью жизненного цикла безопасности. На рис.1 наглядно отображена связь между жизненным циклом системы безопасности и жизненным циклом проекта: выполняется проект, заключающийся в создании системы безопасности, формирующий основу для долгосрочного и успешного обеспечения безопасности, после реализации которого сервисный отдел приступает к текущему обслуживанию и ремонту. Затем, через некоторое время наступает необходимость в изменении, что приводит к инициации нового проекта. Другим вариантом развития событий является вывод системы из эксплуатации.



Рис. 1 – Взаимосвязь между жизненным циклом системы безопасности и жизненным циклом проекта

Эффективное управление проектом системы безопасности на начальной стадии может существенно увеличить срок ее службы без внесения изменений. Для этого необходимо четко соблюдать требования масштабируемости частей системы и последовательного их добавления. Решения, принятые на начальной стадии проекта, критически влияют на результат работ. Согласно РМВoК [4] при выполнении проекта с течением времени снижается вероятность наступления рисков, но растет стоимость внесения изменений. Поэтому, для успешного выполнения проекта очень важны решения, принятые на стадии планирования.

Создание систем безопасности с применением методов управления проектами крайне важно для соответствия результатов требованиям безопасности. Во многих проектных организациях, несмотря на уникальность каждого реализуемого проекта, большинство проектов относятся к одной сфере деятельности и отличаются особенностями разработки конкретных объектов, таким образом, большинство проектов имеют схожий перечень основных работ. Для организаций, где большая часть проектов является типовыми, могут быть разработаны шаблоны, применимые для большинства проектов данной организации.

В процессе выполнения работы на основе анализа задокументированной информации о более чем десяти проектах, а также опроса руководители отделов, участвующих в выполнении проектов систем безопасности, создан шаблон структурной декомпозиции работ, представленный в табл. 1. Задачи: проектирование, строительно-монтажные и подготовительные работы, монтаж оборудования, техники и программных средств, пусконаладочные работы, опытная эксплуатация являются фазами и состоят из задач. Каждая последующая фаза, зависит от предшествующей фазы (тип зависимости – окончание-начало). Работа над задачами фазы монтаж оборудования, техники и программных средств начинается после начала работы над задачами фазы строительно-монтажные и подготовительные работы (вид зависимости – начало-начало с запаздыванием). Для задач использовано отношение окончание-начало, если не указано иное.

Таблица 1 – Структурная декомпозиция работ проекта системы безопасности

Номер задачи	Название задачи	Предшественники
<b>1</b>	<b>Проектирование</b>	
2	Составление сметы	
3	Проектирование видеонаблюдения	2НН*+0,5 мес
4	Проектирование охранно-пожарных систем	2НН+0,5 мес
5	Проектирование систем контроля и управления доступом	2НН+0,5 мес
<b>6</b>	<b>Строительно-монтажные и подготовительные работы</b>	
7	Подготовка площадки к работам	
8	Подготовка к установке охранной сигнализации	11НН+зап
9	Подготовка к установке пожарной сигнализации и систем пожаротушения	11НН+зап
10	Прокладка кабельной канализации	7НН+0,5 мес
11	Прокладка кабельных сетей	7НН+0,5 мес; 10ОО**+0,5 мес
12	Установка охранного освещения	7НН+0,5 мес
<b>13</b>	<b>Монтаж оборудования, техники и программных средств</b>	
14	Монтаж системы сбора и обработки информации	11НН+1 мес
15	Монтаж системы контроля и управления доступом	
16	Монтаж системы периметральной охранной сигнализации	
17	Монтаж системы охранного телевидения	11НН+2 мес
18	Монтаж системы электропитания и охранного освещения	12; 11НН*+2 мес
19	Монтаж средств связи	11НН+2 мес
20	Монтаж системы охранно-пожарной сигнализации	8НО***; 9НО; 11НН+1,5 мес
21	Монтаж наружных сетей	
<b>22</b>	<b>Пусконаладочные работы</b>	
23	Пусконаладочные работы	14
<b>24</b>	<b>Опытная эксплуатация</b>	
25	Опытная эксплуатация	23

Примечание: \* - начало-начало; \*\* - окончание-окончание; \*\*\* - начало-окончание.

Последовательность выполнения комплекса задач проекта системы безопасности представлена на обобщенном сетевом графике работ (рис. 2). Данный график будет соответствовать большей части проектов с некоторыми уточнениями. В случае если какая-то задача в данном проекте не будет выполняться, срок выполнения задачи и количество исполнителей работ следует приравнять нулю. Задержка начала выполнения задачи относительно другой меняется от проекта к проекту. Составлен сетевой график работ для отображения порядка выполнения задач. Этот график является универсальным и применим к практически любому проекту организации. Работы под номерами 1, 6, 13, 22 и 24 из таблицы 1 отсутствуют на графике, так как являются фазами. На рисунке отображены только вложенные в фазы задачи. Сетевой график для фаз (вид зависимости – окончание-начало) выглядел бы как строгая последовательность работ по возрастанию номера. Из сетевого графика видно, что работа под номером 11 является критической и задержки в сроках ее выполнения отразятся на всем процессе создания системы безопасности. Из этого следует, что контролю сроков выполнения работы прокладки кабельных сетей следует уделять особое внимание.

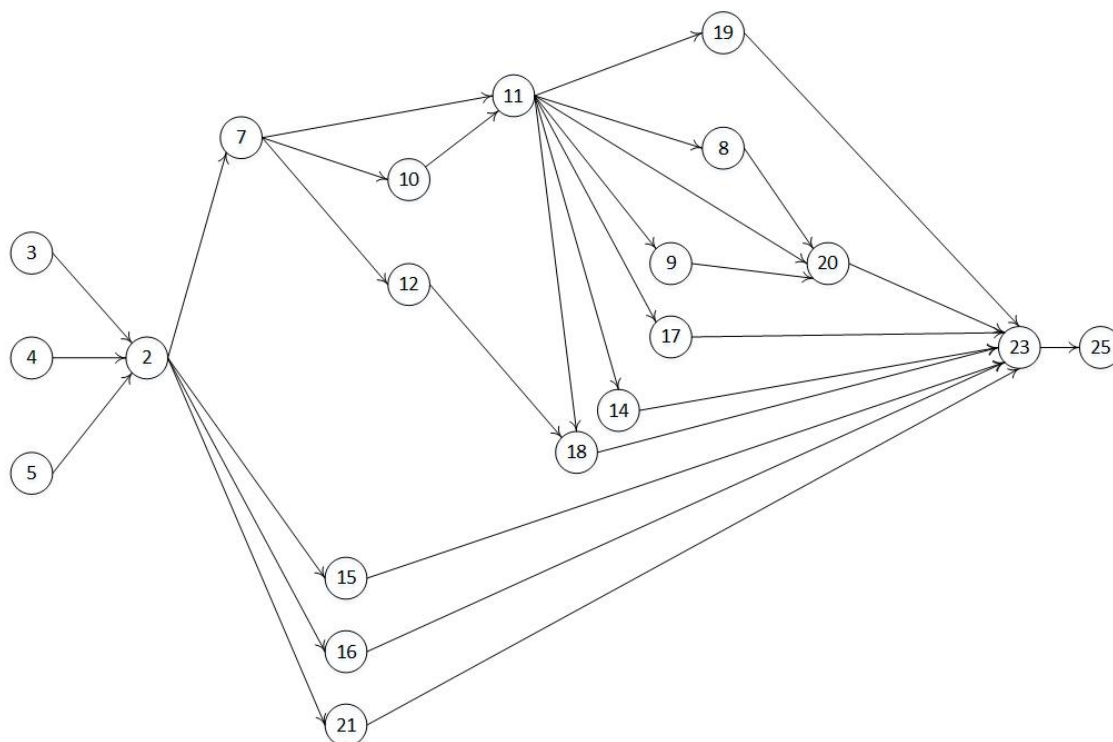


Рис. 2 – Обобщенный сетевой график проекта системы безопасности

Следующим шагом формализации процесса управления проектами систем безопасности, упрощения и увеличения скорости работы сотрудников целесообразно разработка шаблонов внутренних документов проектов [6]: описание роли и ответственности; перечень работ проекта, описание содержания проекта; требования, предъявляемые к количеству человеческих ресурсов при выполнении проекта; планирование задач проекта; диаграмма Ганта для операций проекта; перечень контрольных событий; вероятности и степени воздействия рисков на проект; устав проекта; реестр участников проекта; матрица ответственности проекта; стратегия реагирования на риски. Использование шаблонов внутренних документов проектов совместно со структурной декомпозицией работ и обобщенным сетевым графиком значительно сократит время фазы планирования проекта системы безопасности.

#### Список литературы / References

1. ГОСТ Р. 61508-1-2007. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 1. Общие требования //М.: Стандартинформ. – 2008. – 44 с.
2. ГОСТ Р 54869 — 2011. Проектный менеджмент. Требования к управлению проектом [Текст]. – Введ. 2012–09–01. – М. : Стандартинформ, 2012. – III, 14 с.
3. Пак В. Д. Что такое проект? Определение и признаки. / В. Д. Пак // Международный научно-исследовательский журнал. – 2013. – № 8 (15) Часть 3. – С. 133–134.
4. Guide A. Project Management Body of Knowledge (PMBOK® GUIDE) //Project Management Institute. – 2001.
5. Kerzner H. R. Project management: a systems approach to planning, scheduling, and controlling. – John Wiley & Sons, 2013.
6. Шаблоны документов для управления проектами [Текст]: [сборник : 16+ / А. С. Кутузов и др.] - 4-е изд., испр. - Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. - 163 с.

#### Список литературы на английском языке / References in English

1. GOST R. 61508-1-2007. Funkcional'naja bezopasnost' sistem jelektricheskikh, jelektronnyh, programmiruemyh jelektronnyh, svjazannyh s bezopasnost'ju. Chast' 1. Obshhie trebovanija [Functional safety of electrical systems, electronic, programmable electronic safety-related. Part 1: General requirements] //М.: Standartinform. – 2008. – 44 p. [in Russian]
2. GOST R 54869 – 2011. Proektnyj menedzhment. Trebovanija k upravleniju proektom [Project management. Requirements for project management]. – Vved. 2012–09–01. – М. : Standartinform, 2012. – III, 14 p. [in Russian]



3. Pak V. D. Chto takoe proekt? Opredelenie i priznaki. [What is the project? Definition and features] / V. D. Pak // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International Research Journal]. – 2013. – № 8 (15) Chast' 3. – P. 133–134. [in Russian]
4. Guide A. Project Management Body of Knowledge (PMBOK® GUIDE) // Project Management Institute. – 2001.
5. Kerzner H. R. Project management: a systems approach to planning, scheduling, and controlling. – John Wiley & Sons, 2013.
6. Shablony dokumentov dlja upravlenija proektami [Project management documents templates]: [sbornik : 16+ / A. S. Kutuzov and others] – 4ed edition., ispr. - Moskva: BINOM. Laboratorija znaniy, 2014. - 163 p. [in Russian]

DOI: 10.18454/IRJ.2016.54.178

Кулиш А.В.

Аспирант, Санкт - Петербургский горный университет

**БЕЗОПАСНОСТЬ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ****Аннотация**

*В этой работе предлагается система шифрования на основе искусственных нейронных сетей типа GRNN. Нейронная сеть используется для построения эффективной системы шифрования с использованием постоянно изменяющегося ключа. Нейронные сети предлагают очень мощную и общую структуру для представления нелинейного отображения из нескольких входных переменных для нескольких выходных переменных. Нейронную сеть можно рассматривать как подходящий выбор для функциональных форм, используемых для операций шифрования и дешифрования.*

**Ключевые слова:** нейронная сеть, шифрование, дешифрование, ключ шифрования .

Kulish A.V.

Postgraduate student, Saint - Petersburg Mining University

**DATA SECURITY BASED ON NEURAL NETWORKS****Abstract**

*In this paper, we propose an encryption system based on artificial neural networks GRNN type. A neural network is used to build an effective encryption system using a constantly changing key. Neural networks offer a very powerful and general framework for the non-linear mapping of multiple input variables for multiple output variables. The neural network can be considered as a suitable choice for functional forms that are used for encryption and decryption.*

**Keywords:** neural network, encryption, decryption, encryption key.

**1. Введение**

С появлением компьютера, возникла необходимость в автоматизированных инструментах для защиты файлов и другой информации, хранящейся на нем. Общим названием для инструментов, предназначенных для защиты данных и противодействию хакерам является компьютерная безопасность.

До сих пор наиболее важным инструментом для автоматизированной сетевой и коммуникационной безопасности является шифрование. Суть метода шифрования заключается в передаче данных в домен таким образом, чтобы сделать их устойчивыми к прослушиванию сети. Двумя основными методами, используемыми в области шифрования являются симметричное и асимметричное шифрование.

В симметричном шифровании, две стороны разделяют один ключ шифрования для расшифровки. Отправитель шифрует исходное сообщение ( $P$ ), которое упоминается как простой текст, используя ключ ( $K$ ), чтобы генерировать, по-видимому случайную бессмыслицу, упоминаемую как шифрованный текст ( $C$ ), т.е.:

$$C = \text{Encrypt}(K, P). \quad (1)$$

После того, как текст зашифрован, он может быть передан. После доставки зашифрованный текст может быть преобразован обратно в исходный с помощью алгоритма дешифрования и того же ключа, который был использован для шифрования, который может быть выражен следующим образом:

$$P = \text{Decrypt}(K, C). \quad (2)$$

В асимметричном шифровании используется два ключа, один ключ для шифрования и другой, парный ключ для дешифровки. Один из ключей является приватным и находится у стороны создавшей эту пару ключей, а другой обнародован. Теоретически, процесс шифрования реализован таким образом, что сообщение, зашифрованное с помощью открытого ключа, может быть расшифровано только соответствующим секретным ключом, в то время как сообщение, зашифрованное с помощью закрытого ключа, может быть расшифровано только с помощью соответствующего открытого ключа.

В этой статье представляется система шифрования на основе нейронных сетей (NNs). Нейронная сеть используется для построения эффективной системы шифрования с использованием постоянно изменяющегося ключа. Топология NN является важным вопросом, поскольку от этого зависит применение системы. Следовательно, так как приложение является проблемой вычисления, была использована многослойная топология. В настоящей работе, обобщенно-регрессионная нейронная сеть (GRNN), простая, однопараметрическая модель нейронной сети, предложенная для шифрования и дешифрования. Нейронные сети предлагают очень мощную и общую структуру для представления нелинейного отображения из нескольких входных переменных для нескольких выходных переменных. Процесс определения значений этих параметров на основе набора данных, упоминается как обучение или тренировка, и поэтому набор данных, как правило, называют обучающим множеством. Нейронную сеть можно рассматривать как подходящий выбор для функциональных форм, используемых для операций шифрования и дешифрования.

## 2. Дизайн предлагаемой системы

Функция шифрования состоит из следующих трех подфункций, описанных в следующих подразделах:

1. ключи создаются;
2. входное сообщение разбивается на блоки, равные количеству ключей и обрабатываются, один блок за один раз, в качестве входных данных для нейронной сети;
3. нейронная сеть (GRNN) используется для шифрования каждого блока данных, продуцируя зашифрованное сообщение.

### 2.1 Создание ключей

Во-первых, необходимо выбрать супер-увеличение ранца (Knapsack) для шифрования данных. Число выбранных ключей, равно  $N$ , так что:

1. сумма этих чисел (ключей) должны быть меньше  $2^x$ , где  $x = 2^N$ , и
2. числа не могут быть равны ( $K_1 \neq K_2 \neq \dots \neq K_n \neq 0$ )

Для того, чтобы сохранить моделирование простым, были выбраны объекты со следующим номерами: 27, 14, 68, так что  $K_1 = 27$ ,  $K_2 = 14$  и  $K_3 = 68$  будут ключами.

### 2.2 Разбивая входные данные

Предположим, что  $M$  представляет собой набор  $N$ -битовых начальных однополярных данных, т.е.:

$$M_i = \{0, 1\}, 0 \leq i \leq N-1. \quad (3)$$

В этой модели, 3-битный открытый текст вводится ( $N = 3$ ) и 8-битный зашифрованный текстовый выход ( $2^N$ ). Теперь нужно что-то зашифровать, например число 011010110. Во-первых, нужно разбить его на блоки ( $N = 3$ ) длиной равной длине рюкзака, таким образом: 011 010 110. В первом блоке (011), есть 1-е, второе и третье места. Таким образом, берем второй и третий ключи и добавляем их друг к другу:  $0 + 14 + 68 = 82$ . Повторение процедуры для всех блоков входных данных дает зашифрованную версию 01001000, как это показано в таблице 1. Зашифрованные данные затем будут переданы получателю.

Таблица 1 – Полная структура учебных наборов данных

Вход			Выход							
$P_3$	$P_2$	$P_1$	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$	$C_7$	$C_8$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0
0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0
0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0
1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1
1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1
1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1
1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1

### 2.3 Предлагаемая система шифрования на основе нейронной сети

Нейронная сеть представляет собой структуру (сеть) состоящую из множества соединенных между собой звеньев (искусственных нейронов). Каждое звено имеет характерный ввод / вывод (I / O) и реализует локальное вычисление или функцию. Выход любого звена определяется характеристиками его ввода / вывода, его взаимосвязи с другими звеньями, а также внешними входами, если таковые имеются.

В данной работе GRNN простая, один параметр модели нейронной сети, предложен для шифрования и дешифрования.

Обобщённо-регрессионная нейронная сеть (GRNN) была разработана Шпехтом и является простой, но очень эффективной локально приближенной, основанной на нейронной сети, в смысле оценки функции распределения вероятностей. Основные преимущества GRNN заключаются в следующем:

- быстрое обучение;
- сходимости к оптимальной регрессионной поверхности для большого количества образцов;
- эффективное использование разреженных данных;
- возможность обработки нестационарных данных.

GRNN использует стандартную статистическую формулу для расчета условного среднего  $Y$  скалярной случайной величины  $y$  дается измерение  $X$  векторной случайной величины  $x$ . Вектор случайной величины  $x$  соответствует входу сети и случайная  $y$  соответствует выходу сети. Помимо использования в качестве статического регрессионного метода, GRNN может использоваться, когда статистические данные изменяются с течением времени, используя полученные в последнее время, определяя постоянную времени и порога.

Для того, чтобы построить GRNN:

1. установить количество входного, промежуточного и выходного слоев (Processing Elements или PEs);
2. выбрать промежуточные звенья;
3. выбрать постоянную времени и фактор сброса;
4. задать радиус влияния.

Это простой механизм кластеризации, который назначает входной вектор в кластере, если кластер центра это кластер центр ближайшего к входному вектору и ближе, чем радиус влияния. В противном случае, входной вектор назначается как центр нового кластера (если это возможно).

Реализация GRNN допускает экспоненциально убывающую  $\sigma$  следующего вида:

$$\sigma = \frac{S}{N^{E/M}}, \quad (4)$$

где  $N$  это количество промежуточных звеньев,  $M$  число входных PE и  $E$  должно лежать в диапазоне от 0 до 1.

#### 2.4 Построение и обучение нейронной сети

Проблемной является вычислительная задача, поэтому будет использована многослойная GRNN. GRNN, используемая для шифрования состоит из трех слоев. Каждый слой состоит из ряда нейронов. В процессе шифрования, сообщение ввода делится на 3-битные наборы данных, в то время как 8-битные наборы производятся после процесса шифрования. Базовая архитектура GRNN показана на рисунке 1. Каждый слой состоит из следующих элементов:

1. входной слой, состоящий из 3-х узлов, представляющий собой N-битные блоки;
2. промежуточный слой из 8 узлов;
3. выходной слой из 8 узлов, используемых для определения расшифрованного выходного сообщения.

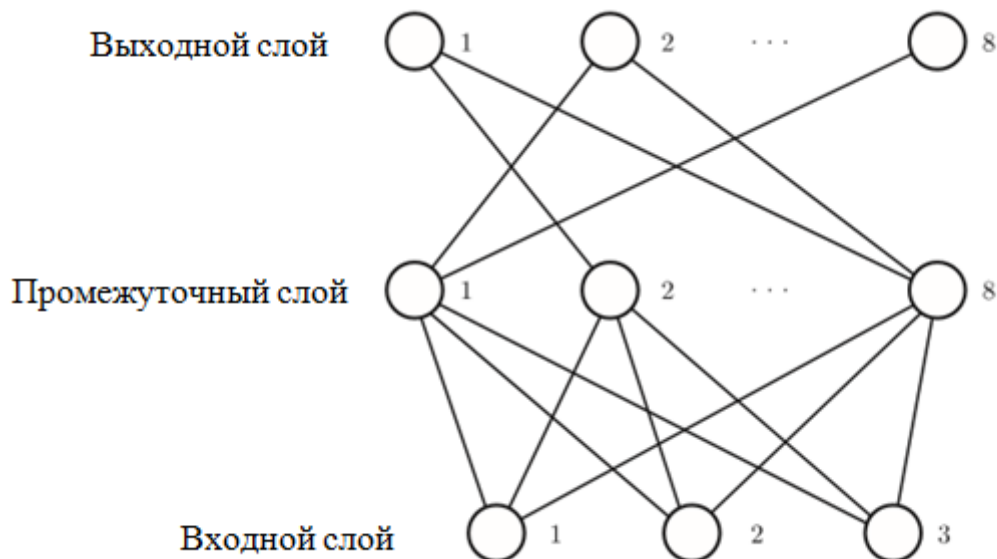


Рис. 1 – Трехслойная архитектура GRNN

Остальные параметры GRNN:

- временная постоянная = 1000.0;
- фактор сброса = 0.000;
- радиус влияния = 0.050;
- $\sigma$  scale=1.000;
- $\sigma$  exponent=0.500.

Значение 0.5 для  $E$  подходит в большинстве случаев. Значение 0.0 для  $E$  позволяет использовать постоянное значение для  $\sigma$  (равное 5).

Для изучения поведения NNS, используются два учебных комплекта:

- полная схема входов, который состоит из всех возможных входных данных, или
- половина схемы, упомянутой выше.

В начале обучения ключа шифрования, GRNN обеспечивается действительными состояниями, как показано в таблице 1, для полного образа и таблице 2, для половины входного образа. Обучающий набор повторно представляется к сети и весовые значения корректируются, пока общая ошибка не будет ниже заданного уровня толерантности. После того, как матрица весов построена, сеть проверяется на шифрование.

Таблица 2 – Полунаполненная структура наборов учебных данных

Вход			Выход							
$P_3$	$P_2$	$P_1$	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$	$C_7$	$C_8$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0
1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1
1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1

### 3 Результаты

Для того, чтобы оценить рассмотренный механизм, этапы шифрования типичных цифровых данных, показаны ниже. Протестировано поведение нейронной сети, описанной в предыдущем разделе, и обнаружено, что:

1. нейронная сеть работает надежно при использовании полного образа и абсолютно никаких ошибок не обнаружено в выходах, как показано в таблице 3;
2. производительность сети уменьшается при использовании только половины образа. Из-за многочисленных ошибок, обнаруженных в выходах, сеть не может зашифровать входные данные, как показано в таблице 4.

Таблица 3 – Результаты шифрования сети для полной образа входов

Тестовые данные			Выходы							
$P_3$	$P_2$	$P_1$	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$	$C_7$	$C_8$
0	0	0	0.000000	0.018004	0.000325	0.017732	0.035753	0.035063	0.035109	0.018057
0	0	1	0.000000	0.982032	0.000325	0.017732	0.035753	0.964971	0.018050	0.018057
0	1	0	0.000000	0.018004	0.017733	0.000324	0.982373	0.947597	0.947279	0.018057
0	1	1	0.000000	0.982031	0.017733	0.982031	0.017733	0.052370	0.982031	0.018057
1	0	0	0.000000	0.018004	0.017699	0.964386	0.982407	0.018315	0.964703	0.982084
1	0	1	0.000000	0.982032	0.017699	0.964386	0.982407	0.981720	0.964391	0.982084
1	1	0	0.000000	0.018004	0.964455	0.017629	0.999678	0.034964	0.034907	0.982084
1	1	1	0.000000	0.982031	0.964455	0.017629	0.999678	0.965070	0.017945	0.982084

Таблица 4 – Результаты шифрования сети для полунаполненного образа входов

Тестовые данные			Выходы							
$P_3$	$P_2$	$P_1$	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$	$C_7$	$C_8$
0	0	0	0.000000	0.000000	0.072325	0.197732	0.465575	0.195063	0.393109	0.269805
0	1	0	0.000000	0.000000	0.197733	0.072324	0.802373	0.534597	0.606279	0.269057
1	0	0	0.000000	0.000000	0.196862	0.534438	0.803407	0.072231	0.607703	0.731084
1	1	0	0.000000	0.000000	0.534455	0.196629	0.927678	0.196496	0.392907	0.731084

В рамках испытаний было проведено исследование влияния числа скрытых блоков на модель конвергенции. Результаты этого исследования показаны на рисунке 2, на котором видно изменение ошибок в зависимости от количества нейронов в скрытом слое шифрования. Ошибки быстро уменьшаются до нуля при 8 скрытых нейронах, из чего следует, что число нейронов в скрытом слое должно быть равно числу нейронов в выходном слое.



Рис. 2 – Зависимость количества ошибок от количества нейронов

На приемном терминале, процесс дешифровки является обратным процессом шифрования. Для того, чтобы правильно расшифровывать шифровки данных:

1. приемник должен использовать одни и те же номера ключей для расшифровки данных;
2. данные должны достигнуть своего предполагаемого приемника, так как только приемник знает правильные номера ключей, необходимых для дешифровки.

Сообщение должно быть подлинным, так как только отправитель имеет номера ключей, необходимых для шифрования сообщения, таким образом номера ключей приемника смогут расшифровать его правильно.

#### 4 Заключение

Эта статья представляет собой попытку разработать систему шифрования на основе искусственных нейронных сетей типа GRNN, инвариантного к секретным ключам. Предлагаемый NN был испытан на различных учебных итерациях и для различного числа скрытых нейронов, входных данных. Результаты моделирования показали очень хороший результат, с относительно более высокой производительностью, чем традиционные методы шифрования.

#### Список литературы / References

1. Stallings W. Data and Computer Communications / W. Stallings. – New Jersey, 2002. – 901 p.
2. Tanenbaum A. Computer Networks / A. Tanenbaum. – Prentice Hall PTR, 1996. – 813 p.
3. Stallings W. Cryptography and Network Security Principles and Practice / W. Stallings. – New Jersey, 2002 – 592 p.
4. Specht D. F. IEEE Trans. Neural Networks 2 (6)/ D. F. Specht. – Kansas City, 1991 – 568 p.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.54.249

Макшаков Е.Д.<sup>1</sup>, Подкин Ю.Г.<sup>2</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-0002-5636-9152, Старший преподаватель,<sup>2</sup>ORCID: 0000-5728-4241, Доктор технических наук, профессор,

Сарапульский политехнический институт (филиал)

ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова»

**ИДЕНТИФИКАЦИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ ПО ЭКВИВАЛЕНТНЫМ РЕЛАКСАЦИОННЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ****Аннотация**

Обоснована необходимость разработки средств оперативного неразрушающего контроля пищевых продуктов при производстве и экспресс-оценке качественных показателей товаров пищевого рынка, в частности, растительных масел. Проведено экспериментальное исследование по определению эквивалентных релаксационных электрических характеристик растительных масел с применением разработанной релаксационной диэлектрической измерительной системы. Показана возможность идентификации растительных масел с помощью применения диэлектрических релаксационных измерительных преобразователей.

**Ключевые слова:** растительные масла, диэлектрическая проницаемость, удельное сопротивление, эквивалентные релаксационные электрические характеристики, идентификация.

Makshakov E.D.<sup>1</sup>, Podkin Yu.G.<sup>2</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-0002-5636-9152, Senior Lecturer,<sup>2</sup>ORCID: 0000-5728-4241, PhD in Engineering, Professor,

Sarapul Polytechnic Institute (branch of) Kalashnikov Izhevsk State Technical University

**IDENTIFICATION OF VEGETABLE OILS IN ELECTRICAL RELAXATION EQUIVALENT CHARACTERISTICS****Abstract**

Necessity of the development of the operational non-destructive testing of food products in the production and rapid evaluation of qualitative indicators of the food market of goods, in particular vegetable oils has been proved. An experimental study to determine the electrical relaxation equivalent characteristics of vegetable oils using relaxation dielectric developed measuring system has been held. The possibility of identification of vegetable oils by applying dielectric relaxation transducers has been presented.

**Keywords:** vegetable oils, dielectric constant, resistivity, electrical relaxation equivalent characteristics, identification.

Анализируя ситуацию, сложившуюся в настоящее время при производстве и реализации пищевых продуктов, и в частности растительных жиров, можно выделить две проблемы, касающиеся контроля качества готового масла. В первую очередь это сложность контроля исходного сырья и технологического процесса производства растительных жиров. Из-за разнообразия генезиса и состава исходных материалов в широких пределах меняются их физико-химические свойства. Наиболее существенно различаются плотность, реология, факторы формы, влажность, варианты упаковки. При организации входного контроля приходится нормализовать консистенцию исходных продуктов и выбирать методы контроля, обеспечивающие максимальную информативность по потребительским свойствам. Поэтому такой контроль, как правило, производится в лабораторных условиях по стандартизованным методикам, зачастую с использованием химического анализа и требует применения специализированного оборудования и реактивов. Некоторые методы входного контроля до сих пор не удается автоматизировать, или за основу принимаются, хотя и достаточно информативные, но низкоскоростные процессы, поэтому зачастую процедуры контроля требуют значительных временных затрат. Тем не менее, процедуры входного контроля при всем их многообразии поддаются унификации. Для организации входного контроля можно использовать адекватные измерительные средства, а методики измерений легко формализуются и обеспечивают достаточную для технологического применения точность результатов.

Совершенно другие требования предъявляет система выходного контроля пищевых масел. Если производственные предприятия могут для контроля готовых продуктов использовать высокоинформативные оптические методы и на основе спектрального анализа выполнять сертификацию всей линейки производимых масел, то организация внешнего контроля оказывается весьма проблематичной. Особенно сложно организовать выявление фальсификата, что довольно актуально в условиях неконтролируемого рынка. Торгующие организации предоставляют потребителю широчайший ассортимент как видов, так и брендов различного рода товаров. Но за фактический состав реализуемых пищевых продуктов ответственности практически не несут. В результате многие пищевые продукты на нашем столе по составу далеки от номинального. Наиболее часто фальсифицируются пищевые жиры. Широкое распространение различных имитаторов и, в первую очередь, пальмового масла привело к тому, что доля фальсификата растительных жиров стремится к 100%, а учитывая постоянно растущие объемы потребляемых масел можно говорить об угрозе безопасности.

В этих условиях становится очевидной необходимость создания портативного идентификатора состава растительного масла.

Наиболее перспективным способом, позволяющим осуществлять оперативный контроль качественных характеристик изделия на всех стадиях его изготовления, является диэлектрический. Поскольку метод основан на зондировании вещества электромагнитным полем, он легко реализуется с помощью емкостных первичных измерительных преобразователей и вторичных приборов на основе измерителей иммитанса. Пищевые масла представляют собой смесь органических веществ, основная доля из которых – триглицериды (до 97%), причем после рафинации их содержание повышается (до 99,5%), остальную часть составляют фосфолипиды, стерины, продукты

гидролиза триглицеридов [1]. Результатом реакции гидролиза триглицеридов является образование глицерина и свободных кислот [2], очистка от которых производится в ходе рафинирования. Таким образом, пищевые масла представляют собой дисперсные системы, которые на низких частотах имеют явно выраженные области дисперсии. Их размещение и характер проявления лишь условно может быть описан максвелл-вагнеровской теорией. Фактически дисперсионные характеристики таких эмульсий строго индивидуальны, что с одной стороны позволяет их использовать для идентификации масел, но с другой – требует применения довольно сложных и дорогостоящих диэлектрических спектроанализаторов. Для практической реализации системы идентификации нужно сформировать базу двух-трехкомпонентных диэлектрических характеристик по всем видам масел и разработать диэлектрический сканер с зашитой в память этой базой. Такой подход достаточно универсален и гарантирует идентификацию состава всех масел, характеристики которых имеются в его базе данных. Однако трудоемкость построения такой системы очень велика, что неизбежно отразится на стоимости создаваемых изделий.

Альтернативный подход – разработка методов, позволяющих работать с определенными характеристическими частотами. Так, в работе [1] такие частоты определяют путем сканирования эквивалентной электрической проводимости исследуемого образца масла в диапазоне (35...100) кГц при двух различных температурах и по корреляции с перекусным числом используют эти частоты для идентификации масел. Однако получение диэлькометрической информации на фиксированных частотах неизбежно влечет за собой снижение информативности.

Решение создавшейся проблемы возможно путем перехода от частотного преобразования диэлектрических характеристик к временному преобразованию. С этой целью можно использовать релаксационные диэлькометрические измерительные преобразователи. Это тем более оправдано, когда объектом контроля выступают масла, которые характеризуются большими временами релаксации составляющих их компонентов. В этом случае структура разрабатываемых средств контроля и сам процесс преобразования диэлектрических характеристик значительно упрощаются, повышается информативность, так как отклик на измерительный сигнал представляет собой переходной процесс, время которого зависит от времен релаксаций всех входящих в состав компонентов.

В этой работе определение эквивалентных релаксационных электрических характеристик растительных масел производилось релаксационной диэлькометрической системой, в основу которой был положен измеритель параметров RC-двухполосников [3] с расширенным диапазоном измерения по каналу  $R$ . В качестве емкостного первичного измерительного преобразователя использовалась трехэлектродная коаксиальная ячейка с изменяемой емкостью 15,1 пФ. Протоколирование измерительной информации осуществлялось персональным компьютером посредством передачи ее по интерфейсу RS-232 от микроконтроллера (МК), который является ядром измерителя. Температура масел контролировалась погружным цифровым термодатчиком DS18B20, также сопряженным с МК, и составляла 23 °С. Для эксперимента были выбраны масла: нерафинированное подсолнечное «Кубанское»; рафинированные подсолнечные «Кубанское», «Россиянка», «Чистополье»; нерафинированное горчичное; нерафинированное льняное.

Результаты измерений приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Эквивалентные релаксационные электрические характеристики растительных масел

№	Масло	$C$ , пФ	$R$ , ГОм
1	Нерафинированное «Кубанское»	61,2	1,6...1,8
2	Рафинированное «Кубанское»	61,5	5,1...5,8
3	Рафинированное «Россиянка»	61,4	$>10^3$
4	Рафинированное «Чистополье»	61,6	28...116
5	Нерафинированное горчичное	61,5	2,0...2,4
6	Нерафинированное льняное	63,1	0,175...0,184

Из полученных данных следует, что наиболее надежно идентифицируется процесс рафинирования. Поскольку в ходе рафинирования производится очистка продукта от глицерина и свободных кислот [2], этот процесс отражается резким уменьшением удельной проводимости и соответствующим возрастанием эквивалентного сопротивления контролируемого образца. Как следует из таблицы 1, эквивалентное сопротивление рафинированных образцов возрастает примерно на порядок, что может служить основанием для построения соответствующей системы идентификации. Наши данные удовлетворительно согласуются с результатами, полученными другими авторами [1], [4]. С большей осторожностью можно говорить об идентификации марки контролируемого масла. Хотя приведенные данные и свидетельствуют о чувствительности эквивалентного сопротивления к типу масла, достигнутая в эксперименте разрешающая способность явно недостаточна для надежной идентификации. В частности образцы 1 и 5 имеют довольно близкие эквивалентные сопротивления. В целом, можно ожидать, что при контроле масел различных производителей, а также расширении спектра контролируемых продуктов зоны близких значений эквивалентных сопротивлений могут перекрываться.

Возникающую неопределенность идентификации можно снизить, вводя дополнительные информационные каналы. В проведенном исследовании в качестве дополнительного был введен емкостный канал. Из данных таблицы видно, что емкостный и резистивный каналы слабо коррелированы. Следовательно, такой канал можно и нужно использовать, поскольку информативность системы при двухпараметровом контроле повышается. Дополнительно информативность можно повысить при повышении разрешающей способности по емкостному каналу, однако стоимость такой аппаратуры существенно возрастет. Поэтому разумно полагать, что для портативных экспресс-идентификаторов состава масел можно ограничиться количественным контролем по  $R$  и опознаванием по  $C$ , а для создания лабораторных идентификаторов использовать расширенный функционал контролируемых параметров.

**Список литературы / References**

1. Пилипенко Т.В. Возможность использования электрофизических методов для идентификации и контроля качества растительных масел / Т.В. Пилипенко, Л.Б. Коротышева, С.М. Малютенкова // Техничко-технологические проблемы сервиса. 2015. – № 3(33). – С. 35-39.
2. Тютюнников Б. Н. Химия жиров / Б. Н. Тютюнников, З. И. Бухштаб, Ф. Ф. Гладкий и др. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1992. – 448 с.
3. Пат. № 2503020 Российская Федерация, МПК G01R27/00. Измеритель параметров RC-двухполюсников / Макшаков Е.Д.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова». – № 2012124471/28; заявл. 13.06.2012; опубл. – 27.12.2013.
4. Пилипенко Т.В. Возможность использования электрофизических методов для идентификации и контроля качества растительных масел / Т.В. Пилипенко, Л.П. Нилова, Н.И. Пилипенко // Экологические проблемы биохимии и технологии. 2014. – Том 2, № 2. – С. 41-49.

**Список литературы латинскими символами / References in Roman script**

1. Pilipenko T.V. Vozmozhnost' ispol'zovaniya jelektrofizicheskikh metodov dlja identifikacii i kontrolja kachestva rastitel'nyh masel [The possibility of using electrophysical methods for the identification and quality control of vegetable oils] / T.V. Pilipenko, L.B. Korotyshcheva, S.M. Maljutenkova // Tehniko-tehnologicheskie problemy servisa [Technical and technological problems of service]. 2015. – № 3(33). – P. 35-39. [in Russian]
2. Tjutjunnikov B. N. Himija zhirov [Chemistry of fats] / B. N. Tjutjunnikov, Z. I. Buhstap, F. F. Gladkij i dr. – 3-e izd., pererab. i dop. – M.: Kolos, 1992. – 448 P. [in Russian]
3. Pat. № 2503020 Rossijskaja Federacija [Russian Federation], MPK G01R27/00. Izmeritel' parametrov RC-dvuhpoljusnikov [Meter of parameters of rc-dipoles] / Makshakov E.D.; zajavitel' i paten-toobladatel' FGBOU VPO «Izhevskij gosudarstvennyj tehničeskij uni-versitet imeni M.T. Kalashnikova» [Proprietor Kalashnikov Izhevsk State Technical University]. – № 2012124471/28; zajavl. 13.06.2012; opubl. – 27.12.2013. [in Russian]
4. Pilipenko T.V. Vozmozhnost' ispol'zovaniya jelektrofizicheskikh metodov dlja identifikacii i kontrolja kachestva rastitel'nyh masel [The possibility of using electrophysical methods for the identification and quality control of vegetable oils] / T.V. Pilipenko, L.P. Nilova, N.I. Pilipenko // Vestnik JuUrGU [Bulletin of the South Ural State University] . 2014. – V. 2, № 2. – P. 41-49. [in Russian]



# AGRIS

*Международный научно-исследовательский журнал теперь индексируется в Agris.*

*Статьи, размещаемые в Agris, имеют статус публикаций ВАК.*

**AGRIS (International System for Agricultural Science and Technology)** – это международная библиографическая база данных с более чем 7.5 млн структурированных библиографических данных по сельскому хозяйству и смежным дисциплинам.



DOI: 10.18454/IRJ.2016.54.190

Малахова Т.А.<sup>1</sup>, Салаткова Н.П.<sup>2</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-0003-3598-7805, Кандидат сельскохозяйственных наук,<sup>2</sup>кандидат технических наук, доцент

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина», г. Белгород  
**ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ШАШЛЫКА «ПИКАНТНЫЙ» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОРОШКА  
 СУХОГО МЁДА**

**Аннотация**

В статье рассматривается возможность использования порошка сухого мёда в технологии маринованных мясных полуфабрикатов. В следствии того что в Белгородской области принята программа «Развитие пчеловодства», разработанная с целью пропаганды культуры потребления продукции пчеловодства, увеличения объёма и расширения ассортимента получаемых продуктов пчеловодства, их переработки и реализации, производство данных продуктов с использованием порошка сухого мёда, на наш взгляд является актуальным направлением. В данной статье рассмотрены вопросы разработок технологии и рецептуры шашлыка «Пикантный» с использованием порошка сухого мёда. Разработки велись на кафедре технологии сырья и продуктов животного происхождения ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ. Порошок сухого мёда был получен путем сушки на универсальном сушильно-дробильном оборудовании ЮВЭТ 005. В результате исследований установили, что оптимальной концентрацией внесения в маринованный полуфабрикат является 5% порошка сухого мёда. В статье представлены результаты органолептических исследований готовых образцов маринованных мясных полуфабрикатов. В результате был определен наиболее привлекательный для потребителя образец шашлыка «Пикантный» №3, который обладал достаточным уровнем потребительских свойств, на его поверхности образовалась золотистая корочка, а также он отличался утонченным вкусом, сочностью и нежностью.

**Ключевые слова:** шашлык «Пикантный», маринад, рецептура, технология, порошок сухого мёда.

Malakhova T.A.<sup>1</sup>, Salatkova N.P.<sup>2</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-0003-3598-7805, PhD in Agriculture,

FSBEI of Higher Education "Belgorod State Agricultural University named after V.Y. Gorin",

<sup>2</sup>PhD in Engineering, Associate Professor

FSBEI of Higher Education "Belgorod State Agricultural University named after V.Y. Gorin"

**TECHNOLOGY OF CREATING SPICY SHASHLIK WITH THE HELP OF DRY HONEY POWDER****Abstract**

The article discusses the possibility of using dry honey powder in the production of marinated meat products. Belgorod Region has adopted a program called "Beekeeping Development," which was designed to promote the culture of bee products consumption, to increase the volume and extend the range of bee products, process them and sell. Thus, the production of these products with the help of dry honey powder is, in our opinion, a good solution. This article describes the issues related to the development of the recipe for "Spicy" shashlik with dry honey powder. The development took place at the Department of Raw Materials Technology and Products of Animal Origin of FSBEI of Higher Education Belgorod State Agricultural University. Dry honey powder was obtained by means of universal drying at the universal drying and crushing equipment YUVET 005. As a result, studies have found that perfect concentration of dry honey powder in semi-finished marinated product comprises 5%. The article presents the results of sensory studies of the samples of marinated semi-finished meat products. As a result, we determined the best sample of "Spicy" shashlik №3 for the consumer – it has a sufficient level of consumer properties, there is golden crust on its surface and it has a refined taste characterized by juiciness and tenderness.

**Key words:** "Spicy" shashlik, marinade, recipe, technology, dry honey powder.

В настоящее время современные потребители активно стали заботиться о своём здоровье в результате этого перед производителями ставится основная задача по разработке технологий производства полезных для здоровья продуктов питания [1, С. 135]. Мёд биологически сложный продукт. Он является неиссякаемым источником биологически активных веществ. По составу, усвояемости, лечебным свойствам он, безусловно, тяготеет к продуктам растительного происхождения. Но как правило, в чистом виде мёд невозможно и трудно использовать во многих технологических процессах, поэтому актуальным становится использование порошка сухого мёда, который не только сохраняет полезные свойства, но и прост в использовании. По мимо этого внимание ученых и врачей всё чаще обращается к природным средствам и при этом использовать целый комплекс биологически активных веществ, например, таких как порошок сухого мёда. Использование в производстве порошка сухого мёда позволит не только повысить биологическую ценность продуктов т.к. отличается большим содержанием биологически активных веществ, а также расширить ассортимент мясной продукции не только в Белгородской области, но и в других регионах нашей страны. В настоящее время включение пищевых добавок в перечень продукции, запрещенной к ввозу Российской Федерации, согласно постановлению Правительства РФ от 07.08.2014 № 77, поставило предприятия пищевой и перерабатывающей промышленности в критическую ситуацию, так как до 75 % используемых пищевых добавок поступают по импорту. Оперативное решение этого вопроса за счет внесения соответствующих изменений в постановление и разрешение поставок микроингредиентов является сегодня актуальной, и свидетельствуют, с одной стороны, о понимании роли пищевых микроингредиентов в выпуске пищевой продукции, с другой стороны, являются сигналом о необходимости развития собственной индустрии пищевых ингредиентов. Отечественная пищевая промышленность является импортзависимой по многим микроингредиентам. Этот негативный фактор сдерживает реализацию «Стратегии развития пищевой и перерабатывающей промышленности Российской Федерации на период до 2020 г.» и «Государственной программы развития АПК на 2013-2020 гг.» [3, С. 8; 4].

На сегодняшний день в Белгородской области принята программа «Развитие пчеловодства», разработанная с целью пропаганды культуры потребления продукции пчеловодства, увеличения объёма и расширения ассортимента получаемых продуктов пчеловодства, их переработки и реализации. Рассматривая область пищевых технологий, следует отметить, что в настоящее время по-прежнему актуальным остаётся использование мёда в производстве мяса. Проанализировав различные технологические процессы по изготовлению мясных продуктов, мы установили, что сахара используются в малых дозах и то не во всех ассортиментных группах. Единственным продуктом из мяса в состав, которого возможно включение избытка сахаров, являются маринованные полуфабрикаты. Они удобны в производстве, упрощают технологический процесс и добавляются в те продукты, где привычный мёд применить невозможно. В связи с этим данная тематика представляет собой интересное и актуальное научное направление.

**Цель работы.** Совершенствование технологии производства маринованных полуфабрикатов из свинины за счет введения в рецептуру маринада порошка сухого мёда.

**Задачи исследований:** определить оптимальный уровень внесения порошка сухого мёда в маринад; произвести сравнительную оценку исходного сырья и полученного маринованного полуфабриката (шашлык из свинины «Пикантный»).

**Место, условия и методика проведения опытов.** Исследования проводили на кафедре технологии сырья и продуктов животного происхождения ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ. Органолептическая оценка проводилась по ГОСТ 9959-91. Продукты мясные. Общие условия проведения органолептической оценки по пяти бальной шкале.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Предварительно перед использованием пищевая добавка – порошок сухого мёда была подвергнута исследованию. За основу были взяты нормы, разрешенных СанПиН 42.123.4089-86 «Предельно допустимые концентрации тяжелых металлов и мышьяка в продовольственном сырье и пищевых продуктах» (табл. 1) [2].

Проведённая оценка пищевой добавки (порошок сухого мёда) показала, что она соответствует нормам, разрешенных СанПиН 42.123.4089-86 «Предельно допустимые концентрации тяжелых металлов и мышьяка в продовольственном сырье и пищевых продуктах». Содержания токсических элементов в порошке сухого мёда находится в пределах нормы.

Таблица 1 – Определение содержания токсических элементов в порошке сухого мёда

Анализируемый показатель	Результат испытаний порошка сухого мёда	Допустимые нормы по СанПиН 2.3.2.1078-01	Единицы измерений
1	2	3	4
Кадмий	Не обнаружен	0,05	мг/кг
Свинец	0,012	1,0	мг/кг
Мышьяк	0,03	0,5	мг/кг

На следующем этапе с целью расширения ассортимента мясных изделий исследований изучали влияние количественного и процентного содержания порошка сухого мёда в маринаде на вкусовые свойства мясной системы. По разработанной нами технологической схеме производства шашлыка «Пикантный», приведенной на рисунке 1, нами было отобрано 5 образцов мясного сырья по 300 г. Первый образец был контрольный, а второй, третий, четвертый и пятый отличался введением в состав маринада порошка сухого мёда соответственно по 3; 4; 5; 6% от массы исходного сырья. Рецепт вводимого рассола в количестве 20% к весу сырья включала помимо посолочных ингредиентов пищевую добавку Альмонат Супер Комби, а в разработанный нами состав маринада помимо порошка сухого мёда были взяты лук репчатый, уксус пищевой 9% и перец чёрный молотый. После проведенной тепловой обработки, дегустация готового шашлыка «Пикантный» проводилась по следующим показателям: внешний вид, цвет, запах, консистенция, вкус, сочность. По внешнему виду все образцы проявили себя хорошо. Дегустаторы особенно оценили внешний вид шашлыка «Пикантный» с внесением 5% порошка сухого мёда. Хуже всех себя показал шашлык «Пикантный», в который внесли 3% порошка сухого мёда. В результате был определен наиболее привлекательный для потребителя образец шашлыка «Пикантный» №3, который обладал достаточным уровнем потребительских свойств, на его поверхности образовалась золотистая корочка, а также он отличался утонченным вкусом, сочностью и нежностью.

После проведенной тепловой обработки, дегустация готового шашлыка «Пикантный» проводилась по следующим показателям: внешний вид, цвет, запах, консистенция, вкус, сочность. По внешнему виду все образцы проявили себя хорошо. Дегустаторы особенно оценили внешний вид шашлыка «Пикантный» с внесением 5% порошка сухого мёда. Хуже всех себя показал шашлык «Пикантный», в который внесли 3% порошка сухого мёда. В результате был определен наиболее привлекательный для потребителя образец шашлыка «Пикантный» №3, который обладал достаточным уровнем потребительских свойств, на его поверхности образовалась золотистая корочка, а также он отличался утонченным вкусом, сочностью и нежностью.



Рис. 1 – Технологическая схема производства шашлыка «Пикантный» с внесением порошка сухого мёда

**Заключение.** С помощью усовершенствованной технологии получен новый маринованный полуфабрикат с внесением порошка сухого мёда, органолептические свойства которого значительно выше, чем у контрольного образца. Установлено, что в результате введения в состав маринада сухого мёда в количестве 5% к массе сырья позволило улучшить органолептические показатели готового термически обработанного продукта, а также увеличить выход готовой продукции за счёт образования на поверхности продуктов реакции Майяра (меланоидинообразования) за счет взаимодействия углеводов и аминов, проявляющейся как блестящая карамелизованная корочка, препятствующая потере влаги при термической обработке.

Порошок сухого мёда полученный путем сушки на универсальном сушильно-дробильном оборудовании ЮВЭТ 005, соответствует нормам, разрешенных СанПиН 42.123.4089-86 «Предельно допустимые концентрации тяжелых металлов и мышьяка в продовольственном сырье и пищевых продуктах». Содержания токсических элементов в порошке сухого мёда находится в пределах нормы.

Таким образом, маринад, содержащий пищевую добавку – порошок сухого мёда в технологии производства шашлыка «Пикантный» способствует получению конечного продукта с высокими потребительскими характеристиками.

#### Список литературы / References

1. Глазырин С. В. Получение полуфабриката из плодов черемухи обыкновенной Восточной Сибири / С. В. Глазырин, Н. Н. Типсина, Г. А. Демиденко // Вестник Красноярского ГАУ. – 2015. – Вып. 6. – С. 135-140.
2. Малахова Т. А. Исследование порошка сухого мёда / Т. А. Малахова, Н. П. Салаткова // Современные

проблемы науки и образования [Электронный ресурс] // <http://www.science-education.ru>.

3. Никифорова Т. А. Мясные технологии / Т. А. Никифорова, Т. Н. Губасова // Импортзамещение в производстве пищевых микроингредиентов. – 2015. – № 3. – С. 8-11.

4. ФТС Таможенная статистика внешней торговли. URL: [stat.customs.ru](http://stat.customs.ru).

#### Список литературы на английском языке / References in English

1. Glasyrin S. V. Polucheniye polufabrikata iz plodov cheremukhi obyknovnoy Vostochnoy Sibiri [Obtaining Semi-Finished Products from the Fruit of European Bird Cherry in Eastern Siberia] / S.V. Glazyrin, N.N. Tipsina, G.A. Demidenko // Vesnik Krasnoyarskogo GAU. [Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University.] – 2015. – No. 6. – P. 135-140. [In Russian]

2. Malakhova T. A. Issledovaniye poroshka sukhogo mioda [Study of Dry Honey Powder] / T.A. Malakhova, N.P. Salatkova // Sovremennye problem nauki i obrazovaniya [Modern Problems of Science and Education] [Electronic resource] // <http://www.science-education.ru>. [In Russian]

3. Nikiforova T. A. Myasnye tekhnologii [Meat Technology] / T.A. Nikiforova, T.N. Gubasova // Importozameshcheniye v proizvodstve pishchevykh produktov [Import Substitution in the Production of Food Micro-Ingredients.] – 2015. – No. 3. – P. 8-11. [In Russian]

4. FCS Customs Statistics on Foreign Trade. [Electronic resource] URL: [stat.customs.ru](http://stat.customs.ru).

DOI: 10.18454/IRJ.2016.54.186

Маломыжев О.Л.<sup>1</sup>, Федотова Н.Е.<sup>2</sup>, Скutelник В.В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ORCID: 0000-0001-9964-4567, Кандидат технических наук,

<sup>2</sup>ORCID: 0000-0001-7719-6812, Кандидат экономических наук,

<sup>3</sup>ORCID: 0000-0003-4478-2983, Кандидат технических наук,

Иркутский национальный исследовательский технический университет

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН РАЗРУШЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ПОДВЕСКИ ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН

##### Аннотация

Исследованы причины разрушения деталей подвески транспортной машины. Тенденция развития современных транспортных машин направлена на уменьшение их веса и габаритных размеров. В результате, большинство элементов подвески выполняется с минимальным запасом прочности. Это в полной мере относится к направляющему аппарату подвески, в том числе рычагам. Одновременно стремление производителей к совершенствованию подвесок приводит к применению принципиально новых конструктивных решений вызывающих. При этом, производители зачастую сохраняют конструкцию отдельных деталей подвески, прочность и надёжность которых подтверждена опытом эксплуатации. Однако, изменение схем нагружения этих деталей может приводить к снижению запаса их прочности и даже разрушению. При внесении конструктивных изменений в подвеску автомобиля, даже при полном сохранении прочих характеристик транспортной машины, необходимо выполнять поверочный прочностной расчёт деталей, у которых изменяется распределение нагрузки.

**Ключевые слова:** подвеска, упругий элемент, амортизатор, стабилизатор поперечной устойчивости, гидравлическая стабилизация кузова.

Malomyzhev O.L.<sup>1</sup>, Fedotova N.E.<sup>2</sup>, Skutelnik V.V.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ORCID: 0000-0001-9964-4567, PhD in Engineering,

<sup>2</sup>ORCID: 0000-0001-7719-6812, PhD in Economics,

<sup>3</sup>ORCID: 0000-0003-4478-2983, PhD in Engineering,

Irkutsk national research Technical University

#### A STUDY ON THE CAUSES OF THE DESTRUCTION OF THE ELEMENTS UNDER STRONG VEHICLES

##### Abstract

Investigated the causes of the destruction of parts of the vehicle suspension machine. based on the conducted analysis it was found that the trend of development of modern transport vehicles is aimed at reducing their weight and dimensions. As a result, most of the suspension components you receive with a minimal margin of safety. This fully considers the guide vanes of the suspension, including control arms. The simultaneous desire of manufacturers to improve the suspensions leads to the use of a fundamentally new structural solutions causing. Thus, manufacturers often keep the design a separate suspension components, durability and reliability have been confirmed by experience that operation. However, the change of schemes of loading of these parts can lead to a decrease in margin of strength and even destruction. When making structural changes to its suspension, even at half-strength preserving other characteristics of the traffic machine, you should perform the verification strength calculation of parts, which changes the load distribution.

**Keywords:** suspension, elastic element, shock absorber, stabilizer bar, hydraulic stabilization of the body.

Приведён анализ причин разрушения деталей подвески, на примере автомобиля Infiniti QX56, и в результате получена возможность на стадии проектирования предусмотреть и избежать разрушения деталей подвески.

У рассмотренного, в качестве примера, автомобиля марки INFINITI QX56, выпуска 2013 г. разрушен нижний передний рычаг задней подвески (рис. 1). Разрушенный рычаг заменён новым (рис. 2).



Рис. 1 – Разрушенный рычаг подвески

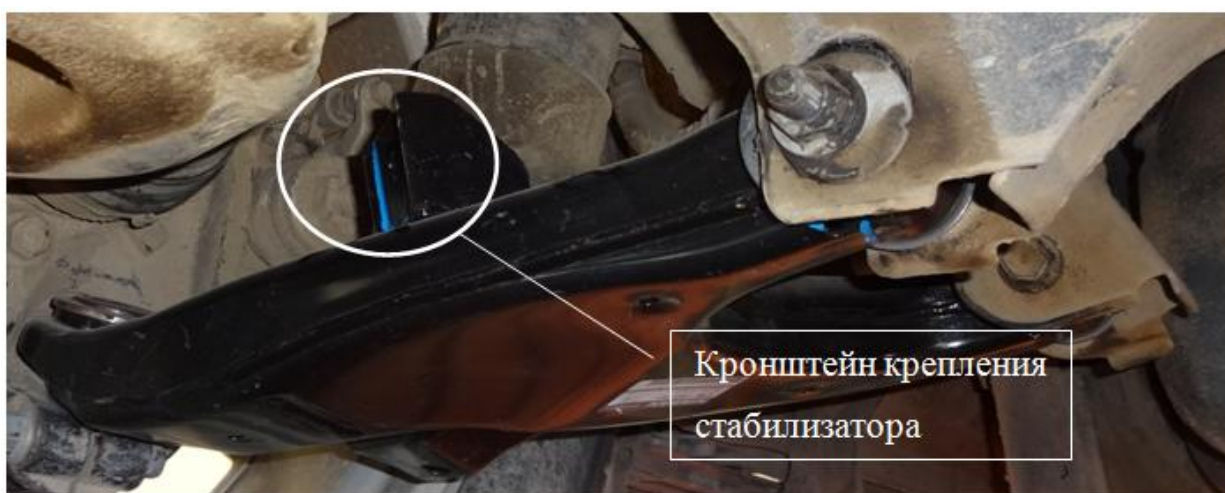


Рис. 2 – Точка крепления стабилизатора (кронштейн) поперечной устойчивости к рычагу задней подвески

Для определения причины разрушения рычага подвески был проведён анализ конструкций подвесок автомобилей Infiniti QX56 с целью выяснения их различий. По данным [1, С. 118], [2, С.137] с 2010 г. по 2013 г. задняя подвеска автомобилей Infiniti QX56 оснащалась стабилизатором поперечной устойчивости. Назначением стабилизатора поперечной устойчивости является снижение крена кузова автомобиля при движении на повороте. Устройство стабилизатора поперечной устойчивости [3, С. 89] обеспечивает снижение крена кузова автомобиля при движении на вираже, а также при наезде одним из колёс на относительно высокое препятствие. При своей работе стабилизатор поперечной устойчивости передаёт усилие от одного рычага подвески к другому и создаёт на них знакопеременную нагрузку. При этом стабилизатор препятствует крену автомобиля только в поперечном направлении и связывает между собой рычаги одной оси автомобиля.

С 2013 г. автомобили Infiniti QX56 стали оснащать гидравлической системой стабилизации кузова – Hydraulic Body Motion Control (далее по тексту HBMC), которая обеспечивает плавность хода автомобиля, снижает крен кузова, как в поперечном, так и в продольном направлениях, а следовательно выполняет функцию стабилизатора поперечной устойчивости, как задней, так и передней подвесок. В основе HBMC лежит гидравлическая система. В стойке каждого колеса имеется гидроцилиндр со штуцерами выше и ниже поршня. Верхние штуцеры правых цилиндров подключены к нижним штуцерам левых цилиндров и наоборот. В каждый из двух гидравлических контуров встроен гидроаккумулятор, принимающий или отдающий часть жидкости при синхронной работе цилиндров. При движении автомобиля на вираже, давление жидкости над поршнями внешних гидроцилиндров (наиболее отдалённых от центра поворота) растёт, вследствие воздействия центробежных сил. Жидкость переходит во внутренние цилиндры и толкает их поршни вверх, сжимая подвеску и препятствуя разгрузке внутренних (расположенных ближе к центру поворота) колес. Вся подвеска в целом становится жестче, активно противодействуя крену автомобиля. Интенсивность работы системы зависит от скорости и крутизны поворота, то есть всегда органично соответствует ситуации. Важнейшее преимущество гидравлической подвески над пружинной заключается в следующем: жесткость пружины возрастает пропорционально ходу подвески. В Infiniti пружины и гидроцилиндры работают сообща. Система HBMC позволяет

применить очень мягкие пружины, которые обеспечивают отличную плавность хода. Кроме того, чем мягче пружины, тем больше ход подвески, что положительно сказывается на езде по бездорожью.

Стабилизатор поперечной устойчивости, при выполнении своих функций, создаёт нагрузку на передних рычагах задней подвески в точках его крепления (кронштейнах). Точка крепления стабилизатора (кронштейн) поперечной устойчивости к рычагу задней подвески приведена на рис. 2. При этом, на рычаг подвески прикладывается знакопеременная нагрузка  $F_c$  от стабилизатора поперечной устойчивости в точке, расположенной в непосредственной близости от точки соединения рычага со ступицей колеса и нагрузка  $F_y$  от упругого элемента подвески приложена в точке, расположенной в средней части рычага (рис. 3).

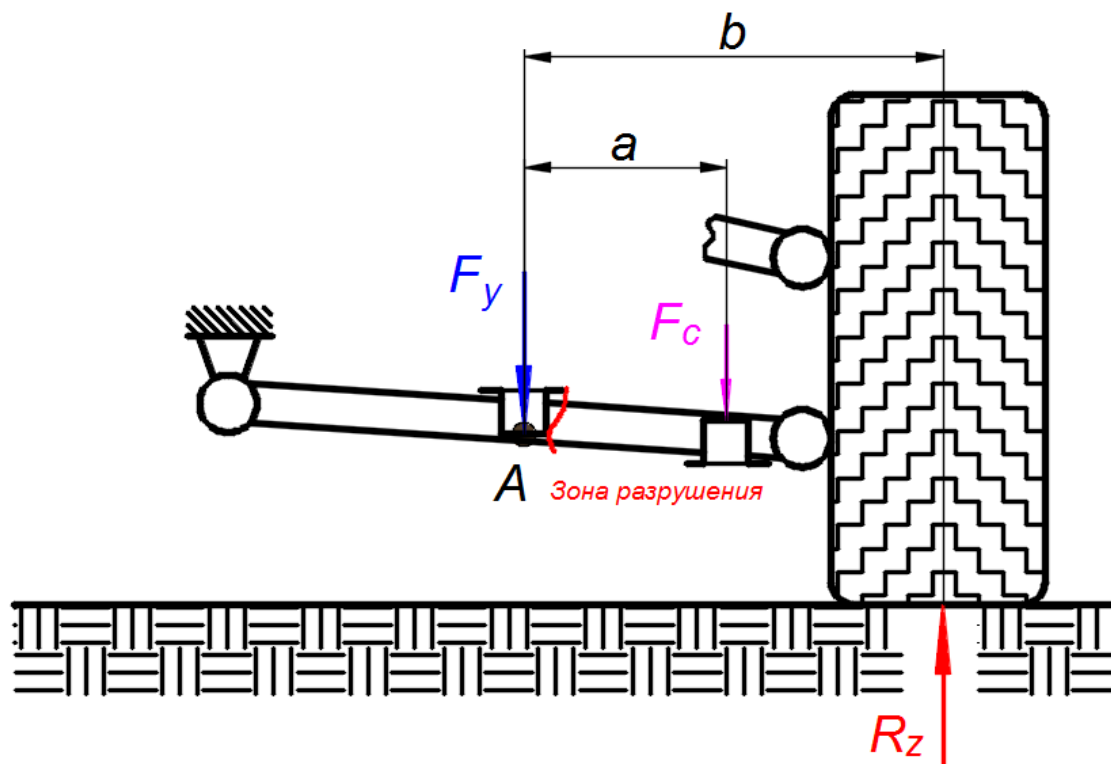


Рис. 3 – Распределение нагрузки рычаг подвески при наличии стабилизатора поперечной устойчивости

Для данной схемы нагружения переднего рычага задней подвески, наибольшее значение изгибающего момента  $M_i$  в зоне разрушения можно определить как сумму моментов сил, действующих на рычаг относительно точки A при повышении нагрузки на колесо можно рассчитать по формуле

$$M_i = R_z * b - F_c * a,$$

где  $R_z$  – вертикальная реакция дороги в момент повышения нагрузки на колесо;

$b$  и  $a$  – расстояния от мест воздействия на рычаг подвески сил  $R_z$  и  $F_c$  до точки A, соответственно.

В итоге, воспринимаемая рычагом нагрузка, распределена по двум его частям, что в соответствии с [4, С. 267] обеспечивает его достаточную прочность.

При установке на автомобили системы НВМС её гидроцилиндры объединены в один узел с упругими элементами подвески. Динамические нагрузки, воспринимаемые рычагами подвески, обусловлены работой как упругих элементов, так и гидроцилиндров системы НВМС, что способствует увеличению нагрузок на кронштейны крепления амортизаторов к нижним передним рычагам задней подвески (рис. 4, (позиция 1 рис. 1)).



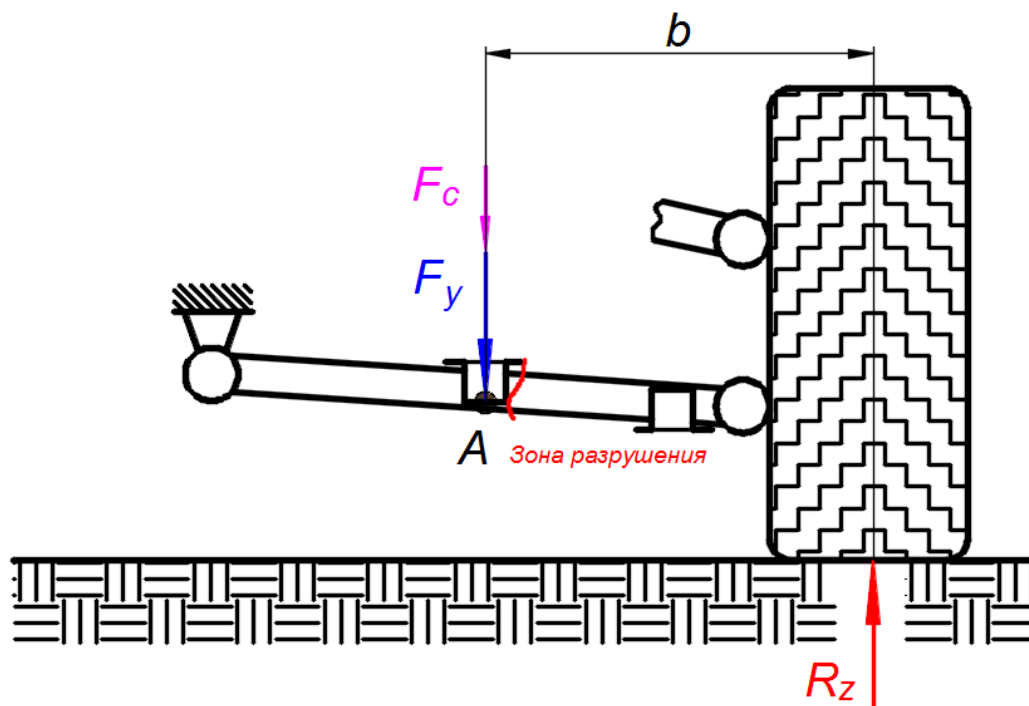


Рис. 4 – Нагружение нижнего рычага подвески при наличии системы НВМС

При этом, изгибающий момент  $M_i$  в зоне разрушения составит

$$M_i = R_z * b$$

Очевидно, что изгибающий момент в зоне разрушения имеет значительно большее значение, что требует повышения прочностных свойств рычага в зоне его разрушения.

У исследуемого автомобиля Infiniti QX56 выпуска 2013 г. нижние передние рычаги задней подвески не имеют конструктивных отличий от соответствующих рычагов автомобилей, не имеющих систему НВМС, что подтверждается наличием на рычагах кронштейнов крепления стабилизатора поперечной устойчивости (рис. 2), не предусмотренного в конструкции исследуемого автомобиля. Иначе говоря, при установке гидравлической системы, снижающей крен кузова автомобиля, инженеры-конструкторы не внесли изменение в конструкцию нижнего переднего рычага подвески, основываясь на том, что практический опыт эксплуатации подтвердил его высокую надёжность, а также на том, что масса машины практически не изменилась.

Таким образом, нижние передние рычаги задней подвески автомобиля Infiniti QX56, выпуска 2013 г. подвержены воздействию дополнительных динамических нагрузок в местах расположения кронштейнов крепления амортизаторов подвески, что создаёт существенный изгибающий момент в зоне разрушения, указанной на рис. 4 и в итоге разрушение рычага подвески. Возникновение изгибающего момента подтверждается тем, что рычаг разрушился возле места крепления кронштейна амортизатора (рис. 1). Если бы в конструкцию рычага были внесены изменения – усиление зоны возле кронштейна крепления упругого элемента и гидравлического стабилизатора НВМС, то разрушения рычага не произошло бы.

Разрушение рычага подвески рассмотренного автомобиля вызвано усталостным разрушением вследствие возникновения воздействия на рычаг дополнительного изменяющегося по величине изгибающего момента в зоне кронштейна крепления амортизатора и упругого элемента подвески.

Дополнительный изменяющийся по величине изгибающий момент на рычаге подвески является следствием изменения схемы его нагружения после применения в подвеске системы гидравлической стабилизации кузова НВМС.

При внесении конструктивных изменений в подвеску автомобиля, даже при полном сохранении прочих характеристик транспортной машины необходимо выполнять поверочный прочностной расчёт деталей у которых изменяется распределение нагрузки.

#### Список литературы / References

1. Infiniti QX56 2004 – 2010 гг с бензиновым двигателем VK56DE (5,6). Ремонт. Эксплуатация. ТО. [Текст] – Новосибирск: Автонавигатор, 2012. – 504 с. – ISBN 978-5-98410-073-1
2. Infiniti QX56 модели Z62 выпуска 2010 – 2013 гг с бензиновым двигателем VK56VD Руководство по эксплуатации, устройство, техническое обслуживание, ремонт. [Текст] – Новосибирск: «Автонавигатор», 2015. – 470 с. – ISBN 978-5-98410-111-0
3. Раймпель Й. Шасси автомобиля [Текст]: Т. 1 под редакцией И.Н. Зверева / Й. Раймпель – М.: Машиностроение, 1983. – 356 с.
4. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя [Текст]: Т.1 / В.И. Анурьев – 8-е изд. – М.: Машиностроение, 2001. – 920 с.

#### Список литературы на английском языке / References in English

1. Infiniti QX56 2004 – 2010 gg s benzinovym dvigatelem VK56DE (5,6). Remont. Ehkspluatatsiya. TO. [Infiniti QX56 2004 – 10 jj with a petrol engine VK56DE (5,6). Repair. Operation.] [Tekst] – Novosibirsk.: Avtonavigator, 2012 – 504 p. – ISBN 978-5-98410-073-1 [in Russian]



2. Infiniti QX56 modeli Z62 vypuska 2010 – 2013 gg s benzinovym dvigatelem VK56VD Rukovodstvo po ehkspluatácii, ustrojstvo, tekhnicheskoe obsluzhivanie, remont. [Infiniti QX56 Z62 model release 2010 – 2013 with a petrol engine VK56VD the user Manual for the device, maintenance, repair.] [Tekst] – Novosibirsk: "Avtonavigator", 2015 – 470 p. – ISBN 978-5-98410-111-0 [in Russian]

3. Rajmpel J. Shassi avtomobilya [Car chassis] [Текст]: Т. 1 pod redakciej [V. 1, edited by] I. N. Zverev / J. Rajmpel – М.: Mashinostroenie, 1983 – 356 p. [in Russian]

4. Anur'ev V.I. Spravochnik konstruktora-mashinostroitelya [Reference designer-mechanical engineer] [Текст]: Т.1 / V.I. Anur'ev – 8-e izd. – М.: Mashinostroenie, 2001. – 920 p. [in Russian]

DOI: 10.18454/IRJ.2016.54.077

Минин А.А.<sup>1</sup>, Матрунчик А.С.<sup>2</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-0002-9785-6686, студент, <sup>2</sup>ORCID: 0000-0003-0874-2933, старший преподаватель,

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

**ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ КРЫШНЫХ ГАЗОВЫХ КОТЕЛЬНЫХ****Аннотация**

*В настоящей статье рассмотрены перспективы использования автономного теплоснабжения, использующего в качестве источника тепловой энергии крышные автономные газовые котельные. Представлены достоинства и недостатки данных систем, а также приведены сравнения некоторых видов котельного оборудования, применяемого для такого вида теплоснабжения. Приведены решения, позволяющие сводить некоторые проблемы к минимуму. Представлены проблемы, которые могут откладывать использование данной технологии в настоящее время.*

**Ключевые слова:** автономное теплоснабжение, крышная котельная.

Minin A.A.<sup>1</sup>, Matrunchik A.S.<sup>2</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-0002-9785-6686, student, <sup>2</sup>ORCID: 0000-0003-0874-2933, senior lecturer,

Perm National Research Polytechnic University

**INVESTIGATION OF QUANTUM CHEMICAL CHARACTERISTICS  
OF THE PORTION OF THE MOLECULE BIOLOGICALLY ACTIVE ADDITIVE OF CHITOSAN****Abstract**

*This article reviews the perspectives of autonomous heating, roof used in the autonomous gas boiler as a heat source. Presents the advantages and disadvantages of these systems, and provides a comparison of some types of boiler equipment used for this type of heating. The solutions allowing to reduce some problems to a minimum. It presents problems that can delay the use of this technology at the moment.*

**Keywords:** autonomous heating, roof boiler.

Вышедший в 2009 году Федеральный закон "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" от 23.11.2009 N 261-ФЗ, утвердил несколько целей развития страны, одной из которых стало повышение энергоэффективности потребляемых ресурсов, в том числе и тепловой энергии. Повысить энергетическую эффективность можно разными способами: можно уменьшить тепловые потери самого объекта, но также можно уменьшить расстояние от источника до потребителя [2]. В данной статье будут рассмотрены достоинства и недостатки перехода от централизованной системы теплоснабжения к автономному виду.

Одним из вариантов автономной системы может стать крышная котельная. Фотография крышной котельной в стадии возведения приведена на рис. 1.



Рис. 1 – Крышная газовая котельная в стадии монтажа

К достоинствам такой котельной можно отнести:

1. Под такую котельную не нужно выделять дополнительных территорий, так как зачастую площади кровли в нашей стране не используются и служат лишь местом расположения вытяжных каналов и вентиляционного оборудования;
2. Котельная располагается выше потребителей, следовательно, отсутствует статическое давление на сами агрегаты и на арматуру;
3. Более выгодные условия для отвода дымовых газов;
4. Подвергается постоянному проветриванию и, как следствие, более безопасна при попадании в помещение котельной вредных веществ (дымовых газов).

Основными недостатками крышной котельной являются:

1. Шум, создаваемый котлом в процессе работы.
2. Ограничение выбора котлов по их весу из-за необходимости обустройства дополнительного постаментов.

При этом некоторые недостатки можно свести к минимуму. Например, большую часть шума получается не от самого котла, а от горелки, установленной в нём. В настоящее время наиболее широкое применение нашли горелки вентиляционного или атмосферного типов. В горелках вентиляционного типа подача воздуха в камеру сгорания происходит принудительно, также количество подаваемого воздуха регулируется автоматически и зависит от режима работы. Такие горелки способны работать в широком диапазоне давления газа, но эти горелки производят объемное шумовое загрязнение. В отличие от надувных, которые навешивают на котёл, атмосферные являются частью котла. Процесс смешивания газа с воздухом, как и скорость, задаётся давлением газа. Таким образом, нормальные условия для газовой горелки Европейского производства будут обеспечены при давлении в 1,5 кПа. К сожалению, данный вид горелок будет нормально работать не на всей территории России: согласно ГОСТ 5542-87 природный газ поступает к абонентам под номинальным давлением в 1,3 кПа и в 2,0 кПа. Но не для всех горелок установлен такой предел работоспособности, например, в котлы марки Camus устанавливаются атмосферные горелки, выполненные из жаропрочной стали. Толщина щелей для выхода пламени составляет 0,5 мм. Таким образом, пламя не может проникнуть в горелку, а котёл даже при давлении в 0,6 кПа может работать. Также котлы, оснащенные атмосферной горелкой, производят меньше шума, чем надувные. Стоит заметить, что не все надувные горелки являются шумными. Компания Camus Hydronics Ltd смогла снизить уровень шума своих котлов и теперь уровень шума их котлов не превышает 45-50 дБ(А) [1]. Секрет успехов конструкторов данной марки заключается в том, что они смогли уменьшить размер пламени, а значит и главного источника шума. Причём уменьшение размеров пламени не как не повлияло на содержание  $\text{NO}_x$  в сжигаемом газе. Повысить концентрацию  $\text{NO}_x$  стало возможным благодаря сжиганию заранее подготовленной смеси газа и воздуха. К тому же процесс сжигания происходит в пористом огнестойком материале. Также к плюсам котлов компании Camus Hydronics Ltd можно отнести то, что процесс сжигания газа происходит ступенчато. То есть у абонента есть возможность регулирования мощности газовой горелки в зависимости от внешних температур. Особенно это актуально для России, когда в течение зимы температура бывает и отрицательной, и положительной. Регулирование мощности подачи теплоносителя является огромным плюсом, как для крышных котельных, так и для всего автономного теплоснабжения.

Для большей эффективности регулирования мощности теплоисточника, вся система должна обладать минимальной инерционностью, в том числе и сами котлы. Инерционность котла напрямую зависит и от материала, из которого он сделан. У каждого материала есть своя теплопроводность. Наиболее популярные материалы для теплообменников и коэффициенты средней теплопроводности представлены в таблице 1:

Таблица 1 – Теплопроводность основных материалов котельных агрегатов

Материал	Средняя теплопроводность Вт/(м·град)
Медь	400-410
Сталь	80-85
Чугун	18-20

Благодаря хорошей теплопроводности, котлы сделанные из меди будут легче чугунных аналогов: для передачи одинакового количества теплоты через медь и через чугун придётся увеличивать площадь теплообмена чугунного агрегата и, как следствие, это приведёт к увеличению массы котла и всей котельной. Таким образом, можно сделать вывод, что наиболее пригодными для крышных котельных будут являться котлы, с медными теплообменниками. Для сравнения (см. Табл. 2) можно взять два вида котлов, являющихся одними из наиболее популярных: немецкий котел Viessmann Vitoplex 200 и канадский котел фирмы Camus Hydronics Ltd. серии Blue Flame BFH1020.

Таблица 2 – Показатели газовых котлов для крышной котельной

Название	Viessmann Vitoplex 200	Blue Flame BFH1020
Максимальная мощность, кВт	270	267
Вес, кг	720	255,8
Объем, м <sup>3</sup>	3,25	0,96
Цена, тыс. руб.	996	257,6

Из данных таблицы видно, что, не смотря на свой малый объём, котел Blue Flame BFH1020 опережает аналогичный по всем показателям.

Ограничение в выборе по массе котла стоит лишь при установке котельных на крыши уже построенных домов. Если же рассматривать новое строительство, то в таком случае вопрос усиления перекрытий решается проще. Еще одним достоинством такой крышной котельной, как и всех автономных источников энергии, является свободный выбор заказчиком выходных параметров теплоносителя для системы.

В настоящее время наметилась тенденция децентрализации получения тепловой энергии. На смену ТЭЦ приходят блочно-модульные котельные, а при отсутствии места под их постройку можно использовать крышные котельные. Крышные котельные и блочно-модульные котельные работают на одном из самых дешёвых видов топлива: природном газе. У природного газа есть множество плюсов. Он находится в свободном доступе в центральной России. Газовое топливо экологичнее угольного и нефтяного топлив.

Строительство домов с автономными котельными увеличивает капитальные затраты компаниям-застройщикам, ведь подключение к центральной сети дешевле установления придомовых котельных и, как следствие, строительство таких котельных приводит к увеличению себестоимости квартир. Управляющим компания тоже может быть не выгоден переход к автономному теплоснабжению, ведь это дополнительные финансовые затраты на обслуживание системы. В итоге получается, что децентрализация отопления необходима лишь собственникам жилья. Но если принятие законов и правил по применению энергосберегающих технологий продолжится, то переход на автономное теплоснабжение в ближайшее десятилетие будет повсеместным.

#### Список литературы / References

1. Авдиенко А.А. Подомовое отопление как объективная реальность / А.А. Авдиенко // Журнал С.О.К. – 2013. – №12. – С. 36–37.
2. Пуринг С.М. Оптимизация выбора способа теплоснабжения жилых многоквартирных домов / Пуринг С.М., Ватузов Д.Н. // Инновационные стратегии развития экономики и управления. – 2015. – С. 313–316.

#### Список литературы на английском языке / References in English

1. Avdienko A. A. Podomovoe otopenie kak ob"ektivnaia real'nost' [Each house heating as an objective reality] / A. A. Avdienko // Zhurnal S.O.K. [Journal S.O.K.]. – 2013. №12. P. 36–37. [in Russian]
2. Puring S.M. Optimizatsiia vybora sposoba teplosnabzheniia zhilykh mnogokvartirnykh domov [The use of chitosan to obtain a film-forming coating sausage products] / S.M. Puring, D.N. Vatuзов // Innovatsionnye strategii razvitiia ekonomiki i upravleniia [Innovative Development Strategy of Economics and Management]. – 2015. – P. 313–316. [in Russian]

DOI: 10.18454/IRJ.2016.54.210

Мирошник В.Ю.<sup>1</sup>, Подберезкин Д.А.<sup>1</sup>, Копейкин Д.А.<sup>1</sup>, Соколов П.С.<sup>1</sup>, Артамонова Е.Ю.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Студент, <sup>2</sup>аспирант,

Омский государственный технический университет

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №16-08-00243 а

#### ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОДИНАМИКИ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РОТОРА ДАРЬЕ

*Аннотация*

*В статье рассмотрены виды математических моделей для описания аэродинамических процессов на начальном этапе проектирования. Рассмотрено влияние конфигурации лопастей ротора на его эффективность, а также влияние изменения характеристик на производительность ротора Дарье. Приведено обоснование о выборе места установки конструкции с ротором Дарье. Исследована модель ротора с использованием электрических эквивалентных схем. Данная модель позволяет имитировать поведение ротора в случае механических повреждений лопастей.*

**Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии, ветроэлектрическая установки, ротор Дарье.

Miroshnik V.Y.<sup>1</sup>, Sokolov P.S.<sup>1</sup>, Podberезkin D.A.<sup>1</sup>, Kopeykin D.A.<sup>1</sup>, Artamonova E.Y.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Undergraduate student, <sup>2</sup>postgraduate student, Omsk State Technical University

This work was supported by grant RFBR and №16-08-00243 а

#### RESEARCH OF AERODYNAMICS AND POWER CHARACTERISTICS OF THE DARRIEUS ROTOR

*Abstract*

*The article describes the types of mathematical models for describing aerodynamic processes in the initial design stage. The influence of the configuration of the blades of the rotor on its effectiveness and the impact of changes in characteristics on the performance of the Darrieus rotor. The substantiation of choice of the installation design with the Darrieus rotor. The investigated rotor model using electric equivalent circuits. This model allows to simulate the behavior of the rotor in case of mechanical damage of the blades.*

**Keywords:** renewable energy sources, wind turbine, Darrieus rotor.

#### Введение

В течение последних нескольких десятилетий экологическая обстановка на планете стремительно ухудшается. Происходит это в основном из-за небрежного использования ископаемого топлива [1].

Возможной альтернативой ископаемого топлива стали возобновляемые источники энергии, что увеличило внимание и спрос на них по всему миру. Среди новых источников энергии, особым интересом пользуется энергия ветра. Ветровые турбины могут быть разделены на две группы, а именно: горизонтально-осевые турбины и вертикально-осевые турбины.

Вертикально-осевые ветровые турбины имеют несколько преимуществ перед турбинами с горизонтальной осью вращения. Главным преимуществом является их всесторонняя направленность. Следовательно, они могут работать

при любом направлении ветра, не требуя системы контроля угла поворота вокруг вертикальной оси [2]. Кроме того, коробка передач и генератор могут быть размещены на уровне земли, что облегчит выполнение технического обслуживания и снизит затраты на строительство.

Явным преимуществом является, и возможность их близкого размещения друг к другу на территории ветроэлектростанции. И наконец, турбины с вертикальной осью вращения бесшумны и гораздо безопаснее, чем турбины пропеллерного типа.

В результате все эти преимущества говорят о том, что вертикально-осевые ветроустановки лучше подходят для местного производства чистой электроэнергии в промышленных и жилых районах. Кроме того, эти преимущества привели к возобновлению интереса к данному типу ветрогенераторов, как источнику производства электроэнергии в малых и средних масштабах.

Исследования в данной области необходимы для улучшения энергетических показателей вертикально-осевых ветровых турбин, а также снижения негативных факторов, влияющих на их производительность.

#### Виды математических моделей

Для исследования энергетических и аэродинамических характеристик ветрогенераторов необходимо прибегнуть к использованию математического аппарата, способного описать работу установки с помощью стандартных величин. Размерные параметры ротора Дарье показаны на рисунке 1.

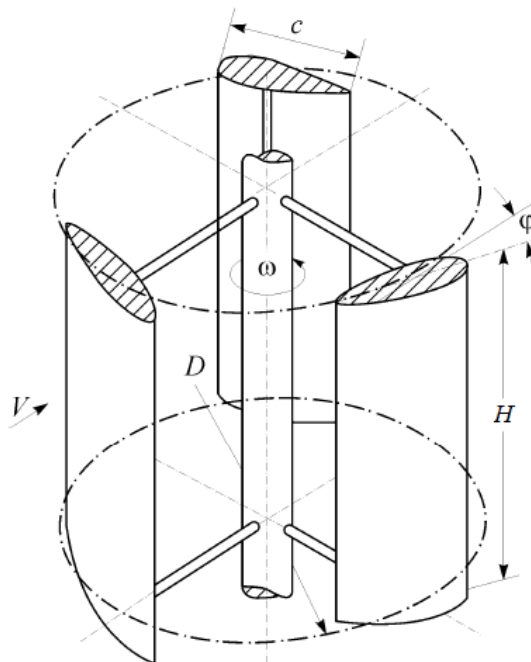


Рис. 1 – Размерные параметры ротора Дарье

Размерные величины:

- $c$ , м - хорда лопасти,
- $R, D = 2R$ , м - радиус, диаметр ротора,
- $S$ , м<sup>2</sup> - площадь поперечного сечения ротора,
- $\omega$ , рад/с - угловая скорость вращения ротора,
- $V$ , м/с - скорость ветрового потока,
- $\varphi$ , рад, град. - угол установки лопасти.

Безразмерные величины:

- $\lambda$  - быстроходность ротора,
- $n_b$  - число лопастей,
- $\sigma$  - коэффициент заполнения,
- $Re$  – число Рейнольдса.

В настоящее время существует несколько основных типов математических моделей для описания аэродинамических процессов. Каждая из них имеет свои достоинства и недостатки. При выборе типа модели следует руководствоваться соотношением свободных ресурсов и степенью точности результатов решения поставленной задачи.

*Импульсные модели* основаны на расчете скорости потока через турбину путем приравнивания аэродинамической силы, действующей на лопасти и направленной вдоль потока, к скорости изменения импульса воздуха, а также к разности среднего давления на ротор.

Импульсные модели довольно популярны благодаря своей простоте и способности предсказать периодические нагрузки и среднюю выходную мощность. Они также более чувствительны, чем вихревые модели, за исключением случаев больших значений быстроходности и коэффициента заполнения. Для того, чтобы не допустить ложного результата моделирования, максимальное значение быстроходности ограничивают и расчет проводят только со значениями, близкими к оптимальным для установки [3].

*Вихревые модели* используются для того, чтобы проверить результаты и получить более подробное представление о потоке вокруг турбины. Эти модели представляют собой значительный шаг вперед в области изучения мгновенной нагрузки. Благодаря усиленному математическому аппарату этого типа моделей мы можем наблюдать формирование больших вихревых структур, динамический срыв потока с лопасти ротора, а также другие аэродинамические явления в 2D и 3D формате. Однако такой широкий спектр операций требует значительно больших вычислительных затрат [4].

#### **Влияние изменения характеристик на производительность ротора Дарье**

Использование математических моделей на начальном этапе проектирования значительно упростило задачу. Моделирование условий конкретной местности позволило заранее учесть все недостатки системы, а также выбрать соотношение геометрических параметров конструкции ротора. Это дает возможность спроектировать ветрогенератор с максимальной производительностью и надежностью.

Известно, что основным недостатком ротора Дарье является трудность самозапуска. Для его осуществления ротору Дарье требуется высокая начальная скорость ветрового потока. Основным способом улучшения режима самозапуска, на данный момент, является правильный выбор угла атаки лопастей. Существует два основных метода регулирования этого угла: пассивный метод и активный метод. При пассивном методе выбор угла атаки производится на основе численного и экспериментального исследования (фиксированный шаг). Активный метод основан на изменении значения угла для каждой лопасти при вращении (переменный шаг). За последние несколько лет в мире было зарегистрировано несколько десятков патентов на механизмы для управления лопастями ротора Дарье. Они позволили снизить ветровую нагрузку на вал ротора и значительно улучшить его эффективность. Изменение угла атаки лопасти ротора Дарье показано на рисунке 2 [5,6].

Что касается изменения спирального угла лопасти, то он положительного влияния на увеличение производительности ветроротора не оказывает. Экспериментально подтверждено, что витое лезвие показывает низкий коэффициент мощности [7].

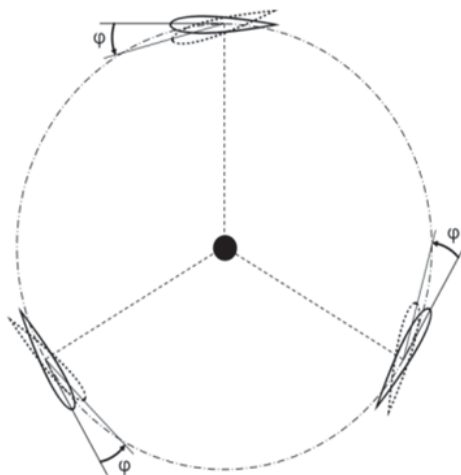


Рис. 2 – Изменение угла атаки лопасти ротора Дарье

Помимо угла атаки лопасти на производительность ротора Дарье оказывает влияние и изменение длины лезвия ее хорды, а также общее количество лопастей в ветроустановке. Было установлено, что увеличение длины хорды лопасти увеличивает коэффициент мощности до определенного предела, после чего коэффициент мощности резко уменьшается с увеличением прочности. Коэффициент пульсации вращающегося момента и продольная составляющая силы, действующей на лопатки турбины, уменьшается с увеличением числа лопастей и увеличением длины хорды лопасти. В свою очередь нормальная составляющая силы уменьшается с увеличением количества лопастей и уменьшением длины хорды лопастей, но увеличивается с увеличением прочности и увеличением длины хорды при том же количестве лопастей [8,9].

Величина значений быстроходности и коэффициента заполнения ротора Дарье оказывают не менее существенное влияние на его производительность и находятся в жесткой зависимости между собой.

При увеличении коэффициента заполнения, коэффициент мощности становится выше в низком диапазоне быстроходности. Тем не менее, при высоких значениях быстроходности, так как угловая скорость увеличивается, сила сопротивления также возрастает. Поэтому модель с высоким коэффициентом заполнения, так как она зависит от большой силы сопротивления, производит более низкий коэффициент мощности [10].

#### **Применение ротора Дарье в городской среде**

На начальных этапах развития ветроэнергетики все исследования были сосредоточены на горизонтально осевых ветровых турбинах. Однако в последнее время данная тенденция изменилась в сторону вертикально осевых ветровых турбин ввиду ряда конструктивных преимуществ и их независимости от направления ветра. Эти преимущества, в сочетании с простыми методами управления, позволяют использовать их в городских и изолированных районах. В этом случае, как показывает зарубежный опыт, можно устранить или существенно уменьшить влияние таких негативных факторов, как вибрация, шум, турбулизация ветрового потока, создание помех для электроприборов и т.п. [11]. Исследования в области малых ветроустановок вертикального типа, с диаметром ротора всего несколько метров, подтверждают и рентабельность их применения, как в городах, так и в сельских населенных пунктах с децентрализованной сетью электроснабжения. Малые вертикально-осевые турбины могут быть интегрированы в здания уже начиная с этапа проектирования [5].

При установке ветрогенератора на крышах жилых высотных зданий необходимо соблюсти несколько условий.

Прежде всего, устанавливать ветрогенераторы следует в точках максимальной скорости ветра. Это позволит достичь наибольшей эффективности ветроустановки.

Вторым важным аспектом при выборе места расположения установки необходимо учесть условия возникновения явления турбулентности. Исследования показали, что в случае квадратной и прямоугольной конструкции здания, турбулентные потоки распределяются равномерно вдоль крыш и основных сторон зданий с первого до последнего этажа. В то время на торцевых сторонах зданий зарегистрированы высокие значения скорости ветра. Стоит отметить, что турбулентность не часто встречается в случае треугольной или круглой форме постройки. Это делает их более предпочтительными для применения систем генерации энергии ветра.

И наконец, необходимо сохранить комфорт жильцов и структурную стабильность здания. Данное условие обеспечивается посредством соблюдения критериев экспертизы шумов и вибрации, которые могут возникнуть при работе ветровой турбины. Однако экспериментально подтверждено, что ветрогенераторы малой мощности соответствуют всем установленным нормам по вибрации и шуму для жилых и офисных зданий и негативных последствий не несут [12].

Для улучшения энергетических показателей вертикально-осевой турбины, установленной на крыше высотного здания можно воспользоваться некоторыми инновационными разработками. Примером может послужить устройство под названием «всесторонне направленная лопасть (omni-directional-guide-vane (ODGV))». Данное устройство окружает ветрогенератор, расположенный на крыше. Конструкция ODGV может свести к минимуму общественные проблемы с установкой высокоскоростного ветряка на месте выработки электроэнергии. Также это устройство эстетически гармонирует со зданием. Внешний вид здания с конструкцией ODGV показан на рисунке 3.

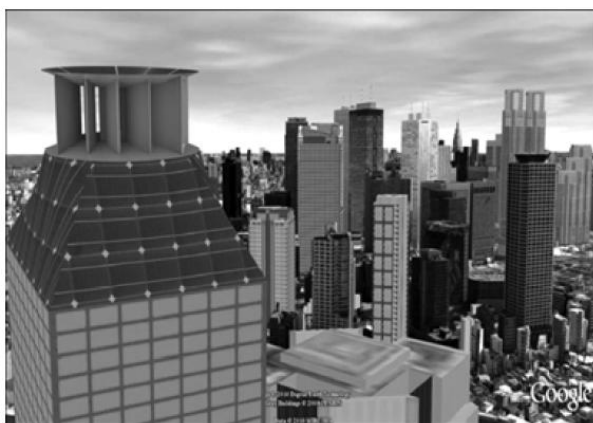


Рис. 3 – Внешний вид здания с конструкцией ODGV

Что касается характеристик данного изобретения, то ODGV позволяет увеличивать скорость вращения ротора до 125%. При наличии ODGV, выходная производимая мощность однолопастной турбины увеличивается на 206% при быстроходности 0,4. Отрицательная зона крутящего момента сводится к минимуму, тем самым увеличивая крутящий момент ротора. Геометрия конструкции может быть дополнительно улучшена в соответствии с различными типами вертикально-осевых ветряных турбин [13].

Интеграция ветрогенераторов в систему электроснабжения городских районов имеет большой потенциал. Применение в заселенных городских районах ветряков для дополнительного питания городских зданий помогло бы разгрузить центральную систему электроснабжения и повысить качество электроэнергии. Долгосрочной перспективой станет распространение использования ветровой энергетики как возобновляемого источника электроэнергии для повседневной жизни.

#### **Моделирование ротора Дарье с использованием электрических эквивалентных схем**

Как уже было сказано, модели играют большую роль при проектировании реальных объектов, так как с их помощью можно подбирать оптимальные конструктивные решения и прогнозировать процессы. Предложенная модель в исследовании [14] основана на аналогии с механическими и электрическими цепями. Кроме того, можно совместить механические и электрические части с другими моделями, что позволит сформировать глобальную модель в системе преобразования энергии ветра. Новая модель имеет большую гибкость, что позволит изучить различные эффекты и явления, такие как помехи между лопастями, эффекты вибрации, кривизны потока и динамические эффекты при потере скорости.

Аналогия между потоком воздуха и электрическим током является математически точной. Импульс потока воздуха, называемый также инерционностью, непосредственно аналогичен электрической индуктивности, а проводимость при пропускании через конструкцию аналогична электрической емкости. Источник электрического тока, как аналогию для ветрового потока может быть представлен рисунком 4.



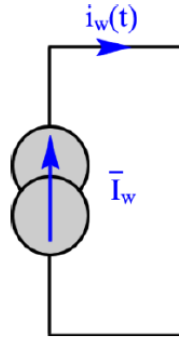


Рис. 4 – Эквивалентная электрическая модель потока ветра

$$i_w(t) = \begin{cases} \Psi^u \sin(\omega t + 2\alpha) & \text{при } -\pi/2 < \pi/2 \\ \Psi^d \sin(\omega t + 2\alpha) & \text{при } -\pi/2 < \pi/2 \end{cases} \quad (1)$$

Где  $\Psi$  это модуль электрического тока и изменяется в зависимости от угла поворота лопасти.

Поток ветра в модели представлен с помощью коэффициентов аэродинамических сил, действующих на поперечное сечение лопасти ветровой турбины типа Дарье. На рисунке 5 показаны направления действия этих сил, а также их нормальные и тангенциальные составляющие.

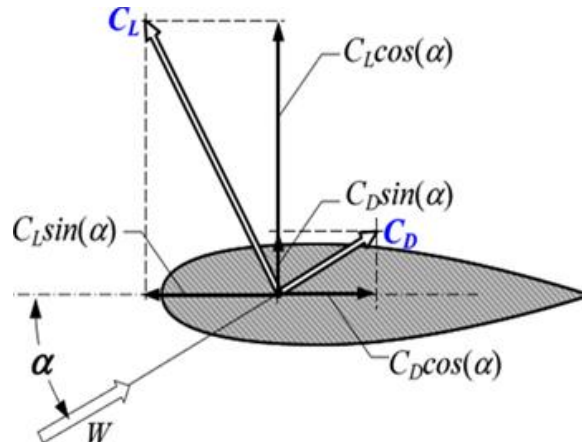


Рис.5 – Аэродинамические коэффициенты, действующие на лопасть ветряной турбины Дарье

$C_L$  и  $C_D$  соответственно обозначают подъемную и тормозную силы.  $\bar{C}_L$  можно рассматривать как индуктивный коэффициент с абсолютным значением  $C_L$  и углом  $\alpha$ , а  $\bar{C}_D$  можно рассматривать как емкостной коэффициент с абсолютным значением  $C_D$  и углом  $(\frac{\pi}{2} - \varphi)$

Суммарные или эквивалентные комплексные коэффициенты могут быть получены путем сложения подъемной и тормозной сил:

$$\bar{C}_{eq} = \bar{C}_L + \bar{C}_D = (C_L \cos \varphi + j C_L \sin \varphi) + (C_D \sin \varphi - j C_D \cos \varphi) \quad (2)$$

Коэффициент  $C_T$  действующей тангенциальной силы происходит из разницы между тангенциальными составляющими подъемной силы и тормозной силы. Точно так же, как нормальный коэффициент силы  $C_N$  основан на отличии между нормальными компонентами подъемной силы и тормозной силы. Таким образом, в комплексной плоскости,  $C_N$  является реальным, а  $C_T$  является мнимым.

$$\bar{C}_{eq} = C_N + j C_T \quad (3)$$

Где:

$$\begin{pmatrix} C_N \\ C_T \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_L \cos \varphi + C_D \sin \varphi \\ C_L \sin \varphi - C_D \cos \varphi \end{pmatrix} \quad (4)$$

С учетом того, что коэффициент тангенциальной составляющей характеризует силу по касательной к лопасти, нормальные и касательные коэффициенты принимают вид:

$$\begin{pmatrix} C_N \\ C_T \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_L \cos \varphi + C_D \sin \varphi \\ k(C_L \sin \varphi - C_D \cos \varphi) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_L \frac{\sin \varphi}{\cos \eta} - C_D \frac{\cos \varphi}{\cos \eta} \end{pmatrix} \quad (5)$$

Где  $k$  – коэффициент наклона лопасти по отношению к вертикальной оси  $k = \frac{1}{\cos \eta}$ ,  $\eta$  – угол лопасти относительно вертикальной оси.

Коэффициенты подъемной и тормозной силы принимают вид:

$$\begin{pmatrix} \bar{C}_L \\ \bar{C}_D \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_L \cos \varphi + j C_L \frac{\sin \varphi}{\cos \eta} \\ C_D \sin \varphi - j C_D \frac{\cos \varphi}{\cos \eta} \end{pmatrix} \quad (6)$$



Каждое движущееся тело в воздухе подвергается действию силы сопротивления, которая имеет тенденцию противодействовать этому движению. Это сопротивление зависит не только от свойств воздуха, но еще и от особенностей самого тела.

Для того, чтобы продолжить рассматривать модель ротора в соответствии с электромеханической аналогией, сопротивление лопасти не должно представлять собой силу. Скорее оно представляет собой способность лопасти противостоять потоку ветра.

Таким образом, сопротивление лопасти может быть определено как:

$$R_i = C_{Bi} \cdot A_i \quad (7)$$

Где  $R_i$  –аэродинамическое сопротивление лопасти;  $C_{Bi}$  –эквивалентный аэродинамический коэффициентом лопасти;  $A_i$  –поверхность лопасти.

Эквивалентное сопротивление лопасти для подъемной силы можно записать следующим образом:

$$\bar{Z}_{Li} = R_{Li} + jX_{Li} \quad (8)$$

$$\begin{pmatrix} R_{Li} \\ X_{Li} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_i \cdot z_i \cdot C_{Li} \cos \varphi_i \\ c_i \cdot z_i \cdot C_{Li} \frac{\sin \varphi_i}{\cos \eta_i} \end{pmatrix} \quad (9)$$

Где  $c, z$  – хорда и высота соответственно.

Поскольку  $R_{Li}$  и  $X_{Li}$  соответствуют переменному активному и переменному индуктивному сопротивлению, то эквивалентная схема сопротивления лопасти для подъемной силы будет иметь вид, представленный на 6.



Рис. 6 – Эквивалентная электрическая схема для подъемной силы, приложенной к лопасти

Таким же образом можно рассчитать и эквивалентное сопротивление лопасти для прижимной силы:

$$\bar{Z}_{Di} = R_{Di} - jX_{Di} \quad (10)$$

Где

$$\begin{pmatrix} R_{Di} \\ X_{Di} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_i \cdot z_i \cdot C_{Di} \sin \varphi_i \\ c_i \cdot z_i \cdot C_{Di} \frac{\cos \varphi_i}{\cos \eta_i} \end{pmatrix} \quad (11)$$

Так как  $R_{Di}$  и  $X_{Di}$  соответствуют переменному активному и переменному емкостному сопротивлению, то эквивалентная схема сопротивления лопасти для тормозной силы будет иметь вид, представленный на рисунке 7.

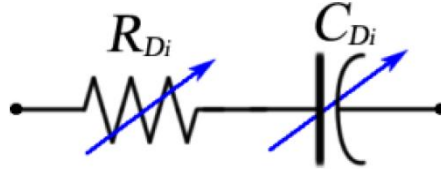


Рис. 7 – Эквивалентная электрическая схема для тормозной силы, приложенной к лопасти

Общее сопротивление системы рассчитывается следующим образом:

$$\bar{Z}_{Bi} = \bar{Z}_{Li} + \bar{Z}_{Di} \quad (12)$$

Распишем, используя  $\bar{Z}_{Li}$  и  $\bar{Z}_{Di}$  и получим:

$$\bar{Z}_{Bi} = c_i \cdot z_i \cdot C_{Ni} + jc_i \cdot z_i \cdot \frac{C_{Ti}}{\cos \eta_i}; \quad (13)$$

Откуда уравнение примет вид:

$$\bar{Z}_{Bi} = \bar{Z}_{Ni} + \bar{Z}_{Ti}; \quad (14)$$

Где:

$$\begin{pmatrix} \bar{Z}_{Ni} \\ \bar{Z}_{Ti} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_i \\ jX_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_{Li} + R_{Di} \\ j(X_{Li} - X_{Di}) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_{Li} \cos \varphi_i + C_{Di} \sin \varphi_i \\ C_{Li} \frac{\sin \varphi_i}{\cos \eta_i} - C_{Di} \frac{\cos \varphi_i}{\cos \eta_i} \end{pmatrix}; \quad (15)$$

Полное сопротивление для  $n$  дискретных сопротивлений по всей длине ротора:

$$\bar{Z}_B = \sum_{i=1}^n \bar{Z}_{Bi} = \sum_{i=1}^n (R_i + jX_i) \quad (16)$$

Коэффициенты  $R_L, R_D, X_L, X_D$  имеют вид:

$$\begin{pmatrix} R_L \\ R_D \\ X_L \\ X_D \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^n c_i \cdot z_i \cdot C_{Li} \cos \varphi_i \\ \sum_{i=1}^n c_i \cdot z_i \cdot C_{Di} \sin \varphi_i \\ \sum_{i=1}^n c_i \cdot z_i \cdot C_{Li} \frac{\sin \varphi_i}{\cos \eta_i} \\ \sum_{i=1}^n c_i \cdot z_i \cdot C_{Di} \frac{\cos \varphi_i}{\cos \eta_i} \end{pmatrix} \quad (17)$$

И в итоге можем записать что:

$$\bar{Z}_B = R_B + jX_B = Z_N + jZ_T; \quad (18)$$

Где:

$$\begin{pmatrix} Z_N \\ Z_T \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_B \\ X_B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_L + R_D \\ X_L - X_D \end{pmatrix} \quad (19)$$

Поскольку считается, что эквивалентные электрические компоненты, моделирующие действие потока ветра на лопасти, соединены последовательно, то общая электрическая эквивалентная схема принимает вид, показанный на рисунке 8.

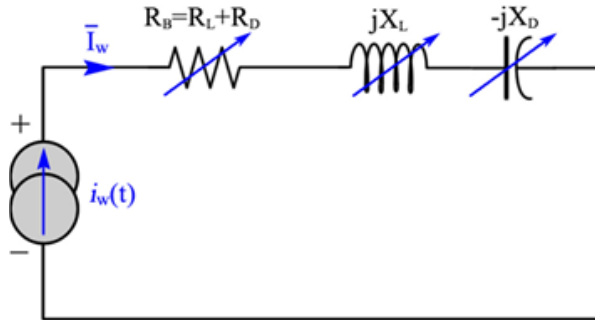


Рис. 8 – Электрическая эквивалентная схема лопасти, на которую действует поток ветра

Данная модель может быть использована для имитации поведения ротора в случае механических повреждений лопастей. Модель также позволяет осуществить моделирование работы турбины в случае механических повреждений одного или нескольких элементов ротора [14].

#### Выводы

Ветроустановки в вертикальной осью вращения превосходят по ряду параметров (нет зависимости от направления потока ветра, меньшие габаритные размеры, простота конструкции) ветроустановки с горизонтальной осью вращения, однако обладают более низкими энергетическими характеристиками.

В статье приведен анализ ряда параметров, регулируя которые, можно увеличить КПД и ряд энергетических показателей.

Для более точного прогнозирования, при конструировании ветроустановок с вертикальной осью вращения, а также получения результатов работы таких ветроустановок и их оптимизации, используется эквивалентная модель, основанная на замещении механических параметров ветроустановки их электрическими аналогами. Эквивалентная схема замещения может применяться на установки, работающие в различных средах, что повышает ее полезность.

#### Список литературы / References

1. P'yankov K. S. Mathematical modeling of flows in wind turbines with a vertical axis / K. S. P'yankov, M. N. Toporkov //Fluid Dynamics. – 2014. – Т. 49. – №. 2. – С. 249–258.
2. Горелов Д. Н. Аэродинамика ветрокопел с вертикальной осью вращения //Горелов Д.Н.–Омск. – 2012.
3. Svorcan J. Aerodynamic design and analysis of a small-scale vertical axis wind turbine / J. Svorcan, S. Stupar, D. Komarov, O. Peković, I. Kostić //Journal of Mechanical Science and Technology. – 2013. – Т. 27. – №. 8. – С. 2367–2373.
4. Редчиц Д.А. Аэродинамика вращающейся лопасти ротора Дарье. / Д.А. Редчиц //ВІСНИК ДНІПРОПЕТРОВСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ, Серія МЕХАНІКА. –2007.–Т.2.– № 11.
5. Dumitrache A. et al. Influences of some parameters on the performance of a small vertical axis wind turbine / A. Dumitrache, F. Frunzulica, H. Dumitrescu, B. Suatcan, //Renewable Energy and Environmental Sustainability. – 2016. – Т. 1. – С. 16.
6. Гринченко В. Т. Оптимизация характеристик ветроротора Дарье с прямыми управляемыми лопастями / В.Т. Гринченко, В.П. Каян //Доповіді Національної академії наук України. – 2015. – №. 6. – С. 37–45.
7. Lee Y.T. Power Performance Improvement of 500W Vertical Axis Wind Turbine with Salient Design Parameters / Y.T. Lee, H.C. Lim //World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering. – Т. 10. – №. 1. – С. 84–88.
8. Abu-El-Yazied T. G. Effect of number of blades and blade chord length on the performance of Darrieus wind turbine / T.G. Abu-El-Yazied, A.M. Ali, M.S. Al-Ajmi, I.M.Hassan //American Journal of Mechanical Engineering and Automation. – 2015. – Т. 2. – №. 1. – С. 16.
9. Li Q. Analysis of aerodynamic load on straight-bladed vertical axis wind turbine / Q.A. Li, T.Maeda, Y. Kamada, J. Murata, T. Kawabata, K. Furukawa //Journal of Thermal Science. – 2014. – Т. 23. – №. 4. – С. 315–324.
10. Parker C. M.The effect of tip speed ratio on a vertical axis wind turbine at high Reynolds numbers / C. M. Parker, M. C. Leftwich //Experiments in Fluids. – 2016. – Т. 57. – №. 5. – С. 1–11.
11. Абрамовский Е. Р. Сравнительный анализ аэродинамических и энергетических характеристик ветродвигателей разного типа, предназначенных для применения в городских условиях / Е.Р. Абрамовский, С.В. Тарасов, И. Ю. Костюков, Н. Н. Лычагин //Системне проектування та аналіз характеристик аерокосмічної техніки. – 2013. – №. 15. – С. 16–26.
12. Park S.H. The performance of small wind power generation systems on super high-rise buildings / S.H. Park, J.H. Park, J.C. Park, E.T. Lee //International Journal of Steel Structures. – 2014. – Т. 14. – №. 3. – С. 489–499.
13. Chong W. T. Vertical axis wind turbine with omni-directional-guide-vane for urban high-rise buildings / W.T. Chong, S.C. Poh, A. Fazlizan, K.C. Pan //Journal of Central South University. – 2012. – Т. 19. – №. 3. – С. 727–732.
14. Tchakoua P. A New Approach for Modeling Darrieus-Type Vertical Axis Wind Turbine Rotors Using Electrical Equivalent Circuit Analogy: Basis of Theoretical Formulations and Model Development / P. Tchakoua, R. Wamkeue, M. Ouhrouche, T.A. Tameghe, G. Ekemb //Energies. – 2015. – Т. 8. – №. 10. – С. 10684–10717.

#### Список литературы латинскими символами / References in Roman script

1. P'yankov K. S. Mathematical modeling of flows in wind turbines with a vertical axis / K. S. P'yankov, M. N. Toporkov //Fluid Dynamics. – 2014. – I. 49. – V. 2. – P. 249–258.

2. Gorelov D. N. Aerodinamika vetrokoles s vertikal'noy os'yu vrashcheniya [Aerodynamics ветроколес with a vertical axis of rotation] //Gorelov D.N.–Omsk. – 2012. [in Russian]
3. Svorcan J. Aerodynamic design and analysis of a small-scale vertical axis wind turbine / J. Svorcan, S. Stupar, D. Komarov, O. Peković, I. Kostić //Journal of Mechanical Science and Technology. – 2013. – I. 27. – V. 8. – P. 2367–2373.
4. Redchits D.A. Aerodinamika vrashchayushchey'sya lopasti rotora Dar'e [The aerodynamics of the rotating blades of the Darrieus rotor] / D.A. Redchits //VISNIK DHIROPETROVS'KOGO UNIVERSITETU, Seriya MEKHANIKA [Bulletin of Dnipropetrovsk University, series MECHANICS]. –2007.–I.2– V. 11.
5. Dumitrache A. Influences of some parameters on the performance of a small vertical axis wind turbine / A. Dumitrache, F. Frunzulica, H. Dumitrescu, B. Suatean, //Renewable Energy and Environmental Sustainability. – 2016. – I. 1. – P. 16.
6. Grinchenko V. T. Optimizatsiya kharakteristik vetrerotora Dar'e s pryamymi upravlyаемymi lopastyami [Optimization of the characteristics of the wind turbine Daria with direct driven blades] / V.T. Grinchenko, V.P. Kayan // Dopovidi Natsional'noi akademii nauk Ukraini [Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine]. – 2015. – V. 6. – P. 37–45.
7. Lee Y.T. Power Performance Improvement of 500W Vertical Axis Wind Turbine with Salient Design Parameters / Y.T. Lee, H.C. Lim //World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering. – I. 10. – V. 1. – P. 84–88.
8. Abu-El-Yazied T. G. Effect of number of blades and blade chord length on the performance of Darrieus wind turbine / T.G. Abu-El-Yazied, A.M. Ali, M.S. Al-Ajmi, I.M.Hassan //American Journal of Mechanical Engineering and Automation. – 2015. – I. 2. – V. 1. – P. 16.
9. Li Q. Analysis of aerodynamic load on straight-bladed vertical axis wind turbine / Q.A. Li, T.Maeda, Y. Kamada, J. Murata, T. Kawabata, K. Furukawa //Journal of Thermal Science. – 2014. – I. 23. – V. 4. – P. 315–324.
10. Parker C. M.The effect of tip speed ratio on a vertical axis wind turbine at high Reynolds numbers / C. M. Parker, M. C. Leftwich //Experiments in Fluids. – 2016. – I. 57. – V. 5. – P. 1–11.
11. Abramovskiy E. R. Sravnitel'nyy analiz aerodinamicheskikh i energeticheskikh kharakteristik vetrodvigateley raznogo tipa, prednaznachennykh dlya primeneniya v gorodskikh usloviyakh [A comparative analysis of the aerodynamic and energy characteristics of wind turbines of different type,designed for use in urban environments]/ E.R. Abramovskiy, S.V. Tarasov, I. Yu. Kostyukov, N. N. Lychagin //Sistemne proektuvannya ta analiz kharakteristik aerokosmichnoi tekhniki [System design and analysis of the characteristics of aerospace engineering]. – 2013. – V. 15. – P. 16–26.
12. Park S.H. The performance of small wind power generation systems on super high-rise buildings / S.H. Park, J.H. Park, J.C. Park, E.T. Lee //International Journal of Steel Structures. – 2014. – I. 14. – V. 3. – P. 489–499.
13. Chong W. T. Vertical axis wind turbine with omni-directional-guide-vane for urban high-rise buildings / W.T. Chong, S.C. Poh, A. Fazlizan, K.C. Pan //Journal of Central South University. – 2012. – I. 19. – V. 3. – P. 727–732.
14. Tchakoua P. A New Approach for Modeling Darrieus-Type Vertical Axis Wind Turbine Rotors Using Electrical Equivalent Circuit Analogy: Basis of Theoretical Formulations and Model Development / P. Tchakoua, R. Wamkeue, M. Ouhrouche, T.A. Tameghe, G. Ekemb //Energies. – 2015. – I. 8. – V. 10. – P. 10684–10717.



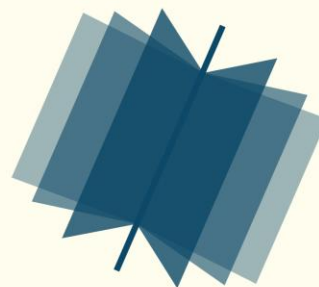
Получить актуальную информацию, задать вопросы  
и узнать свежие новости о Международном  
научно-исследовательском журнале Вы сможете  
на официальной странице ВКонтакте  
<http://vk.com/public43173774>

#### Опубликовать статью ВАК / Научный журнал

О компании:

Почта: [editors@research-journal.org](mailto:editors@research-journal.org)

МНИЖ предоставляет возможность опубликовать  
свои научные достижения аспирантам,  
преподавателям вузов, студентам, лицам,  
имеющим ученую степень, общественным  
деятелям, деятелям культуры и образования,  
политикам, экономистам России, стран СНГ и  
дальнего зарубежья.



DOI: 10.18454/IRJ.2016.54.265

Мирошник В.Ю.<sup>1</sup>, Подберезкин Д.А.<sup>1</sup>, Копейкин Д.А.<sup>1</sup>, Соколов П.С.<sup>1</sup>, Артамонова Е.Ю.<sup>2</sup><sup>1</sup>Студент, <sup>2</sup>аспирант,

Омский государственный технический университет

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №16-08-00243 а

**МЕТОДЫ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВЭУ****Аннотация**

В статье приведены основные методы и методики, начиная с первоначального этапа аэродинамического проектирования ветроэнергетических установок до предсерийного выпуска. Проведен литературный обзор методов и методик аэродинамического проектирования, по результатам которого представлены, наиболее перспективные методики, такие как аналитический, инженерный и аналитический с применением ЭВМ. Приведены уравнения для нахождения необходимых аэродинамических характеристик. Промоделирована наглядная модель и её часть в современных программах ANSYS CFX и SALOME. По результатам исследования сделан вывод, что приведенные методы удовлетворяют как экономическим, так и техническим требованиям для внедрения их на производстве.

**Ключевые слова:** Возобновляемые источники энергии, ветроэлектрическая установки, аэродинамическое проектирование.

Miroshnik V.Y.<sup>1</sup>, Sokolov P.S.<sup>1</sup>, Podberezkin D.A.<sup>1</sup>, Kopeykin D.A.<sup>1</sup>, Artamonova E.Y.<sup>2</sup><sup>1</sup>Undergraduate student, <sup>2</sup>postgraduate student,

Omsk State Technical University

This work was supported by grant RFBR and №16-08-00243

**THE METHODS OF AERODYNAMIC PROJECTING WIND-ELECTRICAL INSTALLATIONS****Abstract**

The main methods and techniques, since an initial stage of aerodynamic designing of wind power installations to pre-series release. The literary overview of methods and techniques of aerodynamic designing by results of which are provided the most perspective techniques, such as analytical, engineering and analytical with the use of computers. The equations for finding the necessary aerodynamic characteristics are given. Visual model is simulated and its part in modern programs ANSYS CFX and SALOME. By results of a research the conclusion is drawn that the given methods satisfy to both economic, and technical requirements for implementations on production.

**Keywords:** renewable energy sources, wind turbine, aerodynamic projecting.

В настоящее время в мире наблюдается развитие электроэнергетики основанной на возобновляемых ресурсах – возобновляемые источники энергии (ВИЭ) [2]. Одним из перспективных видов ВИЭ в России является ветроэнергетика (ВЭ). Потенциальное развитие ВЭ, как замена основным не возобновляемым источникам электроэнергии, возможна на территории Крыма и других перспективных районах, это обуславливает необходимость разработки инженерных методов проектирования, оптимизации и управления ветроэнергетического комплекса [2].

Для рассмотрения методов проектирования приведем классификацию ветроэлектрических установок (ВЭУ) [2]:



Рис. 1 – Классификация ветроэлектрических установок (ВЭУ)

Проведя анализ литературы и тенденций развития ВЭ, выяснилось, что в настоящее время, из-за увеличения мощностей, развиваются ВЭ мегаваттного класса[2].

Приведем методы проектирования аэродинамического проектирования ВЭУ:

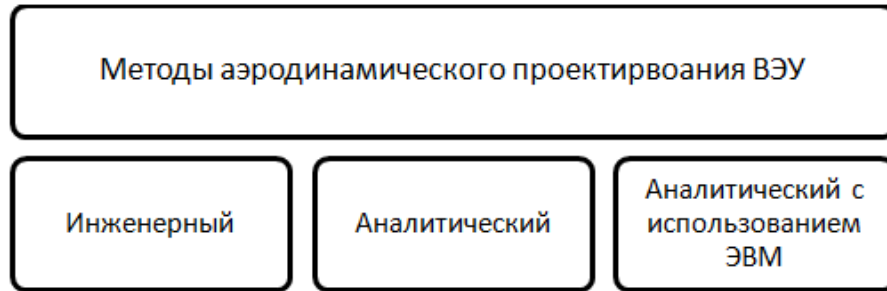


Рис. 2 – Методы аэродинамического проектирования ВЭУ

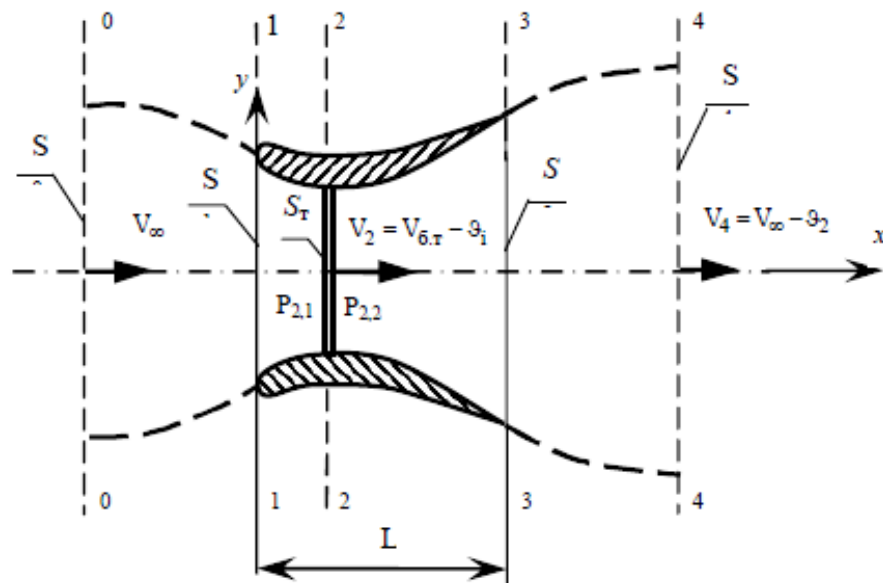
Рассмотрим подробно наиболее перспективные и универсальные методы проектирования ВЭУ.

### 1) Аналитический метод.

В качестве аналитического метода рассмотрим численный метод аэродинамического проектирования:

Рассмотрим численный метод расчета аэродинамических характеристик ВЭС с концентратором воздушного потока (КВП) [7]:

Для определения мощности турбины  $N_m$  составляем уравнение импульсов для двух контрольных объемов 1-3 (рис. 3):

Рис. 3 – Общий вид КВП с турбиной мощностью  $S_T$ 

Учтем, что сила давления на срезе контрольного объема  $P_\infty(S_0 - S_1)$  уравнивается силой на поверхности спутной струи, воздушное течение в виде вихрей, тогда имеем:

$$P_\infty S_T + \int_{S_k} (P - P_\infty) \cos(\vec{n}i) dS - P_{2,1} S_T - \int_{S_k} \tau \cos(\vec{e}i) dS = \rho(V_6 - \vartheta_1)(V_{6,T} - \vartheta_1 - V_\infty) S_T,$$

где  $P_\infty$  – атмосферное давление;

$S_T$  – площадь турбины;

$\tau$  – напряжение трения;

$\vec{n}$  – единичная нормаль к внутренней поверхности КВП;

$\vec{e}$  – единичный вектор касательной в точках внутренней поверхности КВП;

$V_{6,T}$  – скорость внутри КВП;

$\vartheta_1$  – индуктивная скорость в плоскости турбины.

$i$  – орт оси  $ox$

Для контрольного объема с диффузором:

$$\begin{aligned} P_{2,2} S_T + \int_{S_d} (P - P_\infty) \cos(\vec{n}i) dS - \int_{S_d} \tau \cos(\vec{e}i) dS - P_\infty S_T &= -\rho V_2 S_T V_2 + \rho V_2 S_T (V_\infty - \vartheta_2) \\ &= \rho(V_6 - \vartheta_1)[(V_\infty - \vartheta_2) - V_{6,T} + \vartheta_1] S_T, \end{aligned}$$

где  $V_2$  – скорость в плоскости  $ou$ ;

$P_{2,1}, P_{2,2}$  – Давление перед и за турбиной.

Сложив оба уравнения и разделив их на  $\frac{\rho V_\infty^2}{2} S_T$  получим,

$$\Delta \bar{P}_T - 2(\bar{V}_{6,T} - \bar{\vartheta}_1) \bar{\vartheta}_2 = C_{xp} - C_{xt},$$

где  $\Delta \bar{P}_T = \frac{2(P_{2,1} - P_{2,2})}{\rho V_\infty^2}$ ;

$\bar{\vartheta}_2 = \frac{\vartheta_2}{V_\infty}$ ;  $\bar{\vartheta}_1 = \frac{\vartheta_1}{V_\infty}$ ;  $\bar{V}_{6,T} = \frac{V_{6,T}}{V_\infty}$ ;

$$C_{xp} = \frac{1}{S_T} \int_{S_K+S_D} C_p \cos(\vec{n}i) dS;$$

$$C_{xt} = \frac{1}{S_T} \int_{S_K+S_D} C_f \cos(\vec{e}i) dS;$$

$$C_p = \frac{2(P-P_\infty)}{\rho V_\infty^2} - \text{коэффициент давления};$$

$$C_f = \frac{2\tau}{\rho V_\infty^2} - \text{коэффициент трения};$$

Тогда:

$$\Delta \bar{P}_T = 2(\bar{V}_{6T} - \bar{g}_i) \bar{g}_2 + C_{xp} - C_{xt};$$

- мощность турбины  $N_T$

$$N_T = \Delta \bar{P}_T \bar{V}_2 \frac{\rho V_\infty^3}{2} S_T;$$

Получим:

$$N_T = \eta \frac{\rho V_\infty^3}{2} \pi r_T^2,$$

где  $r_T$ ,  $\eta$  – радиус и КПД турбины.

Приведем расчет граничного интегрального уравнения относительно потенциала возмущенных скоростей [6]:

$$\phi = \frac{1}{2\pi} \int_{S+S_T} \left( \frac{1}{r} \frac{\partial \phi}{\partial n} - \phi \frac{\partial}{\partial n} \frac{1}{r} \right) ds - \frac{1}{2\pi} \int_f \Delta \phi \frac{\partial}{\partial n} \frac{1}{r} df,$$

где  $r$  – расстояние от точки интегрирования до точки, где определяется потенциал  $\phi$ ;

$S$  – поверхность КВП;

$\Delta \phi$  – разность потенциалов на плене;

$\vec{n} = n_x i + n_y j + n_z k$  – нормаль к поверхностям  $S$ ,  $f$ ,  $S_T$ .

Турбина моделируется активным сечением по аналогии с работой [1].

Параметры пограничного слоя и его коэффициентов определяются в [6]. Затем подставляем их в интегральное соотношение:

$$\frac{d\delta_{00}}{dx} + \frac{1}{V_6} \frac{dV_6}{dx} \delta_0 + \left( \frac{2}{V_6} \frac{dV_6}{dx} - \frac{1}{V_6} \frac{dV_\psi}{d\psi} \right) \delta_{00} = \frac{\tau_0}{\rho V_6^2} - \frac{V_0}{V_6}$$

полученное уравнение с одним неизвестным решим методом Рунге-Кутты [6].

Таким образом данным аэродинамическим методом можно определить характеристики ВЭУ с концентрированными воздушными потоками: крутящий момент, мощность на валу и диаметр ротора.

## 2) Метод аэродинамического проектирования ВЭУ по известным данным.

Применяется для проектирования маломощных ВЭУ, которые используют энергию малых ветров (2 – 5 м/с). При аэродинамическом проектировании известны следующие параметры: мощность, относительные хорды, скорость ветра, относительные величины половины высоты ветроколеса. С помощью известных параметров найдем: диаметр ветроколеса, частоту вращения, хорду профиля и высоту лопасти [11].

Метод расчета заключается в определении:

- мощностной характеристик  $C_p = f(Z)$ , которая является зависимостью коэффициента мощности  $C_p$  от быстроходности  $Z$ ;
- моментной характеристики  $C_m = f(Z)$ , что является зависимостью коэффициента момента  $C_m$  от быстроходности  $Z$ .

По полученным зависимостям определим оптимальное значение быстроходности ветроколеса  $Z_{опт}$ , при котором обеспечивается наибольшее значение коэффициентов этих зависимостей.

Коэффициент вспомогательной быстроходности находится по формуле:

$$Z_b = \frac{wR}{V_1},$$

где  $U=wR$  – окружная скорость ротора;  $R$  – радиус;  $V_1$  – скорость ветра в миделевом сечении, наибольшее по площади поперечное сечение тела плоскостью.

Промежуточные значения  $Z_b$ :

$$Z_b(KK) = Z_{bH} + (Z_{bK} - Z_{bH}) \frac{KK - 1}{n_{всп} - 1},$$

где  $KK = 1, 2, \dots, n_{всп}$ ;  $Z_{bH}$  – начальное значение вспомогательной быстроходности;  $Z_{bK}$  – конечное значение вспомогательной быстроходности;  $n_{всп}$  – количество точек вспомогательной быстроходности.

Вспомогательное выражение:

$$G = \frac{i_L \bar{b}}{16\pi} \int_0^1 d\bar{Z} \int_0^{2\pi} \left( \frac{W_{проф}^2}{V_1^2} (-C_n \sin \theta + C_i) \right) d\theta.$$

Переменный азимутальный угол расположения профиля:

$$\theta_i = iH_\theta,$$

где  $i = 0, 1, 2, \dots, n_\theta$ ;  $H_\theta = 2\pi/n_\theta$  – шаг по углу;  $n_\theta$  – количество шагов при численном интегрировании по углу;  $W_{проф}^2$  – относительная скорость ветра на плоскость профиля;  $\bar{b}$  – относительная хорда профиля в долях наружного радиуса, о. е.

Тангенс угла атаки проекции относительной скорости на плоскость профиля для  $i$ -го шага по углу:



$$\operatorname{tg} \alpha_i = \frac{-\sin \theta_i \cos \delta_k}{Z_b \bar{r}_k + \cos \theta_i}.$$

Угол атаки  $\alpha$  определяется ближайший к углу  $\alpha_i$  по таблице аэродинамических характеристик профилей [10].

Пусть номер найденного элемента  $\alpha$  будет  $it$ . С помощью линейной интерполяции определим коэффициенты  $C_{y_a}$  и  $C_{x_a}$ , соответствующие  $\alpha_i$ . Далее будет предложено рассмотреть три варианта номера  $it$ .

$$\begin{aligned} C_{y_{ai}} &= C_{y_a}(it-1) + DA_i (C_{y_a}(it) - C_{y_a}(it-1)); \\ C_{x_{ai}} &= C_{x_a}(it-1) + DA_i (C_{x_a}(it) - C_{x_a}(it-1)), \end{aligned}$$

$$\text{где } DA_i = \frac{\alpha_i - \alpha_i(it-1)}{\alpha_i(it) - \alpha_i(it-1)}.$$

Точка с номером  $it$  соответствует крайней точке массива с номером 1:

$$\begin{aligned} C_{y_{ai}} &= C_{y_a}(1) + DA_{1i} (C_{y_a}(2) - C_{y_a}(1)); \\ C_{x_{ai}} &= C_{x_a}(1) + DA_{1i} (C_{x_a}(2) - C_{x_a}(1)), \end{aligned}$$

$$\text{где } DA_i = \frac{\alpha_i - \alpha_i(1)}{\alpha_i(2) - \alpha_i(1)}.$$

Точка с номером  $it$  соответствует крайней точке массива с номером  $n_{\text{табл}}$ :

$$\begin{aligned} C_{y_{ai}} &= C_{y_a}(n_{\text{табл}}) + DA_{2i} (C_{y_a}(n_{\text{табл}}) - C_{y_a}(n_{\text{табл}} - 1)); \\ C_{x_{ai}} &= C_{x_a}(n_{\text{табл}}) + DA_{2i} (C_{x_a}(n_{\text{табл}}) - C_{x_a}(n_{\text{табл}} - 1)), \end{aligned}$$

$$\text{где } DA_i = \frac{\alpha_i - \alpha_i(n_{\text{табл}})}{\alpha_i(n_{\text{табл}}) - \alpha_i(n_{\text{табл}} - 1)}.$$

Экстраполируем по касательным к точечным кривым, для нахождения крайних точек массива угла атаки  $\alpha$ .

Квадрат проекции:

$$Z_{bb_i}^2 \equiv \left( \frac{W_{\text{проф}}^2}{V_1^2} \right)_i = (Z_b \bar{r}_k + \cos \theta_i)^2 + \sin^2 \theta_i \cos^2 \delta_k,$$

где  $V_1^2$  – квадрат скорости ветра в миделевом сечении.

Коэффициенты компонента аэродинамических сил, действующих на профиль в направлении хорды профиля и нормали к ней (в плоскости профиля), такие:

$$\begin{aligned} C_{t_i} &= -C_{y_{ai}} \sin \alpha_i + C_{x_{ai}} \cos \alpha_i; \\ C_{n_i} &= C_{y_{ai}} \cos \alpha_i + C_{x_{ai}} \sin \alpha_i. \end{aligned}$$

Коэффициенты вспомогательной быстроходности:

$$Z = Z_b \frac{1 + \bar{V}_2}{2},$$

$$\text{где } \bar{V}_2 = \frac{1-G}{1+G}.$$

При наклоне лопастей  $\delta=0$ , т.е. в вертикальные, коэффициент мощности вычисляется по интегралу:

$$C_p = \frac{i_l \bar{b} (1 + \bar{V}_2)^3 Z_b}{32\pi} \int_0^{2\pi} \left( -\frac{W_{\text{проф}}^2}{V_1^2} (\bar{r} C_i) \right) d\theta.$$

где  $i_l$  – количество лопастей;  $\bar{V}_2$  – относительная скорость вниз по потоку, о.е.;  $Z_b$  – вспомогательная быстроходность;  $\bar{r}$  – относительный радиус;  $C_i$  – коэффициент аэродинамических сил, действующих в направлении хорды профиля;  $\theta$  – азимутальный угол.

Коэффициент момента связан с коэффициентом мощности соотношением:

$$C_m = \frac{C_p}{Z}.$$

На данном этапе необходимо определить точку пересечения точечной кривой  $C_p(Z)$  с осью абсцисс, при необходимости экстраполируем последний участок кривой с помощью прямой. Назовем абсциссу точки пересечения  $Z_{\text{max}}$ :

$$Z_{\text{max}} = Z_{n-1} - C_{p_{n-1}} \frac{(Z_n - Z_{n-1})}{(C_{p_n} - C_{p_{n-1}})},$$

где  $n$  и  $n-1$  – номера последней и предпоследней точек кривой  $C_p = C_p(Z)$ . Считая, что абсцисса рабочей точки лежит в интервале  $(Z_{\text{опт}}, Z_{\text{max}})$ , где  $Z_{\text{опт}}$  – абсцисса максимальной точки кривой  $C_p(Z)$ , задаем некоторое положительное число  $K_z$ , меньшим единицы, и определяем

$$Z_{p.t.} = Z_{\text{опт}} + (Z_{\text{max}} - Z_{\text{опт}}) K_z,$$

где  $K_z$  значение в пределах 0,15...0,3. Определяются номера точек кривой  $C_p(Z)$ , абсциссы которых образуют интервал, содержащий  $Z_{p.t.}$ .

Пусть это будут номера  $k-1$  и  $k$ . Тогда с помощью линейной интерполяции ордината рабочей точки

$$C_{p_{p.t.}} = C_{p_{k-1}} + (C_{p_k} - C_{p_{k-1}}) \frac{(Z_{p.t.} - Z_{k-1})}{(Z_k - Z_{k-1})}.$$

Для прямых вертикальных лопастей:

$$S = 4Rh = 4R^2 \bar{h} = D^2 \bar{h},$$

$$\text{где } \bar{h} = \frac{h}{R}.$$



Отсюда

$$D = \sqrt{\frac{N}{C_p \frac{\rho V^3}{2} \bar{\eta}_{\text{общ}}}}$$

Частота вращения колеса, об/мин,

$$n_{\text{об}} = \frac{60 Z_{\text{р.т.}} V}{D \pi}$$

Хорда профиля лопасти постоянна по высоте лопасти. Задаем относительную хорду в долях радиуса колеса (для изогнутых лопастей – в долях максимального радиуса R):

$$b = \bar{b} R.$$

В результате использования данного алгоритма находим значения вектора геометрического параметра ротора  $X^*$ , который обеспечивает заданную мощность  $N$ .

Для решения поставленной оптимизационной задачи зададимся высотой лопасти, а на остальные параметры наложены ограничения:  $b_{\min} \leq b \leq b_{\max}$  – длина хорды лопасти,  $D_{\min} \leq D \leq D_{\max}$  – диаметр,  $n_{\min} \leq n \leq n_{\max}$  – количество лопастей,  $p = (p_1, p_2, \dots, p_k)$ , где  $p_i$  ( $i = 1 \dots k$ ) – вид профиля лопасти. Для каждого из этих параметров задается шаг:  $\Delta b, \Delta D, \Delta n$ . С помощью дискретного перебора результатов расчёта выбираем те геометрические параметры, при которых достигается максимальная мощность  $N$  [9].

Предложенный алгоритм автоматизированного проектирования обеспечивает построение ВЭУ с наилучшими электрическими характеристиками при эксплуатации ВЭУ в условиях присутствия малых ветров со скоростью менее 5 м/с.

### 3) Математическое моделирование с использованием ЭВМ.

Моделирование можно провести с помощью следующих программ, например, ANSYS CFX или SALOME. Программы позволяют получить детальные картины течения воздушного потока вокруг работающей поверхности [9].

В программе ANSYS CFX рассмотрим работу ветроустановки и расчет обтекания и основных аэродинамических сил и моментов, возникающих на промышленной ветроустановке при обдуве ее ветровым потоком [8].

Для начала работы необходимо построить модель. Расчет можно производить как целой модели, так и отдельной её части.

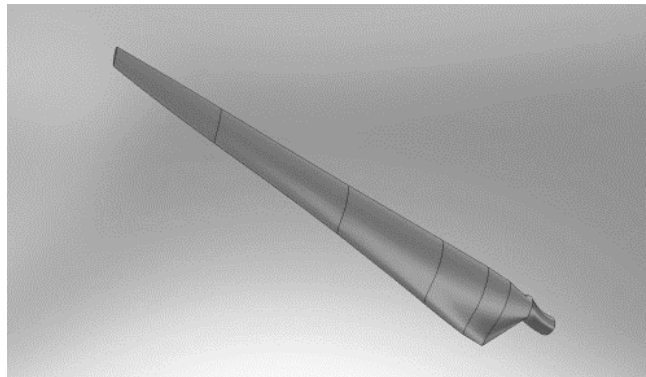


Рис. 4 – CAD-модель лопасти

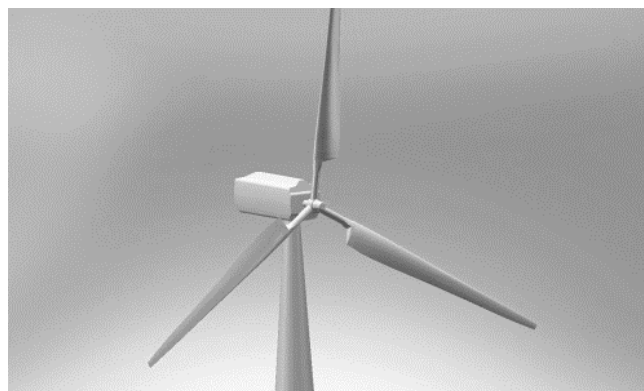


Рис. 5 – Полная CAD-модель ветроустановки

В качестве основной схемы расчета была выбрана задача стационарного обтекания равномерным ветровым потоком вращающегося ротора в присутствии неподвижной гондолы. Расчетная область представлена двумя доменами в форме цилиндров: внешний цилиндр радиуса 50 м и длиной образующей 100 м, описывающий стационарное поступательное движение среды, и внутренний, вращающийся с постоянной угловой скоростью цилиндрическая рабочая область – домен, охватывающий лопасти ветроустановки, радиуса 9.5 м и длиной образующей 2.5 м (рис. 6-7).

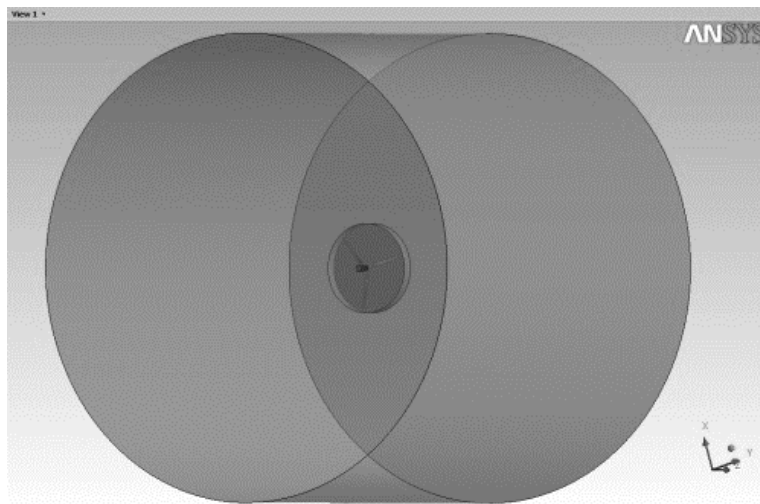


Рис. 6 – Расчетная область

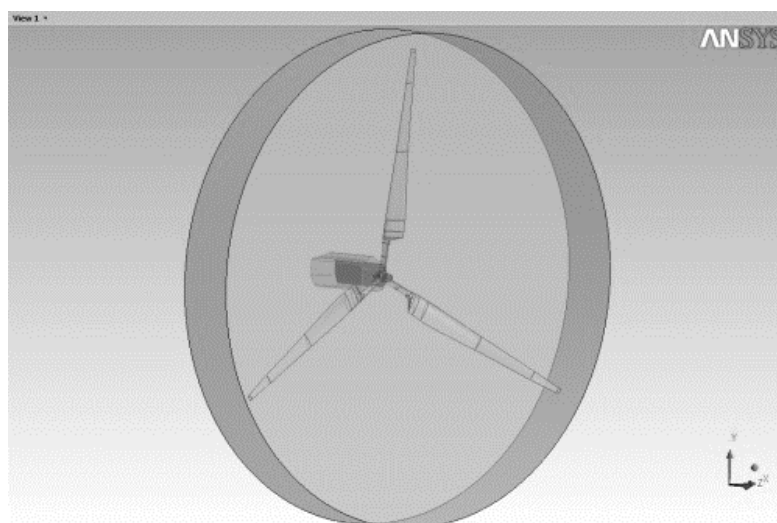


Рис. 7 – Вращающийся домен

Генерация сетки проводится в полуавтоматическом режиме в грид-генераторе CFX-Mesh. Генерируется трехмерная гибридная тетраэдральная сетка с призматическими слоями в областях пограничного слоя на твердых поверхностях (рис. 8) (здесь и далее стрелкой указано направление ветра).

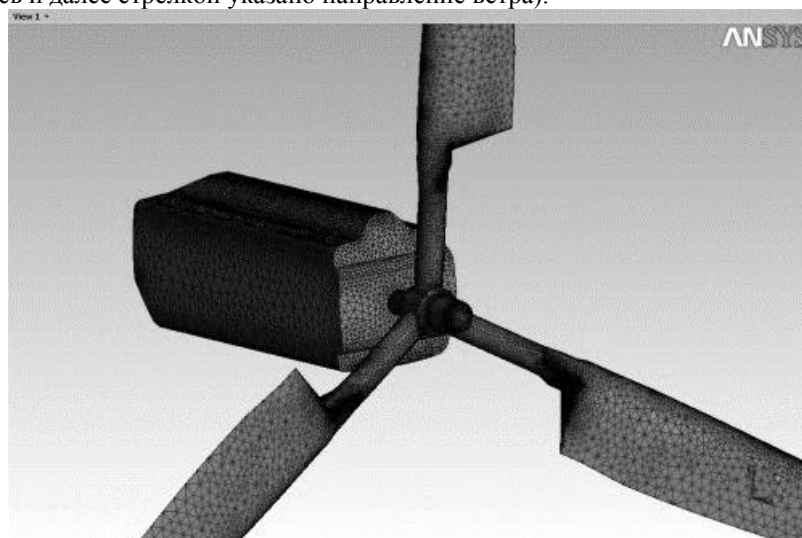


Рис. 8 – Фрагмент треугольной сетки на поверхности гондолы и лопастей

Далее приведена серия компьютерных визуализаций, позволяющая выявить основные закономерности обтекания ветроустановки и локальные характерные особенности течения [8].

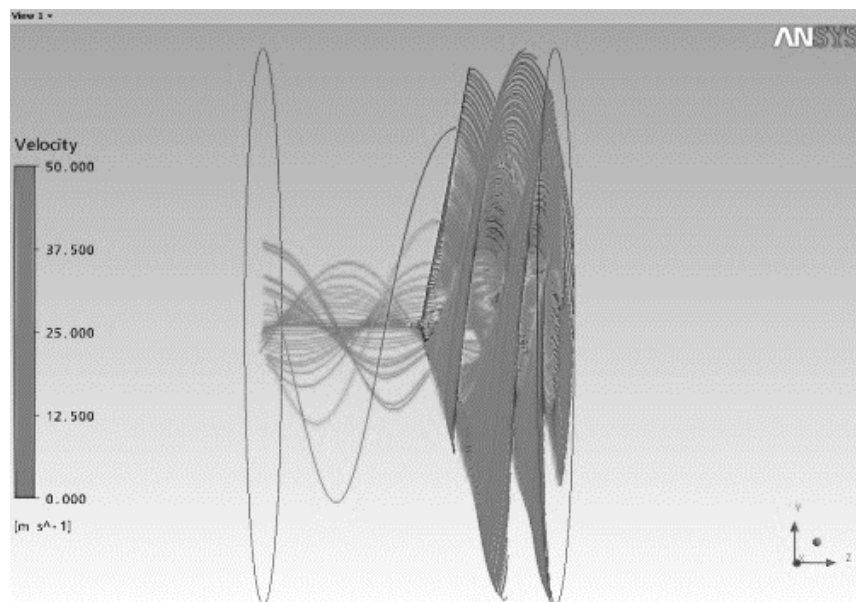


Рис. 9 – Линии потока во вращающейся вместе с лопастями системе координат

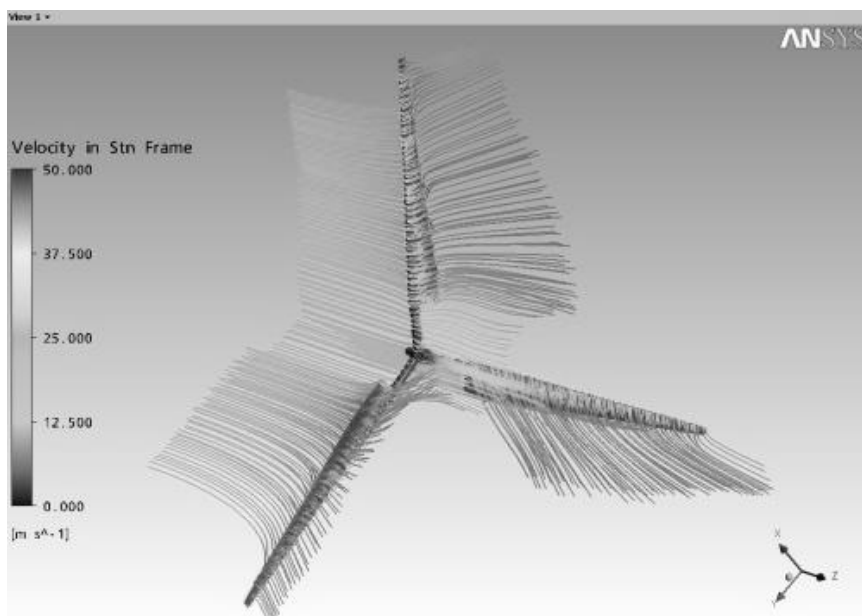


Рис. 10 – Линии потока в абсолютной системе отсчета, показывающие возникновение индуктивного скачка за вращающимися лопастями при отбрасывании ими потока

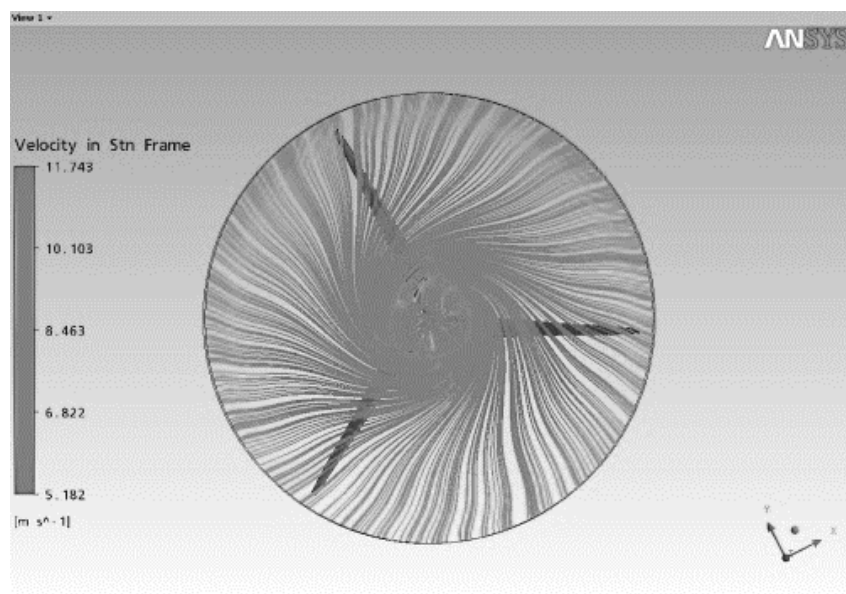


Рис. 11 – Линии потока в плоскости на выходе из вращающейся расчетной области за лопастями

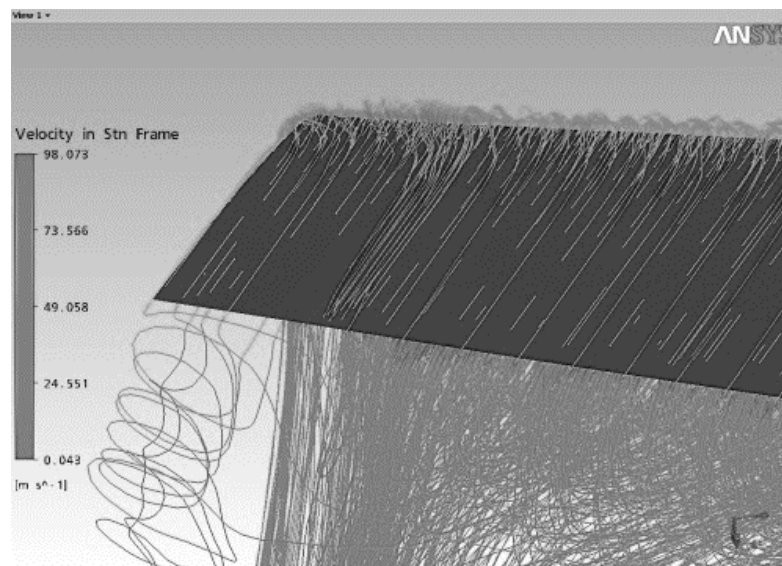


Рис. 12 – Визуализация вихря, сходящего с концевое сечения лопасти

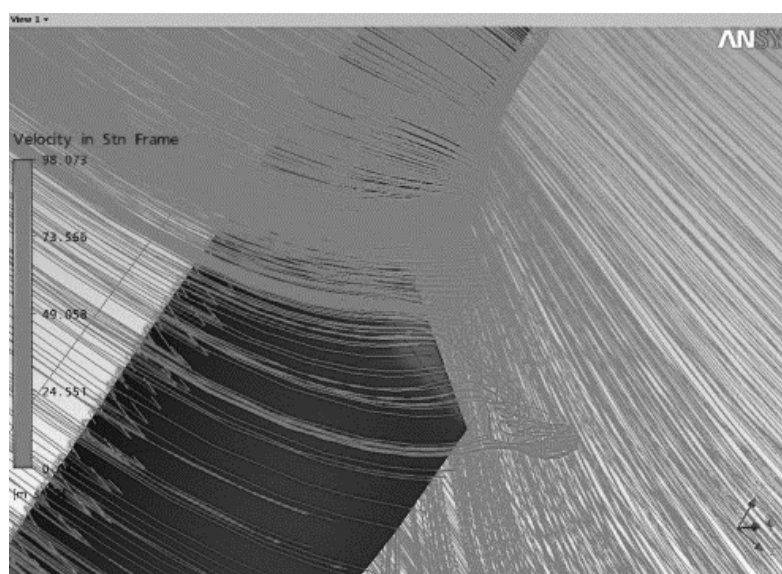


Рис. 13 – Визуализация вихря, сходящего с торца лопасти в области крепления к своему валу

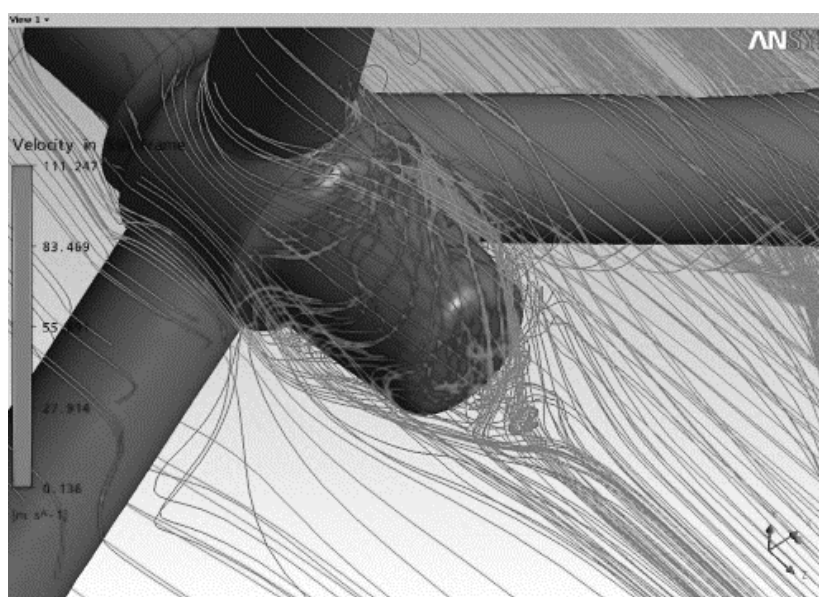


Рис. 14 – Визуализация центрального осевого вихря, сходящего с основного вала

По результатам проведенных циклов методических и параметрических расчетов можно провести верификацию методики расчетов и сделано сопоставление полученных расчетных данных для крутящего момента и механической мощности с натурными экспериментальными данными (рис. 15).

**Мощность и крутящий момент  
(сравнение расчета и эксперимента)  
Номинальная скорость ветра 13 м/с, КПД генератора 87%**

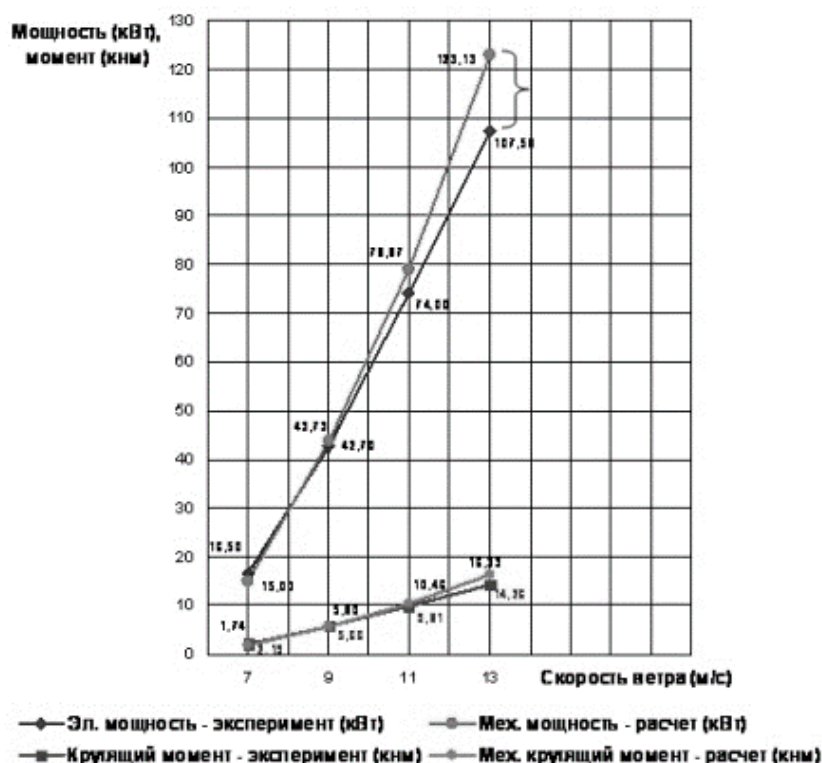


Рис. 15 – Мощность и крутящий момент: сравнение расчета и эксперимента

Вторым программным продуктом, рассмотренным нами будет SALOME он предназначен для проведения имитационного моделирования при решении задач вычислительной аэро- и гидродинамики [9]. SALOME представляет собой открытую интегральную программную платформу для выполнения численных расчетов и имитационного моделирования.

Рассмотрим применение этой программы на примере проектирования дополнительных аэродинамических поверхностей крыла воздушного судна. Эта задача схода с задачей по проектированию формы лопасти ветроустановки.

Работа в этой программе аналогична работе в программе ANSYS CFX, оно начинается с построения 3D-модели объекта проектирования [4]:

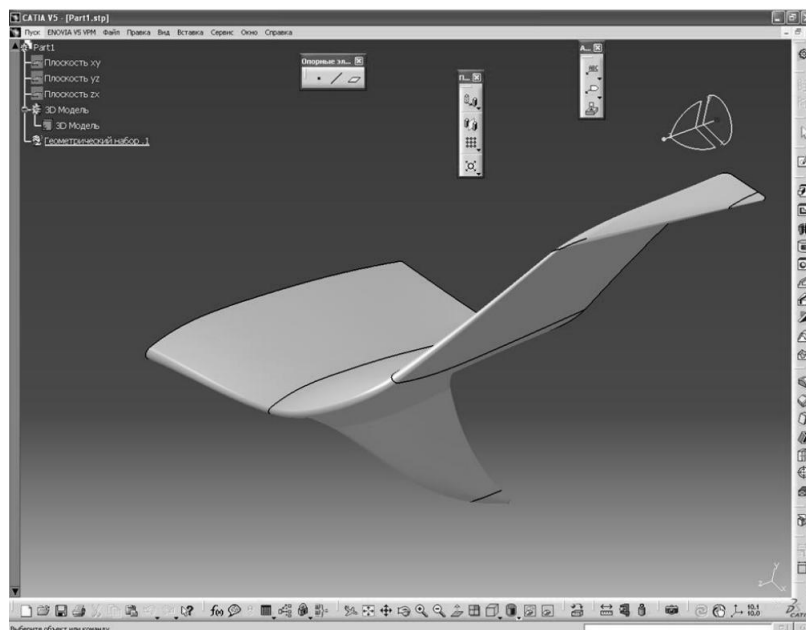


Рис. 16 – Диалоговое окно системы CATIA, в которой представлена 3D модель ДАП крыла.

Следом задается расчетная область и в нее помещается объект проектирования.

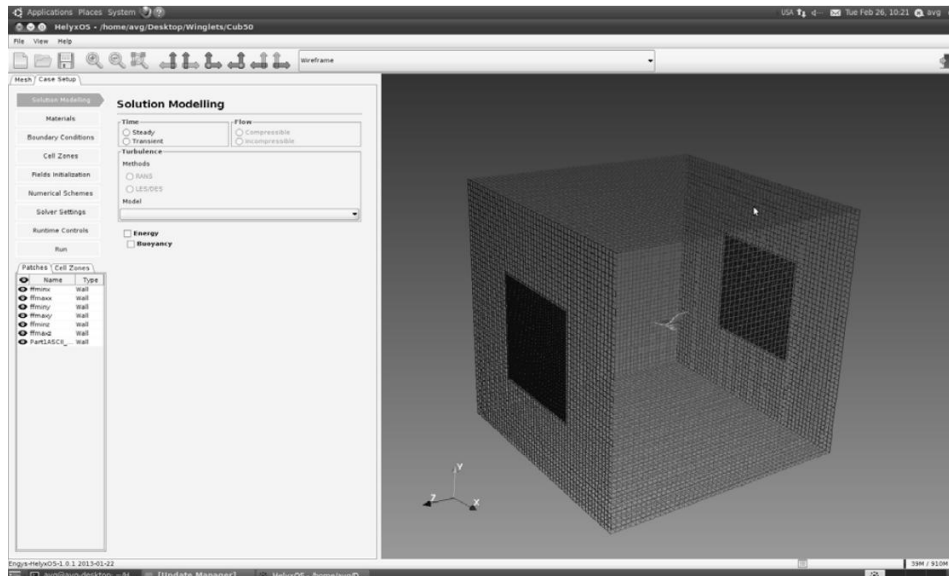


Рис. 17 – Расчетная область

После этого производится расчет.

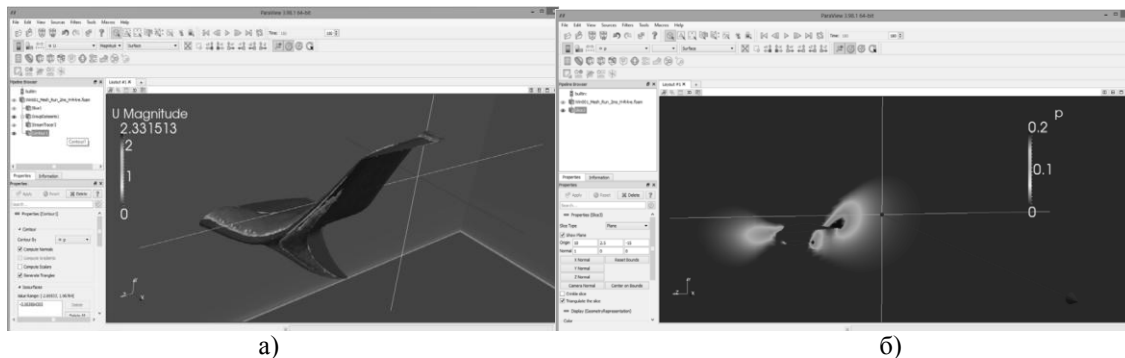


Рис. 18 – Результаты имитационного моделирования для ДАП крыла ВС:  
а – изменение скорости распределения текучей среды по поверхности ДАП крыла;  
б – распределение давления в сечении ДАП

#### 4) Инженерный метод.

Данный метод представляет собой заключительный этап проектирования ВЭУ перед выпуском в серию. На данном этапе производится:

- **уточнение нагрузок, действующих на элементы ВЭУ;** выявление нежелательных резонансных явлений; оценка механических взаимодействий элементов ВЭУ с использованием параметров, полученных на этапе разработки и расчёта механических узлов и компонентов;
- **модернизация механических узлов и компонентов.** Цель данного этапа проектирования заключается во внесении необходимых изменений и окончательной доработки механических частей, узлов и конструкций, а также в производстве и сборке опытного образца. Производятся основные производственные процедуры и процедуры контроля качества;
- **электрическая часть ВЭУ.** Разрабатывается электрическая часть ВЭУ, схемы и алгоритмы управления, производится проектирование основных органов управления электрическими цепями, а также проектируется основное электротехническое оборудование;
- **написание руководства.** Итогом выполнения данного этапа является создание руководство оператора и эксплуатационное руководство;
- **техническая экспертиза проектной документации.** Проект подвергается всесторонней технической экспертизе на предмет соответствия условиям и требованиям выполнения проекта, изложенным в действующих в стране фирмы производителя стандартам;
- **техническая экспертиза опытного образца.** Опытный образец ВЭУ проверяется на устойчивость к наихудшим возможным природно-климатическим условиям, и в целом на работу в пределах рабочего диапазона скоростей ветрового потока. Измерения проводятся для выработки мощности на контактных щётках, основном вале, и т. д. Измеряются электромагнитные помехи и уровень шума ВЭА. Техническая экспертиза проводится сторонней организацией, обладающей соответствующим сертификатом.
- **внесение исправлений.** После выявления в ходе технической экспертизы опытного образца ошибок и несоответствий вносятся необходимые исправления и изменения;



- **оценка производственных условий.** Проводится с целью получения гарантий, что производственный процесс будет проходить согласно техническим требованиям;
- **получение сертификата.** В результате удовлетворительных оценок, полученных на этапах технической экспертизы проектной документации, технической экспертизы опытного образца и оценки производственных условий фирме выдаётся сертификат типа, дающий право на серийное производство и продажу ВЭУ [5].

**Выводы:** в данной работе показаны наиболее перспективные методы и методики аэродинамического проектирования ВЭУ. Представлено: моделирование ВЭУ по заданным параметрам в современных программах, например ANSYS, SALOME; расчет параметров численным методом и расчет по известным данным для ВЭУ использующие энергию малых ветров (математические методы). Результатом исследования стало, что приведенные методы удовлетворяют как экономическим, так и техническим требованиям для внедрения их на производстве.

#### Список литературы / References

1. Гайдаенко В.И. Метод расчета стационарного и нестационарного обтекания летательного аппарата с работающей силовой установкой / В.И. Гайдаенко, В.В. Гуляев, А.К. Калганов // Применение ЭВМ для исследования аэродинамических характеристик летательных аппаратов: труды ВВИА им. Н.Е. Жуковского. — Вып. 1313. — М., 1986. — С. 23 – 32.
2. Гончаров А.А. К вопросу классификации и основные требования к проектированию ветроэлектрических установок / Гончаров А.А. // Научный журнал КубГАУ. — 2014. — №97(03)
3. Григораш О.В. Возобновляемые источники электроэнергии / О.В. Григораш, Ю. П. Степура, Р. А. Сулейманов и др. Краснодар, — 2012, с. 272.
4. Горбунов А. А. Применение имитационного моделирования при проектировании дополнительных аэродинамических поверхностей крыла воздушного судна, автореф. дис.... канд. тех. наук 24.10.2013 / Горбунов Александр Алексеевич. Оренбургский государственный университет. — Оренбург, 2013. — 17 с.
5. Елистратов В.В. Проектирование и эксплуатация установок нетрадиционной и возобновляемой энергетики. Ветроэлектрические установки: учебное пособие / В.В. Елистратов, А.А. Панфилов. — СПб.: Изд-во Политехнического ун-та, 2011. — С. 35–37.
6. Лебедь В.Г. Оценка целесообразности использования концентраторов воздушного потока в ветроэнергетических установках / В.Г. Лебедь, С.А. Калкманов, А.Л. Сушко // Интегрированные технологии в энергосбережении: ежеквартальный научно-технический журнал.—Харьков: НТУ «ХПИ». — №4. — Харьков, 2011. — С. 73 – 88.
7. Лебедь В.Г. Метод аэродинамического расчета ветроэнергетической установки с концентратором воздушного потока / В.Г. Лебедь, С.А. Калкманов, // Авиационно-космическая техника и технология: сб. научных трудов Нац. Аэрокосм. Ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ» — Вып. 5(92). — Харьков, 2012. — С. 31 – 42.
8. О компьютерном моделировании обтекания ветроустановки [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — Москва Режим доступа: <http://www.t-services.ru/ru/solutions/windpower.html>. (24.02.2010).
9. Синеглазов В. М. Автоматизированное проектирование ветроэнергетических установок с вертикальной осью вращения / В.М. Синеглазов, С.С. Алёшкин, Кульбака А.В. // Научно технический журнал Электроника та системи управління — Вып. 5(30). — Киев, 2011. — С. 84 – 89.
10. Справочник авиационных профилей [Электронный ресурс]. — Казань: Казанский нац. исслед. тех. университет им. А.Н. Туполева. — Режим доступа: <http://kipla.kai.ru/liter.html>.
11. CFD Analysis - Guidance for Good Practice [Электронный ресурс] / NAFEMS Ltd. — 2013. — Режим доступа: <http://www.nafems.org/about/>

#### Список литературы латинскими символами / References in Roman script

1. Gajdaenko V.I. Metod rascheta stacionarnogo i nestacionarnogo obtekanija letatel'nogo apparata s rabotajushhej silovoj ustanovkoj [The method of calculation of steady and unsteady flow around the aircraft with a working power plant] / V.I. Gajdaenko, V.V. Guljaev, A.K. Kalganov // Primenenie JeVM dlja issledovanija ajerodinamicheskikh harakteristik letatel'nyh apparatov: trudy VVIA im. N.E. Zhukovskogo. [Application of the computer for research of aerodynamic characteristics of aircraft: the works VVIA them. N.E. Zhukovsky]— R. 1313. — М., 1986. — P. 23 - 32. [in Russian]
2. Goncharov A.A. K voprosu klassifikacii i osnovnye trebovanija k proektirovaniju vetrojelektricheskikh ustanovok [The problem of classification and basic requirements for projecting wind-electrical installations], Goncharov A.A. // Nauchnyj zhurnal KubGAU [Science journal KubGAU] —2014. — №97(03). —[in Russian]
3. Grigorash O.V. Vozobnovljaemye istochniki jelektroenergii [Renewable energy sources] / O.V. Grigorash, Ju. P. Stepura, R. A. Sulejmanov i dr. Krasnodar, —.2012, P. 272. [in Russian]
4. Gorbunov A. A. Primenenie imitacionnogo modelirovanija pri proektirovanii dopolnitel'nyh ajerodinamicheskikh poverhnostej kryla vozdushnogo sudna [Application of simulation in the design of the additional aerodynamic surfaces of an aircraft wing], avtoref. Dis. ... kand. teh. Nauk 24.10.2013 / Gorbunov Aleksandr Alekseevich; Orenburg State University. — Orenburg, 2013. — P. 17. [in Russian]
5. Elistratov V.V. Proektirovanie i jekspluatacija ustanovok netradicionnoj i vozobnovljaemoj jenergetiki. Vetrojelektricheskie ustanovki: uchebnoe posobie [Design and operation of non-traditional and renewable energy plants. Wind power plants] / V.V. Elistratov, A.A. Panfilov. — SPB.: Pub. Polytechnic University, 2011. — P. 35–37. [in Russian]
6. Lebed' V.G. Ocenka celesoobraznosti ispol'zovanija koncentratorov vozdushnogo potoka v vetrojenergeticheskikh ustanovkah [The estimation of expediency of using concentrators air flow in wind power plant] / V.G. Lebed', S.A. Kalkamanov, A.L. Sushko // Integrirovannye tehnologii v jenergosberezhenii: ezhekvaral'nyj nauchno-tehnicheskij zhurnal [The integrated technology to save energy: a quarterly scientific-technical journal], —№4.— Kharkiv: NTU «HPI», 2011. —P. 73 - 88. [in Russian]
7. Lebed' V.G., Kalkamanov S.A. Metod ajerodinamicheskogo rascheta vetrojenergeticheskij ustanovki s koncentratorom vozdushnogo potoka [Method of calculating aerodynamic wind power plants with concentrators of air flow]



V.G. Lebed', S.A. Kalkamanov, [Aerospace Engineering and Technology: Proc. scientific papers Nat. Aerokosm. Zap them. N.E. Zhukovsky "HAI"] — R. 5(92).— Kharkiv, 2012. — P. 31 – 42. [in Russian]

8. O komp'yuternom modelirovanii obtekanija vetroustanovki [Jelektronnyj resurs] [Computer simulation of flow around wind turbines [electronic resource]]. — Moscow. —Access mode: <http://www.t-services.ru/ru/solutions/windpower.html>. (24.02.2010).

9. Sineglazov V. M. Avtomatizirovanoe proektirovanie vetrojenergeticheskikh ustanovok s vertikal'noj os'ju vrashhenija [Automated design of wind turbines with a vertical axis of rotation [Text]] / V.M. Sineglazov, S.S. Aljoshkin, Kul'baka A.V. // Nauchno tehnichestkij zhurnal Elektronika ta sistemi upravlinnja [Scientific and technical journal: Electronics and control systems] — R. 5(30).—Kiev, 2011.—P. 84 -89. [in Russian]

10. Spravochnik aviacionnyh profilej [Directory of Aircraft profiles [electronic resource]]. — Kazan: Kazanskij nac. issled. teh. universitet im. A.N. Tupoleva [Kazan National Research Technical University A.N. Tupoleva] — Access mode: <http://kipla.kai.ru/liter.html>.

11. CFD Analysis - Guidance for Good Practice [electronic resource] / NAFEMS Ltd. — 2013. — Access mode: <http://www.nafems.org/about/>

DOI: 10.18454/IRJ.2016.54.238

Нифонтова Л.С.<sup>1</sup>, Чавриков И.Е.<sup>2</sup>, Кальницкий П.В.<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Магистрант, Омский государственный технический университет

**МЕТОДЫ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА**

*Аннотация*

*Аэродинамическим экспериментом называют моделирование течений воздуха и их взаимодействие с исследуемыми объектами с целью изучения. При решении задач аэродинамики теоретические методы не всегда позволяют получить достоверные результаты, поскольку математические модели явлений несовершенны. Поэтому наряду с законами подобия используется аэродинамический эксперимент для наиболее надежного определения аэродинамических характеристик среды и исследуемого объекта. В данной статье рассмотрены методы аэродинамического эксперимента.*

**Ключевые слова:** аэродинамический эксперимент, аэродинамическая труба, ракетная тележка, баллистическая установка, ротативная машина.

Nifontova L.S.<sup>1</sup>, Chavrikov I.E.<sup>2</sup>, Kalnitsky P.V.<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Master student, Omsk State Technical University

**METHODS OF AERODYNAMIC EXPERIMENT**

*Abstract*

*Aerodynamic experiment called modeling of air flows and their interaction with the test objects to study. In solving the problems of aerodynamics the theoretical methods is not always you can obtain reliable results because mathematical models of phenomena are not perfect. Therefore, aerodynamic experiment is used along with the laws of similarity for the most reliable determination of the aerodynamic characteristics of the medium and of the object. The article describes methods of aerodynamic experiment.*

**Keywords:** aerodynamic experiment, wind tunnel, rocket-propelled carriage, ballistic installation, Rotary machine.

**А**эродинамический эксперимент можно разделить на две группы в зависимости от относительного движения воздушной среды и исследуемого объекта:

- 1) исследуемый объект движется с определенной скоростью в неподвижной воздушной среде;
- 2) неподвижный исследуемый объект в воздушной среде, движущейся с определенной скоростью.

К первой группе относятся такие эксперименты как летные испытания, баллистическая установка, ротативная машина и ракетная тележка. Ко второй же относятся аэродинамические трубы.

#### **Баллистическая установка**

Для исследования взаимодействия свободнолетающего тела с обтекающим его газом используется баллистическая установка. Целью таких исследований является изучение аэродинамического сопротивления и устойчивости движения тела, звукового удара и т.д.

Состоит баллистическая установка из метательного устройства, сообщаящего скорость исследуемому телу, баллистической трассы вдоль траектории полёта тела, оборудованной измерительной аппаратурой, и устройства для торможения тела. В качестве метательного устройства используется пороховая пушка или двухступенчатая пушка, называемая легкогазовой (см. рис.1). Она представляет собой два ствола, в первом пороховой заряд движет поршень, сжимающий легкий газ во втором стволе до больших давлений. Когда давление достигает заданного экспериментом значения, срабатывает спусковое устройство и модель приводится в движение. Скорость метания таких пушек достигает 11 км/ч.

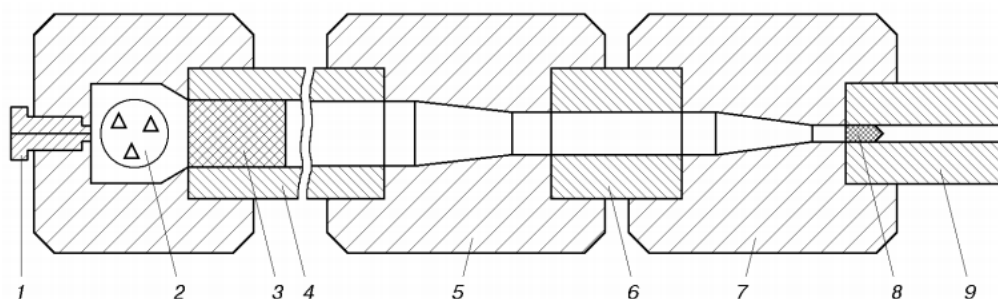


Рис. 1 – Схема легкогазовой установки с составным коническим переходником:  
 1 – запальная пробка, 2 – пороховая камера, 3 – поршень, 4 – камера сжатия,  
 5 – первая секция конического переходника, 6 – цилиндрическая вставка,  
 7 – вторая секция конического переходника, 8 – метаемый элемент, 9 – ствол

### Ротативная машина

Ротативную машину применяют в экспериментах, где исследуемому телу придают вращательное движение относительно неподвижной среды. Основным элементом ротативной машины является брус, который вращается вокруг оси, не совпадающей с главной осью самого рычага. С одного конца бруса устанавливается исследуемый объект, с другой стороны устанавливается противовес для уравнивания массы и момента инерции исследуемого тела. Иногда около исследуемого тела устанавливается круговой экран с прорезью для прохождения бруса, позволяющий убрать влияние на исследуемый объект спутной струи, которая вызывается вращающимися частями установки.

### Ракетная тележка

Совершенствование методов испытаний новых образцов ракетной и оборонной техники привело к созданию специальных высокоскоростных железных дорог, которые были названы ракетными треками. Первые сведения об испытаниях при помощи ракетных тележек были опубликованы в 1957 году в журнале *Jet Propulsion*. Ракетные треки представляют собой закрепленные на двух, связанных фундаментом, жестких балках направляющие с шириной колеи 1-2 м и протяженностью до 11 км. Близкие к натуральным условия движения испытываемых образцов на дозвуковой и сверхзвуковой скоростях, воспроизводятся с помощью специальных тележек, которые движутся по ракетным трекам под действие реактивной тяги пороховых реактивных двигателей. Ракетные тележки имеют скользящие опоры, называемые башмаками, которые огибают головку рельса своими нижними захватами. Это позволяет воспринимать момент сил относительно центра масс движущейся системы. Широкое распространение на ракетных треках получили испытания головных частей ракет, парашютных систем, взрывательных устройств, стекол кабин самолетов на птичестойкость и т.п. [1].

### Летные испытания

Летные испытания широко применяются при создании и сертификации самолета и включают исследования на стендах, летающих лабораториях и сертифицируемом самолете [2]. Но хоть летные испытания дают наиболее достоверные зависимости между изучаемыми параметрами, такие испытания очень сложны и требуют больших затрат труда, средств и времени. Если бы исследования начинались с натуральных условий, летный эксперимент мог бы привести к непоправимым последствиям. Исходя из данных соображений, опыты в натуральных условиях обычно проводятся на заключительном этапе во всем ряде расчетно-теоретических работ, экспериментов на моделях, часто дополняют и завершают эксперимент в аэродинамических трубах.

### Аэродинамические трубы

Аэродинамические трубы являются основными в исследовании различных параметров на моделях и отдельных элементах летательного аппарата. Что бы перейти от лабораторной модели к настоящему летательному аппарату нужно выдержать равенство некоторых безразмерных параметров. Эти безразмерные параметры называют критериями подобия. Аэродинамические трубы позволяют создать такой поток воздуха, который отвечает определенному критерию подобия. Аэродинамическая труба представляет собой замкнутый воздушный канал (см. рис. 2); в рабочей части трубы 1 на аэродинамических весах 2 установлена испытываемая модель 3. По замкнутому воздушному каналу вентилятор 6, который приводится в движение электромотором 7, прогоняет воздух. Пройдя через спрямляющую решетку 9, служащую для создания равномерного поля скоростей по всему сечению трубы, и сужающуюся часть трубы (конфузор) 10, где воздух разгоняется до необходимой скорости, воздушный поток входит в рабочую часть трубы. После прохождения воздушного потока через рабочую часть трубы, он попадает в расширяющуюся часть трубы (диффузор) 4, где плавно тормозится, что снижает сопротивление движению воздуха по каналу и в поворотных лопатках и увеличивает КПД вентилятора. Лопасты вентилятора защищены прочной сеткой 8 от повреждений на случай возможного разрушения испытываемой модели. Система поворотных лопаток 8 обеспечивает плавное течение воздушного потока по каналу трубы.



Рис. 2 – Принципиальная схема аэродинамической трубы

Аэродинамические трубы классифицируют по диапазону возможных скоростей потока (дозвуковые, трансзвуковые, сверхзвуковые, гиперзвуковые), размеру и типу рабочей части (открытая, закрытая), а также поджатию — соотношению площадей поперечных сечений сопла трубы и форкамеры. Также существуют отдельные группы аэродинамических труб:

- *Высокотемпературные* — дополнительно позволяют изучать влияние больших температур и связанных с ними явлений диссоциации и ионизации газов.
- *Высотные* — для исследования обтекания моделей разреженным газом (имитация полёта на большой высоте).
- *Аэроакустические* — для исследования влияния акустических полей на прочность конструкции, работу приборов и т.п.

Дозвуковая аэродинамическая труба постоянного действия состоит из рабочей части, в виде цилиндра с поперечным сечением в форме круга или прямоугольника (иногда эллипса или многоугольника). Рабочая часть может быть как закрытой так и открытой. При этом если необходимо создать аэродинамическую трубу с открытой рабочей частью, статическое давление в которой не равно атмосферному, струю в рабочей части отделяют от атмосферы высотной камерой или камерой Эйфеля. Существенной особенностью дозвуковых аэродинамических труб является возможность изменения скорости газа в рабочей части за счёт изменения перепада давления.

В общих чертах схемы сверхзвуковой и дозвуковой аэродинамических труб аналогичны. Для получения сверхзвуковой скорости газа в рабочей части применяют сопло Лавала, которое представляет собой сначала сужающийся, а затем расширяющийся канал. В сужающейся части скорость потока увеличивается и в наиболее узкой части сопла достигает скорости звука. В расширяющейся части сопла скорость становится сверхзвуковой и увеличивается до заданного значения, соответствующего числу Маха в рабочей части. Каждому числу Маха отвечает определённый контур сопла. Поэтому в сверхзвуковых аэродинамических трубах для изменения числа Маха в рабочей части применяют сменные сопла или сопла с подвижным контуром, позволяющим менять форму сопла.

Высокоэнthalпийные установки кратковременного режима (см. рис. 3) позволяют воспроизводить натуральные давления и температуры в широком диапазоне сверх- и гиперзвуковых скоростей и высот полета летательных аппаратов. Такие установки называются импульсными аэродинамическими трубами [3]. Рабочий газ заключен в канал с внутренним диаметром 70 мм и длиной 6 м. Электрический подогреватель, охватывающий канал снаружи, нагревает газ до заданной температуры. В конце канала последовательно размещаются диафрагмы, профилированное сопло, рабочая часть диаметром 0.5 м и выхлопная система. Имеются профилированные сопла, рассчитанные на числа Маха  $M = 5, 6, 8$  и  $10$ . После разрыва диафрагмы происходит стационарное истечение газа из канала в рабочую часть. Его продолжительность (до 40 мс) определяется временем пробега волны разрежения от сопла до противоположного конца канала и обратно до сопла [4].

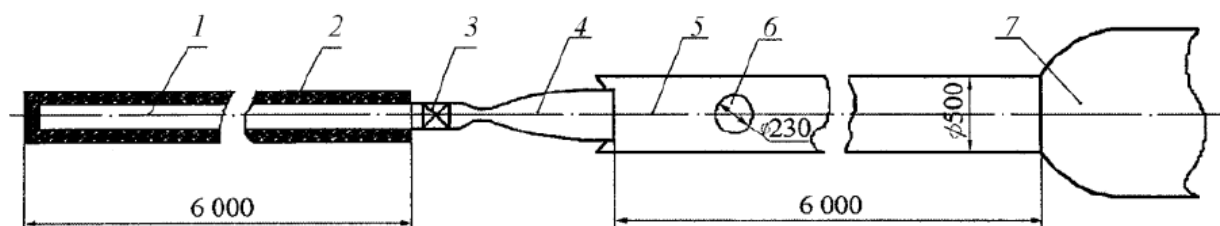


Рис. 3 – Схема ударной аэродинамической трубы УТ-1М в виде трубы Людвиг:

- 1 – тепловая камера; 2 – электрический подогреватель; 3 – диафрагменный отсек; 4 – сверхзвуковое сопло;  
5 – рабочая часть; 6 – оптическое окно; 7 – вакуумная емкость

## Список литературы / References

1. Балакин В.А. Высокоскоростное трение на ракетном треке / В. А. Балакин // Трение и износ. - 2005. - Т. 26, N 3. - С. 255-260.
2. Ахметшин. Т.Ф. Сертификация авиационной техники./ Т.Ф. Ахметшин. //Вестник УГАТУ. – 2013 с 10-18.
3. Маслов А.А. Импульсная аэродинамическая труба с комбинированным нагревом и стабилизацией параметров. / А.А. Маслов, В.В. Шумский, М.И. Ярославцев //Прикладная механика и техническая физика. – 2012 с 3- 10.
4. Боровой В.Я. Диагностика и численное моделирование течения в гиперзвуковых аэродинамических трубах импульсного действия. / В.Я. Боровой, В.Н. Бражко, И.В. Егоров, Е.Г. Зайцев, А.С. Скуратов. // Ученые записки цаги. – 2013 с 28-38.

## Список литературы на английском языке / References in English

1. Balakin V.A. Vysokoskorostnoe trenie na raketnom treke [High-speed friction on the rocket track] / V.A. Balakin // Trenie i iznos [Friction and wear] - 2005. - T. 26, N 3. - P. 255-260[in Russian]
2. Ahmetshin. T.F. Sertifikacija aviacionnoj tehniki [Certification of aircraft] / T.F. Ahmetshin. //Вестник УГАТУ [Bulletin USATU] – 2013 P. 10-18. [in Russian]
3. Maslov A.A. Impul'snaja aerodinamicheskaja truba s kombinirovannym nagrevom i stabilizaciej parametrov [Pulse Wind Tunnel with combined heating and stabilization of parameters]/ A.A. Maslov, V.V. Shumskij, M.I. Jaroslavcev // Prikladnaja mehanika i tehničeskaja fizika [Applied Mechanics and Technical Physics] – 2012 P. 3- 10. [in Russian]
4. Borovoj V.Ja. Diagnostika i chislennoe modelirovanie techenija v giperzvukovyh aerodinamicheskix trubah impul'snogo dejstviya [Diagnosis and numerical simulation of flow in a hypersonic wind tunnels pulsed] / V.J. Borovoj, V.N. Brazhko, I.V. Egorov, E.G. Zajcev, A.S. Skuratov. // Uchenye zapiski cagi [TsAGI Scientific Notes] – 2013 P. 28-38. [in Russian]

DOI: 10.18454/IRJ.2016.54.095

Носенко С.В.<sup>1</sup>, Носенко В.А.<sup>2</sup>, Кременецкий Л.Л.<sup>3</sup>, Сердюков Н.Д.<sup>4</sup><sup>1</sup>Кандидат технических наук, доцент, <sup>2</sup>ORCID: 0000-0002-5074-1099, Доктор технических наук, профессор, Волжский политехнический институт (филиал)

ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»

<sup>3</sup>ORCID: 0000-0002-6973-5844, Аспирант,

ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»

<sup>4</sup>ORCID: 0000-0002-9026-9016, Магистрант,

Волжский политехнический институт (филиал)

ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»

## ВЛИЯНИЕ СОТС И ТВЕРДОСТИ КРУГА НА КОЭФФИЦИЕНТ ШЛИФОВАНИЯ И ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ОБРАБОТКЕ ТИТАНОВОГО СПЛАВА

## Аннотация

Исследовано влияние СОТС на водной основе и твердости высокопористого абразивного инструмента на шероховатость обработанной поверхности, износ круга и коэффициент шлифования титанового сплава. Показаны закономерности изменения параметров при шлифовании кругами твердостью G и I. Наибольшее влияние твердости круга на коэффициент шлифования и Ra прослеживается при обработке на более жестких режимах с охлаждением СОЖ, обладающей меньшим смазочным эффектом. СОЖ оказывает наибольшее влияние при шлифовании мягкими кругами на более жестких режимах. Для шлифования в рассмотренных условиях рекомендуется круг твердости I, обеспечивающий минимальный износ круга, шероховатость обработанной поверхности и бесприжоговое шлифование, в качестве СОЖ жидкость на водной основе с присадкой натрия фосфорнокислого трехзамещенного.

**Ключевые слова:** титановый сплав, глубинное шлифование, твердость круга, смазочно-охлаждающая жидкость, износ, коэффициент шлифования, шероховатость, шлифовочные прижоги.

Nosenko S.V.<sup>1</sup>, Nosenko V.A.<sup>2</sup>, Kremenetskiy L.L.<sup>3</sup>, Serdyukov N.D.<sup>4</sup><sup>1</sup>PhD in Engineering, Associate professor, <sup>2</sup>ORCID: 0000-0002-5074-1099, PhD in Engineering, Professor, Volzhsky Polytechnical Institute (Branch), Volgograd State Technical University<sup>3</sup>ORCID: 0000-0002-6973-5844, Postgraduate student, Volgograd State Technical University<sup>4</sup>ORCID: 0000-0002-9026-9016, Master student, Volzhsky Polytechnical Institute (Branch),

Volgograd State Technical University

## THE EFFECT OF CUTTING FLUID AND GRADE OF ABRASIVE WHEEL ON G-RATIO AND SURFACE ROUGHNESS IN PROCESSING OF TITANIUM ALLOY

## Abstract

The research shows an effect of water-based cutting fluid and grade of highly porous abrasive instrument on surface roughness, wheel wear and G-ratio of titanium alloy. The result of research shows the relations between changing parameters in grinding by wheels with "G" and "I" grades. The greatest impact of the grade of abrasive wheel on G-ratio and Ra was observed in processing at heavier modes with cutting fluid, which has lower lubricating effect. The cutting fluid has the greatest impact in grinding by soft wheels at heavier modes. The wheel with "I" grade and water-based cutting fluid with trisodium phosphate  $Na_3PO_4$  additive are recommended for grinding with minimal wheel wear, minimal surface roughness and absence of surface burnings at considered conditions.

**Keywords:** titanium alloy, creep-feed grinding, grade of abrasive instrument, cutting fluid, wear of abrasive instrument, g-ratio, surface roughness, surface burnings.

## Введение

Глубинное шлифование – это наиболее актуальный процесс абразивной обработки, обеспечивающий изготовление деталей повышенной точности с высокой производительностью. Методом глубинного шлифования получают поверхности ответственных деталей, применяемых в авиационной и аэрокосмической отраслях, энергетическом машиностроении и др. Мировым ученым сообществом уделяется внимание ряду вопросов, связанных с данным процессом механической обработки: рассматриваются актуальные вопросы формирования структуры поверхности, составляющих силы резания, остаточных напряжений при шлифовании деталей, изготовленных из металлов, востребованных в авиационном и энергетическом машиностроении, к числу которых относятся и титановые сплавы [1-3].

Высокая адгезионная активность титановых сплавов является причиной высоких температур в зоне контакта, что приводит к образованию прижогов на обработанной поверхности [4]. Для снижения адгезионной активности титановых сплавов в зону резания вводят специальные среды [5], применяют непрерывную правку [6], используют в качестве абразивного высокопористые и высокоструктурные абразивные инструменты, снижают их твердость [7]. Важным аспектом является состав охлаждающей жидкости. При шлифовании титановых сплавов широко применяется водная СОЖ с присадкой калия фосфорнокислого трехзамещенного  $K_3PO_4$  [8], менее дорогостоящей альтернативой которого является натрий фосфорнокислый трехзамещенный  $Na_3PO_4$  [9].

Для обработки титановых сплавов, в том числе, методом глубинного шлифования рекомендуются круги из карбида кремния [10]. Существенное влияние на показатели процесса оказывает твердость абразивного инструмента.

Цель работы: при глубинном шлифовании титанового сплава в различных средах исследовать влияние твердости высокопористого абразивного инструмента на показатели процесса.

### Методика исследования

Исследования проведены на прецизионном профилишлифовальном станке с ЧПУ CHEVALIER модели «Smart-V1224П». Шлифовали образцы из титанового сплава BT9 размером 46,5х38х16 мм. Использовали высокопористые круги характеристик 64CF100G12V и 64CF100I12V производства ОАО «Волжский абразивный завод».

Режимы обработки выбраны с учетом производственного опыта: скорость шлифования 25 м/с; скорость подачи стола  $v_s$  – 400 мм/мин и 500 мм/мин; подача на глубину  $S_f$  – 0,15, 0,1 и 0,05 мм/ход; снимаемый припуск П 0,6-1,8 мм. После чистового шлифования с подачей на глубину  $S_f=0,05$  мм/ход выполняли выхаживание за два хода стола.

Перед каждым опытом периферию абразивного круга правили алмазно-металлическим карандашом 3908-0051 ГОСТ 607-80: вертикальная подача 0,010 мм/ход, поперечная скорость перемещения – 150 мм/мин, скорость круга 25 м/с.

Использовали СОЖ на водной основе двух типов: сода кальцинированная  $CaCO_3$  – 0,5 % (СОЖ 1); натрий фосфорнокислый трехзамещенный  $Na_3PO_4$  – 4 %, гексаметафосфат натрия  $(NaPO_3)_6$  – 0,8 %;  $CaCO_3$  – 0,3 % (СОЖ 2). Расход СОЖ – 14 л/мин.

Контролируемые параметры: износ круга  $h$ , съем металла и шероховатость обработанной поверхности  $R_a$ , образование шлифовочных прижогов на обработанной поверхности.

Шероховатость измеряли профилографом-профилометром «СЕЙТРОНИК ПШ 8-3 С.С.», износ круга – многооборотным индикатором типа «МИГ» ГОСТ 9696-82. Съем металла определяли как разность между заданным припуском, равным произведению  $S_f$  на количество ходов  $n=12$ , и износом круга  $h$ . По съему металла и износу круга рассчитывали коэффициент шлифования по объему  $K_G = (S_f n - h) / \pi D h$ , где  $D$  – фактический диаметр шлифовального круга.

Наличие прижогов непосредственно после шлифования определяли визуально с помощью микроскопа Альтами СМ0870-Т. Затем образцы исследовали методом травления: НР (плотность 1,1 г/см<sup>2</sup>) – 1; HNO<sub>3</sub> (плотность 1,4 г/см<sup>2</sup>) – 2; вода – 6 (в массовых долях).

Каждый опыт повторяли три раза. Шлифование осуществляли по длине обрабатываемой поверхности. Результаты измерений обрабатывали методами математической статистики.

### Результаты и обсуждение

При шлифовании на черновом режиме ( $v_s=400$  мм/мин,  $S_f=0,15$  мм/ход,  $n=12$ , далее – режим 1) с увеличением твердости круга на две степени  $K_G$  возрастает в 1,90 раза. На полустововом режиме ( $v_s=500$  мм/мин,  $S_f=0,10$  мм/ход, режим 2)  $K_G$  возрастает приблизительно в такой же пропорции – в 1,84 раза. При шлифовании кругами твердостью  $G$  и  $I$  прижогов на обработанной поверхности не обнаружено.

С переходом от режима 1 к режиму 2 изменяются сразу две подачи: возрастает скорость продольной подачи круга, но снижается подача на ход стола. Поэтому изменение режима шлифования будем оценивать обобщающим показателем – номинальной мгновенной режущей способностью [11]. Данный показатель оказывает существенное влияние на силу резания, шероховатость поверхности и кромкостойкость инструмента [12].

На этапе постоянной длины дуги контакта  $q=v_s t b$ . На режимах 1 и 2  $q$  равна соответственно 900 и 800 мм<sup>3</sup>/мин. В результате снижения  $q$  на 20 %, с переходом от режима 1 к режиму 2 при шлифовании кругом твердостью  $G$  (далее – круг  $G$ )  $K_G$  возрастает всего на 4 %, при шлифовании кругом твердостью  $I$  (далее – круг  $I$ ) – на 1%. Сравнение средних методом дисперсионного анализа показало, что с вероятностью 0,95 влияние фактора режима шлифования на  $K_G$  можно считать незначимым.

При шлифовании на режиме 3 ( $v_s=500$  мм/мин,  $S_f=0,05$  мм/ход,  $n=12$ )  $q=400$  мм<sup>3</sup>/мин, т.е. по сравнению с режимом 2 снижается в 2 раза. На круге  $G$  коэффициент шлифования по сравнению с режимом 2 возрастает в 1,64 раза, на круге  $I$  – всего на 3 %. Влияние фактора режима на  $K_G$  для круга  $I$  также следует считать незначимым. При сравнении  $K_G$  для круга  $I$  на режимах 1 и 3 отношение факторной и остаточной дисперсий приближается к критическому значению критерия Фишера-Снедекора. Поэтому в отношении круга  $I$  можно говорить о тенденции повышения  $K_G$  с переходом от режима 1 к режиму 3, что объясняется снижением номинальной мгновенной режущей

способности  $q$ . В результате более существенного влияния режима 3 на круг  $G$  различие по коэффициенту шлифования между кругами  $G$  и  $I$  снижается до 13 %.

Шлифование с выхаживанием (режим 4) выполняли без правки круга после обработки на режиме 3. Поэтому значения  $K_G$  остались практически без изменения.

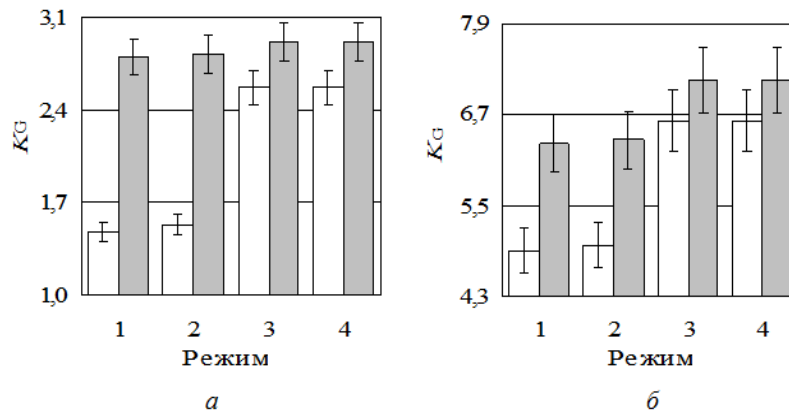


Рис. 1 – Влияние твердости круга на  $K_G$  при шлифовании с охлаждением СОЖ 1 (а) и СОЖ 2 (б):  
□ – круг твердостью  $G$ ; ■ – круг твердостью  $I$

С охлаждением СОЖ 2 на режиме 1 по сравнению с СОЖ 1 для кругов  $G$  и  $I$  коэффициент шлифования увеличился соответственно в 3,3 и 2,5 раза. С переходом к режиму 2 и уменьшением  $q$  на 20 %  $K_G$  для кругов  $G$  и  $I$  увеличился соответственно в 3,3 и 2,3 раза, что свидетельствует об отсутствии различия в степени влияния СОЖ при незначительном изменении  $q$ . На режиме 3 по сравнению с режимами 1 и 2 мгновенная режущая способность снизилась соответственно в 2,4 и 2,0 раза. В этом случае  $K_G$  кругов  $G$  и  $I$  по сравнению с СОЖ 1 увеличился практически одинаково в 2,5-2,6 раза.

Таким образом, при шлифовании на более жестких режимах наибольшее влияние СОЖ оказывает на коэффициент шлифования круга меньшей твердости. При шлифовании на мягких режимах (чистовое шлифование) степень влияния СОЖ на круги различной твердости снижается.

При использовании СОЖ 2 с увеличением твердости круга от степени  $G$  до  $I$  коэффициент шлифования на более жестких режимах 1 и 2 увеличился всего в 1,3 раза, что (40-50) % меньше, чем при шлифовании с СОЖ 1. На чистовом режиме 3 различие между кругами  $G$  и  $I$  по  $K_G$  не превышает 10 %.

Из этого следует, что наибольшее влияние твердости круга на коэффициент шлифования прослеживается при обработке на более жестких режимах и с охлаждением СОЖ, обладающей меньшим смазочным эффектом.

При шлифовании с охлаждением СОЖ 1 на режиме 1 увеличение твердости круга на две степени снижает параметр  $Ra$  шероховатости обработанной поверхности с 1,85 до 1,06 мкм или в 1,75 раза (рис. 2а). С переходом от режима 1 к режиму 2 шероховатость обработанной поверхности при шлифовании кругами различной твердости снижается пропорционально в 1,3 раза. В связи с этим остается без изменения и соотношение  $Ra$ , полученное на кругах различной твердости. При шлифовании на чистовом режиме 3 различие в параметре  $Ra$  для кругов различной твердости снижается до полутора раз. Причина в том, что с переходом на режим 3 в большей степени снижается шероховатость поверхности при шлифовании более мягким кругом. Выхаживание оказывает наибольшее влияние на шероховатость: для круга  $G$   $Ra$  снижается в 1,4 раза; для круга  $I$  – в 1,2 раза. В результате большего влияния на шероховатость при шлифовании кругом твердостью  $G$ , различие в  $Ra$  между исследуемыми кругами снижается до 30 %. Меньшую шероховатость, как и ранее, обеспечивают круг более высокой твердости. С уменьшением мгновенной режущей способности  $Ra$  снижается. Наибольшее влияние твердости инструмента на  $Ra$  прослеживается при шлифовании на более жестких режимах. В среднем  $Ra$  на рассмотренных режимах шлифования кругом твердостью  $I$  в 1,6 раза меньше, чем при шлифовании кругом твердостью  $G$ .

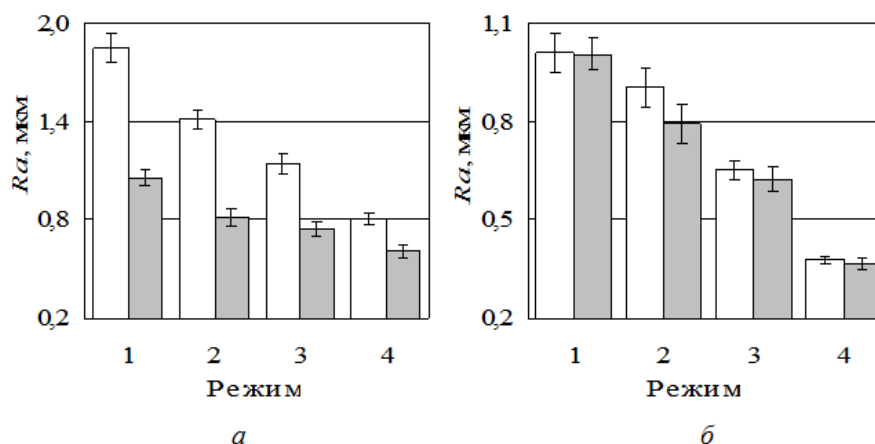


Рис. 2 – Влияние твердости круга на  $Ra$  при шлифовании с охлаждением СОЖ 1 (а) и СОЖ 2 (б):  
□ – круг твердостью  $G$ ; ■ – круг твердостью  $I$



При шлифовании с охлаждением СОЖ 2, обладающим более высокой смазочной способностью по сравнению с СОЖ 1, среднее значение параметра  $Ra$  на круге  $G$  снижается в 1,8 раза, на круге  $I$  – всего на 16 %.

Таким образом, наибольшее влияние СОЖ оказывает на  $Ra$  при шлифовании более мягким кругом. Наибольшее влияние твердости круга на  $Ra$  наблюдается при шлифовании с СОЖ обладающей меньшей смазочной способностью.

В основе формообразования поверхности лежит геометрическое копирование формы. Форма и размеры единичных рисок непосредственно связаны с формой и размерами воспроизводящего поля. Определенную корректировку, иногда весьма существенную, вносят так называемые вторичные или смежные процессы, к которым относят упругие и пластические деформации, температурные воздействия, усталостные явления и пр. Наиболее существенное влияние на формирование рельефа обработанной поверхности оказывают адгезионные и когезионные процессы, модифицирование поверхностных слоев, что в наибольшей степени будет проявляться при шлифовании металлов, склонных к интенсивному физико-химическому взаимодействию с абразивным материалом [4], например, титановые сплавы. За период шлифования в результате износа рабочей поверхности круга форма и размеры вершин зерен, их распределение на рабочей поверхности будут изменяться, что неизбежно приводит к изменению и шероховатости обработанной поверхности. Поэтому наибольшее влияние на шероховатость поверхности будет оказывать не коэффициент шлифования, а износ круга. Из сравнения данных рис. 2 и 3 следует, что в общем случае наблюдается следующая закономерность: с уменьшением износа наблюдается снижение  $Ra$ .

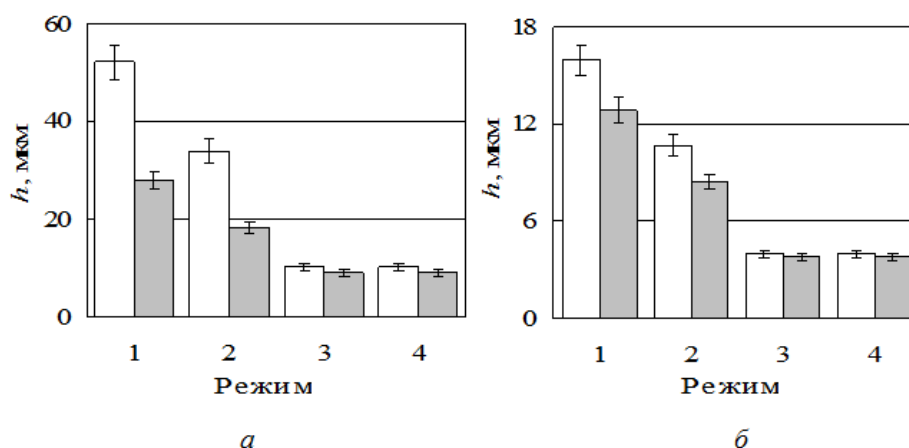


Рис. 3 – Влияние твердости круга на радиальный износ круга  $h$  при шлифовании с охлаждением СОЖ 1 (а) и СОЖ 2 (б): □ – круг твердостью  $G$ ; ■ – круг твердостью  $I$

Взаимосвязь параметров  $h$  и  $Ra$  представлена на рис. 4. Данные объединены в четыре группы, обозначенные на рис. 3 цифрами 1-4. В каждой группе прослеживается следующая общая закономерность: с увеличением износа параметр  $Ra$  возрастает.

Существенно различаются между собой данные, полученные при шлифовании с охлаждением СОЖ 1 кругами различной твердости: шероховатость поверхности на круге  $I$  в среднем на 60 % меньше, чем на круге  $G$ ; износ круга  $I$  в среднем на 70 % меньше, чем на круге  $G$ . На СОЖ 2 различие в средних значениях  $Ra$  между кругами твердостью  $G$  и  $I$  составляет всего 6 %, различие в износе – более 20 %, т.е. при некотором различии в износе кругов твердостью  $G$  и  $I$  различия в шероховатости обработанной поверхности практически нет. Значимое различие получено только при шлифовании на режиме 2.

Обращает на себя внимание тот факт, несмотря на почти двукратное снижение износа при шлифовании с СОЖ 2 по сравнению с износом более твердого круга на СОЖ 1, шероховатость обработанной поверхности на режимах 1 и 2 для данных кругов практически одинакова. Очевидные преимущества СОЖ 2 по всем показателям процесса выявляются при шлифовании на чистовом режиме и, особенно, выхаживании.

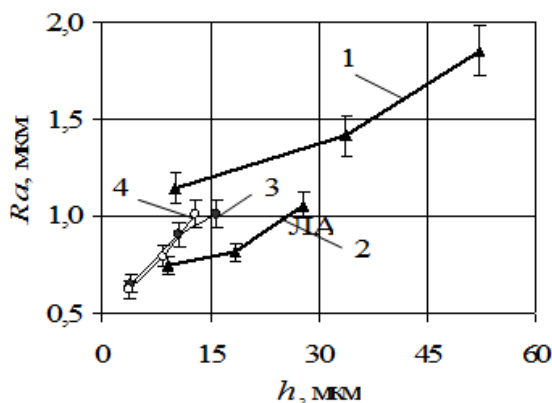


Рис. 4 – Изменение  $Ra$  в зависимости от радиального износа шлифовального круга  $h$ :  
1 – круг  $G$ , СОЖ 1; 2 – круг  $I$ , СОЖ 1; 3 – круг  $G$ , СОЖ 2;  
4 – круг  $I$ , СОЖ 2



**Выводы**

1. Наибольшее влияние твердости круга на  $K_G$  и  $Ra$  прослеживается при обработке на более жестких режимах с охлаждением СОЖ, обладающей меньшим смазочным эффектом.
2. Наибольшее влияние на  $K_G$  и  $Ra$  СОЖ оказывает при шлифовании мягкими кругами на более жестких режимах.
3. Для обработки титанового сплава ВТ9 на рассмотренных режимах шлифования рекомендуется круг твердостью  $I$ , обеспечивающий наибольшее значение  $K_G$  и наименьшую шероховатость при отсутствии прижогов на обработанной поверхности.
4. Использование в качестве СОЖ водного раствора натрия фосфорнокислого трехзамещенного по сравнению с раствором соды обеспечивает повышение  $K_G$  на всех рассмотренных режимах в среднем в 2,6 раза и снижение  $Ra$  на 30 %.

**Список литературы / References**

1. Hood R. Creep feed grinding of gamma titanium aluminide and burn resistant titanium alloys using SiC abrasive / Richard Hood, David K. Aspinwall, Wayne E. Voice // International Journal of Machine Tools and Manufacture. – 2007. – Vol. 47. – P. 1486–1492.
2. Guo G. Q. Study on Grinding Machinability of Titanium Alloy Using SiC Abrasive / G. Q. Guo, X. N. Zheng, Z. Q. Liu // Key Engineering Materials. – 2011. – Vol. 487 (1–3). – P. 34–38.
3. Полетаев В. А. Автоматизированное производство лопаток ГТД: библиотека технолога / В. А. Полетаев, Е. В. Цветков, Д. И. Волков. – М.: Инновационное машиностроение, 2009. – 212 с.
4. Носенко В. А. Технология шлифования металлов / В. А. Носенко, С. В. Носенко. – Старый Оскол: ТНТ, 2013. – 613 с.
5. Носенко В. А. Совершенствование абразивного инструмента на бакелитовой связке / В. А. Носенко // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2004. – № 3. – С. 85–90.
6. Носенко С. В. Влияние правки абразивного инструмента на состояние рельефа обработанной поверхности титанового сплава при встречном глубинном шлифовании / С. В. Носенко, В. А. Носенко, Л. Л. Кременецкий // Вестник машиностроения. – 2014. – № 7. – С. 64–68.
7. Старков В. К. Шлифование высокопористыми кругами / В. К. Старков. – М.: Машиностроение, 2007. – 688 с.
8. А.с. 211717 СССР, МКИ С 10 М 173/02. СОЖ для шлифования титановых сплавов / Л. Д. Павловская, К. Д. Ульчонко, Б. Л. Мальвинов и др. – № 1082812/23-4 ; заявл. 09.06.66 ; опубл. 19.11.68, Бюл. № 8. – 6 с. (описание под заглавием).
9. А.с. 810780 СССР, МКИ С 10 М 3/02. Смазочно-охлаждающая жидкость для шлифования титановых сплавов / Г. И. Саютин, В. А. Носенко, М. И. Ляпунов и др. – № 2690908/23-04 ; заявл. 30.11.78 ; опубл. 07.03.81, Бюл. № 9. – 3 с. (описание под заглавием).
10. Носенко В. А. Выбор характеристики абразивного инструмента и СОЖ для глубинного шлифования / В. А. Носенко, Н. Ф. Ларионов, Н. И. Егоров и др. // Вестник машиностроения. – 1989. – № 5. – С. 17–21.
11. Nosenko V. A. Mathematical models of operating time and cutting capacity for various stages of flat creep feed of horizontal surface by circle of direct profile grinding / V. A. Nosenko, S. V. Nosenko // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. – 2010. – Vol. 39. – № 4. – P. 380–385.
12. Носенко С. В. Взаимосвязь составляющих силы резания и мгновенной режущей способности при глубинном шлифовании титанового сплава с постоянной правкой абразивного инструмента / С. В. Носенко, В. А. Носенко, Д. Н. Лясин, Л. Л. Кременецкий // Известия высших учебных заведений. Машиностроение / Московский государственный технический университет имени Н.Э.Баумана. – Москва: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2016. – № 5. – С. 41–51.

**Список литературы на английском языке / References in English**

1. Hood R. Creep feed grinding of gamma titanium aluminide and burn resistant titanium alloys using SiC abrasive / Richard Hood, David K. Aspinwall, Wayne E. Voice // International Journal of Machine Tools and Manufacture. – 2007. – Vol. 47. – P. 1486–1492.
2. Guo G. Q. Study on Grinding Machinability of Titanium Alloy Using SiC Abrasive / G. Q. Guo, X. N. Zheng, Z. Q. Liu // Key Engineering Materials. – 2011. – Vol. 487 (1–3). – P. 34–38.
3. Poletaev V. A. Avtomatizirovannoe proizvodstvo lopatok GTD: biblioteka tehnologa [Automated production of gas turbine engine blades: the library of technologist] / V. A. Polataev, E. V. Tsvetkov, D. I. Volkov. – Moscow : Innovated mechanical engineering, 2009. – 212 p. [in Russian]
4. Nosenko V. A. Tekhnologiya shlifovaniya metallov [The technology of grinding metals] / V. A. Nosenko, S. V. Nosenko. – Staryi Oskol : TNT, 2013. – 613 p. [in Russian]
5. Nosenko V. A. Sovershenstvovanie abrazivnogo instrumenta na bakelitovoy svyazke [Improvement of abrasive tools on bakelite base] / V. A. Nosenko // Problemy mashinostroeniya i nadezhnosti mashin [Journal of machinery manufacture and reliability]. – 2004. – № 3. – P. 85–90. [in Russian]
6. Nosenko S. V. Vliyanie pravki abrazivnogo instrumenta na sostoyanie relefa obrabotannoi poverkhnosti titanovogo splava pri vstrechnom glybinnom shlifovanii [Effect of dressing operation for the relief of treated surface of titanium alloy in the process of counter creep-feed grinding] / S. V. Nosenko, V. A. Nosenko, L. L. Kremenetskiy // Vestnik mashinostroeniya [Russian Engineering Research]. – 2014. – № 7. – P. 64–68. [in Russian]
7. Starkov V. K. Shlifovanie vysokoporistymi krugami [Grinding by highly porous wheels] / V. K. Starkov. – Moscow : Mashinostroenie, 2007. – 688 p. [in Russian]
8. A.s. 211717 SSSR, MКИ С 10 М 173/02. SOZH dlya shlifovaniya titanovykh splavov [Certificate of authorship. 211717 USSR, MКИ С 10 М 173/02. Coolant for grinding of titanium alloys] / L. D. Pavlovskaya, K. D. Ulchionok, B. L. Malvinov and others. – № 1082812/23-4 ; applicated. 09.06.66 ; published. 19.11.68, Bulletin. № 8. – 6 p. (description under the title). [in Russian]

9. A.s. 810780 SSSR, MKI C 10 M 3/02. Smazочно-ohlazhdayshaya zhidkost dlya shlifovaniya titanovykh splavov [Certificate of authorship. 810780 USSR, MKI C 10 M 3/02. Cutting fluid for grinding of titanium alloys] / G. I. Saiytin, V. A. Nosenko, M. I. Lyapynov and others. – № 2690908/23-04 ; applied. 30.11.78 ; published. 07.03.81, Bulletin. № 9. – 3 p. (description under the title). [in Russian]

10. Nosenko V. A. Vybor karakteristiki abrazivnogo instrumenta i SOZH dlya glubinnogo shlifovaniya [Selecting of an abrasive tool and coolant for creep-feed grinding] / V.A. Nosenko, N.F. Larionov, N.I. Egorov and others // Vestnik mashinostroenia [Russian Engineering Research]. – 1989. – № 5. – P. 17–21. [in Russian]

11. Nosenko V. A. Mathematical models of operating time and cutting capacity for various stages of flat creep feed of horizontal surface by circle of direct profile grinding / V.A. Nosenko, S.V. Nosenko // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. – 2010. – Vol. 39. – № 4. – P. 380–385.

12. Nosenko S. V. Vzaimosvyaz sostavlyayshih sily rezaniya i mgnovennoi rezhushchei sposobnosti pri glybinnom shlifovanii titanovogo splava s postoyannoi pravkoi abrazivnogo instrumenta [The relationship between components of cutting power and instantaneous cutting capacity in the process of creep-feed grinding of titanium alloy with continuous dressing of abrasive instrument] / S.V. Nosenko, V.A. Nosenko, D.N. Lyasin, L.L. Kremenetskiy // Izvestiya vyschih uchebnykh zavedenii. Mashstroenie [Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building]. – 2016. – № 5. – P. 41–51. [in Russian]

DOI: 10.18454/IRJ.2016.54.052

Павлова З.Х.<sup>1</sup>, Балтин Р.Р.<sup>2</sup>, Краснов А.Н.<sup>3</sup>, Майский Р.А.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Доктор технических наук, <sup>2</sup>магистрант, <sup>3</sup>кандидат технических наук, <sup>4</sup>кандидат технических наук,  
Уфимский государственный нефтяной технический университет

### ОБ ОСНОВНЫХ АСПЕКТАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА УДАЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

*Аннотация*

*Рассмотрены основные аспекты проектирования сетей параметрического мониторинга. Обоснована целесообразность выбора беспроводного способа информационного обмена для пространственно распределенных систем. В статье описываются энергоэкономные беспроводные технологии, обладающие наибольшей дальностью передачи. Описаны существующие методы расчета энергопотребления узла сети, позволяющие оценить ее автономность. Приведена формула расчета энергопотребления узла сети, улучшенная относительно предыдущих изысканий.*

**Ключевые слова:** беспроводные технологии, мониторинг удаленных объектов, Bluetooth LE, ZigBee, расчет энергопотребления.

Pavlova Z.H.<sup>1</sup>, Baltin R.R.<sup>2</sup>, Krasnov A.N.<sup>3</sup>, Maisky R.A.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>PhD in Engineering, <sup>2</sup>Master's student, <sup>3</sup>PhD in Engineering, <sup>4</sup>PhD in Engineering,  
Ufa State Petroleum Technological University

### ABOUT THE MAIN ASPECTS OF DESIGN OF WIRELESS NETWORK PARAMETRIC MONITORING REMOTE OBJECTS

*Abstract*

*Considered the main aspects of the design of parametric monitoring networks. The appropriateness of the choice of method for wireless data exchange for spatially distributed systems is substantiated. The paper describes energy-saving wireless technology has the largest transmission distance. Described existing methods for calculating the energy consumption of the node, to assess its autonomy. Formula is given for calculating power consumption of the node, improved relative to the previous investigations.*

**Keywords:** wireless technologies, monitoring of remote objects, Bluetooth LE, ZigBee, calculation of energy consumption.

Сетевая организация систем мониторинга технологических параметров для пространственно распределенных объектов, неизбежно сопряжена с рядом трудностей, связанных, главным образом, с вопросами проектирования. На этапе проектирования зачастую одними из основных задач являются выбор технологии передачи информации и прогнозирование времени автономной работы сетевых узлов.

Выбор способа информационного обмена возможен из двух больших групп технологий: проводные и беспроводные. С экономической точки зрения организация масштабной сети посредством беспроводных технологий с низким потреблением энергии предстает наиболее оптимальным вариантом ввиду, как минимум, двух причин: во-первых, исключается необходимость прокладки кабеля и трудоемких подготовительных работ, во-вторых, продолжительная автономность сети значительно упростит ее эксплуатацию и обслуживание. В настоящее время среди энергоэффективных беспроводных технологий, обладающих наибольшей дальностью, можно выделить зарекомендовавшие себя Bluetooth LE и ZigBee.

**Bluetooth LE (BLE, Bluetooth Low Energy)** – представляет собой беспроводную технологию Bluetooth с низким энергопотреблением. Возможна организация устройств Bluetooth в сети с топологиями «точка-точка», «звезда» и ячеистая сеть (mesh) [1, С. 34]. Радиосвязь между устройствами осуществляется на частоте 2,4 ГГц. При построении сетей Bluetooth LE важно учитывать тот факт, что устройства BLE подразделяются на двухрежимные, совместимые с классическими Bluetooth устройствами, так и однорежимные, способные обмениваться информацией только с такими же BLE устройствами.

На данный момент применяются 3 стандарта Bluetooth LE, каждый из которых представляет собой развитие предыдущего: BLE 4.0, BLE 4.1, BLE 4.2. Развитие перечисленных стандартов касалось прежде всего таких параметров как скорость передачи данных (220 Кбит/с, 260 Кбит/с и 650 Кбит/с для BLE 4.0, 4.1 и 4.2 соответственно) [2], длина пакета данных (в BLE 4.2 длина передаваемого сообщения была расширена в 10 раз по сравнению со стандартом BLE 4.1), безопасность и надежность передачи информации.

С эксплуатационной точки зрения можно выделить следующие особенности данной технологии:

– максимальный ток, потребляемый устройствами BLE составляет десятки мА (зависит от модели и характеристик линии связи), что во многих случаях позволяет им работать более года на одной батарее типа «таблетка»;

– возможность передачи информации на расстояния более 100 метров (в частности широко используемые модули серии EZ-BLE компании Cypress Semiconductor способны передавать данные на расстояние до 400 м). В целом с помощью технических средств возможно организовать передачу между двумя устройствами на расстоянии в 1 км и даже далее, однако создание информационной сети в таком масштабе, к сожалению, не возможно;

– максимальная скорость передачи данных составляет 650 Кбит/с (по стандарту Bluetooth LE 4.2);

– используется алгоритм шифрования данных (AES 128);

– минимальное общее время передачи данных 3мс;

– достаточно высокая надежность передачи данных, определяемая использованием 24-битового избыточного циклического кода (CRC) и 32-разрядной проверки целостности сообщения;

– распространенность Bluetooth устройств.

**ZigBee** – технология организации сетей беспроводной передачи данных. ZigBee обеспечивает невысокое потребление энергии и передачу данных на частотах 2.4 ГГц (не лицензированная частота), 915 МГц (Американский континент) и 868 МГц (Европа). Расстояние передачи варьируется в пределах 10-75 метров (для оборудования спецификации ZigBee PRO – несколько километров в условиях прямой видимости). Поддерживаются как простые топологии типа «дерево», «точка-точка», «звезда», так и ячеистая топология.

В настоящее время технология имеет 3 сетевые спецификации: ZigBee PRO, ZigBee RF4CE, ZigBee IP. Спецификации ZigBee предусматривают описание уровня приложений APS, сетевого уровня NWK, а также регламентированных стандартом IEEE 802.15.4 уровней MAC, обеспечивающий управление доступом к среде, и PHY, представляющий собой физический уровень.

ZigBee PRO максимизирует все возможности IEEE 802.15.4 а также обеспечивает поддержку сетей, состоящих более чем из 64000 устройств. Также ZigBee PRO предлагает функцию Green Power для подключения устройств с автономным сверхнизким потреблением. Спецификация позволяет организовать ячеистые сети, а также сети с топологией «звезда». ZigBee PRO в первую очередь подходит для сетей с датчиками и исполнительными механизмами.

ZigBee RF4CE предназначен для устройств, которым в первую очередь требуется интерфейс для взаимодействия с человеком (клавиатуры, пульты дистанционного управления), и которые характеризуются пониженным энергопотреблением. С помощью RF4CE также можно организовывать сети типа «звезда» (точка-множество точек).

ZigBee IP представляет собой открытый стандарт для IPv6, обеспечивающий подключение к интернету недорогих устройств с низким потреблением энергии.

Технология ZigBee примечательна следующим:

– возможна защита данных по AES 128;

– спецификация доступна сторонним разработчикам;

– скорость передачи данных варьируется в пределах 5-40 Кбит/с [3].

Производители беспроводных сетевых технологий нередко приводят ориентировочные данные по автономной работе сети, однако такая информация может существенно варьироваться на практике в зависимости от аппаратной составляющей (узлов) сети. На сегодняшний день известны, как минимум, две формулы, позволяющие рассчитать энергопотребление узлов: формула, рассчитывающая энергию, потребляемую мотом за один цикл с заданным количеством запросов [4, С. 16] и формула расчета потребления энергии узлом сети за один цикл [5, С. 58].

Энергия, потребляемая мотом за один цикл с заданным количеством опросов определяется по [4, С.16] следующим образом:

$$i_i = \left\{ \tau \cdot n \cdot (4t_r + t_{mc} + t_m + t_c + 2 \cdot (t_l + t_t + t_p)) + (10 \cdot R_{adr} + R_{ads} + 5 \cdot (R_s + R_{crc} + R_{ser})) \cdot C \right\} \cdot i_s + 2n \cdot (2t_r + t_l + t_p) \cdot i_r + 3n \cdot (2R_{adr} + R_s + R_{crc} + R_{ser}) \cdot C \cdot i_r + n \cdot (t_{mc} + t_c) \cdot i_{mc} + n \cdot t_m \cdot i_{adc} + 2n \cdot t_t \cdot i_t + n \cdot (4R_{adr} + R_{adc} + 2 \cdot (R_s + R_{crc} + R_{ser})) \cdot C \cdot i_t,$$

где

$i_i$  – ток, потребляемый мотом за 1 цикл;

$\tau$  – длительность цикла;

$n$  – количество запросов за цикл;

$t_{mc}$  – время включения микроконтроллера;

$t_t$  – время включения передатчика;

$t_r$  – время включения приемника;

$t_m$  – время измерения;

$t_p$  – время ожидания сигнала приемником;

$t_l$  – время прослушивания канала;

$t_c$  – время обработки информации микроконтроллером;

$i_s$  – ток, потребляемый в режиме сна;  
 $i_{mc}$  – ток, потребляемый микроконтроллером;  
 $i_t$  – ток, потребляемый передатчиком;  
 $i_r$  – ток, потребляемый приемником;  
 $i_{adc}$  – ток, потребляемый аналого-цифровым преобразователем;  
 $R_{adc}$  – количество символов результата измерения;  
 $R_{adr}$  – количество символов адреса;  
 $R_s$  – количество символов синхронизации;  
 $R_{ser}$  – количество служебных символов;  
 $R_{crc}$  – разрядность контрольной суммы;  
 $C$  – скорость передачи информации.

Энергия, потребляемая узлом сети за один цикл [5, С.58], рассчитывается по формуле:

$$E_e = E_{slep} + E_{MCU} + E_{rcy} + E_{trans} + E_{ather},$$

где

$E_{slep}$  – энергия, потребляемая узлом в фазе сна

$E_{MCU}$  – энергия, потребляемая узлом во время работы микроконтроллера или вычислительного ядра приемопередатчика при его отсутствии;

$E_{rcv}$  – энергия, потребляемая узлом во время приема;

$E_{trans}$  – энергия, потребляемая узлом во время передачи;

$E_{ather}$  – энергия, потребляемая узлом в других режимах (режим пробуждения и др.)

Несмотря на достойные подходы к математическому описанию энергопотребления узла сети, еще остается возможность его улучшения за счет привнесения прогностической составляющей и более полного отображения процесса приемопередачи измерительной информации.

Достичь вышесказанного удалось за счет включения в описание сетевого графа, который обычно задается множеством, состоящим из подмножеств вершин (узлов сети) и ребер (расстояний между ними), нового подмножества минимальных мощностей передатчика, при которых возможна бесперебойная связь между узлами. Такое введение позволило рассмотреть работу сети в экономном режиме, когда передающий радио-модуль способен переключать используемые при передаче уровни мощности (данной функцией оснащены практически все современные радио-модули). Помимо расширения математической модели сети были учтены расписание передачи информации и технические параметры оборудования сетей, влияющие на их энергоемкость. Итоговая формула получила вид:

$$e_i = T_1 \cdot e_s + n \cdot t_m \cdot (e_m + e_w - e_s) + n \cdot t_c \cdot (e_w - e_s) + n \cdot t_w \cdot (e_w - e_s) + n \cdot t_p \cdot (e_w + e_r - e_s) + ((2n - 1) \cdot t_r) \cdot (e_r + e_w - e_s) + ((2n - 1) \cdot t_i) \cdot (s_i + n \cdot (e_w - e_s)) + ((2n - 1) \cdot t_i) \cdot (z_i + e_w - e_s),$$

где

$t_m$  – время, затрачиваемое аналого-цифровым преобразователем для измерения всех необходимых параметров;

$t_c$  – время, затрачиваемое микропроцессором на обработку значений, полученных от аналого-цифрового преобразователя;

$t_w$  – время перехода микропроцессора из спящего режима в рабочий;

$t_p$  – временной интервал, отсчитываемый от момента включения приемника данных до начала передачи информации передатчиком;

$t_r$  – время, затрачиваемое радио-модулем на переход в режим приема;

$t_t$  – время, затрачиваемое радио-модулем на переход в режим передачи;

$e_s$  – ток, потребляемый в спящем режиме микропроцессором;

$e_m$  – ток, потребляемый аналого-цифровым преобразователем в режиме измерения;

$e_w$  – ток, потребляемый в рабочем режиме микропроцессором;

$e_r$  – ток, потребляемый радио-модулем в режиме приема;

$T_1$  – длительность цикла сбора данных (реальная);

$n$  – среднее ожидаемое количество попыток связи;

$s_i$  – сумма значений энергопотребления радиопередатчика  $i$ -го узла при передаче откликов во все узлы, передающие данные напрямую узлу  $i$  с учетом необходимых уровней мощности;

$z_i$  – энергопотребление радиопередатчика  $i$ -го узла при передаче пакетов сообщений измерительной информации с учетом требуемого уровня мощности.

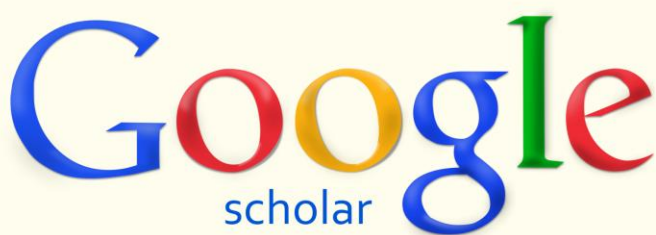
Безусловно, выбор технологии передачи данных и определение энергии, потребляемой аппаратными средствами, представляет собой лишь часть работ по проектированию сетевой организации систем параметрического мониторинга удаленных объектов. Однако именно от принятых на данном этапе решений и расчетов во многом зависит надежность функционирования и простота эксплуатации сети в будущем. Приведенная в данной статье формула расчета энергии, потребляемой узлом, может быть положена в основу методики, позволяющей облегчить процесс проектирования беспроводных сетей и расширить их практическое применение. Стоит отметить, что подобный подход уже был успешно использован при создании системы контроля технологических параметров (СКТП) на базе автономных манометров-термометров, которая, в настоящее время, внедрена и эксплуатируется на Уренгойском нефтегазоконденсатном месторождении [6, С.218].

### Список литературы / References

1. Романов С. Беспроводные технологии с низким энергопотреблением / С. Романов // Электронные компоненты. – 2012, – №2. – С. 33 - 41.
2. Bluetooth Low Energy / Bluetooth Smart (4.0 / 4.1 / 4.2) [Электронный ресурс]: – URL: <http://www.elektronik-kompendium.de/sites/kom/1805171.htm> (дата обращения: 10.10.2016).
3. Описание стандарта беспроводных технологий ZigBee [Электронный ресурс]: – URL: [http://crossgroup.su/solutions/data\\_transfer/zigbee.html](http://crossgroup.su/solutions/data_transfer/zigbee.html) (дата обращения: 17.10.2016).
4. Зеленин А.Н. Анализ энергоциклов узлов беспроводных сенсорных сетей / А.Н. Зеленин, А.В. Власова // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2012. – №3. – С. 13-17.
5. Галкин П.В. Анализ энергопотребления узлов беспроводных сенсорных сетей / П.В. Галкин // ScienceRise. – 2014. – №2(2). – С. 55-61.
6. Краснов А.Н., Прахова М.Ю., Хорошавина Е.А. Использование беспроводных сетей в системах автоматизации газовых месторождений / А.Н. Краснов, М.Ю. Прахова, Е.А. Хорошавина // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. – 2016. – № 4. – С. 205-221.

### Список литературы на английском языке / References in English

1. Romanov S. Besprovodnye tehnologii s nizkim jenergopotrebleniem [Wireless technologies with low power consumption] / S. Romanov // Jelektronnye komponenty [Electronic components]. – 2015. – №8. P. 13–17. [in Russian]
2. Bluetooth Low Energy / Bluetooth Smart (4.0 / 4.1 / 4.2) [Electronic resource]: – URL: <http://www.elektronik-kompendium.de/sites/kom/1805171.htm> (accessed:10.10.2016).
3. Opisaniye standartov besprovodnykh tehnologiy ZigBee [Description of ZigBee wireless technology standard] [Electronic resource]: – URL: [http://crossgroup.su/solutions/data\\_transfer/zigbee.html](http://crossgroup.su/solutions/data_transfer/zigbee.html) (accessed: 10.10.2016). [in Russian]
4. Zelenin A.N. Analiz jenergociklov uzlov besprovodnykh sensorynykh setej [Analysis wireless sensor network nodes] / A.N. Zelenin, A.V. Vlasova // Vostochno-evropejskij zhurnal peredovykh tehnologij [East-European journal of enterprise technologies]. – 2012. – №3. – P. 13-17. [in Russian]
5. Galkin P.V. Analiz jenergopotrebleniya uzlov besprovodnykh sensorynykh setej [Analysis of the energy consumption of wireless sensor network nodes] / P.V. Galkin // ScienceRise. – 2014. – №2(2). –P. 55-61.
6. Krasnov A.N., Prakhova M.Yu., Khoroshavina E.A. Ispol'zovanie besprovodnykh setej v sistemah avtomatizatsii gazovykh mestorozhdenij [Use of wireless networks for gas fields automation] / A.N. Krasnov, M.Yu. Prakhova, E.A. Khoroshavina // Jelektronnyj nauchnyj zhurnal Neftgazovoe delo [The electronic scientific journal Oil and Gas]. – 2016. – № 4. – С. 205-221. [in Russian]



Международный научно-исследовательский журнал включен в базу научного цитирования **Google Scholar**.

**Google Scholar** – поисковая система по полным текстам научных публикаций всех форматов и дисциплин. Наличие статей в **Google Scholar** увеличивает возможность цитируемости, не только в России, но и за рубежом.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.54.141

Павлов С.В.<sup>1</sup>, Ефремова О.А.<sup>2</sup>, Соколова А.В.<sup>3</sup><sup>1</sup>Доктор технических наук, Профессор, <sup>2</sup>Кандидат технических наук, Доцент,<sup>3</sup>Магистр по информационным системам и технологиям, Аспирант,  
Уфимский Государственный Авиационный Технический Университет (УГАТУ)**ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ РЕГИОНОМ НА  
ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕГРАЦИИ ТРЕХМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ  
ОБЪЕКТОВ С ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМОЙ ОРГАНОВ ИСПОЛНИТЕЛЬНОЙ ВЛАСТИ****Аннотация**

В статье рассматривается технология интеграции трехмерных моделей потенциально опасных объектов в Геоинформационную систему органов исполнительной власти (на примере Республики Башкортостан).

В качестве одного из подходов к ее решению предложена интеграция на основе сервис-ориентированного подхода, для чего введено теоретико-множественное описание пространственной информации в составе трехмерных моделей. Предложенная технология предусматривает интеграцию как на уровне данных и так и на уровне сервисов.

Интеграция трехмерных моделей потенциально опасных объектов в Геоинформационную систему органов исполнительной власти позволит сократить время и увеличить точность принимаемых решений в случае возникновения чрезвычайной ситуации за счет предоставления полного объема необходимой информации о ее развитии в более наглядном и доступном для понимания виде средствами единой системы.

**Ключевые слова:** технология интеграции; потенциально опасные объекты; геоинформационная система.

Pavlov S.V.<sup>1</sup>, Efremova O.A.<sup>2</sup>, Sokolova A.V.<sup>3</sup><sup>1</sup>PhD in Engineering, Professor, <sup>2</sup>PhD in Engineering, Associate Professor,<sup>3</sup>Master of information systems and technologies, Postgraduate student,  
Ufa State Aviation Technical University**INFORMATION DECISION SUPPORT OF REGION MANAGEMENT ON THE BASIS OF INTEGRATION  
TECHNOLOGY OF POTENTIALLY DANGEROUS OBJECTS THREE-DIMENSIONAL MODELS WITH  
GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM OF THE EXECUTIVE AGENCIES****Abstract**

The article discusses the technology integration of three-dimensional models of potentially dangerous objects in geoinformation system of executive agencies (on the Republic Bashkortostan example).

As one of the approaches to its solution offered on the basis of the integration of service-oriented approach, which introduced the set-theoretic description of the spatial information as part of three-dimensional models. The proposed technology provides for the integration of both the data and the level and the service level.

The integration of three-dimensional models of potentially dangerous objects in geoinformation system of executive agencies will reduce the time and increase the accuracy of the decisions taken in the event of an emergency at the expense of the full amount of the required information about its development in a more visual and understandable form by means of a single system.

**Keywords:** the technology of integration; potentially dangerous objects; Geographic information system.

**Introduction**

Bashkortostan is one of the major steadily developing industrial regions of the Russian Federation. To management the region it is to use of information that characterizes the region as an object with natural geographic, socio-demographic, and economic, infrastructure, and other characteristics, and features. Given the diverse nature of the information, a large amount and spatial distribution in the region of its processing is not possible without the use of modern information systems for the collection, storage, analysis and graphical visualization of spatial data. One such system is the Geographic information system of the executive agencies of the Republic of Bashkortostan (GIS EA RB).

Based on the fact that the process of supporting enterprise management solutions republic in the event of various types of emergencies require to provide the most complete information about the object, for which there was an emergency, information about the objects in three dimensions need to be integrated in the form of three-dimensional models in the GIS EA RB (Figure 1).

Three-dimensional model of a potentially dangerous object

Model is based on a variety of cartographic materials: city plans, aerial and satellite images, large-scale maps, digital elevation model, raster images and other materials that can be used separately or together. In this three-dimensional model of potentially dangerous objects enables the integration of information about all kinds of spatial objects within its territory and can be defined by the following set of elements:

$$M = \langle D, F, P \rangle, \quad (1)$$

where D - spatial data set of the object; F - function of transformation of spatial data in the three-dimensional image; P - visualization project of three-dimensional model.

In turn, the set of spatial information included in the three-dimensional model of a potentially dangerous object is described as follows [1, P.180]:

$$D = \langle V, R, T \rangle, \quad (2)$$

where V - vector data stored in a geodatabase and describe three-dimensional information on the facilities located on the territory of a potentially dangerous object (communication structures, terrain, etc.);

R - raster data satellite imagery site, evacuation plans, etc.);

T - data on an earth surface stored in the form of triangulation networks.

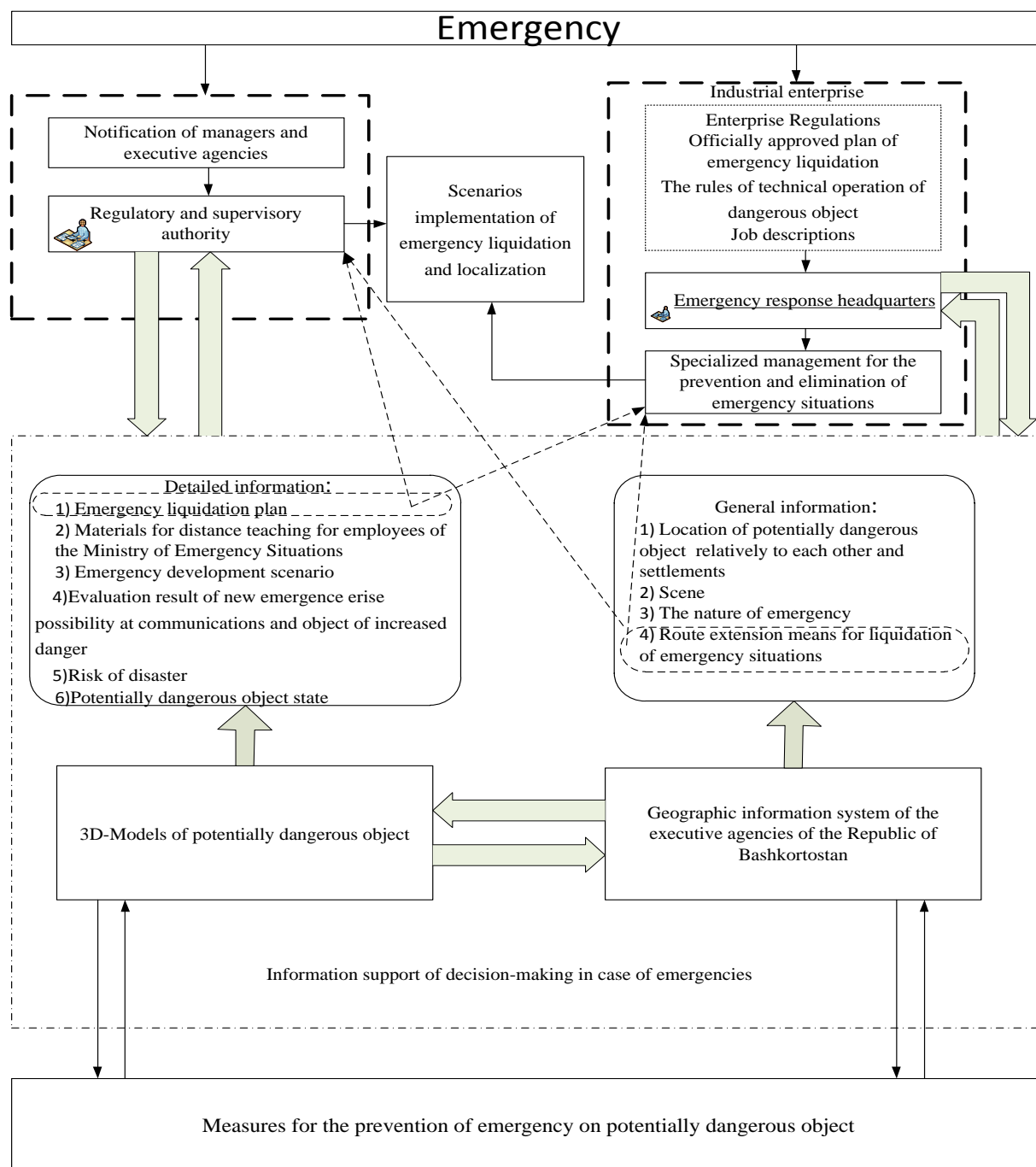


Fig. 1 – The scheme of the process of information management decision-making support in the republic case of an emergency

### Integration of three-dimensional models of potentially dangerous objects in the GIS EA RB

In general, the structure of the Geographic Information System of the executive agencies of the Republic of Bashkortostan can be described as follows [2, P. 88]:

$$S = \langle F, A \rangle, \quad (3)$$

where  $F$  - the set of spatial data;  $A$  - the set of spatial data processing services.

Integration of three-dimensional models of potentially dangerous objects in GIS EA RB may be implemented through the development of additional service  $L$  – service of three-dimensional visualization, which is a set of codes of spatial data sources of the three-dimensional models of potentially dangerous objects  $C_L$  and many characteristics of service  $H_L$ :

$$L = \langle C_L, H_L \rangle, \quad (4)$$

Then, according to (4), the set of spatial data processing service  $A$  can be represented as follows:

$$A = \langle N, G, W, L \rangle, \quad (5)$$

This is representation allows to integrate developed three-dimensional models of potentially dangerous objects in GIS EA RB for providing information for decision support in the event of an emergency and the elimination of its consequences on the territory of the republic [3, 4, P.70].

### Conclusion

The paper provides a solution to the problems of integration of three-dimensional models of potentially dangerous objects, designed based on service-oriented architecture of Geographic information systems executive agencies of the Republic of Bashkortostan, which introduced a set-theoretic description of the spatial information as part of three-dimensional models.



## Список литературы / References

1. Гизатуллин А. Р., Соколова А. В. Трехмерное моделирование инженерных коммуникаций в ГИС / А. Р. Гизатуллин, А. В. Соколова // Геоинформационные технологии в проектировании и создании корпоративных информационных систем: межвузовский научный сборник Уфа: УГАТУ. – 2013. – С. 176-185.
2. Павлов С. В., Ефремова О. А., Павлов А. С., Информационная вычислительная система для обеспечения органов исполнительной власти региона пространственными данными / С. В. Павлов, О. А. Ефремова, А. С. Павлов // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2013. – Т. 9. – №2. – С. 88-95.
3. Павлов С. В., Ефремова О. А., Ямалов И. У. Интеграция пространственной информации в Геоинформационной системе органов исполнительной власти на основе сервис-ориентированной архитектуры / С. В. Павлов, О. А. Ефремова, И. У. Ямалов // Вестник УГАТУ. – 2013. – Т. 17. – №.5 (58). – С.129-139.
4. Павлов С. В., Ефремова О. А., Соколова А. В. Формализованное описание пространственной информации в составе трехмерных моделей потенциально опасных объектов на основе теоретико-множественного подхода / С. В. Павлов, О. А. Ефремов, А. В. Соколова // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2014. – Т. 10. – №1. – С. 66-72.

## Список литературы на английском языке / References in English

1. Gizatullin A. R., Sokolova A. V. Trekhmernoe modelirovanie inzhenernykh kommunikacij v GIS [Three-dimensional modeling of engineering communications in GIS] / A. R. Gizatullin, A. V. Sokolova // Geoinformacionnye tehnologii v proektirovanii i sozdanii korporativnykh informacionnyh system: mezhvuzovskij nauchnyj sbornik Ufa: UGATU [Interuniversity scientific collection: GIS technology in the design and development of enterprise information systems, USATU, Ufa, Russia]. – 2013. – P. 176-185. [in Russian]
2. Pavlov S. V., Efremova O. A., Pavlov A. S. Informacionnaja vychislitel'naja sistema dlja obespechenija organov ispolnitel'noj vlasti regiona prostranstvennymi dannymi [Information-computer system for providing regional executive agencies with spatial data] / S. V. Pavlov, O. A. Efremova, A. S. Pavlov // Jelektrotehnicheskie i informacionnye komplekсы i sistemy [Electrical and data processing facilities and systems]. – 2013 – V. 9. – №2. – P. 88-95. [in Russian]
3. Pavlov S. V., Efremova O. A., Yamalov I. U. Integracija prostranstvennoj informacii v Geoinformacionnoj sisteme organov ispolnitel'noj vlasti na osnove servis-orientirovannoj arhitektury [Integration of Spatial Information in Geographic information system of executive agencies on the basis of service-oriented architecture] / S. V. Pavlov, O. A. Efremova, I. U. Yamalov // Vestnik UGATU [Vestnik UGATU]. – 2013. – V. 17. – №.5(58). – P.129 -139. [in Russian]
4. Pavlov S. V., Efremova O. A., Sokolova A. V., Formalizovannoe opisanie prostranstvennoj informacii v sostave trehmernyh modelej potencial'no opasnyh ob'ektov na osnove teoretiko-mnozhestvennogo podhoda [Formalized description of the spatial information as part of three-dimensional models of potentially dangerous objects on the basis of the set-theoretic approach] / S. V. Pavlov, O. A. Efremova, A. V. Sokolova // Jelektrotehnicheskie i informacionnye komplekсы i sistemy [Electrical and data processing facilities and systems]. – 2014. – V. 10. – № 1. – P. 66-72. [in Russian]

РОССИЙСКИЙ ИНДЕКС  
НАУЧНОГО ЦИТИРОВАНИЯ

Science Index



*Мы настоятельно рекомендуем всем нашим авторам зарегистрироваться в системе **Science Index РИНЦ**.*

*Таким образом, авторы могут более детально контролировать список своих публикаций, не только в нашем журнале, но и во всех научных изданиях, входящих в РИНЦ. Регистрация в системе также позволит узнать индекс научного цитирования автора и его публикаций.*

*Подробную инструкцию по регистрации в системе Science Index РИНЦ Вы можете найти на нашем сайте <http://research-journal.org/> в разделе «Полезно знать».*

DOI: 10.18454/IRJ.2016.54.026

Проскуряков Р.М.<sup>1</sup>, Матвийчук Н.В.<sup>2</sup>, Родионова Д.А.<sup>2</sup><sup>1</sup>Профессор, доктор технических наук, <sup>2</sup>аспирант

Санкт-Петербургский Горный университет

**ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ИЗМЕРЕНИЯ В НЕФТЕПРОВОДАХ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИИ****Аннотация**

*В статье обозначены проблемы разработки измерительных устройств для нефтепроводов. Приведено описание и схема электромагнитного модуля расхода и подготовки нефти в трубопроводе. Поставлена задача непрерывности измерения нефтяного потока в трубопроводе. Дана схема измерительной системы определения плотности и температуры нефти на трубопроводе и также ее описание. Приведена формула для определения количества информации для кодо- импульсной модуляции. Сделаны выводы о преимуществах автоматических измерительных системах.*

**Ключевые слова:** автоматическая система измерения, электромагнитный модуль расхода и подготовки нефти, нефтепровод, двухмостовая схема, следящая система.

Proskurjakov R.M.<sup>1</sup>, Matvijchuk N.V.<sup>2</sup>, Rodionova D.A.<sup>2</sup><sup>1</sup>Professor, PhD in Engineering, <sup>2</sup>postgraduate student,

Saint-Petersburg Mining University

**CONCEPTUAL PROBLEMS OF AUTOMATIC MEASUREMENT SYSTEM ON OIL PIPELINE AND THE WAYS OF ITS SOLUTION****Abstract**

*In this article, the problem of measurement devices for oil pipeline are considered. Theoretical review of electromagnetic module of flow rate and pre-treatment of oil in pipeline are given. The problem of continuous measurement of fluent is presented. Schematic for density and temperature determination of oil in pipeline is described. Equation for information estimation for pulse- code modulation is presented. Conclusions about advantages of automatic measurement systems are made.*

**Keywords:** automatic measurement system, electromagnetic module of flow rate and pre-treatment of oil, oil pipeline, two-bridges circuit, servo system.

Для обеспечения качественной и бесперебойной работы предприятий нефтяной промышленности, важное и обязательное условие для транспортировки нефти – достоверный и своевременный контроль нефтяных потоков: количество, плотность, вязкость и состав нефти. Каждый параметр отдельно или в комплексе определяет качество нефти, ее пригодность для химической промышленности, энергетики, качество как продукта коммерческих взаимоотношений.

Одной из главных проблем при проектировании автоматических измерительных систем является высокودинамический хаотичный характер гидродинамики нефтяного потока. Под воздействием больших давлений и скоростей нефтяной поток подвергается постоянной реструктуризации его физико-химического состава. Описать движение нефтяного потока максимально точно – достаточно сложная задача, следовательно, существуют трудности анализа и синтеза автоматических измерительных систем при измерении тех или иных показателей нефтепродуктов при транспортировке. Измерения в нефтепроводе должны быть с обработкой потока механической и волновой энергией, а также, непрерывные. Для того чтобы подготовить нефть, как сказано выше, предложен измерительный модуль, вставляемый на фланцах в нефтепровод и «закачивающий» в поток механическую и волновую энергию.[1]

Для преобразования потока, сделав его гидродинамику более равномерной, в определенном месте трубопровода монтируем электромагнитный модуль расхода и подготовки нефти (рис.1), который является фланцевой вставкой нефтепровода. В эту вставку монтируется типовой асинхронный двигатель, у которого ротор заменяется на «беличью клетку», сделанный из более легкого проводящего металла. Новый ротор (2) монтируется на подшипниках, а вместо торцевых крышек на те же посадочные гнезда крепятся фланцы (7) для монтажа в рассечку нефтепровода (1). Поток, проходя через полый ротор с вмонтированными ножами Стейна (4) и турбинными лопатками (5) получает значительную механическую энергию, за счет чего нефтепродукт эффективно перемешивается, т.е. поток преобразуется в квазигелевый, что значительно повышает эффективность его транспортировки, повышается представительность потока, следовательно, увеличивается точность измерений. Так же снимая показания с дифманометра (6) на входе и выходе, получаем количество транспортируемой нефти.

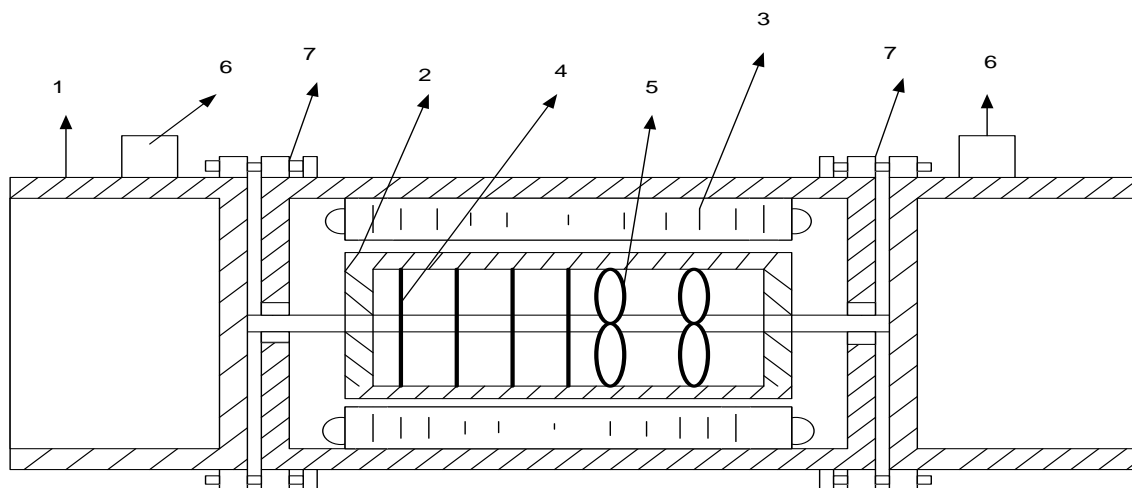


Рис. 1 – Электромагнитный модуль расхода и подготовки нефти:

1 – трубопровод; 2 – ротор; 3 – статор; 4 – ножи Стейна; 5 – лопасти; 6 – датчики дифманометра; 7 – фланцы

Разрушив связи молекул парафина, помимо улучшения транспортируемых характеристик нефти, получим представительный поток нефти для учета и измерений в трубопроводе. Это, в свою очередь, улучшит и увеличит точность измерительных приборов [2]. Важно отметить, что в системах нефтепроводов необходимо уметь оценить динамические характеристики нефтепроводов. Это обусловлено тем, что любая измерительная система должна обеспечивать представительность, точность, быстродействие, чувствительность, воспроизводимость измерений при существующем лимите энергии, предоставляемой измерительной системой в обмен на информацию.

На сегодняшний день, большинство предприятий измеряет физико-химические показатели в лабораторных условиях, но точность, воспроизводимость, быстродействие измерительного прибора, ценность и эффективность такого контроля будут невелики, т.к. проба берется в определенный момент и в определенной точке. Более эффективным является применение распределенных датчиков. Это означает, что автоматическая измерительная система имеет не один, а несколько расположенных через определенные расстояния датчиков по всей длине трубопровода, выполняющих одну и ту же функцию- измерение плотности, вязкости и температуры нефтепродуктов. Расстояние между датчиками определяется

$$l = \tau * 3.5, \quad (1)$$

где  $\tau$  - время запаздывания, получаемое из структурного анализа для данной системы  $\tau \approx (12 \div 25)c$

3,5- скорость потока нефти, км/ч

Датчик снимает информацию от потока, которая получается значительно сглаженной. Такая система представляет собой двухмостовую схему, состоящую из измерительных мостов  $M1$  и  $M2$ . Электромагнитный модуль расхода и подготовки нефти монтируется в трубопровод перед лопастями турбинки, которые соединены с однофазным конденсаторным двигателем  $D1$ , вращающимся со скоростью 78 об/мин. Лопасти, вращаясь будут преодолевать сопротивление потока, следовательно, будут совершать работу, пропорциональную плотности нефти. Напряжение с моста  $M1$  снимается с измерительной диагонали  $ab$  и поступает на релейный усилитель  $Y1$ , который управляет обмоткой двигателя  $D2$ , который заставляет перемещаться соленоид  $S1$ , с помощью бегунка  $B$ , в определенном направлении. В зависимости от того разбалансирован мост или нет, сердечник  $S2$  смещается в определенную сторону, чтобы разность напряжений диагонали  $ab$  равнялась 0 («настройка на 0») и тем самым балансируя мост. Сигнал с двигателя поступает на преобразователь ( $П$ ), а затем, на отображающее устройство ( $ОУ$ ).

В основе  $M2$  основе заложен такой же принцип, что и для  $M1$ . В зависимости от значения температуры мост будет разбалансирован, сигнал напряжения с диагонали  $cd$  будет поступать на усилитель и затем на обмотку двигателя  $D3$ , который механически связан с реохордом  $R3$ , перемещая его контакт для того, чтобы уравновесить мост, т.е., чтобы разность напряжений диагонали  $cd$  стало равным 0. Показания с двигателя  $D3$  передаются на преобразователь ( $П1$ ) и затем на отображающее устройство ( $ОУ1$ ).[3],[4].

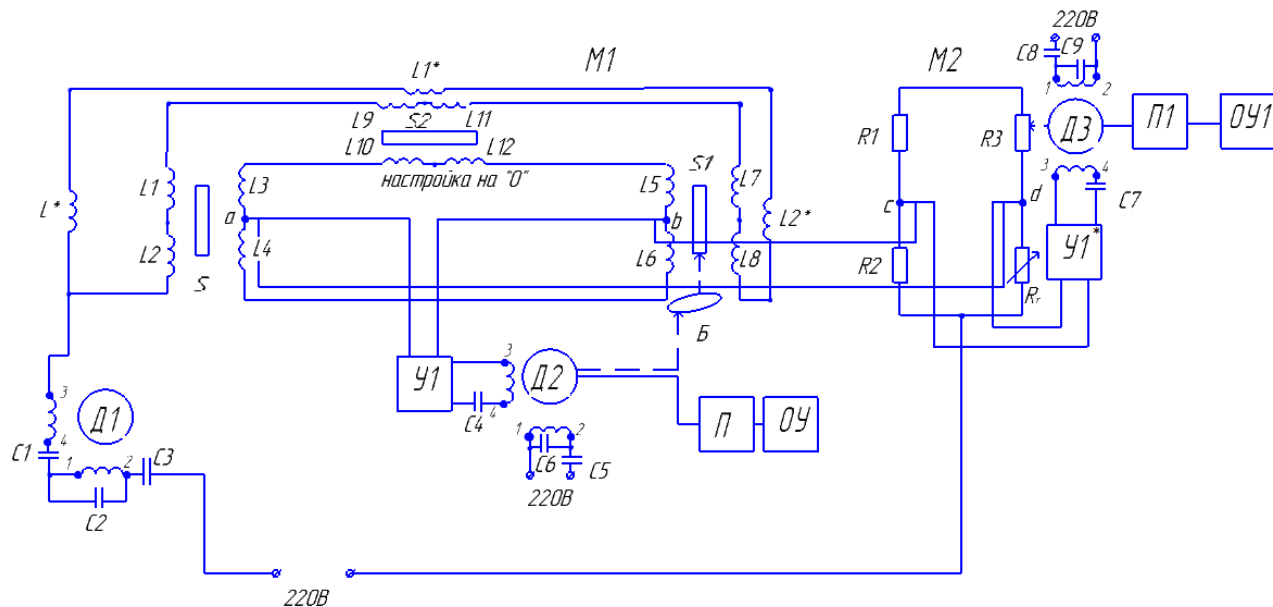


Рис. 2 – Следящая автокомпенсационная система определения плотности и температуры нефти:

M1, M2 - измерительные мосты; L1-L12, L\* - L2\* -индуктивности; R1,R2 сопротивления; R3-реохорд;

Rt - терморезистор, C1-C9-конденсаторы; Д1-Д3-двигатели РД-09; У1-У1\* -усилители; П,П1-преобразователи;

ОУ,ОУ1- отображающее устройство; Б- бегунок; S-S2-соленоиды; ab,cd - измерительные диагонали;

1-2-обмотки возбуждения; 3-4-обмотки управления[3],[4]

Для обеспечения еще большей точности, т.е. практически полного исключения аддитивной погрешности необходимо использовать генератор управляющих импульсов. Разностный сигнал, поступающий с измерительных мостов преобразуется в кодо-импульсный сигнал на генераторе управляющих импульсов, управляющий обмоткой двигателя через усилитель, тем самым уменьшая зону нечувствительности усилителя, следовательно, и аддитивную ошибку. На приведенной выше схеме генератор управляющих импульсов не указан, но может служить для большей точности прибора. Формула для определения количества информации для кодо - импульсной модуляции

$$q = \frac{t}{\tau} \log F(P), \quad (2)$$

$q$ - количество информации, бит

$\tau$  - длительность передачи одного элемента кода, с

$t$  - время, затрачиваемое на общее число элементов кода, с

$F(P)$  - интегральная функция распределения мощности(случайной величины). [5]

Таким образом, измерительная автоматическая система включает в себя электромагнитный модуль расхода и подготовки нефти, который монтируется перед следящей автокомпенсационной системой измерения плотности и температуры в трубопроводе, благодаря чему, обеспечивается повышение точности измерений физико- химических показателей нефти.

Выводы:

На основании вышенаписанного можно сделать следующие выводы, что автоматическая измерительная система позволяет:

1. изменить стохастическую гидродинамику потока;
2. обеспечить представительность измерений;
3. обеспечить учет количества нефти;
4. обеспечить наиболее эффективный съем информации и параметров нефтей (вязкость, плотность, температуру);
5. с наименьшими потерями (аддитивной погрешностью) преобразовать информацию о параметрах в электрический сигнал и соответствующим образом реализовать нужный алгоритм во вторичном приборе (мосте M1 и M2).

#### Список литературы / References

1. Матвийчук Н.В., Проскуряков Р. М. Обоснование представительных и непрерывных измерений в нефтепроводе // Естественные и технические науки. - 2016. - №4(94). - С. 152-155.
2. Позднышев Г.Н. Стабилизация и разрушение нефтяных эмульсий. // М.: Недра, 1982.
3. Котченко Ф.Ф. Следящие системы автоматических компенсаторов. //Л.: Недра, 1965. - 322 с.
4. Проскуряков . М., Родионова Д.А, Пути совершенствования измерительных систем на примере следящей системы определения плотности и температуры на нефтепроводе // Контроль и Диагностика. - 2016.- №7.- С. 49-52.
5. Новицкий П. В. Основы информационной теории измерительных устройств. //Л.: Энергия, 1968. -248 с.

#### Список литературы на английском языке / References in English

1. Matvijchuk N.V., Proskurjakov R. M. Obosnovanie predstavitel'nyh i nepreryvnyh izmerenij v nefteprovode [The rationale of representative and continuous measurements in pipeline] // Estestvennye i tehicheskie nauki [Natural and technical sciences]. - 2016. - №4(94). - P. 152-155.

2. Pozdnyshv G.N. Stabilizacija i razrushenie neftjanyh jemul'sij [Emulsion stabilization and demulsification]//M.: Nedra,1982
3. Kotchenko F.F. Sledjashhie sistemy avtomaticheskikh kompensatorov [Servosystems of automatic compensators] //L.: Nedra.195. - 335 p.
4. Proskurjakov . M.,Rodionova D.A, Puti sovershenstvovaniya izmeritel'nyh sistem na primere sledjashhej sistemy opredelenija plotnosti i temperatury na nefteprovode[The ways to improve the measurement systems on an example of the servo system of determining the density and temperature in the pipeline] // Kontrol' i Diagnostika[Testing,Diagnosics]. - 2016.- №7.- P. 49-52.
5. Novickij P. V. Osnovy informacionnoj teorii izmeritel'nyh ustrojstv [The basis of measurement devices information theory]//L.:Energia, -1968.- 248 p.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.54.126

Сивков К.Е.

Аспирант,

ФГАОУ ВПО «Северный (Арктический) федеральный Университет имени М.В. Ломоносова»  
**РАЗРАБОТКА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ОТЖИМНОЙ  
 НАПРАВЛЯЮЩЕЙ ДЛЯ УЗКИХ ЛЕНТОЧНЫХ ПИЛ**

**Аннотация**

*Объектом исследования являются ленточнопильные станки для распиловки пиломатериалов. Целью работы является разработка отжимных направляющих для узких ленточных пил. В результате была разработана конструкция отжимной аэростатической направляющей для станков с узкими полотнами ленточных пил, увеличивающая их ресурс и повышающая качество пиломатериалов. В процессе исследования проведен теоретический расчёт значений подъёмной силы в зависимости от различных условий работы направляющей. Определено, что данная конструкция направляющих обеспечивает правильную работу при выбранных условиях. В работе проведены исследования влияния отжимных направляющих на основные технико-эксплуатационные показатели: точность пиления, качество пиломатериалов, ресурс работы ленточных пил.*

**Ключевые слова:** ленточная пила, отжимная направляющая, подъёмная сила, долговечность, точность пиления, изгиб, качество пиломатериалов.

Sivkov K.E.

Postgraduate,

FSAEI HPE «Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov»

**DESIGN AND DETERMINATION OF THE WORKING SURFACE PARAMETERS OF SPRING-TONGUE  
 DIRECTING FOR NARROW BAND SAW**

**Abstract**

*Research objects are band saws for cutting lumber. Purpose is to create spring-tongue directing rails for narrow band saws. The result was a design spring-tongue directing for narrow band saws, increasing their service life and improves the quality of lumber. The study was carried out theoretical calculation values of lift depending on various conditions of directing. As a result, it was determined that the directing structure for narrow band saws ensures proper operation under selected conditions. It determined that this design ensures proper operation of the guide at the selected conditions. In this paper conducted research the influence of squeezing guides on the main technical and operational parameters: sawing accuracy, lumber quality, durability of band saws.*

**Keywords:** band saw, spring-tongue directing, lift, durability, cutting precision, bending, quality.

**В** настоящее время на малых и средних лесопильных предприятиях широкое распространение получили ленточнопильные станки с узкими пильными лентами. Преимуществами этих станков является невысокая энерго- и металлоёмкость, меньшие габаритные размеры, более низкая цена и простота в обслуживании. Основным недостатком таких ленточнопильных станков является значительная разнотолщинность получаемых пиломатериалов, а, следовательно, и низкое качество последних[4]. Это обусловливается низкой степенью стабильности узкой пильной ленты.

Для повышения показателей качества пиления древесины требуется увеличение жесткости и устойчивости пилы во время работы.

Одним из способов повышения жесткости ленточной пилы является использование направляющих, установленных над и под распиливаемым материалом. Одним из путей устранения этого недостатка является установка щелевых и отжимных направляющих. Щелевые направляющие фактически выполняют роль ограничителей бокового биения пилы и практически не влияют на качество получаемых пиломатериалов [9]. Отжимные направляющие позволяют повысить точность пиления. В качестве отжимных направляющих используются ролики или аэростатические направляющие, которые создают дополнительные напряжения изгиба [10].

В работе [5] рассмотрены отжимные направляющие, рабочая поверхность которых выполнена в виде аэростатических опор. Они обеспечивают значительное снижение трения полотна пилы о поверхности направляющих, и для их изготовления не требуется применение тепло- и износостойких материалов.

Еще один из существующих вариантов решения этого вопроса - отжимные аэростатические направляющие с регулируемой кривизной рабочей поверхности позволяют минимизировать дополнительно возникающие напряжения

изгиба, поэтому их установка практически не влияет на ресурс пил и позволяет получать пиломатериалы с высокой точностью размеров [3], [11].

В процессе исследования была разработана новая компоновка удлиненной отжимной аэроэстатической направляющей, позволяющая регулировать положение рабочей поверхности относительно впадин зубьев узкой пильной ленты (рис. 1). Техническое решение заключается в том, что корпус направляющей состоит из двух оснований. Верхнее основание жёстко крепится к раме лесопильного станка. Нижнее основание крепится к верхнему болтово-гаечным способом, причём в верхнем основании отверстия для болтов выполнены в продолговатой форме, а в нижнем – в круглой форме. Такая форма отверстий позволяет юстировать аэроэстатическую опору по мере износа пильной ленты, тем самым избегая падения эффективности направляющей. К нижнему основанию жёстко крепится консольно-расположенный гибкий элемент с гибкой рабочей поверхностью [8].

В процессе работы, узкие пильные ленты, подвергаются воздействию поперечных сил при надвигании распиливаемого материала, что в свою очередь вызывает значительный их изгиб и отклонение в сторону движения материала, снижая точность пиления, а также срок службы пил. На решение этого вопроса направлено второе новое техническое решение – установка ролика, поддерживающего полотно пилы во время пиления со стороны задней кромки. Данный ролик позволяет свести к минимуму поперечное деформационное воздействие на пильную ленту [7].

Разработанная отжимная аэроэстатическая направляющая представлена на рис. 1, общий вид направляющей представлен на рис. 2.

Отжимная аэроэстатическая направляющая состоит из верхнего основания 4, в котором выполнены отверстия продолговатой формы для соединения с нижним основанием 3. Отверстия имеют ось для начального скрепления оснований и ось, отдалённую на расстояние  $\lambda$ , для конечного скрепления оснований. Величина  $n$  определяется максимально допустимым износом пильной ленты 1. К нижнему основанию направляющей неподвижно крепится гибкий элемент 2 с отфрезерованной рабочей поверхностью, образующей аэроэстатическую микроканавку, к которой по воздухопроводам 5 осуществлен подвод сжатого воздуха. Тем самым, рабочая поверхность направляющей образует аэроэстатическую опору для пильной ленты. Между нижним основанием и гибким элементом направляющей установлен упругий элемент 6 с регулируемой жёсткостью. В тыльной стороне направляющей установлен поддерживающий ролик 7, который минимизирует поперечные смещения пильной ленты.

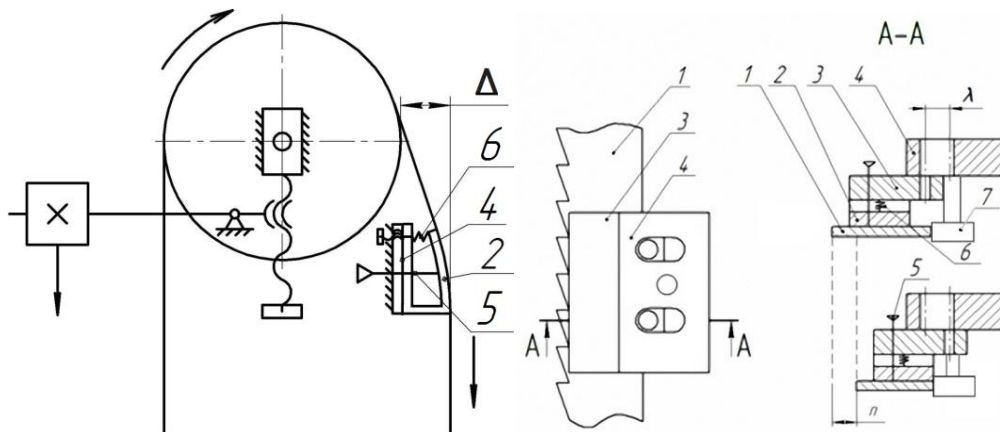


Рис. 1 – Отжимная аэроэстатическая направляющая

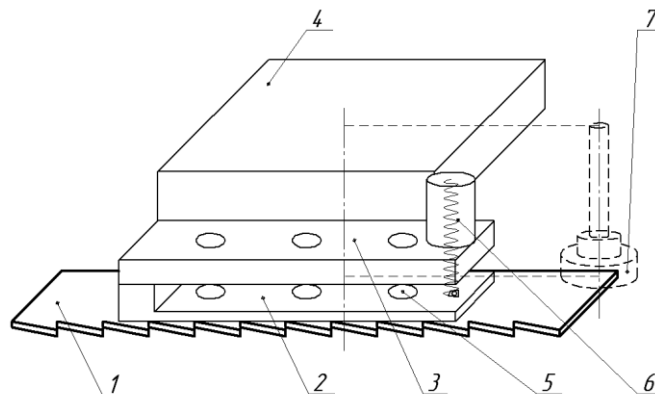


Рис. 2 – Общий вид отжимной аэроэстатической направляющей

Предложенная конструкция обеспечивает возможность применения отжимной аэроэстатической направляющей для ленточнопильного станка с узкой пильной лентой, эффективную работу направляющей такой конструкции на протяжении всего эксплуатационного срока пильной ленты, а также повышение сроков службы пильной ленты и значительного улучшения качества пиломатериалов.

Для обеспечения стабильной работы направляющей, необходимо задать соответствующие параметры аэроэстатической опоры.

При определении параметров аэростатической опоры использован численный метод [6]. В соответствии с рекомендациями [4], задано расположение микроканалов и количество отверстий поддува на аэростатической опоре (рис. 3).

Расчеты аэростатических опор проводились с использованием математического пакета *Maple 14.0* компании *Waterloo Maple Inc.* Целью расчетов было определение оптимальных рабочих параметров аэростатической опоры, при которых достигается ее стабильная работа и оптимальная подъемная сила. Погрешность при сравнении с полученными результатами от опытных данных составляет не более 6%. В ходе исследования учитывались постоянные факторы:  $\eta = 17,95 \cdot 10^{-6}$  Па·с - динамическая вязкость воздуха;  $\rho_a = 1,2$  кг/м<sup>3</sup> - плотность атмосферного воздуха;  $p_a = 9,81 \cdot 10^4$  Па - атмосферное давление,  $a = 0,85$  - коэффициент истечения воздуха через отверстие поддува. По результатам исследований, проведенных в источниках [2], [3], рекомендуется выбрать следующие рабочие параметры: зазор для аэростатической отжимной направляющей  $h = 0,05 \dots 0,1$  мм; диаметр отверстий  $d = 0,6 \dots 1,0$  мм.

В теоретическом исследовании приняты следующие параметры: зазор  $h = 0,05$  мм,  $d = 0,6 \dots 1,0$  мм с шагом 0,1 мм;  $p_s = 0,5 \dots 1,0$  МПа с шагом 0,1 МПа, глубина микроканавки  $t = 0,9 \cdot 10^{-3}$  м.

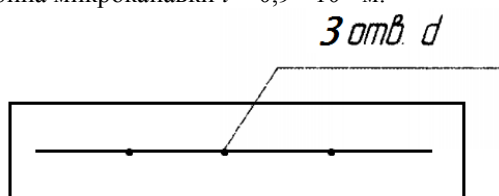


Рис. 3 – Рассматриваемый вариант расположения отверстий поддува отжимных аэростатических направляющих для узких пильных лент

Результаты расчетов (удельная подъемная сила  $K_H$ , подъемная сила  $Q_H$  и расход воздуха  $W_H$  в зависимости от величины зазора между опорой и поднимаемым объектом  $h$ , диаметра отверстий  $d$  и абсолютного давления подводимого воздуха  $p_s$ ) представлены в таблице 1, из которой можно выбрать строку оптимальных значений искомых величин.

Таблица 1 – Рабочие параметры направляющей в зависимости от диаметра отверстий  $d$  и давления подводимого воздуха  $p_s$

$d$ , мм	$p_s$ , МПа	$K_H$ , МПа	$Q_H$ , кН	$W_H$ , м <sup>3</sup> /мин	$Q_H / W_H$ , кН·м <sup>3</sup> /мин
0,6	0,5	0,0192	0,0627	0,0375	1,670933
0,7		0,0253	0,0826	0,0510	1,619216
0,8		0,0318	0,1038	0,0669	1,551570
0,9		0,0388	0,1266	0,0840	1,507143
1,0		0,0460	0,1501	0,1040	1,443269
<b>0,6</b>	<b>0,6</b>	<b>0,0226</b>	<b>0,0738</b>	<b>0,0452</b>	<b>1,632301</b>
0,7		0,0297	0,0969	0,0610	1,589180
0,8		0,0372	0,1214	0,0798	1,521303
0,9		0,0451	0,1472	0,1010	1,457426
1,0		0,0534	0,1743	0,1250	1,394400
0,6	0,7	0,0260	0,0849	0,0526	1,613308
0,7		0,0338	0,1103	0,0717	1,538354
0,8		0,0423	0,1381	0,0937	1,473853
0,9		0,0511	0,1668	0,1180	1,413559
1,0		0,0603	0,1968	0,1460	1,347945
0,6	0,8	0,0292	0,0953	0,0601	1,585691
0,7		0,0379	0,1237	0,0817	1,514076
0,8		0,0471	0,1537	0,1070	1,436449
0,9		0,0569	0,1857	0,1350	1,375556
1,0		0,0669	0,2184	0,1670	1,307784
0,6	0,9	0,0323	0,1054	0,0678	1,554572
0,7		0,0418	0,1364	0,0921	1,480999
0,8		0,0518	0,1691	0,1200	1,409167
0,9		0,0623	0,2034	0,1520	1,338158
1,0		0,0732	0,2389	0,1880	1,270745



Окончание табл. 1 – Рабочие параметры направляющей в зависимости от диаметра отверстий  $d$  и давления подводимого воздуха  $p_s$ 

$d$ , мм	$p_s$ , МПа	$K_H$ , МПа	$Q_H$ , кН	$W_H$ , м <sup>3</sup> /мин	$Q_H / W_H$ , кН·м <sup>3</sup> /мин
0,6	1,0	0,0353	0,1152	0,0753	1,529880
0,7		0,0455	0,1485	0,1020	1,455882
0,8		0,0563	0,1838	0,1340	1,371642
0,9		0,0676	0,2207	0,1690	1,305917
1,0		0,0792	0,2585	0,2090	1,236842

Зависимость распределения подъемной силы по поверхности аэростатической направляющей от величины давления представлена на рис.4.

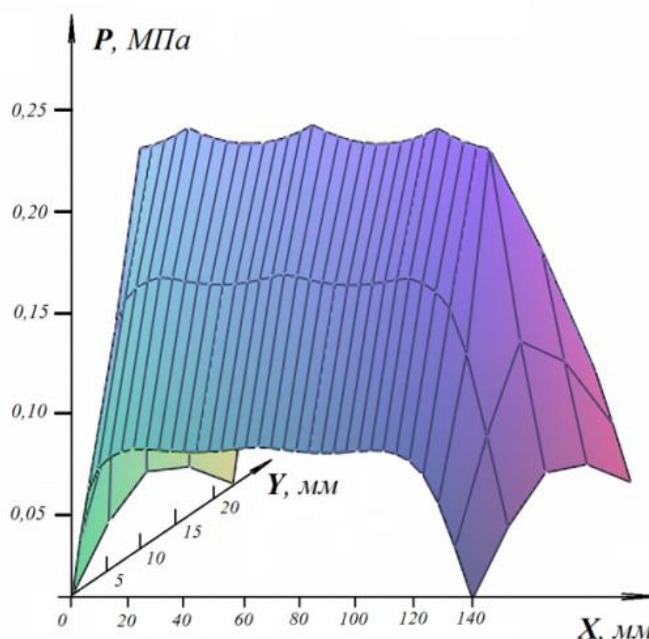


Рис. 4 – Распределение подъемной силы по поверхности аэростатической опоры

Проведенные теоретические исследования показали, что для обеспечения оптимальной подъемной силы и стабильной работы аэростатических направляющих для узких ленточных пил, давление подводимого воздуха должно быть не менее 0,6 МПа при диаметре отверстий для истечения воздуха 0,6 мм (таблица 1).

В ходе работы были получены патенты на изобретение № 2547709 от 13 марта 2015 г. [7], и № 2556911 от 19 июня 2015 г. [8].

#### Список литературы / References

1. Дербин, М.В. Анализ конструкций направляющих ленточнопильных станков [Текст] / М.В. Дербин, В.М. Дербин, Р.Е. Яновский, К.Е. Сивков // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: Материалы международной научно-технической конференции. – Вологда: ВоГТУ, – 2014. – С 133-135.
2. Дербин, М.В. Определение формы отжимной аэростатической направляющей [Текст] // Опыт лесопользования в условиях Северо-Запада РФ и Финноскандии: материалы международной научно-технической конференции, посвященной 60-летию лесоинженерного факультета ПетрГУ. – Петрозаводск, 2011. С 12-13.
3. Дербин, М.В. Совершенствование аэростатических направляющих для дереворежущих пил: дис. ... канд. техн. наук [Текст] / М.В. Дербин. – Архангельск. – 2012. – 151 с.
4. Прокофьев, Г.Ф. Интенсификация пиления древесины рамными и ленточными пилами [Текст] / Г.Ф. Прокофьев. – М.: Лесн. пром-сть. – 1990. – 240 с.
5. Прокофьев, Г.Ф. Повышение эффективности пиления древесины на лесопильных рамах и ленточнопильных станках: монография [Текст] / Г.Ф. Прокофьев, И.И. Иванкин. – Архангельск: АГТУ. – 2009. – 380 с. – ISBN 978-5-261-00453-0.
6. Прокофьев, Г.Ф. Применение опор с газовой смазкой в технике: учеб. пособие [Текст] / Г.Ф. Прокофьев, Н.И. Дундин, И.И. Иванкин. – Архангельск: Изд-во АГТУ. – 1999. – 65 с..
7. Пат. 2547709, Российская Федерация, МПК В 27 В 13/10. Отжимная направляющая ленточной пилы [Текст] / Дербин М.В., Дербин В.М., Яновский Р.Е., Сивков К.Е. – № 2014104068/13; заявл. 05.02.2014; опубл. 10.04.2015, Бюл. №10.
8. Пат. 2556911, Российская Федерация, МПК В 27 В 13/10. Отжимная направляющая ленточной пилы [Текст] / Дербин М.В., Дербин В.М., Яновский Р.Е., Сивков К.Е. – № 2014104888/13; заявл. 11.02.2014; опубл. 20.07.2015, Бюл. №20.
9. Пат. 2243087 Российская Федерация, МПК В 27 В13/10, С1, Направляющая ленточнопильного станка [Текст] / Новосельцева И.В. - № 2003120014/03; заявл. 01.07.2003; опубл. 27.12.2004, Бюл. № 36.

10. Пат. 2366569 Российская Федерация, МПК В 27 В13/10, С1, Отжимная аэроstaticеская направляющая ленточной пилы [Текст] / Прокофьев Г.Ф. - № 2007145962/03; заявл. 10.12.2007; опубл. 10.09.2009, Бюл. № 20.

11. Пат. 2458787, Российская Федерация, МПК В 27 В 13/00. Отжимная аэроstaticеская направляющая ленточной пилы [Текст] / Прокофьев Г.Ф., Дербин М.В., Дербин В.М. - № 2011107545; заявл. 25.02.2011; опубл. 20.08.2012, Бюл. №23.

#### Список литературы на английском языке / References in English

1. Derbin, M.V. Analiz konstrukcij napravlyayushchih lentochopil'nyh stankov [Analysis of the constructions of guide band saws] / M.V. Derbin, V.M. Derbin, R.E. Yanovskij, K.E. Sivkov // Aktual'nye problemy razvitiya lesnogo kompleksa: Materialy mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii [Actual problems of forestry complex: Proceedings of the international scientific and technical conference] – Vologda: VoGTU, – 2014. – P 133-135. [in Russian]

2. Derbin, M.V. Opredelenie formy otzhimnoj aehrostaticeskoy napravlyayushchej [Defining forms squeezing aerostatic guide] // Opyt lesopol'zovaniya v usloviyah Severo-Zapada RF i Fennoskandii: materialy mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii, posvyashchyonnoj 60-letiyu lesoinzhenernogo fakul'teta PetrGU [Forest management experience in the North-West Russia and Fennoscandia: materials of the international scientific conference dedicated to the 60th anniversary of the Faculty of Forest Engineering PetrSU.] – Petrozavodsk, 2011. P 12-13. [in Russian]

3. Derbin, M.V. Sovershenstvovanie aehrostaticeskikh napravlyayushchih dlya derevorezhushchih pil: dis. ... kand. tekhn. nauk [Improving aerostatic guides of saw saws] / M.V. Derbin. – Arhangel'sk. – 2012. – 151 P. [in Russian]

4. Prokof'ev, G.F. Intensifikatsiya pileniya drevesiny ramnymi i lentochnymi pilami [Intensification of sawing wood by web and band saws] / G.F. Prokof'ev. – M.: Lesn. prom-st'. – 1990. – 240 P. [in Russian]

5. Prokof'ev, G.F. Povyshenie ehffektivnosti pileniya drevesiny na lesopil'nyh ramach i lentochopil'nyh stankah: monografiya [Improving the efficiency of sawing wood frames in sawmills and bandsaw machines: monograph] /G.F. Prokof'ev, I.I. Ivankin. – Arhangel'sk: AGTU. – 2009. – 380 P. – ISBN 978-5-261-00453-0. [in Russian]

6. Prokof'ev, G.F. Primenenie opor s gazovoj smazkoj v tekhnike: ucheb. posobie [The use of gas-lubricated bearings with the technique: studies. Manual] / G.F. Prokof'ev, N.I. Dundin, I.I. Ivankin. – Arhangel'sk: Izd-vo AGTU. – 1999. – 65 P. [in Russian]

7. Pat. 2547709, Rossijskaya Federaciya, MPK V 27 V 13/10. Otzhimnaya napravlyayushchaya lentochnoj pily [Trailable guide bandsaw] / Derbin M.V., Derbin V.M., YAnovskij R.E., Sivkov K.E. – № 2014104068/13; statement 05.02.2014; published 10.04.2015, bulletin №10. [in Russian]

8. Pat. 2556911, Rossijskaya Federaciya, MPK V 27 V 13/10. Otzhimnaya napravlyayushchaya lentochnoj pily [Trailable guide bandsaw] / Derbin M.V., Derbin V.M., YAnovskij R.E., Sivkov K.E. – № 2014104888/13; statement 11.02.2014; published 20.07.2015, bulletin №20. [in Russian]

9. Pat. 2243087 Rossijskaya Federaciya, MPK V 27 V13/10, S1, Napravlyayushchaya lentochopil'nogo stanka [Band saw guide] / Novosel'ceva I.V. - № 2003120014/03; statement 01.07.2003; published 27.12.2004, bulletin №36. [in Russian]

10. Pat. 2366569 Rossijskaya Federaciya, MPK V 27 V13/10, S1, Otzhimnaya aehrostaticeskaya napravlyayushchaya lentochnoj pily [Trailable aerostatic guideways bandsaw] / Prokof'ev G.F. - № 2007145962/03; statement 10.12.2007; published 10.09.2009, bulletin № 20. [in Russian]

11. Pat. 2458787, Rossijskaya Federaciya, MPK V 27 V 13/00. Otzhimnaya aehrostaticeskaya napravlyayushchaya lentochnoj pily [Trailable aerostatic guideways bandsaw] / Prokof'ev G.F., Derbin M.V., Derbin V.M. – № 2011107545; statement 25.02.2011; published 20.08.2012, bulletin №23. [in Russian]

DOI: 10.18454/IRJ.2016.54.252

Соколов А.А.<sup>1</sup>, Пожиганов А.Н.<sup>2</sup>, Эльчепаров А.А.<sup>3</sup>, Котов И.В.<sup>4</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-0002-1127-9612, Кандидат технических наук, <sup>2</sup>ORCID: 0000-0001-7566-9030, бакалавр, магистрант,<sup>3</sup>ORCID: 0000-0002-4124-7603, бакалавр, магистрант, <sup>4</sup>ORCID: 0000-0002-9487-0706, бакалавр второго курса, Северо-Кавказский горно-металлургический институт (Государственный технологический университет)**РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ГОРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ****Аннотация**

Все производственные цеха ОАО «Электроцинк» являются энергоемкими, поэтому разработка алгоритмов управления с использованием блока ранжирования для повышения эффективности работы с энергопотребителями всех цехов является актуальной задачей. Внедрение предлагаемых в работе алгоритмов в систему автоматического контроля электроэнергии позволит увеличить надежность эксплуатации электрооборудования и повысить эффективность работы всего технологического процесса как в отдельно взятом цехе, так и на всем предприятии. Разработанные алгоритмы управления могут быть использованы не только на предприятиях горно-металлургической отрасли, но и других отраслей промышленности Российской Федерации при включении в программное обеспечение и базы данных специфических особенностей производства.

**Ключевые слова:** электроэнергия, алгоритмы, технологический процесс, блок ранжирования.

Sokolov A.A.<sup>1</sup>, Pozhiganov A.N.<sup>2</sup>, El'cheparov A.A.<sup>3</sup>, Kotov I.V.<sup>4</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-0002-1127-9612, PhD in Engineering, <sup>2</sup>ORCID: 0000-0001-7566-9030, Bachelor's, master's degree,<sup>3</sup>ORCID: 0000-0002-4124-7603, second-year Bachelor, <sup>4</sup>ORCID: 0000-0002-9487-0706, Student at the Bachelor, North-Caucasian Mining and Metallurgical Institute (State Technological University)**DEVELOPMENT CONTROL ALGORITHMS TO IMPROVE THE EFFECTIVENESS OF MINING COMPANIES****Abstract**

All production facilities of JSC "Electrozink" are energy-intensive, so the development of control algorithms using a ranking unit for increasing the efficiency of energy consumers with all the shops is an urgent task. Implementation of the proposed algorithms in the system of automatic control of electric power will increase the reliability of operation of electric equipment and improve the efficiency of the entire process in a particular shop and across the enterprise. The developed control algorithms can be used not only for the enterprises of mining and metallurgical industry, but other sectors of the Russian industry for inclusion in the database software and the specific characteristics of the production data.

**Keywords:** electricity, algorithms, workflow, ranging unit.

ОАО «Электроцинк» работает на замкнутой схеме комплексного использования свинцово-цинкового сырья и является предприятием полиметаллического профиля. Предприятие состоит из цехов цинкового и свинцового производства, производства серной кислоты, медного и цинкового купороса. Технология цинкового производства включает цеха: обжиговой – для обжига концентратов и удаления из них серы; выщелачивательный – для извлечения серной кислотой из огарка цинка, удаления вредных примесей, очистки получаемого раствора; электролитный – для получения электролитическим способом металлического цинка и переплавки его в чумки; вельцев и гидрометаллургический. В цинковое производство из свинцового направляется в переработку часть свинцовых пылей рукавных фильтров для извлечения кадмия и гранулированных шлаков свинцовой плавки. В результате вельцевания и гидрометаллургической переработки вельцоокислов свинец извлекается в свинцовые кеки, которые передаются в свинцовое производство, а кадмий извлекается в цинковые растворы. Свинцовое производство включает агломерационный и плавильно-рафинировочные цеха, в которых производится спекание шихты и получение чернового свинца, а также очистка его от примесей и разливка по формам. Свинцовое производство рассчитано на выпуск свинца, свинец висмутистый, серебрено-золотистый сплав, сплавы свинцово-сурьменистых марок ССу, ССуМ, 1/2 ССуМТ, ССуМТ, товарный медный штейн. Поддержание работы свинцового и цинкового производства обеспечивается нормальным функционированием различного производственного оборудования. Нарушение электроснабжения отдельных производств и механизмов может привести к отравлению людей, взрыву, пожару, повреждению оборудования, длительному расстройству смежного технологического процесса.

Производство окислов цинка, свинца и кадмия в вельцеве производится в трубчатых вращающихся печах. Для интенсификации возгонки окислов в печи вентиляторами подается воздух, запыленные газы из печей отсасываются дымососами, а очищенные в пылеулавливающей системе выбрасываются в атмосферу эксгаустерами. Возгонку цинка, свинца и кадмия производят в трубчатых вращающихся печах, работающих по принципу противотока. Скорость вращения печей – 1 оборот за 52-56 секунды. В зависимости от состава перерабатываемых материалов и их влажности технологом устанавливается режим работы печей. Режим вельцевания должен обеспечивать получение качественных вельцоокислов. Пределы основных параметров технологического режима приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Температурный режим (в °C)

Наименование	При нормальной работе		При выплавке настывлей
	На кеках	На кеках и граншлаках	
Температура отходящих газов в пылевой камере (°C)	550-600	600-700	На 200-300 выше, чем при нормальной работе
Температура разгрузочного кольца печи (°C)	1150-1300	1150-1300	1100-1300
Температура газов при входе в рукавные фильтры (°C)	100	100	100

Температура разгрузочного кольца печи контролируется периодически один раз в месяц пирометром. Температурный режим контролируется с помощью термодатчиков вторичных приборов с записью показателей на диаграмме. При повышении температуры газов перед фильтрами выше допустимого предела автоматически осуществляется подача холодного воздуха для снижения температуры.

По степени бесперебойности энергоснабжения перечисленные механизмы вельцеха и конкретноотделения фильтров и дымососов относятся к 1-й категории, так как отключение привода вращающихся печей и последующий их останов может вызвать неравномерный нагрев и деформацию корпуса печи, нарушение работы пылеулавливающей системы и повышение загазованности. Поскольку все производственные цеха ОАО «Электроцинк» являются энергоемкими, то разработка алгоритмов управления для повышения эффективности управления энергопотребителями всех цехов является актуальной задачей [1, С.63], [2, С.65].

Согласно существующим задачам, поставленным перед системами учета и контроля электроэнергии (<http://www.eu.sama.ru/askue.html>), для автоматизированной системы контроля и учета электроэнергии на предприятии выполняющие такие функции как:

- точное измерение параметров энергоснабжения потребителей, согласно реальному объему их энергоснабжения и минимизации непроизводственных затрат на энергоресурсы, в частности, за счет использования точных измерительных приборов или повышение синхронности сбора первичных данных;
- диагностика полноты данных с целью обеспечения расчетов за энергоресурсы, согласно реальному объему их энергоснабжения за счет повышения достоверность данных, используемых для финансовых расчетов с поставщиками энергоресурсов и субабонентами предприятия;
- комплексный автоматизированный коммерческий и технический учет энергоресурсов и контроль их параметров по предприятию, его инфраструктурам, действующий по тарифным системам с целью минимизации производственных и непроизводственных затрат на энергоресурсы;
- сигнализация (цветом, звуком) об отклонении контролируемых величин от допустимого диапазона значений с целью минимизации производственных затрат на энергоресурсы за счет принятия оперативных решений.
- прогнозирование (кратко-, среднее долгосрочное) значений величин энергоучета с целью минимизации производственных затрат на энергоресурсы за счет планирование энергопотребления;
- автоматическое управление энергопотребления на основе заданных критериев и приоритетных схем включения / отключение потребителей - регуляторов с целью минимизации производственных затрат на энергоресурсы за счет экономии ручной работы и обеспечение качества управления,

авторами было разработано программное обеспечение, методы компрессии [3, С. 94], алгоритмы анализа, управления и принятия решений [5, С. 95]. Так в частности для реализации разработанных алгоритмов управления авторами был выбран вельцех ОАО «Электроцинк». Научная новизна алгоритмов управления заключается во введении в них блока ранжирования по вероятности отказов механизмов и технологических сбоев оборудования. Так на рисунке 1 представлен алгоритм управления со включёнными в него блоками диагностики и ранжирования.

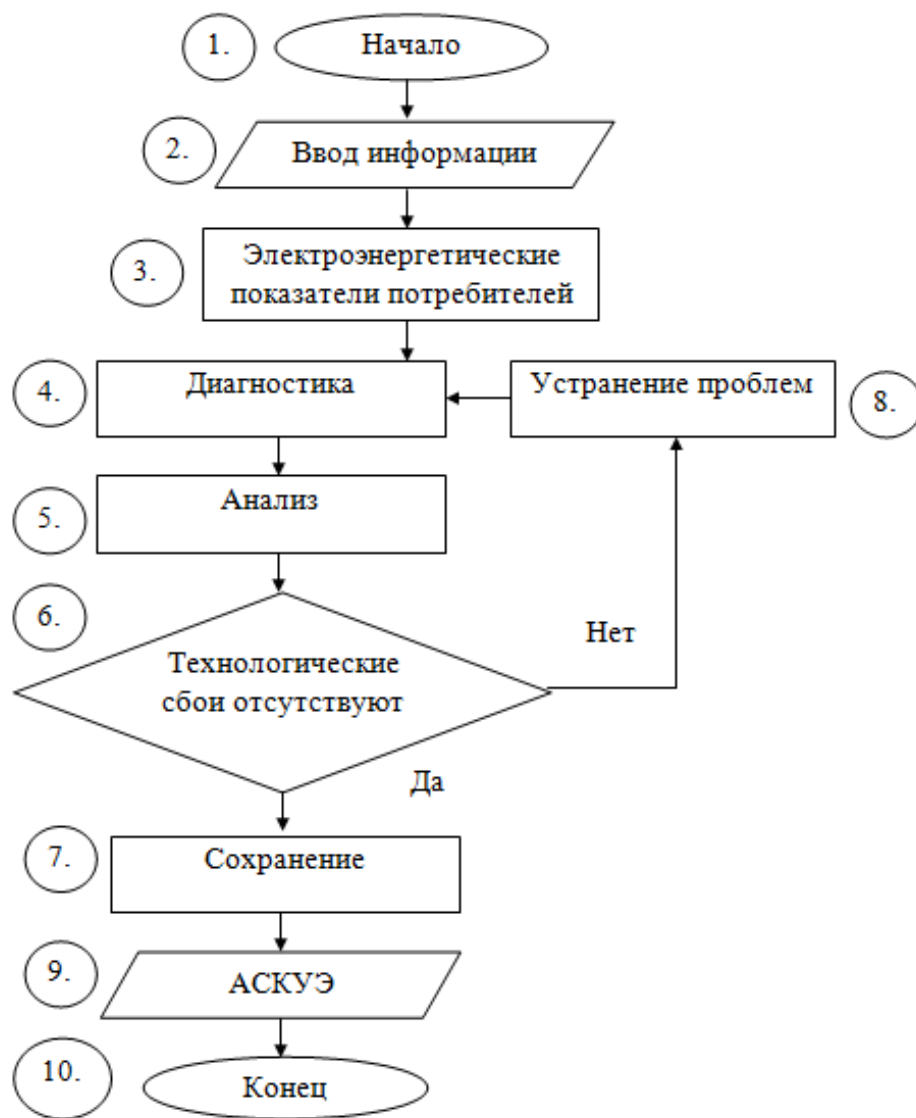


Рис. 1 – Алгоритм управления потребителями электроэнергии

В блок-схеме на рисунке 1 в блоках 1-3 происходит сбор всей необходимой для анализа информации, в блоках 4-6 производится диагностика и выявление возможных проблем, далее осуществляется их решение с помощью блока (8) диагностики оборудования, в котором применяется учет вероятных прогнозов и используется специальное программное обеспечение, разработанное на базе динамического моделирования электрических процессов. В блоках 7, 9, 10 – алгоритм завершает свою работу, сохраняя в базы данных, обработанную информацию. Внедрение данных алгоритмов с учетом специальных методов [6, С. 42] и технических средств [7, С. 170], в систему автоматического контроля электроэнергии позволит увеличить надежность эксплуатации электрооборудования и повысит эффективность работы всего технологического процесса как в отдельно взятом цехе, так и на всем предприятии.

Разработанные алгоритмы управления могут быть использованы не только на предприятиях горно-металлургической отрасли, но и других отраслей промышленности Российской Федерации при включении в программное обеспечение и базы данных специфических особенностей производства [8, С. 84], [2, С.65]. Данные алгоритмы позволят избежать крупных неполадок, сказывающихся на работе предприятия, дать своевременную информацию о наиболее “уязвимых” частях, чтобы в дальнейшем исправить или заменить ненадежные механизмы и детали, что в свою очередь позволит перейти на более новый и стабильный режим работы предприятия [9, С. 139].

#### Список литературы / References

1. Ключев Р.В., Соколов А.А. Анализ показателей надежности электроэнергетической системы / Р.В. Ключев, А.А. Соколов // Международный научно-исследовательский журнал. - 2013. - № 8-2(15). - С. 65-66.
2. Ключев Р.В., Соколов А.А. Термографический анализ промышленного предприятия цветной металлургии / Р.В. Ключев, А.А. Соколов // Международный научно-исследовательский журнал. - 2013. - № 8-2(15). - С. 63-64.
3. Анализ работы алгоритмов компрессии для сокращения объема цифровой информации. / А.А. Соколов, Е.А. Соколова // Перспективы науки. - 2010. - № 5 (7). - С. 93-96.
4. Соколов А.А. Комплексная оценка воздействия промышленных объектов на окружающие экосистемы инновационными техническими средствами и методами (на примере Моздокского района республики Северная Осетия — Алания). / А.А. Соколов // Экология урбанизированных территорий. - 2010. - № 2. - С. 94-97.
5. Соколов А.А., Соколова Е.А. К проблеме повышения эффективности комплексной оценки влияния промышленных объектов на экосистемы. / А.А. Соколов, Е.А. Соколова // Экология урбанизированных территорий. - 2009. - № 3. - С. 42-43.

6. Соколов А.А. К проблеме электрического моделирования фильтрации грунтовых вод. / А.А. Соколов // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел геологический. - 2009. - Т. 84. № 1. - С. 69-71.
7. Соколов А.А., Аликов А.Ю., Босиков И.И., Петров Ю.С. Разработка метода решения задач системного анализа в природно-промышленной системе. / А.А. Соколов, А.Ю. Аликов, И.И. Босиков, Ю.С. Петров // Перспективы науки. - 2010. - № 4(6). - С. 83-85.
8. Соколов А.А., Соколова О.А., Соколова Е.А. Разработка стенда для исследования и моделирования экологических рисков. / А.А. Соколов, О.А. Соколова, Е.А. Соколова // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2009. - № 7. - С. 169-172.
9. Соколов А.А., Соколова О.А. Реализация теории и методов мониторинга подземных вод на сеточных моделях участков экосистем как объектов с распределенными параметрами. / А.А. Соколов, О.А. Соколова // Проблемы региональной экологии. - 2009. - № 3. - С. 138-141.

#### Список литературы на английском языке / References in English

1. Klyuev R.V., Sokolov A.A. Analiz pokazatelej nadezhnosti ehlektroehnergeticheskoy sistemy [Analysis of the reliability of the electricity system] / R.V. Klyuev, A.A. Sokolov // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International Research Journal]. - 2013. - №8-2 (15). - P. 65-66. [in Russian]
2. Klyuev R.V., Sokolov A.A. Termograficheskij analiz promyshlennogo predpriyatiya cvetnoj metallurgii [Thermographic analysis of the industrial enterprises of nonferrous metallurgy] / R.V. Klyuev, A.A. Sokolov // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International Research Journal]. - 2013. - №8-2 (15). - P. 63-64. [in Russian]
3. Sokolov A.A., Sokolova E.A. Analiz raboty algoritmov kompressii dlya sokrascheniya ob'ema tsifrovoy informatsii [Analysis of the work of compression algorithms to reduce the amount of digital information] / A.A. Sokolov, E.A. Sokolova // Perspektivy nauki [Prospects of science]. - 2010. - №5 (7). - P. 93-96. [in Russian]
4. Sokolov A.A. Kompleksnaya otsenka vozdeystviya promyshlennykh ob'ektov na okruzhayushchie ekosistemy innovatsionnymi tehnikami sredstvami i metodami (na primere Mozdokskogo rayona respubliki Severnaya Osetiya — Alaniya) [A comprehensive assessment of the impact of industrial facilities on the surrounding ecosystem innovative technical means and methods (for example, the Mozdok district of the republic of North Ossetia - Alania)] / A.A. Sokolov // Ekologiya urbanizirovannykh territoriy [Ecology of the urbanized territories]. - 2010. - № 2. - P. 94-97. [in Russian]
5. Sokolov A.A., Sokolova E.A. K problem povysheniya effektivnosti kompleksnoy otsenki vliyaniya promyshlennykh ob'ektov na ekosistemy [On the problem of increasing the effectiveness of a comprehensive assessment of the impact of industrial facilities on the ecosystem] / A.A. Sokolov, E.A. Sokolova // Ekologiya urbanizirovannykh territoriy [Ecology of the urbanized territories]. - 2009. - №3. - P. 42-43. [in Russian]
6. Sokolov A.A. K probleme elektricheskogo modelirovaniya filtratsii gruntovykh vod [On the problem of modeling the electrical filtering groundwater] / A.A. Sokolov // Byulleten Moskovskogo obshchestva ispytateley prirody. Otdel geologicheskij [Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Department of Geology]. - 2009. - V. 84. № 1. - P. 69-71. [in Russian]
7. Sokolov A.A., Alikov A.Yu., Bosikov I.I., Petrov Yu.S. Razrabotka metoda resheniya zadach sistemnogo analiza v prirodno-promyshlennoy sisteme [Development of a method for solving problems of system analysis in natural and industrial system] / A.A. Sokolov, A.Yu. Alikov, I.I. Bosikov, Yu.S. Petrov // Perspektivy nauki [Prospects of science]. - 2010. - № 4 (6). - P. 83-85. [in Russian]
8. Sokolov A.A., Sokolova O.A., Sokolova E.A. Razrabotka stenda dlya issledovaniya i modelirovaniya ekologicheskikh riskov [Development of the stand for the study and modeling of environmental risks] / A.A. Sokolov, O.A. Sokolova, E.A. Sokolova // Gornyy informatsionno analiticheskiy byulleten (nauchno-tehnicheskiy zhurnal) [Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal)]. - 2009. - №7. - P. 169-172. [in Russian]
9. Sokolov A.A., Sokolova O.A. Realizatsiya teorii i metodov monitoringa podzemnykh vod na setochnykh modelyakh uchastkov ekosistem kak ob'ektov s raspredelennymi parametrami [The implementation of the theory and methods of monitoring of groundwater in the grid model ecosystems as an object with distributed parameters] / A.A. Sokolov, O.A. Sokolova // Problemy regionalnoy ekologii [Problems of regional ecology]. - 2009. - № 3. - P. 138-141. [in Russian]

DOI: 10.18454/IRJ.2016.54.086

Соскин М.И.<sup>1</sup>, Шулепова А.В.<sup>2</sup>, Шаманов В.А.<sup>3</sup><sup>1,2</sup>Магистрант, <sup>3</sup>кандидат технических наук, доцент,

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СМЕШАННОГО АРМИРОВАНИЯ НА ПРОЧНОСТЬ ГИПСОВЫХ КОМПОЗИТОВ****Аннотация**

В статье рассмотрены перспективы гибридного микроармирования гипсовых композитов с помощью полипропиленовой и базальтовой фибры. Выполнен анализ влияния выбранных волокон на свойства строительного гипса. Были проведены полные центральные ортогональные двухфакторные эксперименты с изменением каждого фактора на трех уровнях. Анализ полученных результатов осуществлялся с применением программного комплекса «STATISTICA». Установлено, что введение разномодульных волокон позволило повысить прочность гипсового композита на сжатие более чем в 2 раза, на растяжение при изгибе на 70% по сравнению с контрольным составом.

**Ключевые слова:** строительный гипс, базальтовая фибра, полипропиленовая фибра, микроармирование, смешанное дисперсное армирование.

Soskin M.I.<sup>1</sup>, Shulepova A.V.<sup>2</sup>, Shamanov V.A.<sup>3</sup><sup>1,2</sup>Undergraduate student, <sup>3</sup>PhD in Engineering, associate professor,

Perm National Research Polytechnic University

**STUDY OF INFLUENCE MIXED REINFORCING STRENGTH GYPSUM COMPOSITES****Abstract**

The article discusses the prospects of the micro-hybrid gypsum composites with polypropylene and basalt fibers. The analysis of the impact of selected fibers on the properties of gypsum plaster. Full central orthogonal two-factor experiment with a change of each factor on the three levels have been carried out. Analysis of the results was carried out using the software package «STATISTICA». The introduction multimodulus possible to increase the strength fiber gypsum composite compression more than 2 times, tensile bending by 70% compared to the control composition.

**Keywords:** gypsum plaster, basalt fiber, polypropylene fiber, micro-mixed dispersed reinforcement.

**Введение**

Гипсовые материалы и изделия отличаются достаточной огнестойкостью, низкой тепло- и звукопроводностью, относительной лёгкостью и прочностью. Использование изделий и конструкций на основе гипса позволит эффективнее распределять топливно-энергетические ресурсы. Это обусловлено тем, что производство гипсовых вяжущих в 5...10 раз менее энергоёмко по сравнению с производством цемента и извести, в 2,4 раза дешевле и не требует больших затрат на тепловую обработку изделий [1]. Также причинами популяризации гипсовых составов можно назвать эстетичность, экологичность, нормализацию микроклимата помещений, небольшую трудоёмкость работ [2].

Однако стоит отметить, что у этого материала существует ряд недостатков, одним из которых является низкая прочность на растяжение при изгибе. Перспективным решением данной проблемы является использование микроармирования композита [3, 4]. Однако противоречивые результаты исследований не позволяют установить оптимальный диапазон варьирования расходом фибры в изделиях из строительного гипса [5]. Кроме того, данные разных авторов об эффективности применения низкомодульных и высокомодульных волокон расходятся, а вопросам смешанного армирования гипсовых композитов не уделяется должного внимания. Имеются все предпосылки для эффективной модернизации гипсовых изделий, что позволит применять их при строительстве как типовых, так и уникальных зданий [6].

Между тем, исследования в области минеральных вяжущих показывают, что именно комбинирование низкомодульных и высокомодульных волокон позволяет в значительной мере повысить трещиностойкость и ударную вязкость изделий [7].

Цель исследования – определить влияние раздельного и совместного введения полипропиленовой и базальтовой фибры на прочностные характеристики гипсовых вяжущих веществ.

**Методика эксперимента и сырьевые материалы**

Для данного эксперимента были использованы следующие материалы: гипс марки Г-4 Ергачинского месторождения, полипропиленовая фибра производства ООО «Си Айрлайд» длиной 12 мм, базальтовая фибра производства НПО «Вулкан» длиной 12 мм и суперпластификатор СП-1 производства АО ГК «Полипласт».

Необходимость применения суперпластификатора вызвана тем, что при введении в гипсовую смесь фибры в количестве 0,3-0,6% увеличивается количество воды затворения, необходимой для получения теста нормальной густоты, на 4-11% соответственно, что приводит к снижению прочности на сжатие и изгиб более чем на 20%.

Подготовка материалов, формование образцов и испытания прочностных характеристик было проведено в соответствии с ГОСТ 23789-79 «Вяжущие гипсовые. Методы испытаний». Водогипсовое отношение для получения гипсового теста нормальной консистенции варьировалось в пределах 0,505-0,575.

**Проведение эксперимента и анализ полученных результатов**

Для оптимизации состава гипсовой смеси с содержанием различной фибры и суперпластификатора СП-1 были проведены полные центральные ортогональные двухфакторные эксперименты с изменением каждого фактора на трех уровнях. Анализ полученных результатов осуществлялся на ПК с применением программного комплекса «STATISTICA».

Отметим, что выбранные факторы были закодированы следующим образом:

X<sub>1</sub> – содержание базальтовой фибры, % (БФ);

X<sub>2</sub> – содержание полипропиленовой фибры, % (ПФ);

X<sub>3</sub> – содержание суперпластификатора, % (С);



Рациональные области варьирования этими факторами были установлены исходя из литературных данных и составили для полипропиленовой и базальтовой фибры от 0,3 до 0,6% от массы вяжущего, для суперпластификатора от 0,15 до 0,45% от массы вяжущего [5]. В качестве контрольного был выбран бездобавочный состав при водогипсовом отношении, равном 0,56. У образцов армированного фиброй гипса определялись следующие характеристики: средняя плотность ( $Y_1$ ), прочность на растяжение при изгибе ( $Y_2$ ), прочность на сжатие ( $Y_3$ ). План проведения эксперимента в натуральных и кодированных величинах для базальтовой и полипропиленовой фибр и суперпластификатора представлен в таблице 1.

Таблица 1 – План эксперимента и результаты испытаний

Точки плана	Факторы				Результаты испытаний ( $X_1$ )		Результаты испытаний ( $X_2$ )	
	План в кодированных переменных		План в натуральных переменных		$R_{изг\ ср}$ , МПа	$R_{сж\ ср}$ , МПа	$R_{изг\ ср}$ , МПа	$R_{сж\ ср}$ , МПа
	$X_1(X_2)$	$X_3$	$\Phi$	СП-1	$Y_2$	$Y_3$	$Y_2$	$Y_3$
1	+1	+1	0,6	0,45	3,410	4,560	3,700	6,880
2	+1	0	0,6	0,3	3,870	5,360	2,210	4,280
3	+1	-1	0,6	0,15	4,350	5,920	3,470	6,040
4	0	+1	0,45	0,45	3,220	4,920	3,110	4,800
5	0	0	0,45	0,3	3,370	5,120	3,000	5,160
6	0	-1	0,45	0,15	3,760	5,120	2,670	5,040
7	-1	+1	0,3	0,45	3,390	4,480	3,210	5,120
8	-1	0	0,3	0,3	3,520	5,400	3,170	4,880
9	-1	-1	0,3	0,15	3,730	5,240	2,830	5,080

Для каждой из функций с помощью программного комплекса «STATISTICA» были получены уравнения регрессии, представленные в формулах 1-6.

$$\rho_{ср\ пф} = 3,07 - 5,10\Phi + 4,69\Phi^2 - 9,47C + 15,36C^2 + 32,42\Phi \cdot C - 52,95\Phi \cdot C^2 - 27,49\Phi^2 \cdot C + 44,37\Phi^2 \cdot C^2 \quad (1)$$

$$\rho_{ср\ бф} = 3,32 - 9,05\Phi + 10,85\Phi^2 - 14,73C + 29,43C^2 + 77,60\Phi \cdot C - 149,88\Phi \cdot C^2 - 91,44\Phi^2 \cdot C + 173,61\Phi^2 \cdot C^2 \quad (2)$$

Уравнение 1 и 2 описывают зависимость средней плотности от содержания фибр и содержания пластификатора СП-1.

$$R_{изг\ пф} = 32,49 - 114,43\Phi + 108,67\Phi^2 - 228,13C + 385,78C^2 + 886,56\Phi \cdot C - 1510,37\Phi \cdot C^2 - 836,30\Phi^2 \cdot C + 1427,16\Phi^2 \cdot C^2 \quad (3)$$

$$R_{изг\ бф} = 4,98 - 9,57\Phi + 11,63\Phi^2 + 3,51C + 2,52C^2 - 6,67\Phi \cdot C \quad (4)$$

Уравнение 3 и 4 описывает зависимость прочности на растяжение при изгибе от содержания фибр и содержания пластификатора СП-1.

$$R_{сж\ пф} = 68,76 - 261,20\Phi + 260,44\Phi^2 - 441,20C + 696,00C^2 + 1809,78\Phi \cdot C - 2850,37\Phi \cdot C^2 - 1807,41\Phi^2 \cdot C + 2844,44\Phi^2 \cdot C^2 \quad (5)$$

$$R_{сж\ бф} = -7,60 + 57,33\Phi - 67,56\Phi^2 + 70,53C - 68,44C^2 - 329,33\Phi \cdot C + 346,67\Phi \cdot C^2 + 400,00\Phi^2 \cdot C - 454,32\Phi^2 \cdot C^2 \quad (6)$$

Уравнение 5 и 6 описывает зависимость прочности на сжатие от содержания фибр и содержания пластификатора СП-1.

В результате оптимизации состава с помощью программного комплекса «STATISTICA» было получено, что прочность образцов на растяжение при изгибе принимает наибольшее значение при расходе полипропиленовой фибры 0,33% и содержании в смеси суперпластификатора СП-1 в количестве 0,14%, и равняется 3,62 МПа, их средняя плотность составляет 1,70 г/см<sup>3</sup>, а прочность при сжатии составляет 6,39 МПа.

Образцы с базальтовой фиброй имеют наибольшую прочность на растяжение при изгибе, равную 5,37 МПа, при  $\Phi=0,10\%$  и  $C=0,33$ . В свою очередь их плотность составляет 1,70 г/см<sup>3</sup>, а прочность при сжатии составляет 7,08 МПа.

Для оценки влияния гибридного микроармирования на изменение прочностных характеристик строительного гипса были заформованы образцы с содержанием полипропиленовой и базальтовой фибры 0,33 и 0,1% соответственно, расход пластификатора был принят равным 0,25% от массы гипса. Результаты определения прочностных характеристик гипсового композита с гибридным армированием и их сравнение с другими составами представлены на рис. 1.

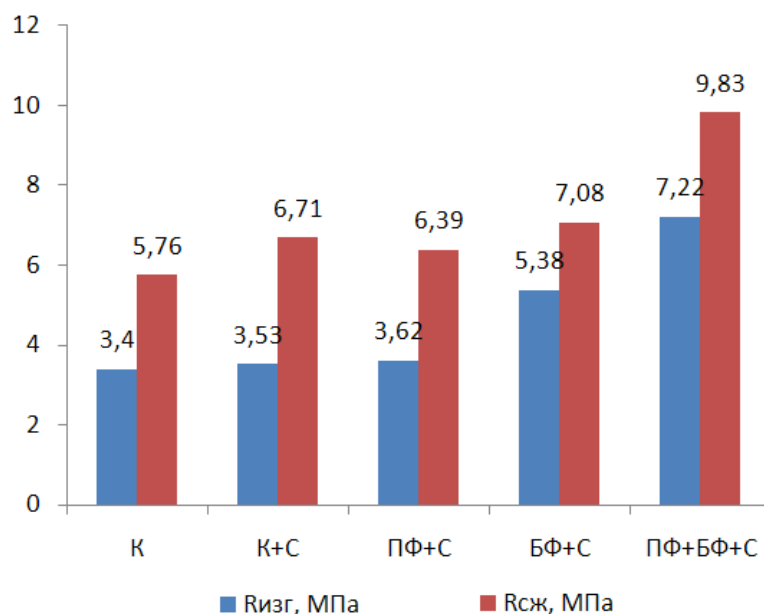


Рис. 1 – Зависимость изменения предела прочности на сжатие и на растяжение при изгибе образцов различного состава

Анализ полученных результатов показывает, что прочность гипсового образца увеличивается в большей степени при использовании комбинации полипропиленовой и базальтовой фибры с добавлением пластификатора, но стоит отметить, что полипропиленовая фибра проигрывает базальтовой по огнестойкости [8, 9]. Введение разномодульных волокон позволило повысить прочность гипсового композита на сжатие более чем в 2 раза, на растяжение при изгибе на 70% по сравнению с контрольным составом.

#### Заключение

В ходе проведения эксперимента было зафиксировано повышение прочностных характеристик гипсового композита, армированного различными волокнами. При этом комбинирование низко- и высокомодульных волокон вызвало синергетический эффект, заключающийся в суммарном упрочняющем эффекте при применении отдельных видов волокон: наблюдалось двухкратное увеличение прочности при сжатии, а прочность на растяжение при изгибе увеличилась на 70% по сравнению с контрольным составом.

#### Список литературы / References

1. Завадская Л.В. Влияние микроармирующих добавок на свойства газогипса // Фундаментальные исследования. – 2011. – №12. – С. 770-772.
2. Хопренинова Т.Ю. Гипсонаполненные системы в сухих строительных смесях // Сухие строительные смеси. – 2012. – №5. – С. 26-29.
3. Рязанов Р.Р., Мухаметрахимов Р.Х., Изотов В.С. Дисперсно-армированные строительные композиционные материалы на основе гипсового вяжущего // Известия КГАСУ. – 2011. – № 3. – С. 145-149.
4. Халиуллин М.И., Алтыкис М.Г., Рахимов Р.З. Эффективные сухие гипсовые смеси с добавками полимерных волокон // Известия вузов. Строительство. – 2004. – №3. – С. 33-37.
5. А.В. Шулепова, М.И. Соскин Перспективы использования микроармированных гипсовых композиционных материалов // Бакалавр – 2016 – №3-4 (16-17) – С. 48-53.
6. Официальный сайт компании ООО «КНАУФ ГИПС» [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.knauf.ru/> (дата обращения: 10.07.2016).
7. М.М. Морева, Л.И. Сычева Армирование портландцемента смешанными волокнами // Успехи в химии и химической технологии. – 2010. – №6 (111). – С. 73-76.
8. К.А. Сарайкина, А.Д. Курзанов Долговечность автоклавного газобетона, армированного базальтовой фиброй // Вестник ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика – 2012. – №4(8) – С. 103-108.
9. Т.А. Хежев, А.З. Жуков, Х.А. Хежев Огнезащитные и жаростойкие вермикулитобетонные композиты с применением вулканического пепла и пемзы // Электронный научный журнал Инженерный вестник Дона. – 2015. – №2.

#### Список литературы на английском языке / References in English

1. Zavadskaya L.V. Vliyaniye mikroarmiruyushchikh dobavok na svoystva gazogipsa [Influence of additives on the properties microarming gazogipsa] // Fundamental'nye issledovaniya [Fundamental Research]. – 2011. – №12. – P. 770-772. [in Russian]
2. Hopeninova T.YU. Gipsonapolnennyye sistemy v sukhikh stroitel'nykh smesyakh [Filled with gypsum system of dry construction mixtures] // Sukhie stroitel'nye smesi [Dry construction mixtures]. – 2012. – №5. – P. 26-29. [in Russian]
3. Ryazapov R.R., Mukhametrakhimov R.KH., Izotov V.S. Dispersno-armirovannyye stroitel'nye kompozitsionnyye materialy na osnove gipsovogo vyazhushchego [Dispersion-reinforced building composite materials based on gypsum binder] // Izvestiya KGASU [News of KGASU]. – 2011. – № 3. – P. 145-149. [in Russian]

4. Haliullin M.I., Altykis M.G., Rakhimov R.Z. EHffektivnye sukhie gipsovye smesi s dobavkami polimernykh volokon [Effective dry plaster mixture with the addition of polymer fibers] // Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of the universities. Building]. – 2004. – №3. – P. 33-37. [in Russian]
5. A.V. Shulepova, M.I. Soskin Perspektivy ispol'zovaniya mikroarmirovannykh gipsovykh kompozitsionnykh materialov [Microreinforced prospects for the use of gypsum composite materials] // Bakalavr [Bachelor] – 2016 – №3-4 (16-17) – P. 48-53. [in Russian]
6. Oficial'nyy sayt kompanii OOO «KNAUF GIPS» [The official site of the company "Knauf Gips"] [Electronic resource]. – URL: <http://www.knauf.ru/> (accessed: 10.07.2016). [in Russian]
7. M.M. Moreva, L.I. Sycheva Armirovanie portlandcements smeshannymi voloknami [Reinforcement of portlandcement mixed fibers] // Uspekhi v khimii i khimicheskoy tekhnologii [Advances in chemistry and chemical technology]. – 2010. – №6 (111). – P. 73-76. [in Russian]
8. K.A. Saraykina, A.D. Kurzanov Dolgovechnost' avtoklavnogo gazobetona, armirovannogo bazal'tovoy fibroy [Durability of autoclaved aerated concrete, reinforced with basalt fiber] // Vestnik PNIPU. Prikladnaya ehkologiya. Urbanistika [News of PNIPU. Applied Ecology. Urban]. – 2012. – №4 (8) – P. 103-108. [in Russian]
9. T.A. Khezhev, A.Z. ZHukov, KH.A. Khezhev Ognezashchitnye i zharostoykie vermikulitobetonnye kompozity s primeneniem vulkanicheskogo pepla i pemzy [Fireproof and heat-resistant composites vermiculite concrete with volcanic ash and pumice] // EHlektronnyy nauchnyy zhurnal Inzhenernyy vestnik Dona [Electronic Scientific Journal Engineering News of Don]. – 2015. – №2. [in Russian]

DOI: 10.18454/IRJ.2016.54.037

Тверяков А.М.<sup>1</sup>, Остапенко М.С.<sup>2</sup>, Штин А.С.<sup>3</sup>, Костив В.М.<sup>4</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-0002-6444-2559, Кандидат технических наук<sup>2</sup>ORCID: 0000-0002-3838-3815, Кандидат технических наук<sup>3</sup>ORCID: 0000-0002-7000-6761, Аспирант, <sup>4</sup>Кандидат технических наук,

Тюменский индустриальный университет

**ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ****Аннотация**

*В работе показана проблема рационального выбора режимов обработки, а также наиболее подходящего материала режущей части инструмента обеспечивающего условия максимальной обрабатываемости материала и максимальной работоспособности инструментального материала. Приведены существующие способы определения условий максимальной работоспособности материала режущей части инструмента, а также даны рекомендации по их применимости. Предложены различные варианты для контроля температуры в зоне резания соответствующей рациональным режимам обработки.*

**Ключевые слова:** режимы обработки, максимальная работоспособность, максимальная обрабатываемость.

Tveryakov A.M.<sup>1</sup>, Ostapenko M.S.<sup>2</sup>, Shtin A.S.<sup>3</sup>, Kostiv V.M.<sup>4</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-0002-6444-2559, PhD in Engineering, <sup>2</sup>ORCID: 0000-0002-3838-3815, PhD in Engineering,<sup>3</sup>ORCID: 0000-0002-7000-6761, Postgraduate student, <sup>4</sup>PhD in Engineering, Industrial University of Tyumen**CHOICE OF THE RATIONAL MODES OF PROCESSING****Abstract**

*In work the problem of the rational choice of the modes of processing, and also the most suitable material of the cutting part of the tool of the providing condition of the maximum workability of material and the maximum operability of tool material is shown. The existing modes definitions of conditions of the maximum operability of material of the cutting part of the tool are given, and also recommendations about their applicability are made. Various options for control of temperature in a zone of cutting of the processing corresponding to the rational modes are offered.*

**Keywords:** processing modes, maximum working capacity, maximum workability.

**П**роблема выбора рациональных режимов резания стоит достаточно давно. Сложность заключается в том, что мы хотим получить:

- максимальная производительность;
- качество поверхности;
- гарантированную стойкость инструмента в течение технологической операции или определенного периода времени.

Рекомендации справочников и производителей инструмента (довольно) общие [1], а как быть в каждом конкретном случае приходится решать либо оператору (станочнику) либо технологу (наладчику).

В случае, когда необходимо обеспечить гарантированную стойкость инструмента, цена ошибки может быть очень высока. Например, на финишных операциях, когда накопленная стоимость детали уже достаточно высока, поломка режущей части инструмента может привести к не исправимому браку детали. Причем на станках с ЧПУ оператор может и не заметить это до окончания технологического цикла обработки.

Для минимизации подобного рода случаев необходимо обеспечить, чтобы режимы обработки детали соответствовали условиям максимальной работоспособности режущей части инструмента [2]. Причем важно, чтобы эти условия совпадали с условиями максимальной обрабатываемости обрабатываемого материала [3,4].

Для определения условий максимальной обрабатываемости существует методика на основе физико-механических характеристик этих материалов. Суть, которой заключается в построении графика зависимости физико-механических

характеристик от температуры обрабатываемых материалов и определение на этих графиках температурных интервалов экстремальных значений. Эти температурные интервалы соответствуют условиям максимальной обрабатываемости, т.е. материал обеспечивает минимальное сопротивление резанию (разрушению). Значения физико-механических характеристик можно взять из справочных данных, либо при их отсутствии провести несложные испытания на определение коэффициента линейного (температурного) расширения в зависимости от температуры.

Для определения условий максимальной работоспособности режущей части инструмента существуют методики основанные также на их физико-механических характеристиках. Каждая из них обладает своими плюсами и минусами.

Первый способ, основан на установлении зависимости ударной вязкости KCV образцов из твердых сплавов от температуры ( $^{\circ}\text{C}$ ) при испытаниях на ударный изгиб. На графике зависимости  $KCV=f(\Theta)$  выделяют четыре зоны: 1 – хрупкое, 2 – квазихрупкое, 3 – вязкое и 4 – катастрофическое разрушение. Максимальной работоспособностью обладает твердый сплав при температуре перехода из квазихрупкого в вязкое состояние [5].

Недостатком этого способа является необходимость изготовления специальных твердосплавных образцов, которые разрушают при испытаниях на ударную вязкость.

Второй способ, основан на экспериментальном получении зависимости вязкости разрушения твердых сплавов (трещиностойкости), характеризуемой коэффициентом интенсивности напряжений  $K_{IC}$  от температуры испытаний ( $^{\circ}\text{C}$ ). Температура максимальной работоспособности твердосплавных режущих пластин выбирается из интервала температур, в котором коэффициент интенсивности напряжений  $K_{IC}$  твердых сплавов имеет максимальные значения [6].

Недостатком способа является необходимость проводить расчеты коэффициента интенсивности напряжений  $K_{IC}$  твердосплавных режущих пластин. Это усложняет процедуру и повышает погрешность определения температуры максимальной работоспособности твердосплавных режущих пластин.

Согласно ГОСТ25.506-85 значение критического коэффициента интенсивности напряжений  $K$ , определяется нагрузкой  $P$  и длиной трещины  $l$ .

Соответственно, при постоянной нагрузке  $P$ , значение  $K$  будет зависеть только от длины трещины. При использовании методики Палмквиста для определения коэффициента интенсивности напряжений при микроиндентировании, используемой применительно к твердым сплавам, которой оценивается величиной сопротивления развитию трещины, т.к. после индентирования алмазной пирамидкой получают четыре трещины исходящие из диагоналей отпечатка, то вместо длины трещины, можно применять среднюю длину трещин. [7,8].

Т.о. вместо характеристики  $K_{IC}$  можно использовать  $I_{cr}$ , что исключает необходимость проводить расчеты  $K_{IC}$ . Но все же данная методика подразумевает использование сложного экспериментального комплекса содержащего устройство для определения температуры, твердомер, микроскоп и столик для нагрева и закрепления режущей пластины

$K$  важнейшим эксплуатационным свойствам инструментальных материалов относятся: твердость, прочность, износостойкость и теплопроводность [9]. Известно, что теплопроводность материалов меняется в зависимости от температуры, а по закону Видемана-Франца-Лоренца - отношение коэффициента теплопроводности к коэффициенту электропроводности для всех металлов приблизительно одинаково и изменяется пропорционально абсолютной температуре.

Т.к. определить электрическую проводимость гораздо проще, чем теплопроводность, было принято решение провести испытания твердосплавных режущих пластин на установление зависимости электропроводности от температуры.

Испытания проводились методом вольтметра-амперметра на разработанной установке [10].

Для проведения испытаний были выбраны четыре представителя одно карбидных твердых сплавов BK6, BK8, BK10XOM, BPK15 с одинаковым размером пластин  $16 \times 10 \times 4$  миллиметров.

Нагрев пластинок осуществлялся ручной газовой горелкой инжекторного типа TKT-9607 Multi Purpose Torch. По результатам эксперимента были получены температурные зависимости электрической проводимости  $G$ .

При проведении эксперимента был заложен интервал температур от  $400^{\circ}\text{C}$  до  $1000^{\circ}\text{C}$ , характерный для процесса резания металлов. На графиках можно выделить три участка: на первом участке наблюдается падение электрической проводимости; второй участок – область минимальных значений электрической проводимости; на третьем участке наблюдается повышение значений электрической проводимости.

Сравнительный анализ полученных температурных зависимостей  $G = f(\Theta)$  с температурами максимальной работоспособности определенных по другим чувствительным физико-механическим характеристикам [5,6,7,8] показал, что область минимальных значений электрической проводимости хорошо коррелирует с этими температурами. Определение температур максимальной работоспособности по электрической проводимости, значительно упрощает этот процесс. Результаты этого исследования подтверждены патентом на изобретение [11].

Таким образом для определения рациональных режимов резания которые обеспечат гарантированную стойкость инструмента в течении технологической операции или определенного периода времени следует обеспечить соответствие температур максимальной обрабатываемости обрабатываемого материала температур максимальной работоспособности материала режущей части инструмента. Для определения максимальной обрабатываемости следует воспользоваться справочными данными физико-механических характеристик, а при их отсутствии провести испытания. Максимальную работоспособность режущей части инструмента следует определять по электрической проводимости, а при отсутствии электрической способности у материала следует использовать среднюю длину трещин.

Рассмотренные способы могут быть использованы при квалитетической оценки режущих инструментов [12,13,14].

Обеспечение необходимой температуры в зоне резания можно реализовать с помощью управления скоростью резания (обороты шпинделя). А контроль температуры можно осуществить с помощью пирометра, тепловизора или инструмента с датчиком температуры.

#### Список литературы / References

1. Тверяков А.М. Определение температуры максимальной работоспособности сменных твердосплавных пластин для повышения эффективности обработки сборным инструментом: дис. канд. тех. наук/ Тюменский государственный нефтегазовый университет. Тюмень, 2013.
2. Артамонов Е.В. Определение температуры максимальной работоспособности сменных режущих твердосплавных пластин/ Е.В. Артамонов, Д.С. Василега, А.М. Тверяков/ монография // под общей редакцией М.Х. Утешева. Тюмень, 2015.-102с.
3. Василега Д.С. Обрабатываемость деталей машиностроения/ Д.С. Василега, А.М. Тверяков, В.М. Костив /В сборнике: Нефть и газ Западной Сибири Материалы Международной научно-технической конференции, посвященной 90-летию со дня рождения Косухина Анатолия Николаевича. Тюмень, 2015. С. 131-133.
4. Василега, Д.С. Определение обрабатываемости материалов по физико-механическим характеристикам. / Д.С. Василега, А.М. Тверяков, Е.В. Якубовская // Новые технологии – нефтегазовому региону: материалы Всероссийской научно-практической конференции. Т. 2; – Тюмень: ТюмГНГУ, 2012. - 284 с. – С. 161.
5. Артамонов, Е.В. Повышение работоспособности СМП сборных инструментов. / Е.В. Артамонов, В.М. Костив, Т.Е. Помигалова // Сборник материалов международной научно-технической конференции. – Тюмень: ТГУ, 2000.
6. Артамонов, Е.В. Определение температуры максимальной работоспособности инструментальных твердых сплавов./ Е.В. Артамонов, Д.С. Василега // Омский научный вестник. Серия Приборы, машины и технологии. – 2008. – № 4 (73). – С. 53–56. – Библиогр.: с. 56.
7. Determining the maximum-performance temperature of hard-alloy cutting plates Artamonov E.V., Vasilega D.S., Tveryakov A.M. Russian Engineering Research. 2014. Т. 34. № 6. С. 402-403.
8. Артамонов, Е.В. Определение температуры максимальной работоспособности твердосплавных режущих пластин./ Е.В. Артамонов, Д.С. Василега, А.М. Тверяков // СТИН № 11-2013.
9. Инструментальные материалы // URL: <http://rudocs.exdat.com/docs/index-81983.html>.
10. Патент РФ №133764 МПК В23В1/00. Установка для определения температуры максимальной работоспособности твердосплавных режущих пластин/ Е.В. Артамонов, Д.С. Василега, А.М. Тверяков - Заявка №2013125808/02 от 04.06.2013. Оpubл. 27.10.2013 Бюл.№30.
11. Патент РФ №2567938 МПК В23В1/00. Способ определения температуры максимальной работоспособности твердосплавных режущих пластин / Артамонов, Д.С. Василега, А.М. Тверяков. – Заявка №2013123346/02 от 21.05.2013. Оpubл. 10.11.2015 Бюл.№31.
12. Ostapenko M.S. An industrial and sociological research of consumers requirements to a lathing tool/ M.S. Ostapenko, D.S. Vasilega// Key Engineering Materials. Vol. 684 (2016), pp 421-428.
13. Ostapenko M.S. Efficiency improvement of metal lathing by using of an evaluation technique of assembly machine tools quality/ M.S. Ostapenko, D.S. Vasilega // Key Engineering Materials. Vol. 684 (2016), pp 429-434.
14. Ostapenko M.S. Enhancement of a methodology of assembly lathing tools quality evaluation/ M.S. Ostapenko, A.M. Tveryakov// Key Engineering Materials. Vol. 684 (2016), pp 435-439.

#### Список литературы на английском языке / References in English

1. Tveryakov A.M. Opredelenie temperatury maksimal'noj rabotosposobnosti smennyh tverdosplavnyh plastin dlja povysheniya jeffektivnosti obrabotki sbornym instrumentom [Determination of temperature of the maximum operability of replaceable hard-alloy plates for increase in efficiency of processing by the combined tool]: dis. of PhD in Engineering / Tjumenskij gosudarstvennyj neftegazovyy universitet. Tjumen', 2013. [in Russian].
2. Artamonov E.V. Opredelenie temperatury maksimal'noj rabotosposobnosti smennyh rezhushhih tverdosplavnyh plastin [Determination of temperature of the maximum operability of the replaceable cutting hard-alloy plates]/ E.V. Artamonov, D.S. Vasilega, A.M. Tveryakov/ monografija [monograph]// pod obshej redakciej M.H. Utesheva. Tjumen', 2015.-102s. [in Russian].
3. Vasilega D.S. Obrabatyvaemost' detalej mashinostroenija [Workability of details of mechanical engineering]/ D.S. Vasilega, A.M. Tveryakov, V.M. Kostiv /V sbornike: Neft' i gaz Zapadnoj Sibiri Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii, posvjashhennoj 90-letiju so dnja rozhdenija Kosuhina Anatolija Nikolaevicha [In the collection: Oil and gas of Western Siberia Materials of the International scientific and technical conference devoted to the 90 anniversary since the birth of Kosukhin Anatoly Nikolaevich]. Tjumen', 2015. S. 131-133. [in Russian].
4. Vasilega, D.S. Opredelenie obrabatyvaemosti materialov po fiziko-mehaničeskim harakteristikam [Definition of a workability of materials according to physicomachanical characteristics]. / D.S. Vasilega, A.M. Tveryakov, E.V. Jakubovskaja // Novye tehnologii – neftegazovomu regionu: materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii. T. 2 [New technologies – to the oil and gas region: materials of the All-Russian scientific and practical conference. T. 2]; – Tjumen': TjumGNGU, 2012. - 284 s. – S. 161. [in Russian].
5. Artamonov, E.V. Povyshenie rabotosposobnosti SMP sbornyh instrumentov [Increase in operability of SMP of combined tools]. / E.V. Artamonov, V.M. Kostiv, T.E. Pomigalova // Sbornik materialov mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii [Collection of materials of the international scientific and technical conference]. – Tjumen': TGU, 2000. [in Russian].
6. Artamonov, E.V. Opredelenie temperatury maksimal'noj rabotosposobnosti instrumental'nyh tverdyyh splavov [Determination of temperature of the maximum operability of tool solid alloys]./ E.V. Artamonov, D.S. Vasilega // Omskij nauchnyj vestnik. Serija Pribory, mashiny i tehnologii [Omsk scientific bulletin. Series Devices, machines and technologies]. – 2008. – № 4 (73). – S. 53–56. – Bibliogr.: s. 56. [in Russian].

7. Determining the maximum-performance temperature of hard-alloy cutting plates Artamonov E.V., Vasilega D.S., Tveryakov A.M. Russian Engineering Research. 2014. T. 34. № 6. S. 402-403.
8. Artamonov, E.V. Opredelenie temperatury maksimal'noj rabotosposobnosti tverdosplavnyh rezhushhih plastin [Determination of temperature of the maximum operability of the hard-alloy cutting plates]/ E.V. Artamonov, D.S. Vasilega, A.M. Tveryakov // STIN № 11-2013. [in Russian].
9. Instrumental'nye materialy [Tool materials] // URL: <http://rudocs.exdat.com/docs/index-81983.html>. [in Russian].
10. Patent RF №133764 MPK B23B1/00. Ustanovka dlja opredelenija temperatury maksimal'noj rabotosposobnosti tverdosplavnyh rezhushhih plastin [Installation for determination of temperature of the maximum operability of the hard-alloy cutting plates]/ E.V. Artamonov, D.S. Vasilega, A.M. Tveryakov - Zajavka №2013125808/02 ot 04.06.2013. Opubl. 27.10.2013 Bjul.№30. [in Russian].
11. Patent RF №2567938 MPK B23B1/00. Sposob opredelenija temperatury maksimal'noj rabotosposobnosti tverdosplavnyh rezhushhih plastin [Mode of determination of temperature of the maximum operability of the hard-alloy cutting plates]/ Artamonov, D.S. Vasilega, A.M. Tveryakov. – Zajavka №2013123346/02 ot 21.05.2013. Opubl. 10.11.2015 Bjul.№31. [in Russian].
12. Ostapenko M.S. An industrial and sociological research of consumers requirements to a lathing tool/ M.S. Ostapenko, D.S. Vasilega// Key Engineering Materials. Vol. 684 (2016), pp 421-428.
13. Ostapenko M.S. Efficiency improvement of metal lathing by using of an evaluation technique of assembly machine tools quality/ M.S. Ostapenko, D.S. Vasilega // Key Engineering Materials. Vol. 684 (2016), pp 429-434.
14. Ostapenko M.S. Enhancement of a methodology of assembly lathing tools quality evaluation/ M.S. Ostapenko, A.M. Tveryakov// Key Engineering Materials. Vol. 684 (2016), pp 435-439.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.54.107

Тимошенкова И.А.<sup>1</sup>, Москвичева Е.В.<sup>2</sup>, Евелева В.В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», <sup>2</sup>кандидат технических наук, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», Санкт-Петербург

<sup>3</sup>Кандидат технических наук, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт пищевых добавок» (ФГБНУ ВНИИПД), Санкт-Петербург

#### К ОБОСНОВАНИЮ ТЕХНОЛОГИИ КУЛИНАРНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПРЕСНОВОДНЫХ РЫБ, УПАКОВАННЫХ ПОД ВАКУУМОМ

#### Аннотация

Представлены установленные закономерности изменения водоудерживающей способности белков рыбы и обобщенного показателя качества кулинарных изделий из рыбы в зависимости от температуры и продолжительности термической обработки. Приведены новые данные, характеризующие изменение общего микробного числа в кулинарных изделиях из щуки и озёрной форели, упакованных под вакуумом, в зависимости от параметров термической обработки. Показано, что термическая обработка рыбных полуфабрикатов при температуре  $75 \pm 2$  °C и продолжительности  $25 \pm 2$  мин в сочетании с инъектированием комплексной лактат-, ацетат- и пропионатсодержащей добавки в количестве от 1,5 до 2,5% к массе филе рыбы обеспечивает микробиологическую безопасность и стабилизацию потребительских свойств упакованных под вакуумом кулинарных изделий в течение 15 сут. хранения.

**Ключевые слова:** кулинарные изделия из рыбы, антимикробные композиции, тепловая обработка, водоудерживающая способность, микробиологическая безопасность.

Timoshenkova I.A.<sup>1</sup>, Moskvicheva E.V.<sup>2</sup>, Eveleva V.V.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPolyTechU), St. Petersburg

<sup>2</sup>PhD in Engineering, Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPolyTechU), St. Petersburg

<sup>3</sup>PhD in Engineering, Federal State Budget Scientific Institution All-Russia Research Institute for Food Additives (FSBSI VNIIFA), St. Petersburg

#### THE JUSTIFICATION OF THE TECHNOLOGY OF VACUUM-PACKAGED CULINARY PRODUCTS FROM FRESHWATER FISH

#### Abstract

The established regularities of changes in water-holding capacity of fish protein and of the generalized indicator of quality fish culinary products depending on temperature and duration of heat treatment are presented. A new data characterizing the changes in the total microbial numbers of quality fish culinary products from pike and brown trout packaged under vacuum to depending on the parameters of heat treatment are presented. It is shown that combination heat treatment of vacuum-packaged semi-finished fish products at temperature of 75 °C and duration of 25 min and injection of complex lactate, acetate and propionate contenting food additives in an amount of 1.5 – 2.5% by weight fish fillet ensures microbiological safety and stabilization of consumer properties of products during storage of 15 days.

**Keywords:** fish culinary products, heat treatment, water-holding capacity, microbiological safety.

В настоящее время на предприятиях общественного питания производят различные рыбные полуфабрикаты, в том числе «тушка рыбы специальной разделки», «кусоч рыбы», «филе рыбы», «филе-кусоч рыбы» и др. и кулинарные изделия из них. Полуфабрикаты и кулинарные изделия из рыбы относятся к скоропортящимся продуктам.

Увеличение срока годности кулинарных изделий из рыбы достигается различными способами, в частности, с использованием традиционной термовлажностной обработки и современных способов, среди которых стоит особо выделить вакуумирование в многослойной полимерной пленке, низкотемпературную обработку, технологии биоконсервирования и системы МГС-упаковки [6]. Использование тепловой обработки, осуществляемой погружением в жидкую среду, обработкой паровоздушной и пароводяной смесями, острым паром, нагревом в поле токов СВЧ, инфракрасным облучением или контактным нагревом приводит к неизбежным потерям ценных пищевых веществ кулинарной продукции.

Одним из перспективных способов консервирования пищевых продуктов, способствующих увеличению сроков их годности, является использование барьерных технологий, таких, как низкотемпературная термовлажностная обработка с предварительным вакуумированием полуфабрикатов в многослойной полимерной пленке [4, 9, 13]. Предварительная упаковка рыбы в гибкие полимерные пакеты перед термовлажностной обработкой позволяет уменьшить технологические потери в 1,5 раза и увеличить выход продукции на 25 % по сравнению с варкой традиционным способом [9]. Вместе с тем, пастеризация при температуре от 50 °C до 65 °C в течение 25-30 мин эффективна для инактивации большинства санитарно-значимых микроорганизмов, но недостаточна для инактивации спор *Cl. botulinum* [14]. Использование антимикробных композиций на основе органических кислот и их солей обеспечивает повышение микробиологической безопасности и пролонгирование сроков годности пищевых продуктов [2, 3, 11].

Цель работы – исследование влияния тепловой обработки и комплексной пищевой добавки «Дилактин Форте Плюс» на микробиологическую безопасность и стабилизацию потребительских свойств упакованных под вакуумом кулинарных изделий из рыбы.

Объектами исследований служили упакованные под вакуумом кулинарные изделия из филе-кусков щуки и форели с кожей без костей, обработанных добавкой «Дилактин Форте Плюс» (ДФП).

Разделку рыбы на филе осуществляли при температуре (4-6) °C, последующее введение ДФП [12] – с помощью ручного иньектора в количестве 2,0 % к массе полуфабриката [11]. В качестве контрольных образцов использовали рыбные полуфабрикаты без ДФП. Иньектированные и контрольные куски филе рыбы массой от 100 до 250 г упаковывали в пакеты из многослойной полимерной пленки РА/РЕ и вакуумировали, подвергали термической обработке в пароконвектомате при температуре от 60 до 80 °C в течение (10-40) мин, охлаждали при температуре минус 20 °C до достижения температуры в центре изделий (2-4) °C и закладывали на хранение при температуре (4±2)°C [4, 8].

В процессе хранения кулинарные изделия из рыбы оценивали по органолептическим показателям в соответствии с ГОСТ 7631, влагоудерживающей способности (ВУС) рыбы – по [9], содержанию общего азота летучих основания (ОАЛО) – по ГОСТ 7636, остаточной активности кислой фосфатазы – по [1], показателю КМАФАнМ и наличию санитарно-показательных микроорганизмов – по ГОСТ 10444.15, ГОСТ 31747, ГОСТ 31746, ГОСТ 31659, ГОСТ 10444.12, ГОСТ 29185, ГОСТ 32031. Расчет параметров оптимизации технологических режимов кулинарной обработки полуфабрикатов из рыбы выполняли с использованием программных средств Statgraphics Centurion.

По результатам оценки органолептических показателей исследуемых изделий из рыбы рассчитывали обобщенные показатели качества (ОПК) с учетом коэффициентов весомости, приведенных в таблице 1.

Таблица 1 – Коэффициенты весомости органолептических показателей кулинарных изделий из рыбы

Органолептический показатель	Внешний вид	Цвет	Консистенция	Запах	Вкус
Коэффициент весомости	6	2	4	2	6

Для обоснования параметров термической обработки рыбных полуфабрикатов использован метод полного факторного эксперимента (ПФЭ) с фиксированным числом независимых факторов ( $n = 2$ ) и принятым числом уровней варьирования факторов ( $k = 2$ ) с дополнительными точками по типу «звезда» [10]. В качестве факторов оптимизации выбраны технологические параметры кулинарной обработки полуфабрикатов из рыбы – температура ( $x_1$ ) и продолжительность варки в пароконвектомате ( $x_2$ ). В качестве параметров отклика – ВУС и ОПК кулинарных изделий в процессе холодильного хранения. В таблице 2 приведена матрица планирования опытов ПФЭ.

Таблица 2 – Матрица планирования эксперимента

Точка плана	Факторы оптимизации (технологические параметры термической обработки)	
	Температура ( $x_1$ ), °C	Продолжительность ( $x_2$ ), мин
1	64,2	25,0
2	65,0	10,0
3	65,0	40,0
4	75,0	9,0
5	75,0	25,0
6	75,0	41,0
7	85,0	10,0
8	85,0	40,0
9	85,8	25,0



На основе экспериментальных данных получены уравнения регрессии для кулинарных изделий из форели (1,2) и щуки (3,4), характеризующие изменение ВУС и ОПК кулинарных изделий из рыбы при варьировании температуры и продолжительности термической обработки в заданных интервалах.

$$Y_1^{\text{фор}} = 109,8 - 0,8x_1 + 0,2x_2 + 0,006x_1^2 - 0,003x_1x_2 - 0,001x_2^2 \quad (1)$$

$$Y_2^{\text{фор}} = -77,728 + 2,062x_1 + 0,468x_2 - 0,013x_1^2 - 0,005x_1x_2 - 0,002x_2^2 \quad (2)$$

Линейный коэффициент парной корреляции R для уравнений (1) и (2) составляет 0,95 и 0,97 соответственно.

$$Y_1^{\text{щук}} = -475,012 + 14,28x_1 + 1,92x_2 - 0,09x_1^2 - 0,026x_1x_2 - 0,002x_2^2 \quad (3)$$

$$Y_2^{\text{щук}} = -27,7386 + 0,76438 + 0,3193x_2 - 0,0047x_1^2 - 0,0024x_1x_2 - 0,0028x_2^2 \quad (4)$$

Линейный коэффициент парной корреляции R для уравнений (3) и (4) составляет 0,93 и 0,95 соответственно. Рассчитанные значения коэффициентов корреляции свидетельствуют о зависимости показателей ВУС и ОПК от режимов кулинарной обработки полуфабрикатов из рыбы.

Графическая интерпретация уравнений (1) – (2) в виде кривых значений и поверхностей отклика приведена на рисунках 1–2.

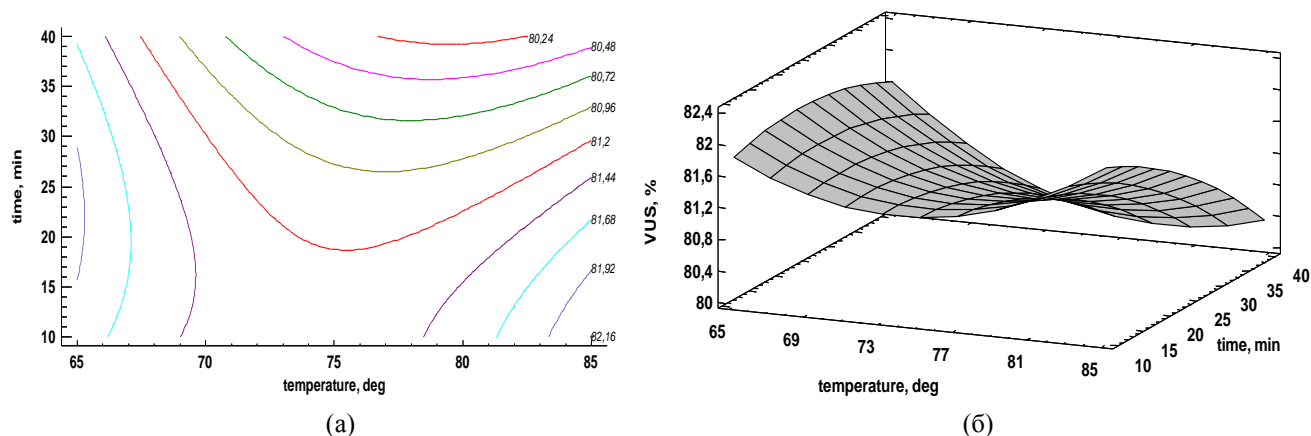


Рис. 1 – Графики кривых значений (а) и поверхности отклика (б) ВУС кулинарного изделия из озерной форели на 15 сут. хранения в факторном пространстве температуры и продолжительности термической обработки

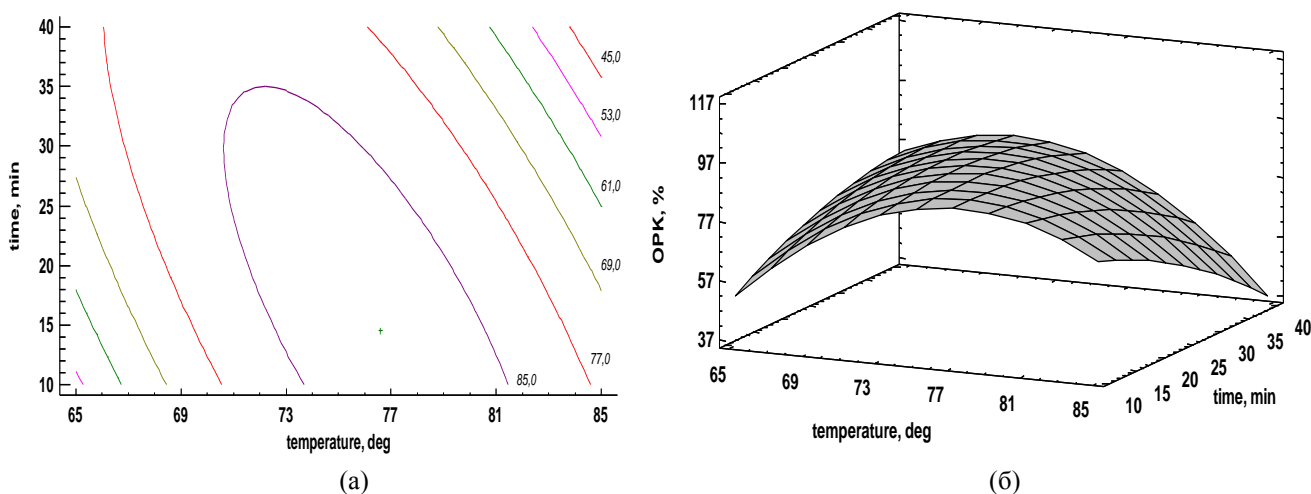


Рис. 2 – Графики кривых значений (а) и поверхности отклика (б) ОПК кулинарного изделия из озерной форели на 15 сут. хранения в факторном пространстве температуры и продолжительности термической обработки

Выявлена область оптимальных параметров кулинарной обработки полуфабрикатов из рыбы: температура – от 73 до 77 °С и продолжительность – от 23 до 27 мин.

По результатам исследования показателя остаточной активности кислой фосфатазы показана высокая степень инактивации фермента: (0,050±0,005) ед. оптической плотности для изделий из форели и (0,040±0,005) ед. оптической плотности для изделий из щуки.

По изменению показателя ОАЛО и по величине активности кислой фосфатазы определена химическая безопасность кулинарных изделий из рыбы, приготовленных при установленных параметрах термической обработки, в течение 15 сут хранения.

Общее микробное число кулинарных изделий из щуки и озерной форели намного ниже порогового уровня -  $1 \cdot 10^4$  КОЕ/г.

Таким образом, установленные параметры кулинарной обработки полуфабрикатов из рыбы являются эффективными в отношении бактерий группы кишечной палочки (БГКП), *Staphylococcus aureus*, сульфитредуцирующих клостридий, патогенных микроорганизмов, в т.ч. *Salmonella*, *Listeria monocytogenes*, плесеней и дрожжей и позволяют достичь микробиологической безопасности кулинарных изделий из рыбы.

## Список литературы / References

1. Головин А.Н. Контроль производства и качества продуктов из гидробионтов. – М.: Колос, 1997. – 256 с.
2. Евелева В.В. Эффективное использование лактатсодержащих композиций в производстве мяса птицы / В.В. Евелева, Н.Л. Андреева // Пищевая индустрия. – 2016. - № 1 (27). – С. 10 – 11
3. Евелева, В.В. Лактатсодержащие композиции для повышения качества продуктов/ В.В. Евелева // Пищевая промышленность. – 2011. – № 9. – С. 36–37.
4. Евелева, В.В. Барьерные технологии порционированных рыбных полуфабрикатов / В.В. Евелева, И.А. Тимошенкова // Материалы III Международной научно-практической конференции «Производство и переработка сельскохозяйственной продукции: менеджмент качества и безопасности» / ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Воронеж, Россия, Ч. 1. – Воронеж, 2015. – С. 312 - 316.
5. Евелева, В.В. Антимикробная композиция для повышения безопасности и качества продукции рыбпереработки / В. В. Евелева, Т. М. Черпалова // Пищевые ингредиенты: сырье и добавки. – 2014. – № 2. – С. 38 – 39
6. Корж, А.П. Тенденции развития рынка активной и «умной» упаковки / А.П. Корж, Ю.Г. Базарнова // Мясные технологии. – 2016. – № 6 (162). – С. 14 - 15.
7. Лабораторный практикум по дисциплине «Технология хранения, стандартизации, переработки продукции животноводства» /сост. Н.Х. Курьянова – Димитровград: ТИ(Ф)УГСХА, 2013. – 71 с.
8. Патент РФ 2571797 Антимикробная композиция для производства пресервов и полуфабрикатов из разделанной рыбы / Евелева В.В., Черпалова Т.М., Тимошенкова И.А. / заявл. №2014129538, 17.07.2014; опубл. 20.12.2015. Бюл. № 35.
9. Родионова, Н.С. Влияние режимов низкотемпературной термовлажностной обработки на показатели пищевой и биологической ценности полуфабрикатов из карпа / Н.С. Родионова, Е.С. Попов, Т.И. Бахтина // Пищевая промышленность. – 2013. – № 2. – С. 56–57.
10. Сидняев, Н.И. Теория планирования эксперимента и анализ статистических данных – М.: Юрайт, 2012. – 400 с.
11. Тимошенкова, И.А. Обоснование выбора пищевых добавок для технологии рыбных полуфабрикатов, упакованных под вакуумом / И.А. Тимошенкова, В.В. Евелева, Р.Л. Перкель, Л.В. Андреева // Вестн. Новг. гос. ун-та. Сер.: Сельскохозяйственные науки. – 2015. – № 3(86), ч. 1. – С. 34–37.
12. ТУ 9199-093-00334557-2011. Добавка пищевая «Дилактин Форте Плюс». Технические условия. – Введ. 2012-01-01.– СПб., ГНУ ВНИИПАКК, 2011. – 13 с.
13. Феденишина, Е.Ю. Исследование параметров обработки растительного и животного сырья с применением высокотехнологичного оборудования / Е.Ю. Феденишина, С.А. Елисеева / Международный научно-исследовательский журнал – 2016. – № 3-2 (45). – С. 51-53.
14. Vaudagna, S.R. Sous vide cooked beef muscles: effects of low temperature – long time (LT–LT) treatments on their quality characteristics and storage stability / S.R. Vaudagna [et al] // Int. J. Food Sci. and Technol. – 2002. – V. 37. – № 4. – P. 425 – 441.

## Список литературы на английском языке / References in English

1. Golovin A.N. Kontrol' proizvodstva i kachestva produktov iz gidrobiontov [Control of fish production and quality]. – М.: Kolos, 1997. – 256 P. [in Russian]
2. Eveleva V.V. Jefferktivnoe ispol'zovanie laktatsoderzhashhih kompozicij v proizvodstve mjasa pticy [Efficient use lactated composition in the production of poultry] / V.V. Eveleva, N.L. Andreeva // Pishhevaja industrija [Food industry]. – 2016. - № 1 (27). – P. 10 – 11. [in Russian]
3. Eveleva, V.V. Laktatsoderzhashhie kompozicii dlja povyshenija kachestva produktov [Lactate containing compositions provided quality production]/ V.V. Eveleva // Pishhevaja promyshlennost' [Food processing industry]. – 2011. – № 9. – P. 36–37. [in Russian]
4. Eveleva, V.V. Bar'ernye tehnologii porcionirovannyh rybnih polufabrikatov [Barrier technology of portioned semifinished fish] / V.V. Eveleva, I.A. Timoshenkova // Materialy III Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Proizvodstvo i pererabotka sel'skhozajstvennoj produkcii: menedzhment kachestva i bezopasnosti» [Proceedings of the Third International Conference «Production and processing of agricultural products: the quality and safety management»] / FGBOU VPO «Voronezhskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet imeni imperatora Petra I» [Voronezh State Agricultural University], Voronezh, Rossiya, V. 1. – Voronezh, 2015. – P. 312 - 316. [in Russian]
5. Eveleva, V. V. Antimikrobnaja kompozicija dlja povyshenija bezopasnosti i kachestva produkcii rybopererabotki [Antimicrobial composition for improving the safety and quality of fish processing products]/ V. V. Eveleva, T. M. Cherpalova // Pishhevyje ingredienty: syr'e i dobavki [Food ingredients: raw materials and additives]. – 2014. – № 2. – P. 38 – 39. [in Russian]
6. Korzh, A.P. Tendencii razvitiya rynka aktivnoj i «umnoj» upakovki [Trends in the development of the market active and "intelligent" of packing] / A.P. Korzh, Ju.G. Bazarnova // Mjasnye tehnologii [Meat technology]. – 2016. – № 6 (162). – P. 14 - 15. [in Russian]
7. Laboratornyj praktikum po discipline «Tehnologija hranenija, standartizacii, pererabotki produkcii zhivotnovodstva» [Laboratory practical work on discipline «Technology of storage, standardization, processing of animal products»] / sostavitel' [compiler] N.H. Kur'janova – Dimitrovgrad: TI(f)UGSHA, 2013. – 71 P. [in Russian]
8. Patent RF 2571797 Antimikrobnaja kompozicija dlja proizvodstva preservov i polufabrikatov iz razdelanoj ryby [The antimicrobial composition for the production of fish preserves and semifinished] / Eveleva V.V., Cherpalova T.M., Timoshenkova I.A. / zayavlenie №2014129538, 17.07.2014; opublikovan 20.12.2015 bjuliten № 35 [application №2014129538, 17.07.2014; published 20.12.2015 bulletin № 35]. [in Russian]

9. Rodionova, N.S. Vliyanie rezhimov nizkotemperaturnoj termovlazhnostnoj obrabotki na pokazateli pishhevoj i biologicheskoy cennosti polufabrikatov iz karpa [Effect of Low-Temperature Thermo-Moisture Treatment on the Performance of Food and Biological Value of Semifinished Items from Carp]/ N.S. Rodionova, E.S. Popov, T.I. Bahtina // Pishhevaya promyshlennost'[Food processing industry]. – 2013. – № 2. – P. 56–57. [in Russian]

10. Sidnjaev, N.I. Teoriya planirovaniya jeksperimenta i analiz statisticheskikh dannyh [The theory of experimental design and analysis of statistical data] – M.: Jurajt, 2012. – 400 P. [in Russian]

11. Timoshenkova, I.A. Obosnovanie vybora pishhevyyh dobavok dlja tehnologii rybnyh polufabrikatov, upakovannyh pod vakuumom [Justification of choosing of food additives for the technology of vacuum-packed semi-finished fish products]/ I.A. Timoshenkova, V.V. Eveleva, R.L. Perkel', L.V. Andreeva // Vestn. Novg. gos. un-ta. Ser.: Sel'skohozjajstvennye nauki [Bulletin of Yaroslav the Wise Novgorod State University]. – 2015. – № 3(86), V. 1. – P. 34–37. [in Russian]

12. TU 9199- 093- 00334557- 2011. Dobavka pishhevaya «Dilaktin Forte Pljus». Tehnicheskie uslovija. [The additive food "Dilaktin Forte Plus". Specifications]– [introduction date] 2012-01-01.– SPb., GNU VNIIPAKK, 2011. – 13P. [in Russian]

13. Fedinishina, E.Ju. Issledovanie parametrov obrabotki rastitel'nogo i zhivotnogo syr'ja s primeneniem vysokotehnologichnogo oborudovaniya [Study of parameters of processing of vegetative and animal raw materials with application of high-tech equipment]/ E.Ju. Fedinishina, S.A. Eliseeva / Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International Research Journal] – 2016. – № 3-2 (45). – P. 51-53. [in Russian]

14. Vaudagna, S.R. Sous vide cooked beef muscles: effects of low temperature – long time (LT–LT) treatments on their quality characteristics and storage stability / S.R. Vaudagna [et al] // Int. J. Food Sci. and Technol. – 2002. – V. 37. – № 4. – P. 425 – 441.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.54.237

Тумасов А.А.<sup>1</sup>, Царитова Н.Г.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Кандидат архитектуры, <sup>2</sup>ORCID: 0000-0002-0923-5848, кандидат технических наук,

Южно-Российский государственный политехнический университет им. М.И. Платова (НПИ)

# ТРАНСФОРМИРУЕМЫЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ СТЕРЖНЕВЫЕ КОНСТРУКЦИИ ПОКРЫТИЙ

*Аннотация*

*В статье рассмотрена возможность пространственных преобразований стержневых конструкций покрытий. Изучены способы трансформации и методы формообразования пространственных покрытий. Представлен шарнирный узел пространственной стержневой конструкции регулярной структуры, который возможно использовать в данных конструкциях. Авторы в статье выделяют комбинированные покрытия, как наиболее близкие к реализации в современных условиях развития строительного производства. Рассмотрены схемы цилиндрических и полусферических покрытий с использованием несущих объемных стержневых арок на основе триангуляции.*

**Ключевые слова:** пространственные стержневые конструкции, трансформация, шарнирный узел, динамика в архитектуре.

Tumasov A.A.<sup>1</sup>, Tsaritova N.G.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>PhD in Architecture, <sup>2</sup>ORCID: 0000-0002-0923-5848, PhD in Engineering,

«Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI)»

# TRANSFORMABLE SPATIAL CONSTRUCTION COATINGS

*Abstract*

*The article considers the possibility of spatial transformation of core structures. Examined methods of transformation and methods of forming spatial surfaces. Presents hinge joint spatial rod structures regular structures, which can be used in data structures. The authors of the article distinguish the combined coverage of as the most close to realization in modern conditions of development of building production. The models of the cylindrical and hemispherical surfaces with the use of load-bearing arches surround on the basis of triangulation.*

**Keywords:** spatial grid framing; transformation, a hinge unit, dynamics in architecture.

Разработка новых и совершенствование существующих методов возведения зданий и сооружений всегда является актуальной задачей в строительстве, а одно из направлений в исследовании этого процесса – поиск современных архитектурно-конструктивных систем, способных осуществлять данную задачу. Авторы настоящих исследований обращаются к изучению пространственно-временных преобразований стержневых пространственных конструкций покрытия. В этих системах очень ярко проявляется совокупность конструктивной жизнеспособности и пространственной гибкости, природно-тектонический минимализм и художественно-эстетический потенциал.

Исследования способов трансформации и методов формообразования пространственных покрытий сконцентрированы на выявлении возможностей кинематических сетей на основе триангуляции, где основными элементами системы являются стержни и шарниры, соединяющие их по концам. [1,2]. Получаемые пространственные образования, обладающие жесткостью, формируются как из одного слоя кинематической сетки, жестко закрепленной по контуру; так и из двух слоев, связанных между собой. Рассматриваются также комбинированные системы, сочетающие объемные элементы и однослойные сети. Все многообразие получаемых стержневых покрытий из гибких кинематических сетей представлено в таблице 1.


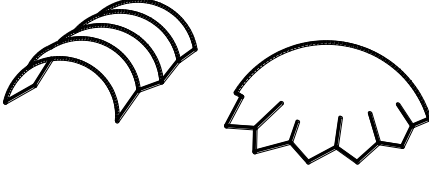
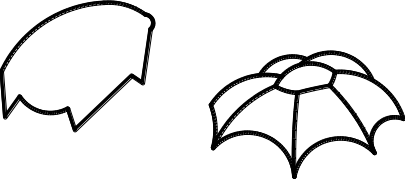
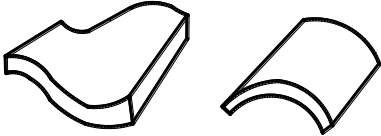
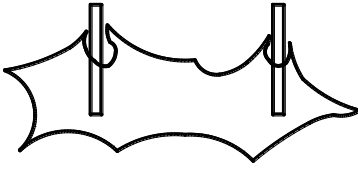
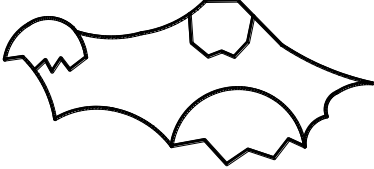
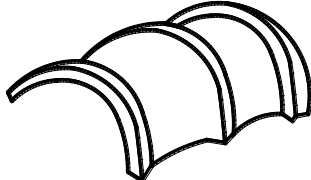
Здесь проиллюстрированы однослойные кинематические схемы разделенные по принципу обеспечения пространственной жесткости в конечном пространственном виде.

Первые сохраняют пространственную жесткость за счет жесткого крепления по контуру; вторые за счет образования жестких складок и креплению к опорам; третьи за счет создания отдельных ядер жесткости, закрепленных к опорам.

Двухслойные стреловые системы состоят из верхней и нижней триангуляционных сеток и соединяющих их между собой раскосов. При этом образуется пространственная кристаллическая решетка (тетраидальная структурная плита), обладающая абсолютной пространственной жесткостью. Изгиб такой структурной плиты возможен лишь при изменении длины стержней верхней или нижней сетки. Такая трансформация стержневой структуры разработана авторами на основе продуктивного анализа бионических аналогов костно-мышечной системы. Условиями пространственной жесткости и трансформации являются:

1. Соединение стержней шарнирные.
2. Пространственная структура на основании триангуляции должна обладать геометрической неизменяемостью.
3. Верхняя и нижняя сетка должна иметь стрелы переменной длины.

Таблица 1

Методы формообразования стержневых пространственных конструкций		
Наименование типа структур	Наименование методов	Эскиз форм
Однослойные	Изгиб и фиксация контура	
	Изгиб и образование складок	
	Изгиб и замыкание на контуре	
Двуслойные	Изгиб изменением длины стержней	
Комбинированные	Опираие гибких сетей на стержневые «стойки»	
	Опираие гибких сетей на «ядра жесткости»	
	Опираие гибких сетей на объемны стержневые арки	

Комбинированные системы состоят из несущих объемных элементов и висячих однослойных сетей или связей. Для объемных элементов должны выполняться те же условия, что для двухслойных структур.

Авторами, кроме принципов формообразования, разрабатывались конструктивные варианты шарнирных узлов, один из которых может быть изготовлен в реальных производственных условиях и способен обеспечить соединение до 12 стержней.

На рисунке 1 показан шарнирный узел пространственной стержневой конструкции регулярной структуры [3], который состоит из стержней со сферическими наконечниками закрепленных между прижимными дисками с помощью центрального болта, под центральный болт устанавливается втулка, все фиксируются прижимными болтами, под болты устанавливаются втулки для придания жесткости прижимным дискам. При этом сферические наконечники плотно зажимаются между дисками, что исключает возможность прощелкивания стержней. Так как сферические наконечники стержней могут вращаться, то положение стержней может регулироваться и затем фиксироваться под требуемым углом. Углы между стержнями могут варьироваться в зависимости от вида пространственной конструкции.

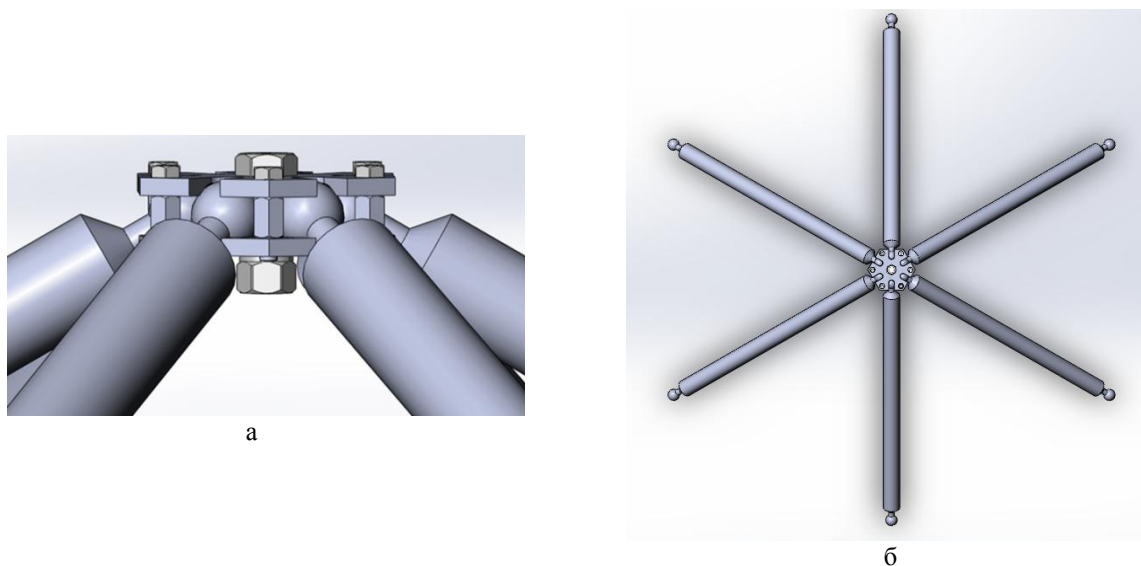


Рис. 1 – Шарнирный узел пространственной стержневой конструкции регулярной структуры:  
а – вид сбоку, б – вид сверху

Условие изменения длины стержней возможно выполнить за счет гидравлического цилиндра показанного на рисунке 2.

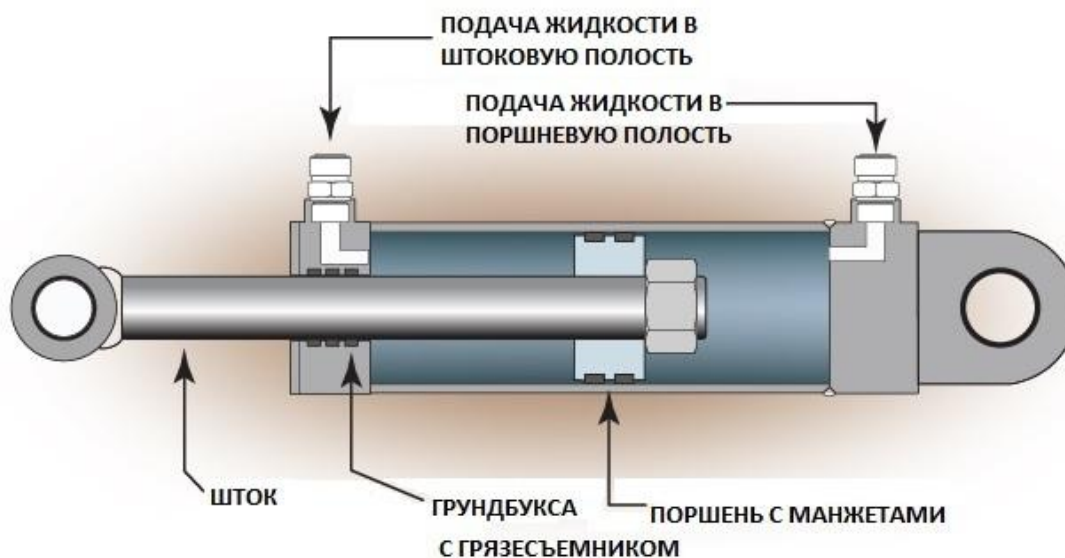


Рис. 2 – Гидравлический цилиндр

Особо следует остановиться на комбинированных покрытиях, сочетающих несущие объемные стержневые арки и стержневые связи между ними, как наиболее близкие к реализации в современных условиях развития строительного производства. Авторы статьи рассматривают схемы цилиндрических и полусферических покрытий с использованием несущих объемных стержневых арок на основе триангуляции. Данные арки получают из собранных на поверхности

основания прямолинейных объемных стержневых образований, имеющих нижний и верхний пояс. Автоматическое сокращение длины стержней нижнего пояса и наличие шарнирных соединений изгибают прямолинейную конструкцию до необходимой кривизны (рис. 3).

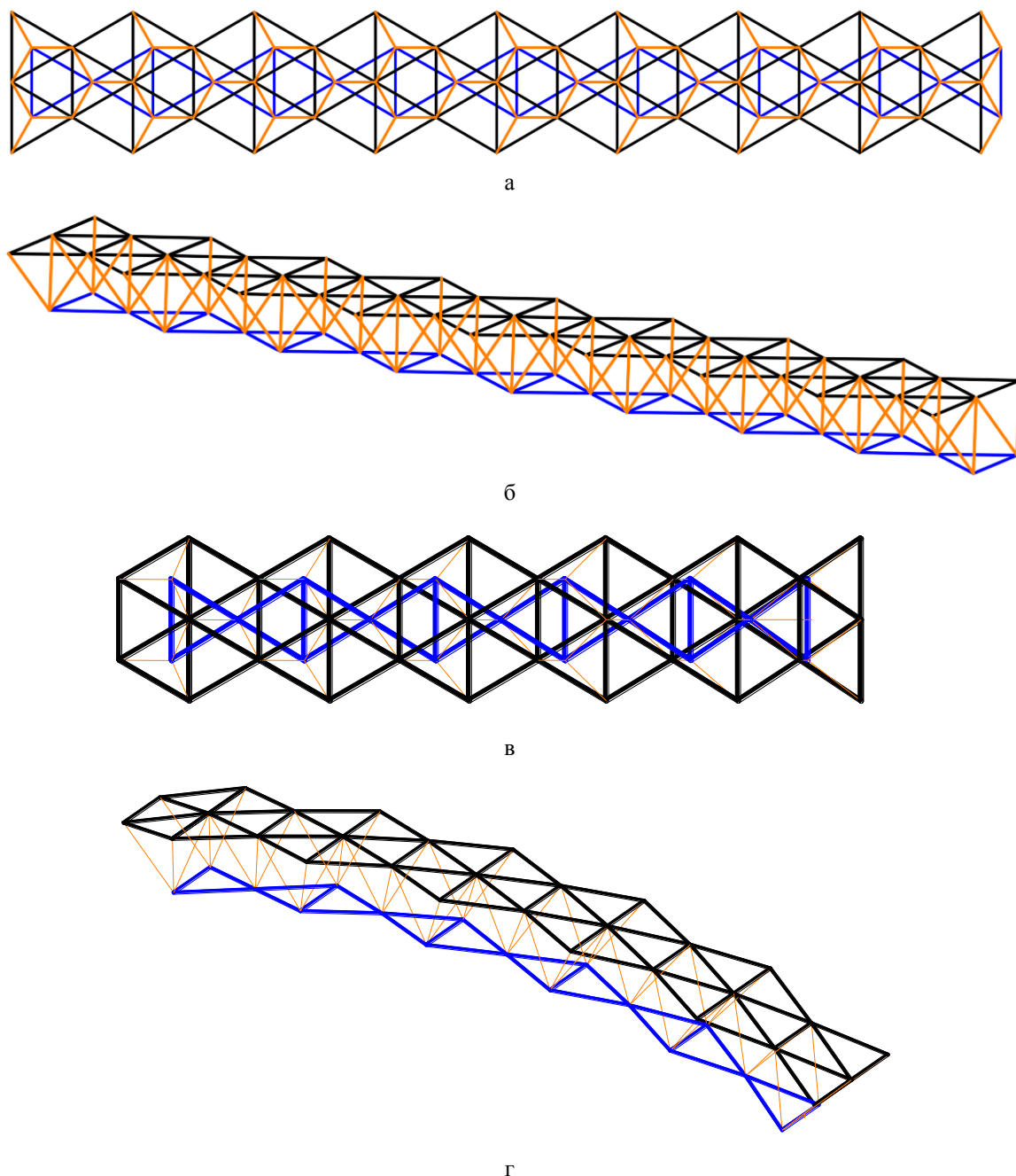


Рис. 3 – Объемная стержневая арка на основе триангуляции:  
 а – вид сверху в собранном виде, б – аксонометрический вид в собранном виде,  
 в – вид сверху в рабочем состоянии, г – аксонометрический вид в рабочем состоянии

Образованная таким образом полуарка может служить основным несущим элементом пространственных стержневых конструкций.

#### Список литературы / References

1. Тумасов А.А. Архитектурно-композиционные возможности плоских кинематических структур. Архитектурная бионика. Проблемы теории и практики: Сб. ст.– М., 1986 – С. 63–67.
2. Тумасов А.А. Структуры в динамическом архитектурно-конструктивном формообразовании./ Новочерк. политехн. ин-т. – Новочеркасск, 1987 – Деп. ВНИИТПИ, 1989. – №10225. – 12 с.
3. Шарнирный узел пространственной стержневой конструкции регулярной структуры : пат. 2586351 Рос. Федерация: МПК E04B 1/58 / Н.Г. Царитова, Н.А. Бузало; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова – № 2015100939/03; заявл. 12.01.15; опубл. 10.06.16, Бюл. №16.

**Список литературы на английском языке / References in English**

1. Tumasov A.A. Arhitekturno-kompozicionnye vozmozhnosti ploskih kinematicheskikh struktur. Arhitekturnaja bionika. Problemy teorii i praktiki: Sb. st. [Architectural and compositional possibilities of plane kinematic structures. Architectural bionics. Problems of the theory and practice: Coll. Article] – М., 1986 – P. 63–67. [in Russian]
2. Tumasov A.A. Struktury v dinamicheskom arhitekturno-konstruktivnom formoobrazovanii [The structures in the dynamic architectural and constructive shaping] / Novocherk. politekhn. in-t. – Novocherkassk, 1987 – Dep. VNIINTPI, 1989. – №10225. – 12 p.
3. Sharnirnyj uzel prostranstvennoj sterzhnevoj konstrukcii reguljarnoj struktury : pat. 2586351 Ros. Federacija: MPK E04V 1/58 / N.G. Caritova, N.A. Buzalo; zajavitel' i patentoobladatel' FGBOU VPO Juzhno-Rossiiskij gosudarstvennyj politehnicheskij universitet (NPI) imeni M.I. Platova – № 2015100939/03; zajavl. 12.01.15; opubl. 10.06.16, Bjul. №16 [The hinge assembly of spatial rod construction of regular structure: a stalemate. 2586351 Ros. Africa: IPC E04V 1/58 / NG Tsaritova, NA Buz; the applicant and the patentee VPO South-Russian State Technical University (NPI) of the MI Platov - № 2015100939/03; appl. 01/12/15; publ. 06.10.16, Bul. №16] [in Russian]

DOI: 10.18454/IRJ.2016.54.011

Федорова Э.Р.

Аспирант, Санкт-Петербургский Горный Университет

**CFD МОДЕЛИРОВАНИЕ СГУСТИТЕЛЯ КРАСНЫХ ШЛАМОВ****Аннотация**

*Разработана CFD модель сгустителя, описывающая поведение флокулированной суспензии по всему объему сгустителя. В модель дополнительно были заложены функции, описывающие стесненное осаждение и эффективное сжатие твердого вещества при помощи встроенных и добавленных пользователем моделей через UDF. Трехмерная модель учитывает распределение частиц по размерам в питающей пульпе сгустителя и действие перемешивающих грабли. Результатом данной работы является CFD модель сгустителя, разработанная в программном пакете ANSYS Fluent.*

**Ключевые слова:** сгуститель, красный шлам, CFD моделирование, стесненное осаждение, эффективное сжатие, распределение частиц по размерам.

Fedorova E.R.

Postgraduate student, Saint-Petersburg Mining University

**CFD MODELING OF THE RED MUD THICKENER****Abstract**

*The present paper is devoted to development of CFD thickener model which describes behavior of flocculated suspension in all volume of the unit. Functions for description of hindered sedimentation and effective compressive yield stress of the solid have been additional included to the model by means of built-in and user-added models using UDF. The three-dimensional model takes into account the particle size distribution in the thickener feed pulp and mixing action of rakes. The result of this work is CFD model of the thickener which develops in ANSYS Fluent software package.*

**Keywords:** thickener, red mud, CFD modeling, hindered sedimentation, effective compressive yield stress, particle size distribution (PSD).

**Введение**

Сгущение красного шлама включает в себя два явления: процесс седиментации и процесс консолидации. Во время процесса седиментации частицы оседают в жидкости, сталкиваясь друг с другом под действием давления, сил трения и гравитации. При определенной концентрации частицы начинают касаться друг друга, преобразуя суспензию в структуру твердых частиц, называемую осадок. Теперь силы между частицами передаются непосредственно от частицы к частице. Если оседающие частицы, которые достигают дна сосуда и ложатся друг на друга, несжимаемы, например, стеклянные шарики, весь процесс завершается, но если они сжимаемы, например, флоккулы красного шлама, вес осадка сжимает хлопья, лежащие под ним, выталкивая воду из пор – консолидация.

CFD моделирование процессов осаждения служит основой для понимания динамических процессов многофазного потока в сгустителе-осветлителе и предсказывает распределение твердой фракции по объему сгустителя при исследуемых режимах работы.

Трехмерная модель была разработана в программном пакете ANSYS Fluent и учитывает работу гребных лопастей в сгустителе, стесненное осаждение, эффективное сжатие твердого вещества и полидисперсность питающего потока при помощи встроенных и добавленных пользователем моделей через UDF.

**Объект управления**

Радиальный одноярусный сгуститель красных шламов диаметром 30 м и общей высотой 3,5 м (цилиндрическая часть – 2,15 м, коническая – 1,35 м). В центре чана расположена разгрузочная воронка с патрубками для разгрузки сгущенного продукта, по борту чана – кольцевой сливной желоб. В центре чана установлено загрузочное устройство для приема пульпы из питающей коробки – питающий колодец с поперечной решеткой внутри для улавливания случайных крупных предметов и для гашения скорости потока поступающей пульпы. Гребковая рама сгустителя состоит из двух радиально расположенных граблин с прикрепленными к ним гребками в количестве 20 шт. Рама при помощи крестовин и тяг укреплена на конце центрального вала. Гребки установлены под определенным углом, позволяющим перемещать осадок к центру. Для предотвращения поломки приводного механизма и гребковой рамы при перегрузках вал вместе с граблинами может перемещаться на некоторую высоту в вертикальном направлении.



Геометрия рассматриваемого сгустителя представлена на рис.1 ниже:

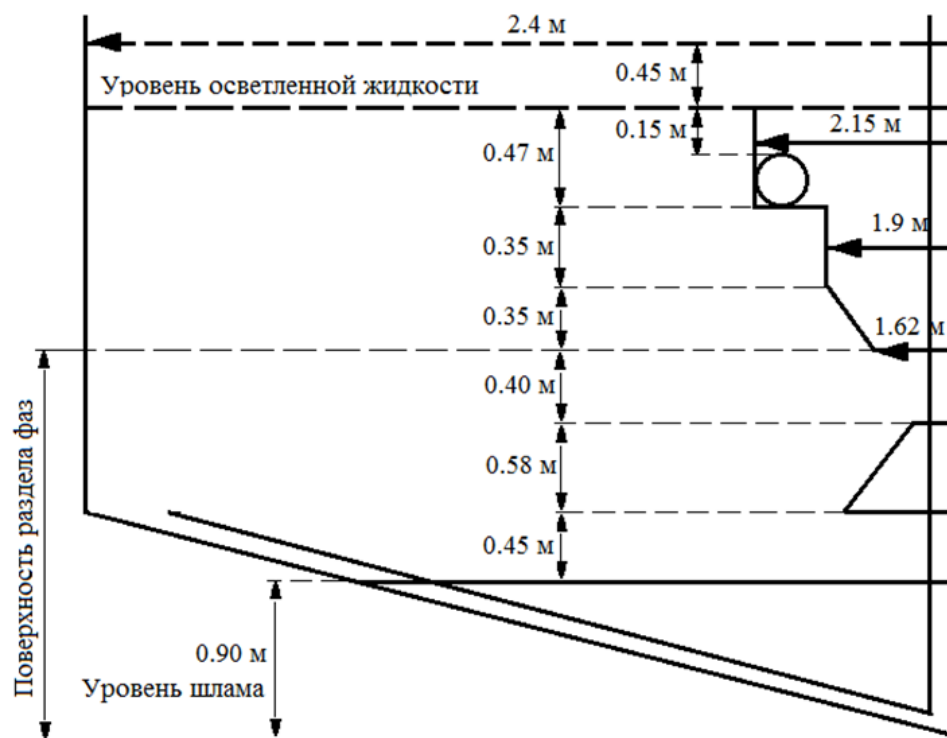


Рис.1 – Геометрия сгустителя и питающего колодца

Параметры, характеризующие состояние технологического процесса, представлены в таблице ниже:

Таблица 1 – Параметры технологического процесса

№ п/п	Параметр	Значение параметра	Единица измерения параметра
1	Рабочая температура процесса	102	0С
2	Объемная скорость подачи пульпы в питание сгустителя	300 - 430	м3/ч
3	Объемная скорость откачки сгущенного продукта	80 - 100	м3/ч
4	Концентрация твердого в пульпе питания	1,59 – 2,00	% об.долей
5	Концентрация твердого в сгущенном слое	2,83 – 6,00	% об.долей
6	Плотность твердой фазы	3200	кг/м3
7	Плотность жидкой фазы	1240	кг/м3
8	Вязкость суспензии при рабочей температуре	2,10E-03	Па*с

#### Гранулометрический состав исследуемого образца красного шлама

Преобладающий размер агрегатов представлен на рис. 2.

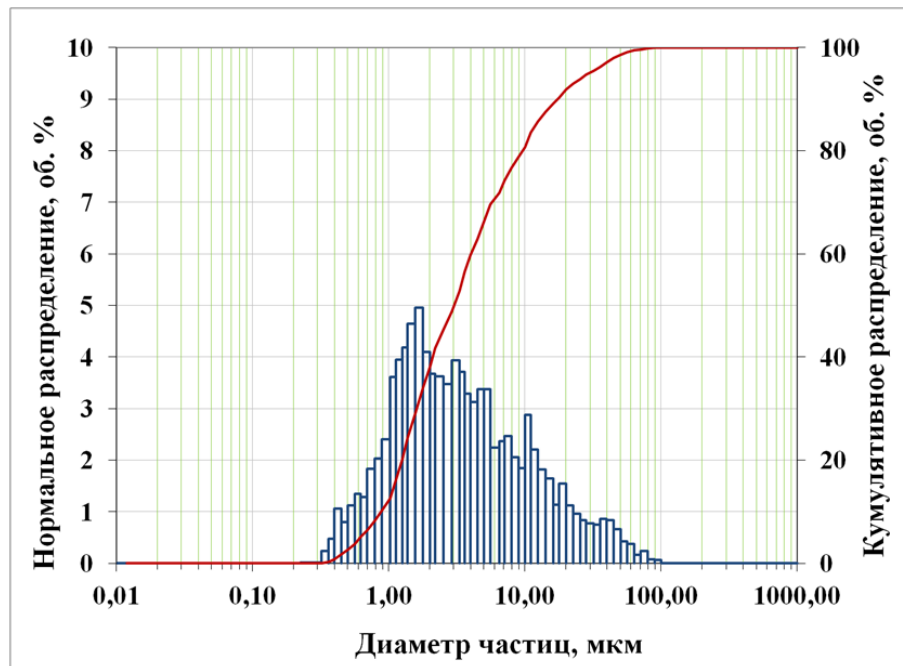


Рис. 2 – Градулометрический состав исследуемого красного шлама

Состав исследуемого шлама полидисперсный, в основном твердое представлено мелкими классами, из которых класс  $< 0,005$  мм – около 70 %, содержание в гидросмеси частиц класса 0-0,004 мм способствует структурообразованию, а значит, для данных шламов методы осветления должны сопровождаться процессами флокуляции и агрегации частиц.

#### Распределение размера частиц на входе в сгуститель

Процесс агрегации частиц в процессе флокуляции можно описать с помощью модели баланса популяций (Population balance model), которая описывает динамику числа частиц заданного размера от процессов соударения частиц, слипания частиц, распада частиц и распределения распада частиц. Уравнение баланса популяций было реализовано в программном пакете MATLAB. Полученный в процессе моделирования баланс популяций диапазон флокулируемых частиц использовался как начальный диапазон распределения размера частиц на входе в сгуститель.

Для описания дисперсного состава твердой фракции в питающем потоке использовалась формула Розина-Раммлера, заложенная в программном пакете ANSYS Fluent.

#### Скорость стесненного осаждения

Основное уравнение, описывающее осаждение сферических частиц в жидкой среде – уравнение Стокса. Для описания зависимости скорости осаждения  $U_s$  от содержания твердой фракции в концентрированной суспензии со взвешенными частицами используется уравнение Ричардсона и Заки 1954 года:

$$U_s = U_{s\infty} \varepsilon^c \quad (1.1)$$

где  $\varepsilon = (1 - \varphi)$  — пористость,  $c$  — индекс стесненного осаждения (индекс Ричардсона-Заки),  $U_{s\infty}$  — скорость осаждения Стокса,  $\varphi$  — концентрация твердых частиц.

Фактор стесненного осаждения используется для определения относительной скорости между твердой и жидкой фазой, когда концентрация твердой фазы относительно высока (превышает критическую концентрацию) [2].

Скорость Стокса и индекс стесненного осаждения были получены экспериментальным путем и равны 0,0175 м/с и 89,39 соответственно.

#### Эффективное сжатие твердого вещества

Для концентраций твердых веществ выше критической концентрация или гелевой точки,  $\varphi_c$ , образованная структура частиц передает силы непосредственно между частицами в осадке.

Предел текучести при сжатии описывается следующими выражениями [1]:

$$\sigma_e(\varphi) = \begin{cases} \text{Const}, \varphi < \varphi_c \\ \alpha \exp(\beta\varphi), \varphi \geq \varphi_c \end{cases} \quad (1.2)$$

$$\sigma_e(\varphi) = \begin{cases} \text{Const}, \varphi < \varphi_c \\ \sigma_0 \left( \left( \frac{\varphi}{\varphi_c} \right)^n - 1 \right), \varphi \geq \varphi_c \end{cases} \quad (1.3)$$

Значения параметров  $\sigma_0$  и  $n$  были взяты из опубликованной ранее литературы и равняются 2 Па и 6,5 соответственно. Значение критической концентрации или гелевой точки получено экспериментальным путем и равно 0,0297 об. долей.

#### Метод Эйлера-Лагранжа

На сегодня существует два подхода расчета многофазных потоков: метод Эйлера-Лагранжа и метод Эйлера-Эйлера.

Модель дискретной фазы (DPM) по методу Эйлера-Лагранжа строится путем решения усредненных по времени уравнений Навье-Стокса для жидкой фазы, которую рассматривают, как континуум, в то время как дисперсная фаза описывается путем отслеживания траектории большого числа частиц через расчетные поля течения. Дисперсная фаза может обмениваться с жидкой фазой импульсами, массой и энергией [3].

В данной модели сделано допущение: дисперсная фаза имеет малую объемную долю (менее 10-12 %), несмотря на приемлемую большую массу частиц ( $m_{\text{частицы}} \geq m_{\text{жидкость}}$ ). Модель дискретной фазы является единственной многофазной моделью, которая позволяет определить распределение частиц в питании. Расчет траектории частиц происходит в определенном интервале времени.

#### Поведение частиц в турбулентных потоках

Дисперсию частиц за счет турбулентности в жидкой фазе можно предсказать с помощью стохастической модели отслеживания или облачной модели частиц. Модель стохастического отслеживания (случайное блуждание) включает влияние мгновенных турбулентных пульсаций скорости на траектории частиц за счет использования стохастических методов. Облачная модель частиц отслеживает статистическую эволюцию облака частиц вокруг средней траектории. Концентрация частиц в облаке представлена гауссовой вероятностной плотностью распределения вокруг средней траектории. В обеих моделях частицы не имеют никакого прямого влияния на процесс генерации или диссипации турбулентности в непрерывной фазе.

#### Уравнения движения частиц

Баланс сил, действующих на частицу, прогнозирует траекторию частиц дискретной фазы путем интегрирования баланса сил на частицу, который записывается в лагранжевой системе отсчета. Этот баланс силы уравнивает инерцию с силами, действующими на частицу, и может быть записан (для направления в декартовой системе координат) как [3]:

$$\frac{dU_p}{dt} = F_D(U - U_p) + \frac{g_x(\rho_p - \rho)}{\rho_p} + F_x \quad (1.4)$$

где  $F_D(U - U_p)$  - это сила сопротивления на единицу массы частицы [3].

$$F_D = \frac{18\mu}{\rho_p d_p^2} \frac{C_D Re}{24} \quad (1.5)$$

Где  $U$  - скорость жидкой фазы,  $U_p$  - скорость частицы,  $\mu$  - вязкость жидкости,  $\rho$  - плотность жидкости,  $\rho_p$  - плотность частицы,  $d_p$  - диаметр частицы,  $Re$  - число Рейнольдса, которое определяется как [3]:

$$Re = \frac{\rho d_p |U_p - U|}{\mu} \quad (1.6)$$

Коэффициент сопротивления,  $C_D$ , определяется как [3]:

$$C_D = a_1 + \frac{a_2}{Re} + \frac{a_3}{Re^2} \quad (1.7)$$

где  $a_1, a_2, a_3$  - константы, применяемые для гладких сферических частиц в рамках нескольких диапазонов  $Re$  [3]. Также коэффициент сопротивления по Хайдеру и Левеншпилю можно выразить как [3]:

$$C_D = \frac{24}{Re} (1 + b_1 \cdot Re^{b_2}) + \frac{b_3 \cdot Re}{b_4 + Re} \quad (1.8)$$

$$b_1 = \exp(2.3288 - 6.4581\alpha + 2.4486\alpha^2) \quad (1.9)$$

$$b_2 = 0.0964 + 0.5565\alpha \quad (1.10)$$

$$b_3 = \exp(4.905 - 13.8944\alpha + 18.4222\alpha^2 - 10.2599\alpha^3) \quad (1.11)$$

$$b_4 = \exp(1.4681 + 12.2584\alpha - 20.7322\alpha^2 + 15.8855\alpha^3) \quad (1.12)$$

$$\alpha = \frac{s}{S} \quad (1.13)$$

где  $\alpha$  - коэффициент формы,  $s$  - это площадь поверхности сферы, имеющей такой же объем, как и частица, и является фактической площадью поверхности частицы [3].

В качестве дополнительных сил, действующих на частицу,  $F_x$ , могут выступать силы, действующие на частицы, которые возникают из-за вращения системы отсчета. Эти силы возникают при моделировании потоков во вращающихся системах отсчета: градиент давления, термофоретическая, броуновское движение, сила Саффмана, например.

Также необходимо отметить, что в программном пакете при расчете по умолчанию отключена сила гравитации на частицу, в исследуемой работе силу гравитации необходимо учитывать.

#### Результаты

Для построения геометрии использовался стандартный модуль Design modeler. Модель построена из двух основных частей - стационарный объем (корпус сгустителя) и динамический объем (призматический элемент - граблины) (рис. 3).

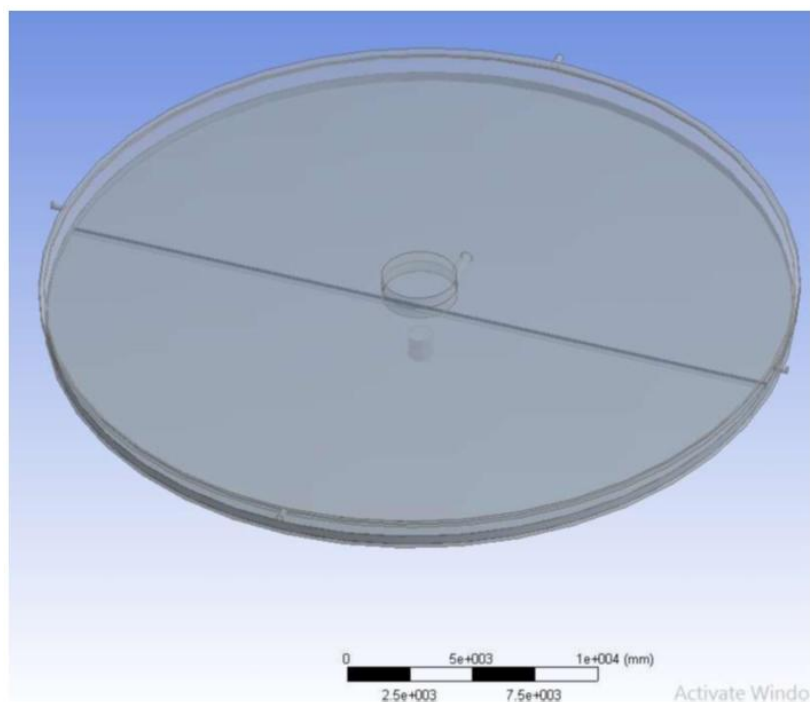


Рис. 3 – Геометрия сгустителя

Гребные лопасти транспортируют осадок со дна резервуара к нижнему отверстию для сброса сгущенного слоя. Вторичный эффект гребных лопастей – это создание канала в осадке, через который вода может выходить в верхние слои, таким образом, увеличивая плотность пульпы нижнего продукта.

Для получения качественной расчетной сетки импортировалась 1/4 часть модели. Для построения использовался модуль Mesh (рис. 5). Области перехода плоскостей и пересечений выполнены с меньшим шагом сетки. На рис. 4 указаны симметричные области, вход и выход потока.

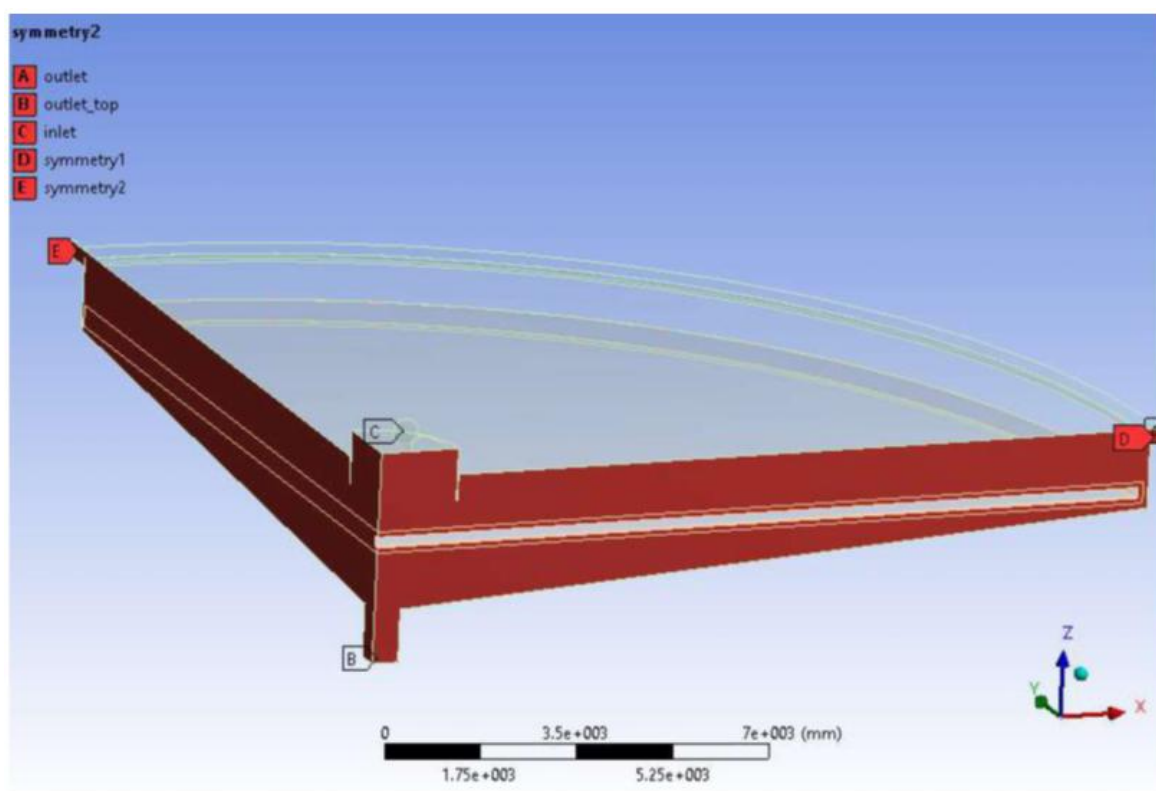


Рис. 4 – Вход, выход потока и симметричные области

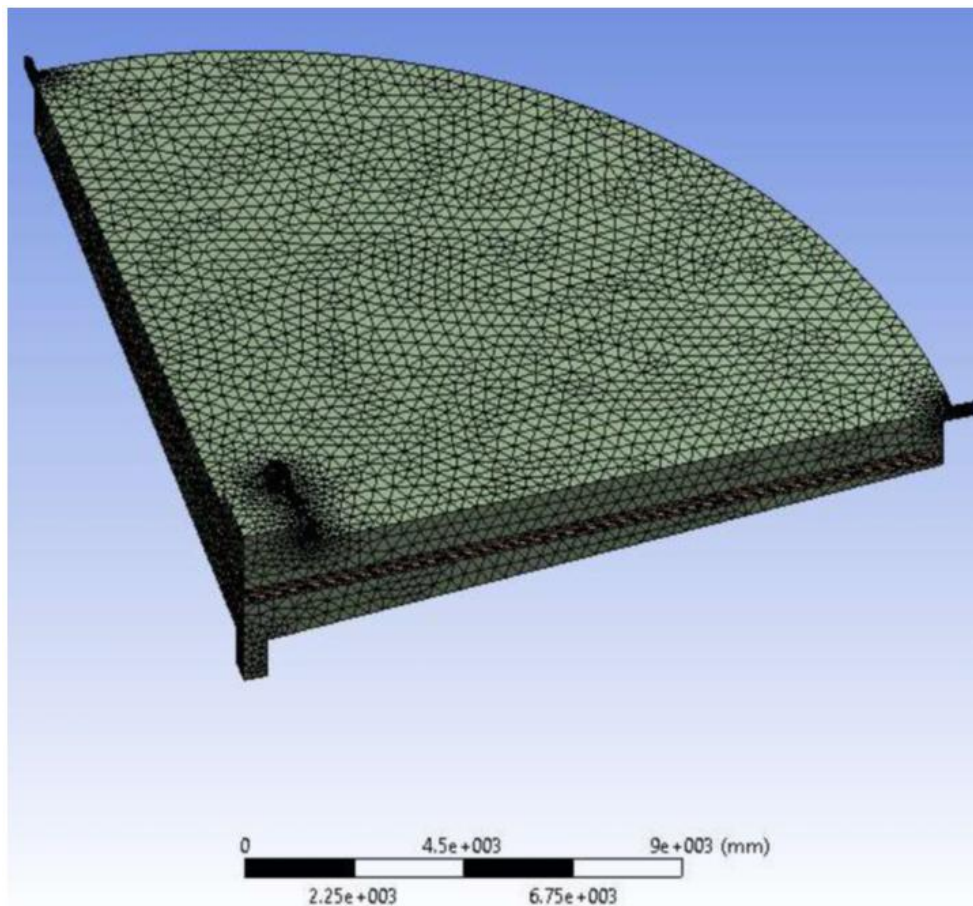


Рис. 5 – Расчетная сетка объекта управления

Также были выделены области контакта двух объемов (рис. 6). Данная область контакта позволит объединить два объема во время вращения одного из объемов.

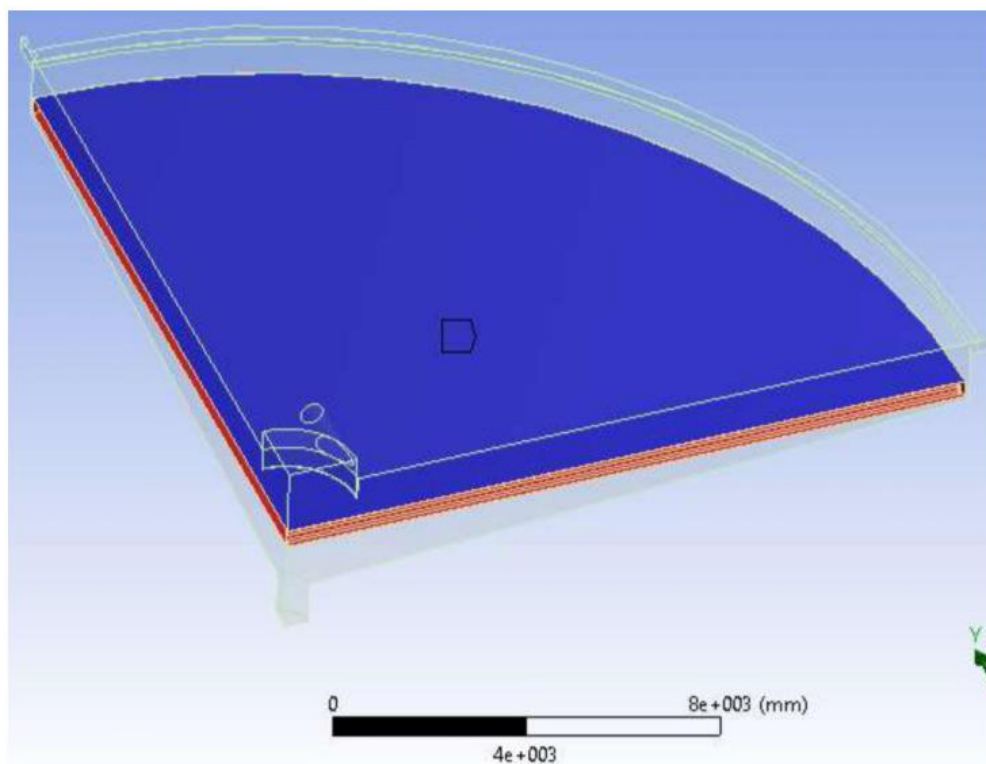


Рис. 6 – Область контакта двух объемов – основного корпуса сгустителя и вращающихся граблин

В ANSYS Fluent:

- заданы граничные условия;
- включена сила гравитации при расчете движения масс частиц;



- для входа частиц использовалась поверхность inlet;
- включена инъекция твердой фракции заданного диапазона распределения частиц с помощью модели DPM (Discrete phase model) по закону Розина-Раммлера;
- заданы свойства рабочей среды и твердой фракции, описанные в работе ранее;
- для отображения результатов отображаем привязку по ID с поверхностью выхода;
- анализируем полученные результаты.

### Выводы

Результатом работы является трехмерная модель сгустителя (рис. 7), по результатам которой можно оценить концентрацию твердой фракции в каждой точке исследуемого объекта управления, что невозможно сделать на реальном объекте.

Полученная модель учитывает полидисперсность питающего потока и действие перемешивающих граблин. Рассчитанная в данной работе модель учитывает диапазон распределения частиц в питании, полученный на основании модели баланса популяций для исследуемого объекта и процесса.

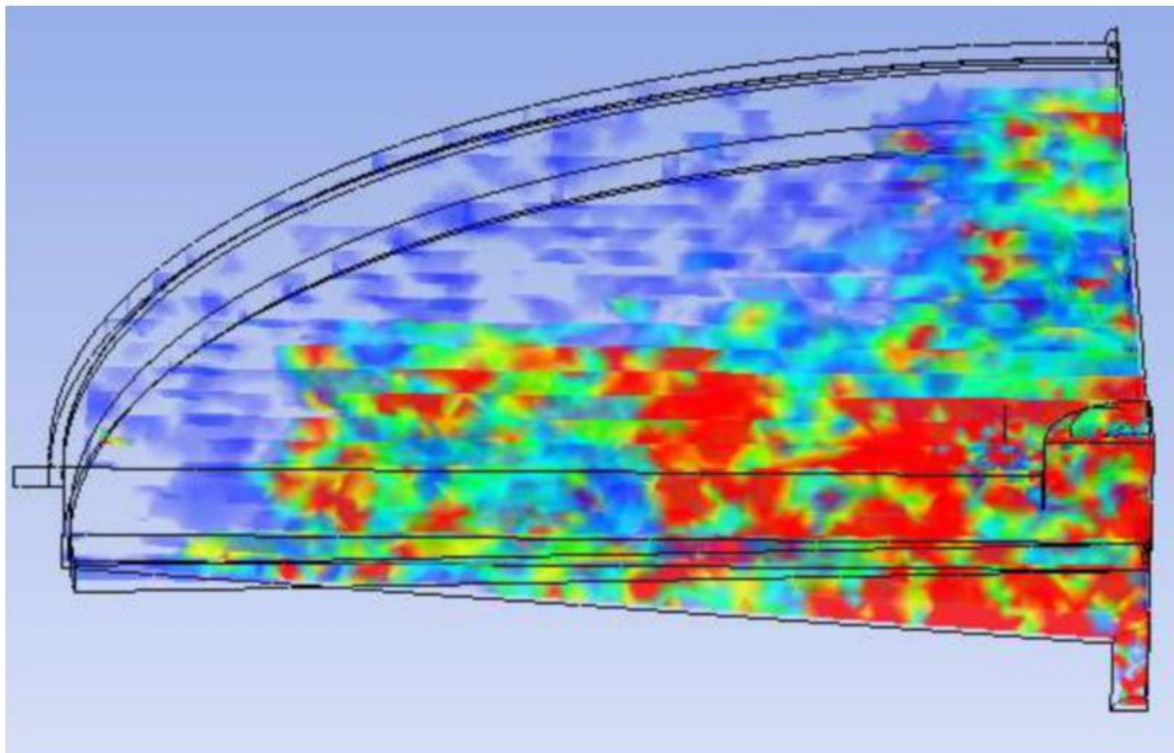


Рис. 7 – Распределение твердой фракции в сгустителе

Для построения такой модели в Fluent требуется дополнительно описать параметры стесненного осаждения и уплотнения осадка с помощью UDF (User Defined Functions).

Модель может использоваться для оценки:

- поведения сгустителя;
- распределения твердой фракции в объеме аппарата и в верхнем осветленном сливе, что является одним из целевых параметров при управлении процессом сгущения красных шламов;
- влияния диапазона распределения твердой фракции в питании сгустителя или диапазона флоккул/кластеров, образовавшихся в процессе флокуляции в питающем стакане.

Модель требует доработки. Для дальнейшей отладки работы модели необходимо описать процесс флокуляции в питающем стакане непосредственно в среде Fluent.

### Список литературы / References

1. Fernando Concha A. Solid-Liquid Separation in the Mining Industry// Fluid Mechanics and Its Applications. Vol. 105. P. 209.
2. Usher S., Scales P. Steady state thickener modelling from the compressive yield stress and hindered settling function // Chemical Engineering Journal. 2005. No. 111. P. 253-261.
3. ANSYS, Inc. ANSYS FLUENT. User's Guide. 2003.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.54.135

Цыганков Д.В.<sup>1</sup>, Мирошников А.М.<sup>2</sup>, Полозова А.В.<sup>3</sup><sup>1</sup>Кандидат химических наук,

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачёва,

<sup>2</sup>Доктор технических наук,

Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (Университет),

<sup>3</sup>Студент, Институт информационных технологий машиностроения и автотранспорта,

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачёва

**ОКСИД ПРОПИЛЕНА КАК ОКСИГЕНАТНАЯ ПРИСАДКА ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНОГО БЕНЗИНА***Аннотация*

*Рассмотрены перспективы использования оксигенатов в автомобильных бензинах. Предложено использовать в качестве оксигенатной добавки к автомобильному бензину циклический эфир – оксид пропилена. Приводятся основные направления использования оксида пропилена на современном этапе. Определено его максимальное содержание в бензине согласно нормативных документов. Рассмотрено влияние оксида пропилена на мощность двигателя, а также на показатели испаряемости бензина – давление насыщенных паров и фракционный состав, что необходимо учитывать при реальном использовании такой композиции.*

**Ключевые слова:** оксигенатные добавки, оксид пропилена, мощность двигателя, давление насыщенных паров, фракционный состав.

Tsygankov L.V.<sup>1</sup>, Miroshnikov A.M.<sup>2</sup>, Polosova A.V.<sup>3</sup><sup>1</sup>PhD in Chemistry,

Kuzbass State Technical University named after Gorbachev T.F.,

<sup>2</sup>PhD in Engineering,

Kemerovo Institute of Food Science and Technology (University),

<sup>3</sup>Student, Institute of Information Technology of Mechanical Engineering and Transport,

Kuzbass State Technical University named after Gorbachev T.F. in Kemerovo

**PROPYLENE OXIDE AS OXEGENATE ADDITIVE FOR MOTOR GASOLINE***Abstract*

*The article discusses the prospects of the use of oxygenates in motor gasoline. It is proposed to use cyclic ether (propylene oxide) as an oxygenate additive to motor gasoline. The main directions of the use of propylene oxide at the present stage are considered in the article. Its maximum content in gasoline is defined according to regulations. The effect of propylene oxide on the power of the engine is studied, as well as on the indicators of gasoline volatility – the pressure of saturated vapor and fractional composition, which should be considered during actual use of such a composition.*

**Keywords:** oxygenate additive, propylene oxide, engine power, vapor pressure, fractional composition.

В связи с интенсивным ростом автомобильного парка и повышением мобильности населения, возникают проблемы связанные с загрязнением окружающей среды, главным образом, вредными выбросами с отработавшими газами автомобилей. За последнее время многое сделано для уменьшения вредных выбросов от автомобильного транспорта. Так последовательно были приняты стандарты ЕВРО, по которым существенно ужесточились требования как к транспортным средствам, так и к автомобильным топливам. В конструкции автомобилей появились каталитические нейтрализаторы отработавших газов, а по топливу было достигнуто снижение содержания серы и веществ, образующих канцерогены.

Однако проблема полностью не решена, и она особенно актуальна в местах большого скопления автомобилей. Одним из способов снижения вредных выбросов с отработавшими газами является использование оксигенатных добавок к бензину, они не только снижают токсичность отработанных газов по оксиду углерода (СО) и углеводородам (СН), но и позволяет увеличить детонационную стойкость бензина.

Оксигенаты – кислородсодержащие соединения, их вырабатывают из альтернативного нефтяным топливам сырья – метанола, этанола, фракции бутиленов и амиленов, получаемых из угля, газа, растительных продуктов и тяжелых нефтяных остатков. Широко используются спирты, простые эфиры, их смеси, спиртосодержащие отходы пищевых и нефтехимических производств. В США и Европейском союзе после проведения многочисленных исследований и испытаний приняты законы об обязательном содержании в бензине оксигенатов в количестве не менее 2% массовых долей в пересчете на кислород.

Активное использование оксигенатов в России началось с 2002 года с введением в действие ГОСТ Р 21866-2002 «Бензин неэтилированный» [1, С. 2], который соответствует европейской нормали ЕН 228-99, принятой еще Европейским комитетом по стандартизации 29 октября 1999 года. Этот документ впервые предусмотрел использование в Российской Федерации не только отдельных оксигенатных соединений, но и также «других оксигенатов» в количестве не более 10%. В последствии в 2008 году территории Российской Федерации был введен в действие «Технический регламент на топливо» [2], в котором предусмотрен тот же список оксигенатов, кроме метанола, и запрещено использование металлоорганических соединений в качестве антидетонационных присадок, а в последствии с 2016 года и монометиланилина. Те же требования представлены и в «Техническом регламенте Таможенного союза» [3], от 18 октября 2011г. Таким образом, наметилась тенденция к запрещению применения каких бы то ни было антидетонационных присадок, кроме оксигенатов. В связи с этим, возникает необходимость поиска «других» эффективных оксигенатных соединений.

В качестве таких соединений, авторы предлагают рассмотреть оксид пропилена (ОП). ОП – это простой циклический эфир с температурой кипения порядка 34,2°С и плотностью 831,3 кг/м<sup>3</sup> при 20 °С. Из литературы [4. С. 170] известно, что ОП имеет более высокую скорость горения, чем у бензина и обладает более низкой энергией



зажигания по сравнению с бензином. ОП является полупродуктом, из которого в промышленности получают следующую продукцию:

1. антифризы и антиобледенители различного назначения;
2. лапролы для производства полиуретанов;
3. полимеры и сополимеры, которые идут на изготовления неионогенных ПАВ.

В России производство ОП налажено в Кемерово и Нижнекамске, а в мире объем производства этого соединения превышает 4 млн. тонн в год. В настоящее время ОП пока не имеет большого распространения среди оксигенатов, хотя в мире начинают все больше использовать в топливах именно эфиры. Эфиры имеют большую летучесть и низкую температуру воспламенения по сравнению со спиртами, а также не поглощают влагу из воздуха. Вообще переход на использование в качестве оксигенатов эфиров является достаточно закономерным, особенно в России, так как метиловый спирт у нас запрещен, а использование этилового спирта экономически не выгодно, поскольку он облагается акцизным налогом как алкогольная продукция. Среди эфиров наиболее распространенным в нашей стране и за рубежом является метилтретбутиловый эфир (МТБЭ). Его производство и потребление в мире составило порядка 20-22 млн т. на 2012 год. Такое крупномасштабное использование МТБЭ вовсе не означает какие-то особые его преимущества перед другими эфирами. Чтобы доказать это сравним ОП с МТБЭ.

Таблица 1 – Результаты сравнения ОП и МТБЭ

	МТБЭ	ОП
	$\text{CH}_3-\text{O}-\text{C}(\text{CH}_3)_3$	$\text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}_2$ $\diagup \quad \diagdown$ $\text{O}$
Молекулярная масса	88	58
Атомный вес кислорода	16	
Доля кислорода в молекуле	$88/100\%=16/X\%$ $X=18,2\%$	$58/100\%=16/X\%$ $X=27,6\%$
Предельно допустимое содержание в топливе с учетом того, что массовая доля кислорода в молекуле не должна превышать 2,7%	$2,7 \cdot 100 = X \cdot 18,2$ $X=14,9\%$	$2,7 \cdot 100 = X \cdot 27,6$ $X=9,8\%$

ОП имеет два изомера: пропионовый альдегид и ацетон, соответственно у всех трех соединений одна валовая формула, а значит и одинаковая доля кислорода. ОП имеет циклическую структуру, и более высокую химическую активность по сравнению со своими линейными изомерами. В то же время ацетон намного больше используется в автомобильном бензине по сравнению с ОП.

Из литературных источников известно, об успешном использовании ОП в составе гоночного бензина. Данное соединение использовалась в автогонках наряду с метанолом и нитрометаном [5]. Приводятся данные, что наибольшее увеличение мощности двигателя достигается при 5% ОП в бензине [5]. Эта цифра вполне согласуется с нашими собственными исследованиями [6, С. 74-76], [7, С. 14], [8, С. 436-437]. Так при оценке детонационной стойкости бензина в процессе добавки различных соединений был получен график, приведенный на рисунке 1.

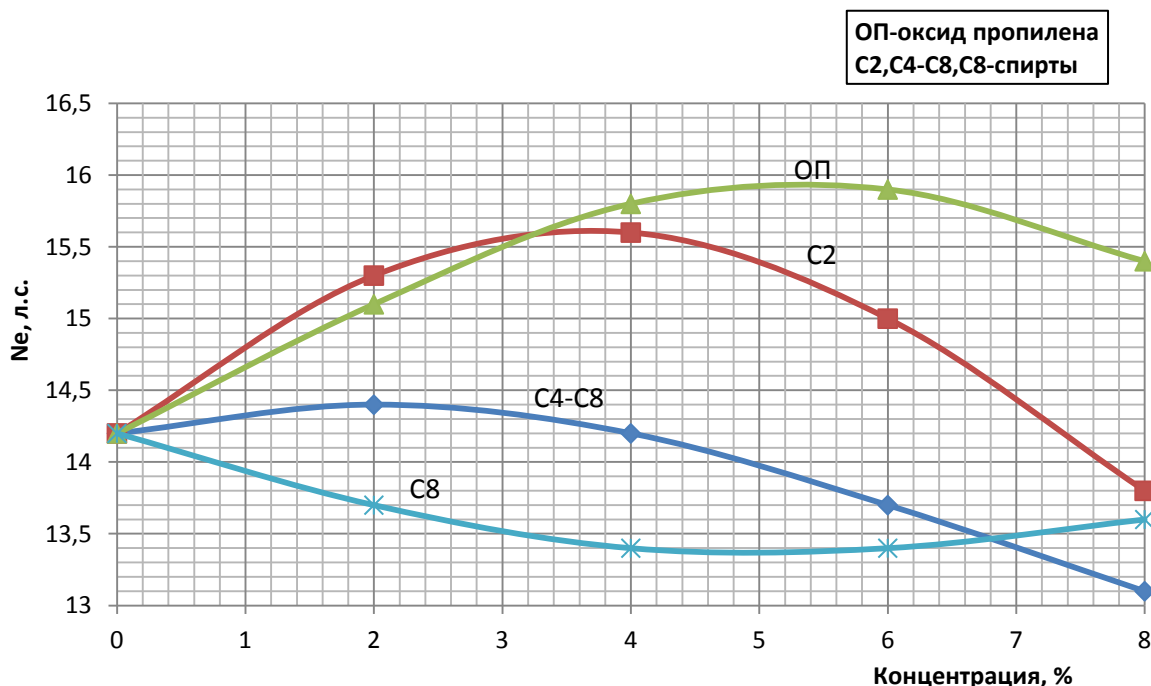


Рис. 1 – Зависимость мощности двигателя от состава образца топлива

Увеличение мощности, как видно по графику составило около 15% при добавлении ОП в количестве 4 – 6%. Эксперимент проводился с целью выявления изменения октановых чисел и данные были получены на низкооктановом бензине, поэтому прирост мощности может быть иным, если использовать обычный бензин с рекомендованным октановым числом, но наиболее эффективные концентрации ОП вряд ли изменятся.

Чтобы рекомендовать использование ОП в автомобильных бензинах, необходимо убедиться, что он не повлияет на параметры безопасности, приведенные в техническом регламенте. Так максимальное количество «других» оксигенатов может быть не более 10%, но в пересчете на кислород общее количество оксигенатов не должно превысить 2,7%. Если в бензине не будет других оксигенатов, кроме ОП, то данная доля кислорода будет достигнута при 9,8% ОП (см. табл. 1). Необходимо установить влияние ОП на другие показатели технического регламента. Поскольку ОП низкокипящее вещество, то он окажет влияние на испаряемость бензина, которая определяется фракционным составом и давлением насыщенных паров. Оценка этих параметров и явилось главной задачей настоящего исследования. Давление насыщенных паров ОП приведено в таблице 2.

Таблица 2 – Давление насыщенных паров ОП при различных температурах [12]

температура, °С	давление насыщенных паров ОП	
	мм рт. ст.	кПа
-10	122	15,995
0	199	26,525
10	309	41,186
20	466	62,113
30	681	90,770
40	966	127,958

Методом интерполяции найдено значение давления насыщенных паров при 37,8°С, что соответствует температуре, при которой измеряется давление насыщенных паров у бензина по ГОСТ 1756-2000 [10, С. 1], которое составляет порядка 118 к Па. Далее, в ходе расчетов было определено на сколько примерно увеличится давление насыщенных паров бензина при добавлении одного процента ОП. Так получилось, что на каждый процент добавленного в бензин ОП давление насыщенных паров увеличивается на 0,57%. Таким образом, для 10% ОП эта цифра вызовет увеличение давления насыщенных паров на 5,7%, что вполне допустимо.

Для обоснования этих данных были произведены замеры давления насыщенных паров по ГОСТ 1756-2000 для чистого бензина и бензина с содержанием ОП в количестве 10%. Результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Фактическое давление насыщенных паров

Измеренное давление насыщенных паров, кПа		Требование технического регламента по давлению насыщенных паров бензинов, кПа	
Образец без содержания ОП	Образец с 10% содержанием ОП	В летний период	В зимний период
79,6±3,5	82,8±3,5	45 – 80	50 – 100

Помимо давления насыщенных паров для показателей испаряемости большое значение имеет фракционный состав, хотя этот показатель входит лишь в ГОСТы, но не входит в технический регламент, то есть является рекомендательным, но не обязательным параметром. Тем не менее, нами были определены показатели фракционного состава при различных концентрациях ОП. Эти данные представлены в таблице 4

Таблица 4 – Результаты перегонки автомобильного бензина

Количество перегнанного топлива, %	Содержание ОП в бензине, %			
	0%	2%	4%	10%
	Температура перегонки, °С			
н.п.	38	39	40	41
10	58	58	54	55
20	68	68	67	66
30	80	80	81	78
40	93	93	94	92
50	107	106	109	109
60	120	119	122	121
70	132	131	134	135
80	145	144	150	152
90	167	168	200	-
к.п. (%)	195 (93%)	199 (93%)	200 (90%)	195 (88%)
остаток, %	1	1	1	1
остаток и потери, %	7	7	10	12

По данным фракционного состава построены кривые перегонки.

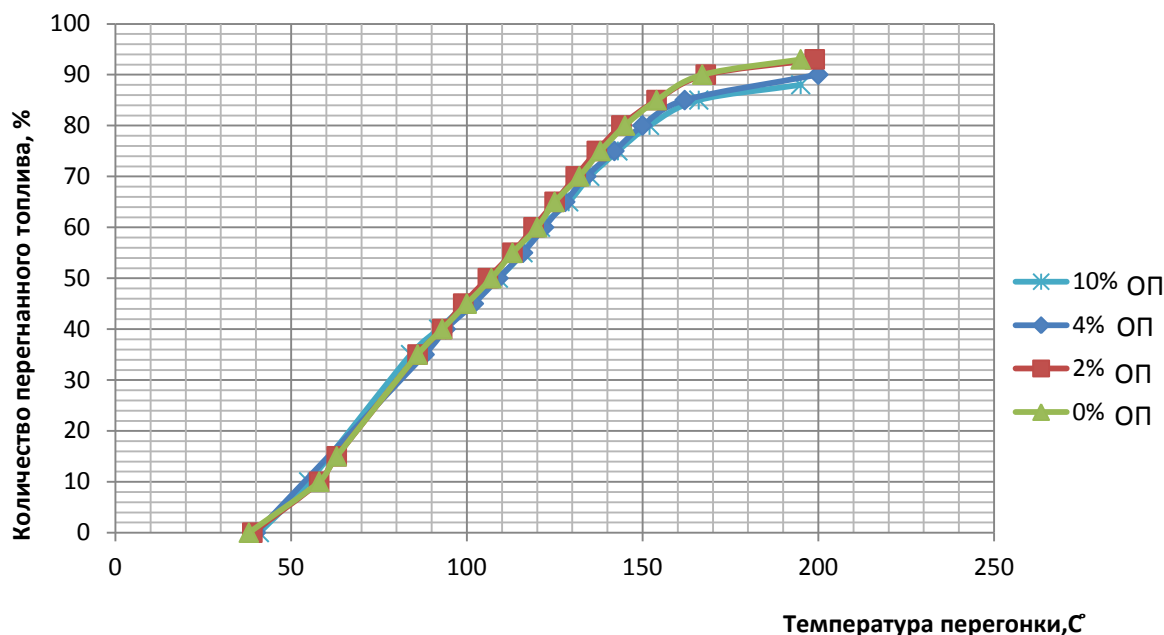


Рис. 2 – Кривые перегонки бензина

Как видно по рисунку, даже при 10% ОП в бензине нет существенных отклонений по фракционному составу, то есть ОП прекрасно вписывается во фракционный состав автомобильного бензина.

Таким образом, никаких ограничений к применению ОП в качестве добавки к автомобильному бензину не выявлено. Это соединение можно вводить в автомобильный бензин вплоть до 9,8%. При этом ОП вполне может оказаться намного эффективнее многих традиционных оксигенатных добавок. К тому же, влияние малых добавок ОП совместно со спиртами уже показало свою эффективность [11].

#### Список литературы / References

- ГОСТ Р 51866–2002. Топлива моторные. Бензин неэтилированный. Технические требования. – Введ. 2002-07-01. М.: Стандартинформ, 2009. – 2 с
- Технический регламент РФ О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и топочному мазуту. – Утвержден постановлением правительства №118 от 27 февраля 2008 года.
- Технический регламент таможенного союза ТР ТС 013/2011. О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и мазуту. – Утвержден решением № 826 от 18.10.2011 Комиссии Таможенного союза.
- Большаков Г. Ф. Физико-химические основы применения топлив и масел. Теоретические основы химмотологии. – Новосибирск: Наука, 1987. – 170с.
- Ray Hall. Rover fuel additives <http://www.turbofast.com.au/racefuel12.html>. (дата обращения: 30.11.2016)
- Цыганков Д.В. Исследование детонационной стойкости бензинов с помощью регулировочных характеристик карбюраторного двигателя /Д.В. Цыганков, А. М. Мирошников, Р. Р. Масленников, А. В. Кудреватых // Вестник КузГТУ. – 2002. – №2, С.74-76.
- Цыганков Д. В. Переработка отходов и полупродуктов химических производств в оксигенатные добавки к автомобильным бензинам: дис. канд. хим. наук: 03.00.16 / Цыганков Дмитрий Владимирович//. – Кемерово, 2006. – 14 с.
- Цыганков Д. Оксигенатные добавки к автомобильным бензинам: монография / Дмитрий Цыганков, Александр Мирошников // Издательство «LAP LAMBER Academic Publishing ist Imprint der». – Deutschland / Германия, 2013. – 81-84 с.
- Маликовский М. С. Окиси олефинов и их производство. – М.: Госхимиздат, 1961. – 436-437 с.
- ГОСТ 1756-2000. Нефтепродукты. Определение давления насыщенных паров. – Введ. 2001-07-01. М.: Стандартинформ, 2006. – 1 с.
- Многофункциональная добавка к автомобильному бензину, патент РФ №2349629 МПК C10L1/18/ А. М. Мирошников, Д. В. Цыганков, А. Р. Часовиков; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кузбасский государственный технический университет». – 2007111098/04; заявл. 26.03.2007; опубл.20.03.2009, бюлл. 8.

#### Список литературы на английском языке / References in English

- Russian National Standard 51866–2002. Topliva motornye. Benzin neetilirovannyi. Tekhnicheskie trebovaniya. [Motor Fuel. Unleaded Gasoline. Technical Requirements] – Vved. 2002-07-01. M.: Standartinform, 2009. – 2 p [In Russian]
- Tekhnicheskii reglament RF O trebovaniyakh k avtomobilnomu i aviatsionnomu benzinu, dizelnomu i sudovomu toplivu, toplivu dlia reaktivnykh dvigateley i topochnomu mazutu. [Technical Regulations of the Russian Federation On Requirements for Automobile and Aviation Gasoline, Diesel and Marine Fuel, Jet Fuel and Heating Oil] - Approved by Government No.118, February 27, 2008. [In Russian]
- Tekhnicheskii reglaent tamozhennogo soyuza TR TS 013/2011. O trebovaniyakh k avtomobilnomu i aviatsionnomu benzinu, dizelnomu i sudovomu toplivu dlia reaktivnykh dvigateley i mazutu [Technical Regulations of Customs Union CU

TR 013/2011. On Requirements to Automobile and Aviation Gasoline, Diesel and Marine Fuel, Jet Fuel and Heating Oil] - Approved by Resolution No. 826, 10/18/11 Customs Union Committee. [In Russian]

4. Bolshakov G. F. Fiziko-Khimicheskiye osnovy primeneniya topliv i masel. Teoreticheskiye osnovy khimnotologii [Physical-Chemical Basis of the Use of Fuels and Oils. Theoretical Foundations of Chemmotology] – Novosibirsk: Nauka, 1987. – 170p. [In Russian]

5. Ray Hall. Rover Fuel Additives [Electronic resource] URL: <http://www.turbofast.com.au/racefuel12.html>. (accessed date: 11/30/16)

6. Tsygankov D.V. Issledovaniye detonatsionnoy stoykosti benzinov s pomoshchyu regulirovochnykh khsarakteristik karbiuratornogo dvigatelya [Research of Explosion Durability of Gasoline by means of Regulating Characteristics of Carburettor Engine] /D.V. Tsygankov, A. M. Miroshnikov, R. R. Maslennikov, A. V. Kudrevatykh // Vestnik KuzGTU [KuzSTU Bulletin] – 2002. – No.2 – P.74-76. [In Russian]

7. Tsygankov D.V. Pererabotka otkhodov i poluprovodnikov khimicheskikh proizvodstv v oksigenatnie dobavki k avtomobilnym benzinam [Waste Treatment and Intermediates in Chemical Production of Oxygenate Additives to Motor Gasoline:] Dis. of PhD in chemical sciences: 03.00.16 / Tsygankov Dmitriy Vladimirovich//. – Kemerovo, 2006. – 14 p. [In Russian]

8. Tsygankov D.V. Oksigenatniye dobavki k avtomobilnym benzinam: monographia [Oxygenate Additives to Motor Gasoline: Monograph] / Dmitriy Tsygankov, Aleksandr Miroshnikov // Publishing House "LAP LAMBER Academic Publishing ist Imprint der." – Deutschland/ Germany, 2013. – 81-84 p. [In Russian]

9. Malikovskiy M. S. Okisi olefinov i ikh proizvodstvo [Olefin Oxides and Their Production] – M.: Goshimizdat, 1961. – 436-437 p. [In Russian]

10. GOST 1756-2000. Nefteprodukty. Opredeleniye davleniya nasyshchennykh parov [Petroleum Products. Determination of Saturated Vapor Pressure.] – Vved. 2001-07-01. M.: Standardinform, 2006. – 1 p. [In Russian]

11. Patent of the Russian Federation No 2349629 ITC C10L1/18 Mnogofunktsionalnaya dobavka k avtomobilnomu benzinu [Multifunctional Additive to Motor Gasoline] / A. M. Miroshnikov, D. V. Tsygankov, A. R. Chasovshchikov; Applicant and Patentee State Educational Institution of Higher Education "Kuzbass State Technical University." – 2007111098/04; appl. 26.03.2007; publish.20.03.2009, bull. 8. [in Russian]

DOI: 10.18454/IRJ.2016.54.135

Чернышов М.О.<sup>1</sup>, Киреев В.В.<sup>2</sup>, Киреева Т.С.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ORCID: 0000-0001-8297-9993, Кандидат технических наук,

<sup>2</sup>ORCID: 0000-0003-2285-1036, Кандидат технических наук,

Тюменский индустриальный университет

<sup>3</sup>ORCID: 0000-0001-7135-3274, инженер-конструктор, Тюменские моторостроители

#### КОНСТРУКЦИЯ СБОРНОГО СВЕРЛА ДЛЯ ОБРАБОТКИ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ

*Аннотация*

Приведены результаты расчета напряженно-деформированного состояния в сменных режущих пластинах сборных сверл, с применением метода конечных элементов. Показано влияние конструктивных параметров сменных режущих пластин, схем их базирования, крепления на напряжения и деформации, возникающие в пластинах при резании. Представлено конструкторское решение для изготовления корпусных деталей с использованием разработанной и запатентованной конструкции сборного сверла, которая обеспечивает расширение технологических возможностей за счет применения прогрессивного метода «плунжерного» сверления.

**Ключевые слова:** плунжерное сверление, твердый сплав, сборные сверла.

Chernyshov M.O.<sup>1</sup>, Kireev V.V.<sup>2</sup>, Kireeva T.S.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ORCID: 0000-0001-8297-9993, PhD in Engineering,

<sup>2</sup>ORCID: 0000-0003-2285-1036, PhD in Engineering,

Tyumen industrial University

<sup>3</sup>ORCID: 0000-0001-7135-3274, Design Engineer, Tyumen engine builders

#### CONSTRUCTIONS PREFABRICATED DRILL FOR PROCESSING OF BODY PARTS

*Abstract*

The results of calculation of stress-strain state in the indexable inserts drill teams, using the finite element method. The influence of the design parameters of interchangeable inserts, schemes of their home, fixing on the stresses and strains that occur in the plates during cutting. Presented design solution for the manufacture of body parts using the developed and patented modular drills, which ensures enhancement of technological capabilities through the use of progressive method of "plunger" drilling.

**Keywords:** plunge drilling, hard alloy, drill teams.

В условиях современной рыночной экономики невозможно добиться снижения затрат в условиях высокой конкуренции без модернизации производства за счет использования современных технологий, оборудования и инструментов [1, С. 5]. Наиболее распространенной причиной недостаточной для функционирования конкурентоспособного производства эффективности механической обработки на предприятиях становится низкая стойкость металлорежущего инструмента. Причина этой проблемы зачастую связана с отсутствием знаний новейших технологий применения и возможностей сборных режущих инструментов оснащенных режущими пластинами из инструментальных твердых сплавов.

Так, на предприятии ПАО "Тюменские моторостроители", при изготовлении детали «Корпус катушки шлицевой», как представлено на рисунке №1, возникла проблема обработки направляющих пазов. Для обработки этой детали использовались цельные фрезы из быстрорежущей стали на пониженных скоростях резания. В итоге такая операция имела значительную трудоемкость, что существенно влияло на себестоимость производства детали. Применение же цельных твердосплавных фрез также не эффективно из-за высокой стоимости такого инструмента.



Рис. 1 – Корпус катушки шлицевой

Для решения данной проблемы был проведен анализ и модернизация существующего технологического процесса обработки детали, так для обработки пазов корпуса было решено применить новую эффективную технологию «плунжерного сверления». Плунжерное сверление это метод, значительно повышающий производительность черновой металлообработки пазов, карманов, отверстий и выборок, путем повторяющихся осевых проходов сверла. Применение такого метода черновой металлообработки позволяет повысить производительность и эффективность использования мощности оборудования, кроме того метод «плунжерного сверления» обладает более низкими требованиями к жесткости шпинделя станка, в отличие от других сборных инструментов, так как направление основного усилия резания совпадает с осью шпинделя станка.

На данный момент предприятия, применяющие при изготовлении деталей методом «плунжерного сверления», как правило, используют сборный инструмент известных зарубежных фирм, таких как: Sandvik *Coromant*, Mitsubishi, Walter, Iscar и др. Учитывая состояние хозяйственной деятельности страны на сегодня, можно сделать вывод о необходимости импортозамещения в сфере производства оборудования и инструмента предприятий.

Основываясь на результатах, полученных при проведении анализа технологического процесса обработки детали, был произведен поиск патентов по аналогам инструментов для обработки отверстий и спроектировано сборное сверло со сменными режущими пластинами специальной формы, которое позволяет применить схему плунжерного сверления. В работах [1, С. 84-85], [2, С.19] приведены результаты исследований напряжений и деформаций сменных режущих пластин. А также, сформулированы следующие требования, к проектируемым сборным, режущим инструментам высокой работоспособности и сменным режущим пластинам повышенной прочности: увеличение угла  $\epsilon$  - угла при вершине сменной режущей пластины; реализация при закреплении сменной режущей пластины в корпусе режущего инструмента гарантированного прижима по упорным боковым граням и опорной поверхности.

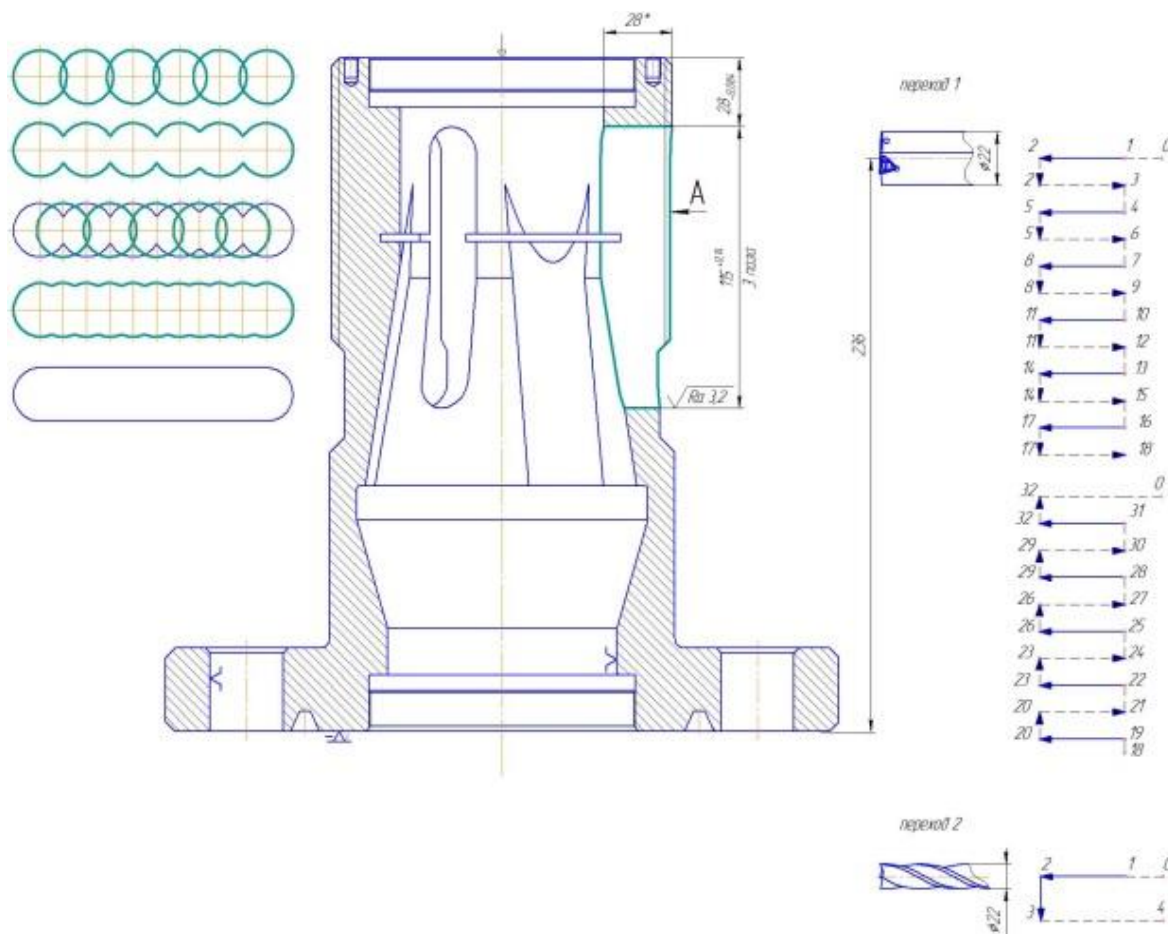


Рис. 2 – Плунжерное сверление при изготовлении направляющих пазов корпуса катушки шлицевой

Основываясь на полученных требованиях к конструкции сборного сверла предназначенного для обработки пазов корпуса повысить его работоспособность, за счет разработки режущей пластины специальной формы [3, С.15]. Такая форма разработанной режущей пластины выполнена на основе равносторонней трехгранной режущей пластины ( $\epsilon=60^\circ$ ), отличается тем, что угол при вершине  $\epsilon$  ( $\epsilon=100^\circ$ ) увеличен. Пластина имеет вспомогательную и главную режущие кромки, выполненные соответственно в виде дуги и прямой.

Новая конструкция сборного сверла, оснащенного сменными режущими пластинами [4, С.1], изображенная на рисунке 3, отличается тем, что при закреплении а) периферийной пластины и б) центральной пластины направление силы, возникающей в процессе резания  $R_{xz}$ , совпадает с направлением силы, возникающей при закреплении пластины Р. Инструмент имеет такую схему крепления режущих пластин в угловой паз гнезда под пластину в корпусе инструмента, при которой крепление осуществляется по двум боковым граням режущих пластин, так чтобы одна из них приходилась на вспомогательную режущую кромку.

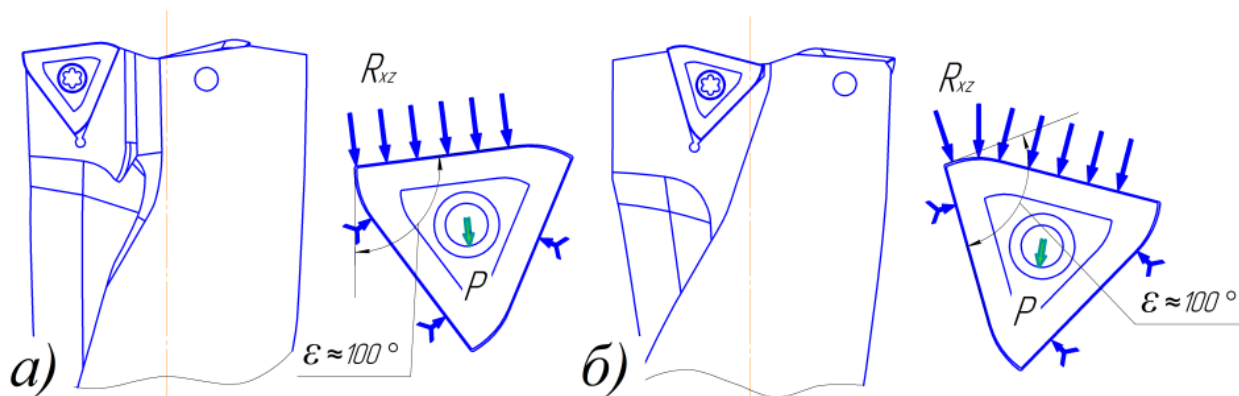


Рис. 3 – Схематичное изображение базирования, нагружения и закрепления режущих пластин новой формы: а – периферийной и б – центральной в корпусе сборного сверла

Сравнение между режущими пластинами сверла по ГОСТ 27724-88 ( $\epsilon=80^\circ$ ) и пластинами новой формы, осуществлялось посредством проведения расчета напряжений с применением метода конечно-элементного анализа, при подаче на режущую кромку удельной нагрузкой  $P_i$  при условии черновой обработки, при этом обрабатываемый материал – сталь 35ХМЛ, а материал сменных режущих пластин - твердый сплав ВК8. Для расчета напряжений и



коэффициента запаса прочности режущих элементов были определены силы резания; удельные нагрузки; построены, конечно-элементные трехмерные модели сменных режущих твердосплавных пластин сборных сверл.

Итоги эксперимента и расчета показаны на рис.10 в виде картин изолиний главных напряжений растяжения  $\sigma_1$ . Исследование прочности новой режущей пластины показало, что увеличение угла при условии увеличения угла при вершине  $\varepsilon$  и реализации схемы базирования и крепления пластины в угловой паз корпуса инструмента по двум боковым поверхностям пластин так, чтобы одна из этих поверхностей приходилась на вспомогательную режущую кромку обеспечивает снижение зоны опасных растягивающих напряжений  $\sigma_1$ , а значит и опасную зону предполагаемого и наиболее вероятного разрушения, где коэффициент запаса прочности меньше предельного значения по сравнению со стандартной трехгранной пластиной для сборных сверл по ГОСТ 27724-88.

Такая специальная форма режущей пластины, которая выполнена на основе равносторонней трехгранной фигуры, позволяет сбалансировать силы резания, возникающие в процессе металлообработки, и повышает производительность изготовления отверстий сборным инструментом, за счет реализации схемы постепенного ввода в работу режущих кромок сменной многогранной пластины. Эта схема осуществляется за счет нестандартной формы режущей пластины, которая имеет вспомогательную и главную режущие кромки, выполненные в виде дуги и прямой соответственно. При этом, участок режущей кромки в виде дуги вписан в четверть длины стороны трехгранной фигуры, с радиусом криволинейной режущей кромки равной 1/3 длины стороны многогранника.

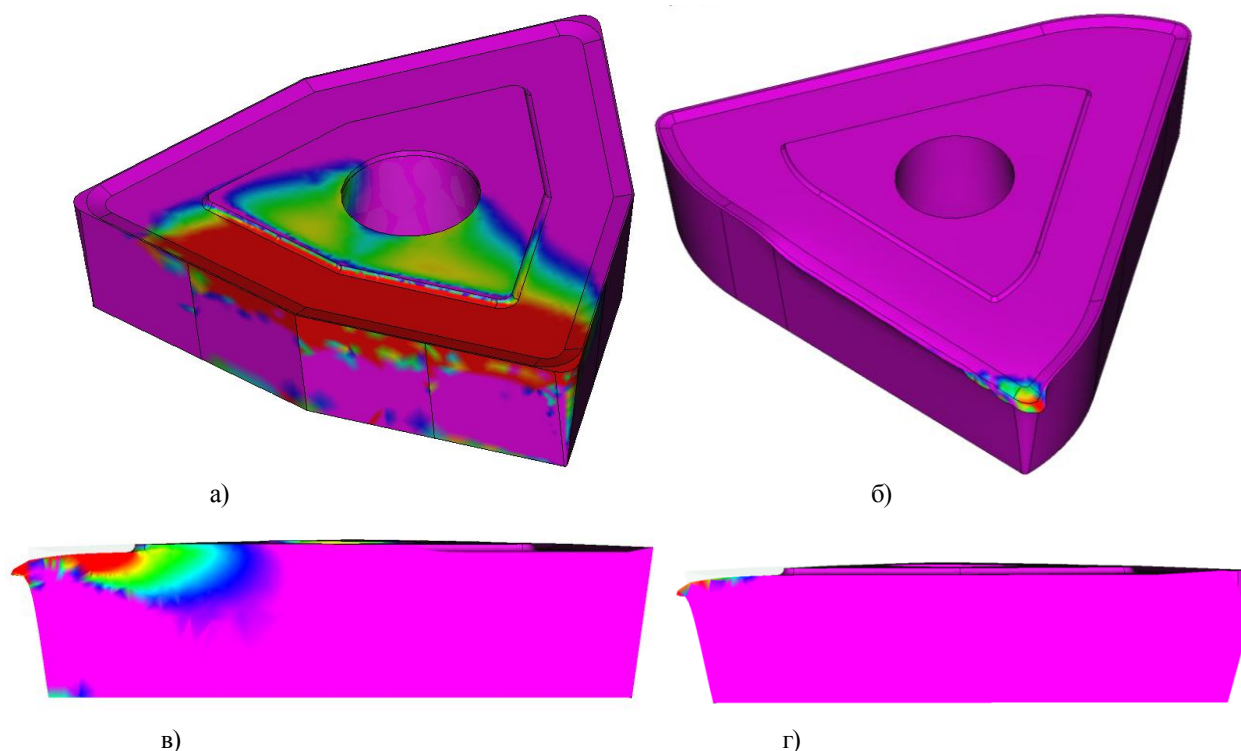


Рис. 4 – Изображение распределения опасных растягивающих напряжений  $\sigma_1$  в режущих лезвиях периферийной сменных режущих пластинах сборного сверла:

*а, в* - по ГОСТ 27724-88; *б, г* – новая форма сменной режущей пластины

Новая конструкция сборного сверла со сменными режущими пластинами повышенной прочности и применение высокоэффективного метода «плунжерного сверления» позволило сократить количество применяемого для обработки детали оборудования, так как штучное время на выполнение операции сократилось на 68%, кроме того, годовые затраты на операцию и трудоемкость операции снизились на 54% и 67% соответственно.



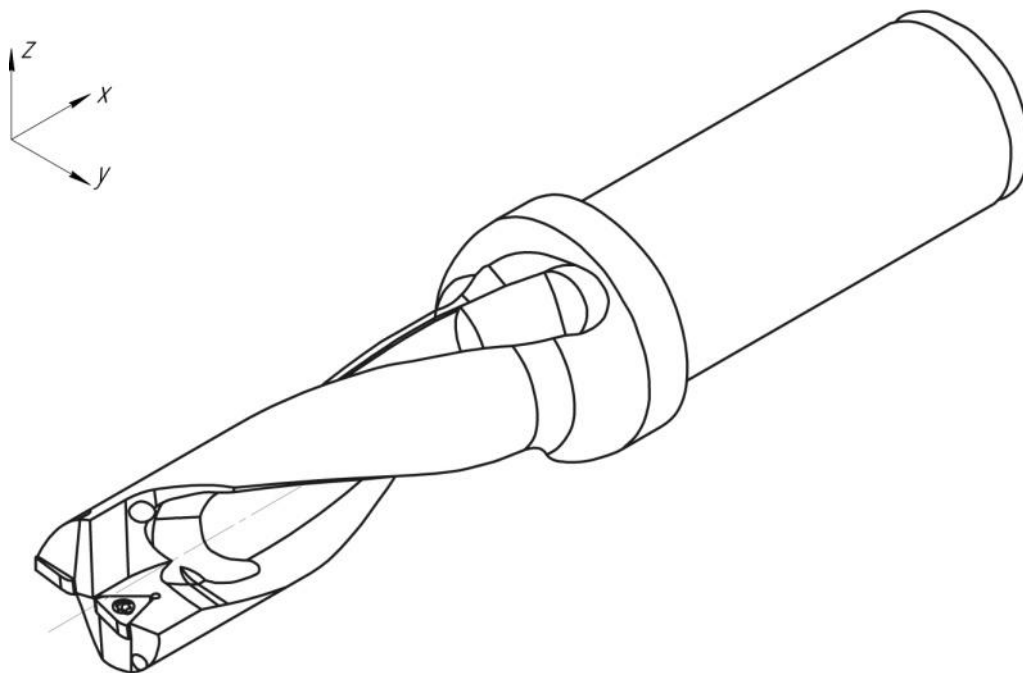


Рис. 5 – Предлагаемое сборное сверло высокой работоспособности.

Таким образом, снизить издержки и повысить конкурентоспособность производства можно при повышении эффективности механической обработки пазов в корпусных деталях, за счет применения новых конструкций сборных сверл со сменными режущими пластинами специальной формы, что позволит значительно снизить трудоемкость изготовления детали, так как штучное время на изготовление корпуса и количество станков снизятся. При создании такого инструмента следует взять за основу следующие рекомендации:

- 1) Базирование и крепление пластины, а также её форма, должны минимизировать значения опасных напряжений растяжения  $\sigma_1$  на режущей кромке;
- 2) Чтобы повысить надежность крепления режущей пластины в корпусе сборного инструмента, инструментальные системы таких инструментов необходимо проектировать таким образом, чтобы усилие, возникающее при закреплении пластины, совпало по направлению с результирующей силой, возникающей в процессе резания;
- 3) С целью увеличения производительности обработки корпусных деталей, снижения трудоемкости их изготовления и себестоимости следует применять прогрессивную и высокоэффективную схему плунжерного сверления.

#### Список литературы / References

1. Артамонов, Е.В. Расчет и проектирование сменных режущих пластин и сборных инструментов / Е.В. Артамонов, Т.Е. Помигалова, М.Х. Утешев – Тюмень: ТюмГНГУ, 2011 – 152 с.
2. Артамонов Е.В. Повышение работоспособности сменных режущих пластин сборных инструментов / Е.В. Артамонов, М.О. Чернышов, Т.Е. Помигалова, Д.В. Васильев // СТИН – 2014. – №7 – 19-21 с.
3. Артамонов Е.В. Повышение работоспособности сборных сверл со сменными режущими пластинами/ Е.В. Артамонов, М.О. Чернышов, Т.Е. Помигалова // СТИН – 2016. – №10 – 14-17 с.
4. Пат. № 2539255 Российская федерация, МПК В23В 51/00. Сборное сверло с режущими пластинами / Е.В. Артамонов, М.С. Остапенко, М.О. Чернышов; заявитель и патентообладатель Тюменский государственный нефтегазовый университет (RU). - № 2013155436; заявл. 12.12.2013; опубл. 20.01.2015 ; Бюл. № 2.

#### Список литературы на английском языке / References in English

1. Artamonov E.V. Raschet i proektirovanie smennih resjushih plastin i sbornih instrumentov [Calculation and design of interchangeable inserts, and assorted tools] / E.V. Artamonov, T.E. Pomigalova, M.H. Uteshev - Tyumen: TSOGU, 2011 - 152 p. [in Russian]
2. Artamonov E.V. Povishenie rabotosposobnosti smennih resjushih plastin sbornih instrumentov [Improving performance indexable inserts assorted tools] / E.V. Artamonov, M.O. Chernyshov, T.E. Pomigalova, D.V. Vasilyev // STIN - 2014. - №7 - 9-21 p. [in Russian]
3. Artamonov E.V. Povishenie rabotosposobnosti sbornih sverl so smennimi resjushimi plastinami [Increasing efficiency of modular drills with indexable inserts] / E.V. Artamonov, M.O. Chernyshov, T.E. Pomigalova // STIN - 2016. - №10 - 14-17 p. [in Russian]
4. Pat. Number 2539255 Russian Federation, IPC V23V 51/00. Sbornoe sverlo s resjushimi plastinami [Prefabricated drill with cutting inserts] / EV Artamonov, MS Ostapenko, MO Chernyshov; the applicant and the patentee Tyumen State Oil and Gas University (RU). - № 2013155436; appl. 12/12/2013; publ. 01/20/2015; Bull. Number 2. [in Russian]

DOI: 10.18454/IRJ.2016.54.065

Шаповалов Д.С.<sup>1</sup>, Степанов А.М.,<sup>2</sup> Черников А.В.<sup>3</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-003-3498-686, Кандидат технических наук,<sup>2</sup>ORCID: 0000-002-9583-0132, доктор медицинских наук, профессор,

Научно-исследовательский институт Экологии Человека и Гигиены Окружающей среды им. А.Н. Сысина,

<sup>3</sup>ORCID: 0000-0002-9875-0023, доцент, Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова

# РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В ПРИСУТСТВИИ ИСТОЧНИКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ И МАССИВОВ ВОДЫ

## Аннотация

Проблема памяти воды и возможность записывать в воде состояние окружающей среды до сих пор не имеет единого мнения. Все происходящие в живых организмах процессы идут при активном участии воды, которая находится в состоянии структурированной жидкокристаллической системы и вместе с органическими молекулами создает матрицу со свойствами жидкого квазикристалла [1]. Изменение в этой матрице обеспечивает хранение, передачу и преобразование биологической информации, что во многом определяет состояние всей биосистемы в целом.

Молекулы H<sub>2</sub>O, частично объединенные кооперативными связями, образуют структуры достаточно устойчивые к внешним воздействиям.[2]

Однако есть данные [3], что некоторые физические поля могут изменять эти состояния без существенных затрат энергии и тем самым менять свойства воды.

В данной работе приводятся экспериментальные данные, которые на наш взгляд связаны с данной проблемой.

**Ключевые слова:** голография, структура воды

Shapovalov D.S.<sup>1</sup>, Stepanov A.M.<sup>2</sup>, Chernikov A.V.<sup>3</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-003-3498-686, PhD in Engineering,<sup>2</sup>ORCID: 0000-0002-9583-0132, MD, Professor,

Scientific-Research Institute of Human Ecology and Gigenes Environment im.A.N.Sysina,

<sup>3</sup>ORCID: 0000-0002-9875-0023, Associate Professor,

Moscow sovereigns-governmental named MV University Lomonosov

# DISTRIBUTION OF SPATIALLY INHOMOGENEOUS ELEKTROMAGNITNOGO FIELD IN THE PRESENCE OF THE SOURCE OF ELECTROMAGNETIC FIELD AND WATER MASSIFS

## Abstract

The problem of water storage and the ability to record the state of the environment in the water still does not have a single opinion. Everything that happens in living organisms, the processes are with the active participation of water, which is in a state of a structured liquid-crystal system and together with organic molecules creates a matrix with the properties of liquid quasicrystal [1]. The change in the matrix provides the storage, transfer and transformation of biological information, which largely determines the condition of the entire biosystem as a whole.

H<sub>2</sub>O molecule, partially United cooperative relations, forming a structure quite resistant to external influences.[2]

However, there is evidence [3] that some physical field can change these conditions without significant expenditure of energy and thereby change the properties of water.

In this paper experimental data are presented, which in our opinion are associated with this problem.. In this paper, we present experimental data that we believe are related to this issue.

**Keywords:** holography, structure of water.

## Описание эксперимента.

В физике существует целое направление-голография, где необходимыми атрибутами являются запись э/м поля и сохранение этой записи - память. В качестве необходимых компонент всегда присутствуют источник излучения не обязательно монохроматичный, объект на который осуществляется запись и объект записи. В наших экспериментах источником электромагнитного поля был импульсный генератор с индуктивной нагрузкой в виде катушки Тесла со специальным наполнителем; в большом массив воды записывалась голограмма, объект записи пробники с водой, расположенные вокруг ёмкости. Основой записи голограмм являются интерференционные матрицы, которые фиксируются в среде и по которым восстанавливаются поля, образованные суперпозицией опорного и объектного волнового фронта. В пространстве, где интерферируют поля, образуются стоячие волны, они всегда присутствуют при восстановлении голограммы. Распределение неоднородностей поля проводилось путём измерения pH в пробниках, расположенных в разных точках относительно большого объёма воды (10-20) л. При этом постулировалось, что разные pH в точках измерения определяются разными полями. В точках, где предполагалось проводить измерения располагались пробники и в течении двух недель в них замерялось pH.

Последующие эксперименты проводились при условии одинаковости и неизменности pH во всех контрольных точках. Предварительно вода в ёмкости (10-20) л обрабатывалась генератором, изменение pH во время обработки показано на рис 1.

Все измерения pH проводились стандартным прибором фирмы Аквилон – pH 410 с точностью измерения 0,01. Характер кривой показывает, что в воде должны быть кооперативные связи, которые под действием поля могут менять своё состояние. Кроме того, учитывая, что магнитная составляющая поля генератора мала (0,5 земного поля) это предполагает наличие магнитного момента в кооперативных структурах воды, что согласуется с работой [1]. Необходимым условием существованием голограммы является образование интерференционной картины и как следствие образование пучностей поля в пространстве.

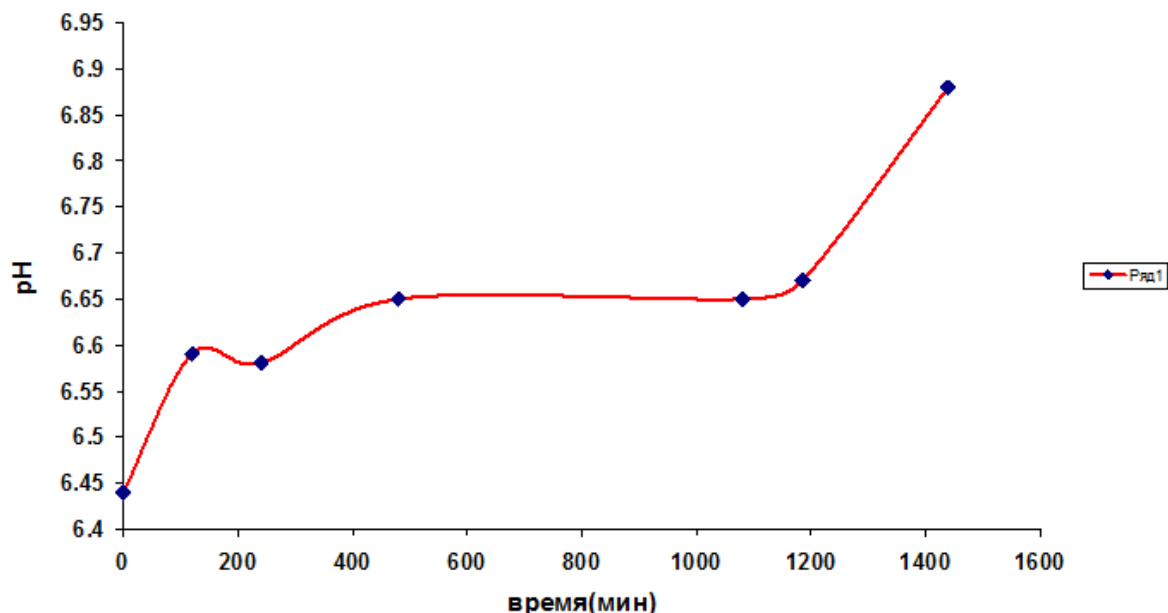


Рис. 1 – Распределение pH при обработке генератором

Первые эксперименты (рис. 2) показали, что распределение pH в пробниках в зоне действия генератора образуют пучности  $P_h$ , которые связаны с полем. При восстановлении голограмм необходимо, чтобы опорный луч попадал на зону пространства, где она записана, в нашем случае объём воды 10л.

Для проверки этой возможности был проведен следующий эксперимент. Рядом с ёмкостью 10 л устанавливался пробник с водой, который отсекался защитным экраном от прямого действия поля генератора и оставлял возможность воде, которая наливалась в ёмкость 10л, воздействовать на воду в пробнике.

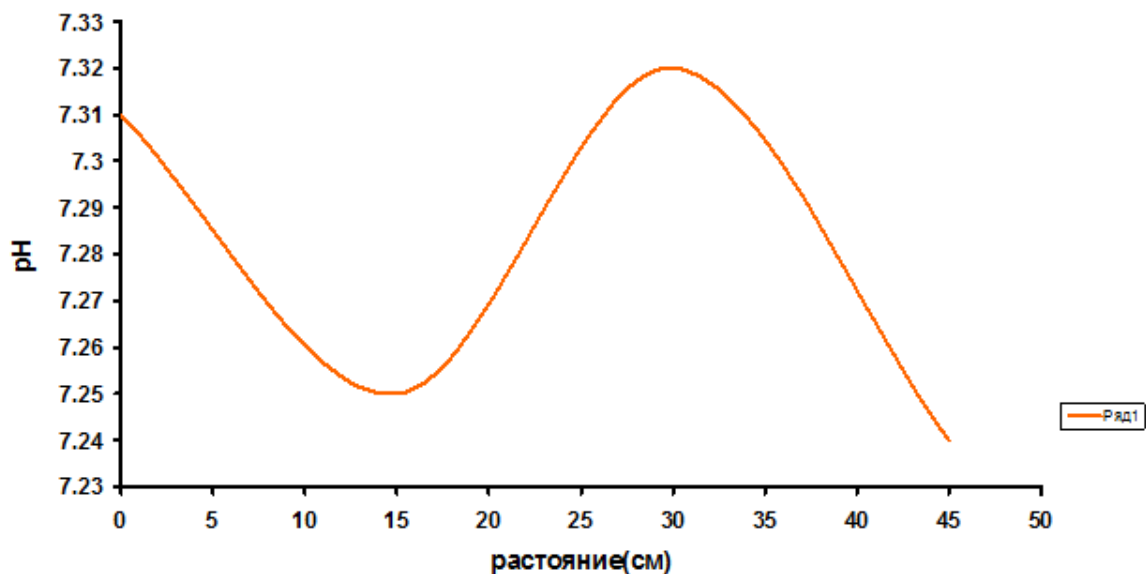


Рис. 2 – Распределение pH по расстоянию от прибора через 12 часов после обработки (pH = 6,83)

На рис. 3. показаны схема такого эксперимента. Перед экспериментом вода в ёмкости обрабатывалась генератором, проверялась экранировка электромагнитного поля и измерялось pH в пробнике.

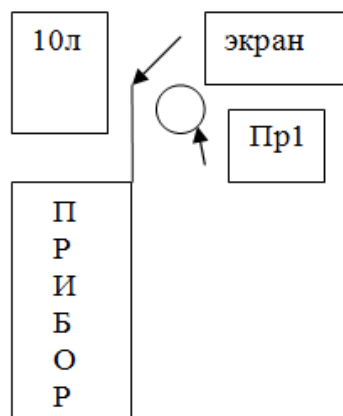


Рис. 3 – Установка пробников и генератора относительно емкости 10 л

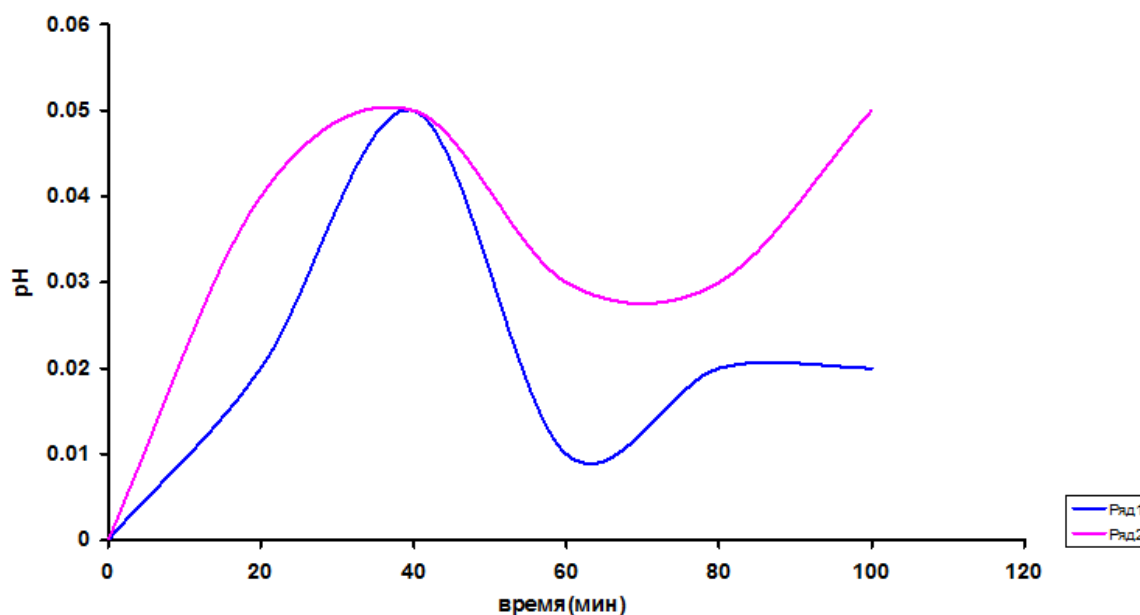


Рис. 4 – Изменение pH в пробнике при наличии экрана и без него

Красная линия соответствует изменению pH в пробнике с экраном, синяя без него. Эти случаи отличаются тем, что с экраном опорное поле попадает на записанную голограмму, а без него нет, то есть с экраном голограмма есть, без него - нет. Это полностью согласуется с требованием восстановления голограмм. Такой вид кривых возможен в случае, когда часть энергии поля от источника переизлучается водой из ёмкости 10л точно с такими же характеристиками (частота, амплитуда) но в другой фазе. Для такого подтверждения роли воды была выбрана схема (Рис 5). По этой схеме проводились измерения в пробниках при работающем генераторе в двух вариантах с водой в ёмкости 0 л и без воды. Графики измерений показаны на рис. 6, рис. 7, рис. 8. Предварительно вода в ёмкости обрабатывалась генератором.

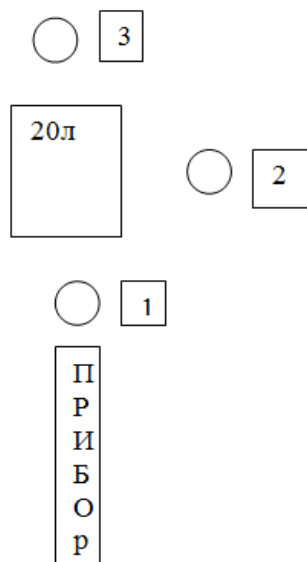


Рис. 5 – Схема расположения пробников и генератора относительно емкости 20 л

Предыдущие эксперименты, позволили спрогнозировать характер изменения Ph в точках 1,2,3 относительно случаев ёмкость с водой и без воды, в предположении, что запись голограммы происходит за счёт изменения локального показателя преломления воды, что должно быть связано с изменением фазы волнового фронта восстановленного опорным сигналом. В точке 1 восстановленная волна должна приходить в противофазе, волновой вектор повернут на 180 градусов, поэтому суммарное поле уменьшается, а значит уменьшается изменение Ph. В точке 2 опорный сигнал не проходит через ёмкость с водой и восстановленная волна не образуется, поэтому не должна существовать разница между случаем ёмкость с водой без воды. В точке 3 направление восстановленной волны и опорного сигнала совпадают, поэтому поля суммируются, и изменение Ph увеличивается.

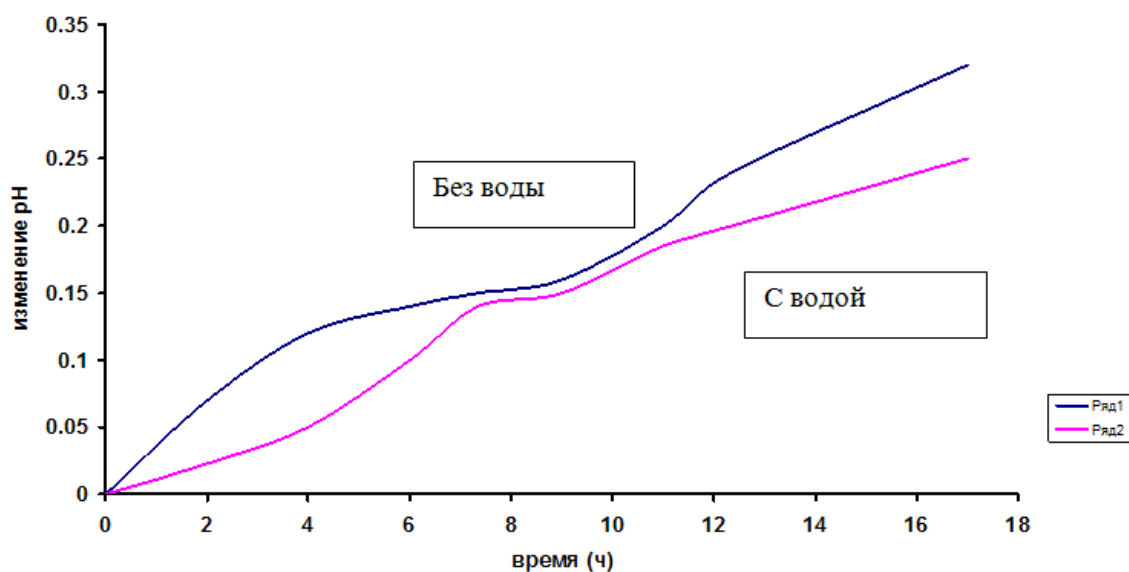


Рис. 6 – Изменение pH в точке 1

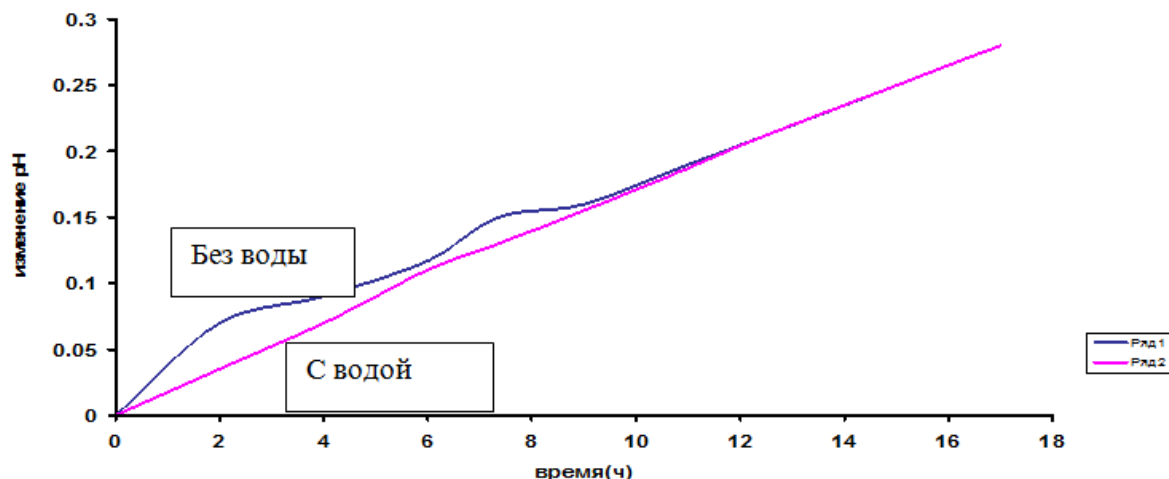


Рис. 7 – Изменение pH в точке 2

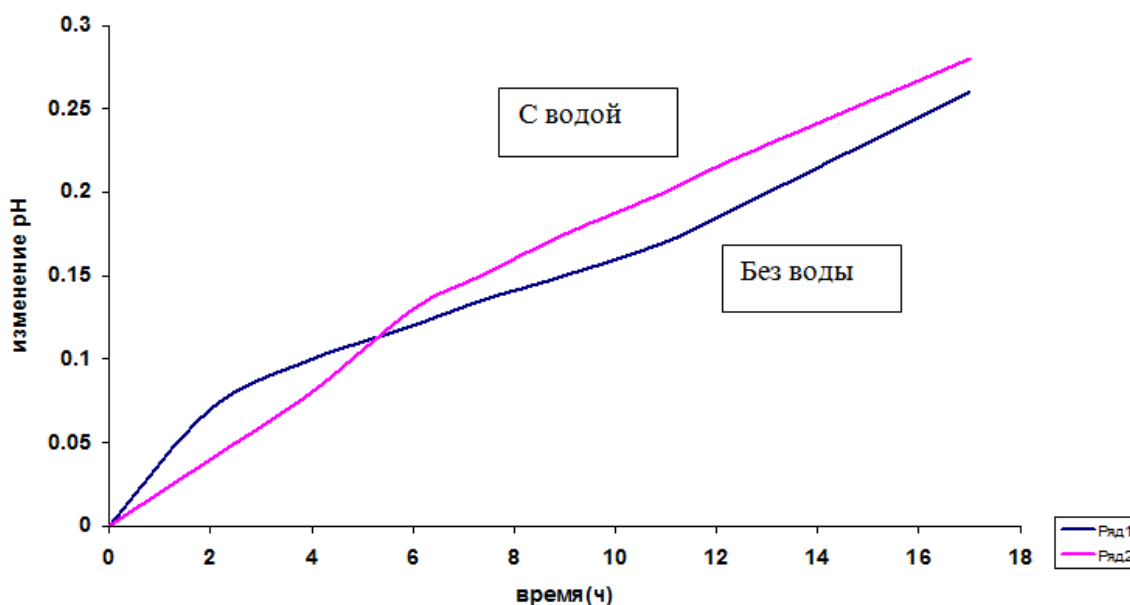


Рис. 8 – Изменение pH в точке 3

### Обсуждение результатов

Характер кривых на рис. 6, рис. 7 и рис. 8 подтверждают, что наличие воды в ёмкости меняет распределение Ph в точках измерения, а значит и электроагнитного поля, создающие эти изменения. Следует заметить, что на всех кривых возникает особая точка, в которой скорость изменения кривых меняется, в этот момент времени начинается изменения в воде, в соответствии с рис. 1, что и проявляется в этих изменениях. Если ёмкость с водой всю закрыть фольгой, то все выше перечисленные эффекты исчезают и все точки перед передней полусферой ведут себя так, как будто ёмкость с водой отсутствует.

Это соответствует тому, что голографическое восстановление волнового фронта электромагнитного поля требует записи опорного и рассеянного поля, а точнее интерференционной картины, которую они образуют на носителе, с которого воспроизводится голограмма. Наличие самого эффекта допускает наличие памяти воды.

Эта память может формироваться в структурах воды при первоначальной обработке воды, записывая интерференционную картину от опорного поля и рассеянного излучения и при повторном облучении воспроизводить его в окружающую среду. Существует ещё одна проблем, которая казалось, не согласуется с голографической интерпретацией, обычно в голографии используется монохроматические источники (лазеры), но по теории созданной Габором таких ограничений нет [4].

### Заключение

В данной работе решалась прямая задача классической голографии, где требовалось задавать атрибуты объектов (источник поля, систему записи, систему восстановления), чтобы получить голограмму и требовалось доказать, что наблюдаемые эффекты по измерению Ph связаны с суперпозицией поля генератора и голограммы, создаваемой объёмом воды. Было показано (рис.1), что ступенчатый характер изменения Ph предполагает наличие кооперативных связей в воде. Изменение Ph в пространстве вокруг ёмкости однозначно связано с наличием или отсутствием воды в ёмкости. Экранировка генератора и частичная экранировка ёмкости показала, что в каждой точке измерения присутствует поле такое же, как поле генератора, но модулированное по фазе. Модуляция по фазе определяется пространственной модуляцией показателя преломления в объёме воды. Всё это указывает на то, что это поле является

голограммой поля генератора восстановленного в объеме воды локальными изменениями показателя преломления воды, которые возникают в воде при первичной обработке генератором, а потом сохраняются в процессе экспериментов. Это означает, что вода может обладать памятью и структурами, где она реализуется. Схема эксперимента была организована таким же образом как классическая схема создания голограммы.

#### Список литературы / References

1. Зенин С.В. Водная среда как информационная матрица биологических процессов / С.В. Зенин // Тезисы докладов Первого Международного симпозиума «Фундаментальные науки и альтернативная медицина» 22-25 сентября 1997г. – Пушино. - 1997. – С. 12 -13
2. Зенин С.В. Гидрофобная модель структуры ассоциатов молекул воды / С.В.Зенин //Журнал физической химии.- 1994. - Т. 68. – С.634-641
3. Акимов А.Е., Курик М.В., Тарасенко В.Я. Влияние спинорного (торсионного) поля на процесс кристаллизации мицеллярных структур / А.Е.Акимов, М.В.Курик, В.Я.Тарасенко //Биотехнология. – 1991. - №3
4. Кольер Р., Беркхард К., Лин Л. Оптическая голография / Р.Кольер, К.Беркхард, Л.Лин. – М.: Издательство Мир. – 1973. – 698 с.

#### Список литературы на английском языке / References in English

1. Zenin S.V. Vodnaja sreda kak informacionnaja matrica biologicheskikh processov [Water environment as the information matrix of biological processes] / Zenin S.V. // Pervyj Mezhdunarodnyj simpozium "Fundamental'nye nauki i al'ternativnaja medicina". 22-25 sentjabrja 1997 g. Tezisy dokladov. Pushhino [First international Symposium "Fundamental Sciences and alternative medicine". 22-25 September 1997. Abstracts. Pushchino]. – 1997. – P. 12 – 13. [in Russian]
2. Zenin S.V. Gidrofobnaja model' struktury associatov molekul vody [The hydrophobic structure of the associates of the water molecules] / Zenin S.V. // Zhurnal fizicheskoy himii [Journal of physical chemistry]. – 1994. – V. 68. - P. 634 – 641. [in Russian]
3. Akimov A.E., Kurik M.V., Tarasenko V.Ja. Vlijanie spinornogo (torsionnogo) polja na process kristallizacii micelljarnyh struktur [The effect of spinor (torsion) field on crystallization of micellar structures] / Akimov A.E., Kurik M.V., Tarasenko V.Ja. // Biotehnologija [Biotechnology]. – 1991. - №3. [in Russian]
4. Kol'er R., Berkhart K., Lin L. Opticheskaja golografija [Optical holography]. – M.: Izdatelstvo «Mir». - 1973. – P. 450. [in Russian]

DOI: 10.18454/IRJ.2016.54.104

Швецов И.В.<sup>1</sup>, Алейникова М.А.<sup>2</sup>, Зубарев Ю.М.<sup>3</sup>, Никуленков О.В.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>ORCID: 0000-0003-3668-307X, доктор технических наук,

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого

<sup>2</sup>кандидат технических наук, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

<sup>3</sup>доктор технических наук, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

<sup>4</sup>ORCID: 0000-0002-9723-0659 кандидат технических наук,

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого

#### ВОПРОСЫ ДИНАМИКИ И УПРАВЛЕНИЯ ПРИ ЧИСТОВОЙ ОБРАБОТКЕ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ

##### Аннотация

Для проектирования машин и назначения оптимальной схемы лечения необходимо выполнять динамические качества упругой системы станка на основе имитационного моделирования технологической системы в процессе резания. При чистовой обработке корпусных деталей в ряде случаев возникают проблемы, связанные с недостаточно высоким динамическим качеством упругой системы станка, так как обрабатываемая заготовка обладает, как правило, достаточно высокой жесткостью. Имитационное моделирование позволяет получить достоверные качественные и количественные характеристики моделируемого процесса. В статье дано математическое описание динамической модели фрезерный станок с учетом основных механизмов процесса возбуждения в многопрофильной процессинговой.

**Ключевые слова:** чистовая обработка, динамика, управление, корпусная деталь.

Shvetsov I.V.<sup>1</sup>, Aleynikov M.A.<sup>2</sup>, Zubarev Y.M.<sup>3</sup>, Nikulenkov O.V.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>ORCID: 0000-0003-3668-307X, PhD in Engineering, Novgorod state University named after Yaroslav the Wise

<sup>2</sup>PhD in Engineering, Saint-Petersburg State Polytechnic University Peter The Great

<sup>3</sup>PhD in Engineering, Saint-Petersburg State Polytechnic University Peter The Great

<sup>4</sup>ORCID: 0000-0002-9723-0659 PhD in Engineering, Novgorod state University named after Yaroslav the Wise

#### THE PROBLEMS OF DYNAMICS AND CONTROL WHEN FINISHING OF BODY PARTS

##### Abstract

For designing machines and purpose the optimal treatment regimens need to perform dynamic quality of the elastic system of the machine on the basis of imitating modeling of technological systems during the cutting process. When finishing of body parts in some cases, problems arise with a high enough dynamic quality of the elastic system of the machine, as the workpiece has, as a rule, sufficiently high rigidity. The simulation modeling allows to obtain reliable qualitative and quantitative characteristics of the process being modeled. In the article the mathematical description of the dynamic model of milling machine taking into account the main mechanisms of the excitation process in multi processing.

**Keywords:** finishing, dynamics, management, case detail.



При чистовой обработке корпусных деталей возникают проблемы, связанные с недостаточно высоким динамическим качеством упругой системы станка в связи с высокой жесткостью обрабатываемой заготовки. Оптимальное проектирование станков и назначение рациональных технологических режимов могут быть выполнены в ходе решения задачи имитационного динамического моделирования технологической системы станка в процессе резания [1,2]. Непрерывный рост числа типов станков ставит задачу поиска новых методов их создания при наименьших затратах на проектирование и изготовление. Известно, что достижение этой цели определяет решение задач:

- устранения существующего конструктивного разнообразия одинаковых по служебному назначению станков;
- разработки технологически обоснованных размерных и технических характеристик станков;
- разработки технологически обоснованного ограниченного числа базовых компоновок станков и их специализированных модификаций с учетом первоочередного освоения наиболее применяемых компоновок;
- разработки ограниченного комплекта узлов и агрегатов, обеспечивающих гибкую систему проектирования станков с учётом разнообразных компоновочных требований;
- ускорения разработки и изготовления станков на основе создания технологической системы подготовки конструирования, обеспечивающей решение указанных выше задач, а также формирование структуры выпуска станков по служебному назначению и организации их комплектации с использованием отработанных конструкций узлов и агрегатов и метода построения станков на их базе;
- повышения производительности и точности обработки вследствие применения прогрессивной инструментальной и технологической оснастки;
- разработки технологической системы подготовки производства, обеспечивающей эффективную эксплуатацию станков у потребителей;
- сокращения организационных издержек при изготовлении узлов и агрегатов станков в целом;
- повышения технического уровня станков за счёт обоснованных технических характеристик, разумного уровня автоматизации, прогрессивных технических решений и отработки конструкций.

Полная динамическая модель металлорежущего станка в задачах имитационного моделирования описывается следующей системой.

По циклическим координатам

$$J_{jnp}\ddot{\phi}_j = M_{gj} - M_{cj}; j=1, S \quad (1)$$

где  $\ddot{\phi}_j$  - угол поворота вала двигателя j-го привода;  $J_{jnp}$  - приведенный момент инерции j - го привода;  $M_{gj}$  - движущий момент j - го двигателя;  $M_{cj}$  - приведенный момент сопротивления на j - м приводе; S - число одновременно работающих приводов.

По упругим деформациям приводов:

$$\ddot{\theta}_j^* + 2n_j^*\dot{\theta}_j^* + \omega_j^{*2}\theta_j^* = k_{gj}^*M_{gj} - k_{cj}^*M_{cj}, \quad (2)$$

где  $\theta_j^*$  - вектор-столбец нормальных координат j-го привода;  $n_j^*$  - диссипативная матрица j-го привода,  $n_j^*$  - диагональная матрица квадратов собственных частот j-го привода;  $k_{gj}^*, k_{cj}^*$  - векторы-столбцы, характеризующие приведение момента двигателя и момента сопротивления к нормальным координатам.

По колебаниям шпиндельного узла:

$$\ddot{y}_{ш}^* + 2n_{ш}^*\dot{y}_{ш}^* + \omega_{ш}^{*2}y_{ш}^* = y_p^*P_p^* + k_{ш}^*P_{ш}^*, \quad (3)$$

где  $y_{ш}^*$  - вектор нормальных координат, характеризующий поперечные колебания шпинделя;  $n_{ш}^*$  - диссипативная матрица шпиндельного узла;  $\omega_{ш}^{*2}$  - матрица квадратов собственных частот шпиндельного узла;  $P_p^*$  - вектор сил резания;  $P_{ш}^*$  - вектор движущих сил;  $k_p^*$  и  $k_{ш}^*$  - матрицы, характеризующие приведение усилий резания или усилий движущих к нормальным координатам шпиндельного узла.

По колебаниям несущих систем:

$$\begin{aligned} \ddot{\eta}_{\delta}^* + 2n_{\delta}^*\dot{\eta}_{\delta}^* + \omega_{\delta}^{*2}\eta_{\delta}^* &= \bar{k}_{ш}^*R_{ш}^* + \bar{k}_p^*P_p^* + \\ &+ \sum_{i=1}^S (k_{ni}^*Q_i + k_{Ri}^* \cdot R_{ni}^* + k_{g\delta}^*M_{gi}), \end{aligned} \quad (4)$$

где  $\eta_{\delta}^*$  - вектор нормальных координат несущей системы;  $n_{\delta}^*$  - диагональная диссипативная матрица,  $\omega_{\delta}^{*2}$  - диагональная матрица квадратов собственных частот;  $k_{ш}^*, \bar{k}_p^*, k_{ni}^*, k_{Ri}^*, k_{g\delta}^*$  - матрицы приведения векторов реакций соответствующих подсистем к нормальным координатам несущей системы, а именно:  $\bar{k}_{ш}^*, R_{ш}^*$  -

шпиндельной бабки;  $k_{ni}^*, Q_i$  - для усилия подачи  $i$ -го работающего привода;  $k_{Ri}^*, R_{ni}^*$  - для опорных реакций  $i$  - го работающего привода;  $k_p^*, P_p^*$  - для сил резания;  $k_{g\delta}^*, M_{gi}$  - для момента  $i$  - го двигателя.

Переходим к описанию динамических процессов в приводах. При этом удобно использовать описание структурных схем через передаточные функции.

Электромагнитный момент  $j$ -го двигателя определяется соотношением

$$M_{gj} = C_{Mj} I_{gj} \Phi_j, \quad (5)$$

где  $C_{Mj}$  - постоянная момента  $j$  - го двигателя;  $I_{gj}$  - ток якоря  $j$  - го двигателя;  $\Phi_j$  - магнитный поток  $j$  - го двигателя. Для типичных структурных схем приводов тяжелых приводов тяжелых металлорежущих станков запишем выражения для тока и потока в изображениях по Лапласу:

$$\begin{aligned} \bar{I}_{gj} &= W_{gj}^{(3)}(P) \bar{U}_{з.я.j} + W_{ogj}^{(v)}(P) \bar{y}_{oj} + \\ &+ W_{ogj}^{(w)}(P) \bar{y}_{ogj} + f_{gj}(P, \bar{I}_{gj}, \bar{\Phi}_j, \bar{y}_{oj} \dots). \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \bar{\Phi}_j &= W_{\Phi j}^{(3)}(P) \bar{U}_{з.я.j} + W_{ogj}^{(s)}(P) \bar{y}_{ogj} + W_{ogj}^{(v)}(P) \bar{y}_{ogj} + \\ &+ W_{ogj}^{(w)}(P) \bar{y}_{ogj} + f_{ej}(P, \bar{\Phi}_j, \bar{y}_{ogj} \dots), \end{aligned} \quad (7)$$

где  $\bar{I}_{gj}$  - изображение тока якоря  $j$  - го двигателя;  $\bar{U}_{з.я.j}$  - изображение задающего напряжения на якоре  $j$  - го привода;  $\bar{y}_{ogs}, \bar{y}_{ogj}, \bar{y}_{ogj}$  - изображения сигналов обратной связи в якорном контуре  $j$  - го привода соответственно по положению, скорости, ускорению;  $W_{gj}^{(3)}(P)$  - передаточная функция якорного контура  $j$  - го привода;  $W_{ogj}^{(s)}(P), W_{ogj}^{(v)}(P), W_{ogj}^{(w)}(P)$  - передаточные функции якорной цепи  $j$  - го привода по положению, скорости, ускорению соответственно;  $f_{gj}$  - функция, характеризующая нелинейности в якорной цепи  $j$  - го привода;  $\bar{\Phi}_j$  - изображение потока возбуждения  $j$  - го привода.

Сигнал датчика обратной связи имеет вид:

$$\dot{y}_{ogj} = \dot{\phi}_j + \sum d_{ij} \dot{n}_i. \quad (8)$$

Для замыкания математического описания системы необходимо ввести в модель динамическую характеристику силы резания. Ограничиваясь случаем чистового фрезерования и вводя пространственную нестационарную модель процесса фрезерования, приведем динамическую характеристику в виде

$$T(\omega) \dot{P}_p^* + \left[ KP_o^*(\omega) + \sum_{i=1}^M \delta_i K_{pi}^*(\omega) \right] P_p^* = -k^* E^*(\omega) \Delta, \quad (9)$$

где  $\omega$  - угловая скорость шпинделя;  $T$  - квадратная матрица третьего порядка, элементы которой характеризуют запаздывание соответствующих компонентов вектора  $P_p^*$ ;  $\delta_i$  - дельта-функция, которая характеризует удар при

входе или выходе зуба из зоны резания;  $M$  - число зубьев фрезы;  $\Delta$  - вектор деформаций;  $k^*$  - коэффициент резания, характеризующий свойства обрабатываемого материала и размеры зоны резания.

Соотношение (9) учитывает все основные механизмы возбуждения в процессе многолезвийной обработки, а именно: квазистатическое возмущение, связанное с изменением толщины срезаемого слоя; ударное внешнее возмущение, связанное с входом и выходом зубьев из зоны резания; запаздывание силы резания относительно изменения толщины срезаемого слоя; возмущение по следу; ударный характер условий формирования динамической силы резания. Все соотношения образуют замкнутую математическую модель управляемой системы станка в процессе резания, а их анализ на стадии проектирования позволяет прогнозировать доведение объекта в условиях реальной работы.

#### Список литературы / References

1. Вейц В.Л., Максarov В.В., Схиртладзе А.Г. Резание материалов. - СПб.: СЗТУ, 2002.-232с.
2. Вейц В.Л., Максarov В.В. Динамика технологических систем механической обработки резанием: Монография в 5-ти частях. Ч.1: Схематизация процессов в технологических системах механической обработки. - СПб.: ПИМаш, 2001.-184 с.

#### Список литературы на английском языке / References in English

1. Weitz V.L., Maksarov V.V., Skhirtladze A.G. Rezanie materialov [Cutting of materials]. - SPb.: SZTU, 2002.-232 p.
2. Weitz V.L., Maksarov V.V. Dinamika tehnologicheskikh sistem mehanicheskoy obrabotki rezaniem: Monografiya v 5-ti chastyah. Ch.1: Shematizatsiya processov v tehnologicheskikh sistemah mehanicheskoy obrabotki [Dynamics of technological systems of mechanical processing by cutting: The monograph is 5 parts. Part 1: Schematization of the processes in the technological system of mechanical processing]. - SPb.: PIMash, 2001.-184 p.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.54.133

Ширяев А.С.<sup>1</sup>, Калимуллин А.Т.<sup>2</sup>, Ткаченко В.А.<sup>3</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-0002-1633-0771, аспирант, <sup>2</sup>ORCID: 0000-0002-6545-5407 аспирант,<sup>3</sup>студент, Омский Государственный Технический Университет**АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПЛЕКСНОГО ВВОДА МЕРОПРИЯТИЙ В ЗАДАЧАХ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ БЕЗ УЧЁТА ТЕМПЕРАТУРЫ ЭЛЕМЕНТОВ СЕТИ****Аннотация**

В данной статье рассмотрен выбор мероприятий по снижению потерь энергии на основании комплексного подхода к их внедрению. Из результатов расчёта видно, что данный подход позволяет наиболее эффективно воздействовать на основные показатели эффективности эксплуатации режима электрической сети и определить оптимальные способы внедрения данных мероприятий. Полученные результаты и метод, использовавшийся в данной статье, целесообразно адаптировать для реальных электрических схем с большим объёмом исходных данных, а также для расчёта оптимальных критериев ввода.

**Ключевые слова:** минимум приведённых затрат, сроки окупаемости, комплекс мероприятий по снижению потерь активной мощности, компенсация реактивной мощности.

Shiryaev A.S.<sup>1</sup>, Kalimullin A.T.<sup>2</sup>, Tkachenko V.A.<sup>3</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-0002-1633-0771, postgraduate student, <sup>2</sup>ORCID: 0000-0002-6545-5407, postgraduate student,<sup>3</sup>student, Omsk State Technical University**THE EFFICIENCY ANALYSIS OF COMPLEX MEASURES IN THE REDUCTION OF THE POWER LOSSES VALUE TASKS WITHOUT TEMPERATURE DEPENDS****Abstract**

In this article selection of measures based on the complex measures aimed on reduction of the power losses value are considered. From the calculation results show that this approach allows for the most effective impact on the main characteristics of the operational efficiency of the electric network and determine the effective methods of implementation of these ways. Obtained results and method, which used in this article, should be adjust for practically electric network with a large number of starting data. So it is need for calculate the optimal input criteria.

**Keywords:** minimum of reduced cost, payback period, the complex measures aimed on reduction of the power losses value, reactive power compensation.

В электрических распределительных сетях, напряжением 6 (10) кВ для энергоснабжающих организаций актуальна задача поиска и внедрения мер, направленных на оптимизацию основных экономических показателей эффективности эксплуатации электрической сети, такими являются *потери активной мощности, энергии* и поиска оптимальных путей реализации данных мероприятий – *сроков окупаемости и приведённых затрат*. Наиболее оптимальным мероприятием по снижению потерь электрической энергии в электрических сетях необходимо считать то мероприятие, в котором определён минимум приведённых затрат и сроки окупаемости удовлетворяют нормативным требованиям. В настоящее время наиболее распространёнными мерами по снижению потерь электрической энергии являются компенсация реактивной мощности 0,4 и 10 кВ, замена провода на провод большего сечения и замена недогруженных и (или) перегруженных трансформаторов. В настоящее время мероприятия рассматриваются изолированно друг от друга, однако, для повышения точности расчёта определения оптимального мероприятия можно выделить два способа, рассматривать комплекс мероприятий в их взаимосвязи с учётом температурных режимов элементов сети. В настоящей статье рассматривается только первый способ повышения точности расчёта оптимального мероприятия.

В реальных условиях, в которых присутствует большое число потребителей, задача поиска внедрения управляющего воздействия усложняется из-за наличия большого объема информации о параметрах схемы, режима электрической сети и постоянно изменяющегося во времени графика нагрузки. В связи с этим, в настоящей статье рассмотрена простейшая схема электроснабжения и на основании данной схемы определён оптимальный путь внедрения мероприятий по снижению потерь энергии. Рассмотрим данный пример на простейшей схеме, представленной на рисунке 1.

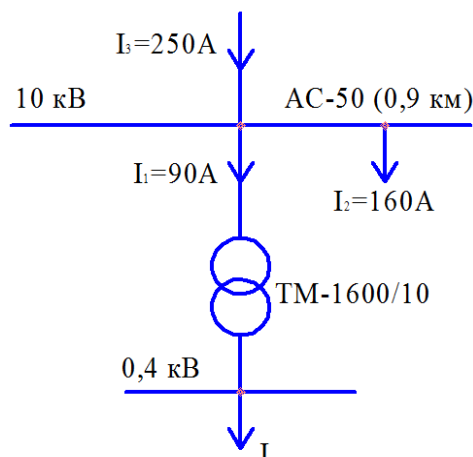


Рис.1 – Расчётная схема

Таблица 1 – Исходные данные для линий [1][2].

Марка провода	Длина линии, км.	$R_{л20}^{\circ C}$ , Ом/км	$I_{доп}$ , А	$I$ , А	Средняя цена, руб*м	Цена, руб
АС-50	0,9	0,000595	210	250	42	37800
СИП-3 1х70		0,000493	310	250	60	54000

Таблица 2 – Исходные данные для трансформаторов [3][4] [5].

Марка трансформатора	S, МВА	U, В	$\square P_{кз}$ , кВт	$\square P_{хх}$ , кВт	Цена, руб.
ТМ-1600/10	1600	10	18	2,35	760000
ТМ-2500/10	2500		26,5	3,85	1110000

Произведём расчёт параметров режима до компенсации и после компенсации реактивной мощности.

Таблица 3 – Исходные данные и расчёт параметров режима до и после компенсации реактивной мощности.

Параметр режима	Значение параметра до компенсации	Значение параметра после компенсации
$I_1$	90 А	77 А
$I_2$	160 А	136 А
$I_3$	250 А	213 А
$S_1$	1324+j821	1324+j121
$S_2$	2355+j1460	2355+j260
$S_3$	3680+j2281	3679+j381
$\cos \square$	0,85	0,99

Поскольку в статье целью является получить максимальный эффект от внедрения мероприятия, в частности компенсация реактивной мощности, то данные процессы в некоторой степени считаются идеализированными, а именно, после компенсации  $\cos \phi = 0,99$ .

Таблица 4 – Параметры БСК [6] [7].

U, кВ	Тип БСК	$Q_{потр.}$ , квар.	$Q_{к.у.}$ , квар.	Стоимость БСК, руб.
0,4	БСК УKM58-0,4-700-50У3	821	700	248000
10	6 КЭПЗ-10,5-200-3У3	1460	1200	149205

Сроки окупаемости существенно зависят от разности потерь энергии в исходном режиме и после внедрения мероприятий, а приведённые затраты от уровня потерь энергии после мероприятий. Следовательно, необходимо рассмотреть те случаи, в которых достигается максимальный уровень снижения потерь энергии. Как уже было отмечено ранее, для определения минимума приведённых затрат помимо трёх вариантов следует рассмотреть комплекс мер. В итоге получим следующие возможные комбинации:

Таблица 5 – Перечень вводимых мероприятий.

№	Намечаемые мероприятия	Кап.влож., руб.
1	Установка БСК УKM58-0,4-700-50У3	248000
2	Установка БСК 6КЭПЗ-10,5-200-3У3	149205
3	Замена провода АС-50 на СИП-3 1х70	54000
4	Замена трансформатора ТМ-1600/10 на ТМ-2500/10	1110000
5	Установка БСК УKM58-0,4-700-50У3 и 6КЭПЗ-10,5-200-3У3	397205
6	Установка УKM58-0,4-700-50У3 и замена провода АС-50 на СИП-3 1х70	302000
7	Установка БСК 6КЭПЗ-10,5-200-3У3 и замена трансформатора ТМ-1600/10 на ТМ-2500/10	1259205
8	Установка БСК 7КЭПЗ-10,5-200-3У3 и замена провода АС-50 на СИП-3 1х70	203205
9	Установка БСК УKM58-0,4-700-50У3, 6КЭПЗ-10,5-200-3У3 и замена провода АС-50 на СИП-3 1х70	451205
10	Установка БСК УKM58-0,4-700-50У3 и замена трансформатора ТМ-1600/10 на ТМ-2500/10	1358000
11	Установка БСК УKM58-0,4-700-50У3, 6КЭПЗ-10,5-200-3У3 и замена трансформатора ТМ-1600/10 на ТМ-2500/10	1507205
12	Замена провода АС-50 на СИП-3 1х70 и замена трансформатора ТМ-1600/10 на ТМ-2500/10	1164000

Окончание табл. 5 – Перечень вводимых мероприятий

№	Намечаемые мероприятия	Кап.влож., руб.
13	Замена провода АС-50 на СИП-3 1х70, замена трансформатора ТМ-1600/10 на ТМ-2500/10 и установка БСК УКМ58-0,4-700-50У3	1412000
14	Замена провода АС-50 на СИП-3 1х70, замена трансформатора ТМ-1600/10 на ТМ-2500/10 и установка БСК 6КЭПЗ-10,5-200-3У3	1313205
15	Замена провода АС-50 на СИП-3 1х70, замена трансформатора ТМ-1600/10 на ТМ-2500/10, установка УКМ58-0,4-700-50У3 и БСК 6КЭПЗ-10,5-200-3У3	1561205

Произведём расчёт параметров режима в исходном режиме и после ввода мероприятий, полученные данные сведём в таблицу 6.

Потери активной мощности в линиях и в трансформаторе без учёта температуры вычисляются по следующим формулам:

$$\Delta P_{\text{ЛЭП}} = 3 \cdot I^2 \cdot R_{20^\circ\text{C}} \cdot l, \text{ кВт} \quad (1)$$

$$\Delta P_{\text{ТРАНС}} = \Delta P_{\text{НАГР}} + \Delta P_{\text{XX}} = \Delta P_{\text{КЗ}} \cdot \left( \frac{\sqrt{3} \cdot I \cdot U_{\text{НОМ}}}{S_{\text{НОМ}}} \right)^2 + \Delta P_{\text{XX}}, \text{ кВт} \quad (2)$$

где  $I$  – ток в линии [А];

$R_{20^\circ\text{C}}$  – сопротивление линии при температуре провода  $20^\circ\text{C}$  [Ом/км];

$l$  – длина линии [км];

$\Delta P_{\text{КЗ}}, \Delta P_{\text{XX}}$  – потери активной мощности при опытах холостого хода и короткого замыкания [кВт];

$I$  и  $U$  – ток и напряжение в трансформаторе [А] и [В] соответственно. Сроки окупаемости и приведённые затраты рассчитываются следующим образом:

$$T_{\text{ОК}} = \frac{K}{(I_{\text{ИСХ}} - I_{\text{П.М.}} + C_{\text{ЭЭ}} \cdot (\Delta W_{\text{ИСХ}} - \Delta W_{\text{П.М.}}))}, \text{ год} \quad (3)$$

$$З = 0,14 \cdot K - I_{\text{П.М.}} + C_{\text{ЭЭ}} \cdot \Delta W_{\text{П.М.}}, \text{ руб.} \quad (4)$$

где

$K$  – капиталовложения [руб.];

$I_{\text{ИСХ}}, I_{\text{П.М.}}$  – издержки в исходном режиме и после ввода мероприятий [руб.];

$W_{\text{ИСХ}}, W_{\text{П.М.}}$  – Потери энергии в исходном режиме и после ввода мероприятий [кВт · ч];

$C_{\text{ЭЭ}}$  – стоимость электроэнергии [руб./кВт · ч]

$a_p=0,059$  – норма ежегодных отчислений на ремонт, обслуживание и амортизацию электрооборудования.

Для расчёта потерь энергии воспользуемся методом времени максимальных потерь:

$$\Delta W = \tau \cdot \Delta P_{\Sigma}, \text{ [кВт · ч]} \quad (5)$$

где

$\Delta P_{\Sigma}$  – суммарные потери активной мощности в элементах сети [кВт · ч];

$\tau = 5000$  – время использования максимальных потерь [ч]. В данном случае, эта величина введена с допущением, без учёта реального графика нагрузки.

Таблица 6 – Результаты расчётов ввода мероприятий

№	Кап.влож, руб.	ΣΔРЛ, кВт	ΣΔРТРАНС., кВт	ΣΔР, кВт	Сээ, руб.	Ток, год	αР	ΣΔW, кВтч	З, руб.
0	-	100,406	18,770	119,176	3,2	-	0,059	595883,9	1953899
3	54000	83,193	18,770	101,964		0,19		509821,4	1642174
2	149205	90,235	18,770	109,006		0,86		545030,1	1773788
8	203205	74,766	18,770	93,537		0,50		467685,4	1537031
1	248000	82,053	14,369	96,423		0,65		482115	1592120
6	302000	67,987	14,369	82,356		0,52		411783,4	1377805
5	397205	72,885	14,369	87,254		0,74		436273,6	1475119
<b>9</b>	<b>451205</b>	<b>55,490</b>	<b>14,369</b>	<b>69,860</b>		<b>0,59</b>		<b>349301</b>	<b>1207554</b>
4	1110000	100,406	14,385	114,792		22,42		573960,1	2057562
12	1164000	83,193	14,385	97,579		3,59		487897,6	1792908
7	1259205	90,235	14,385	104,621		6,18		523106,3	1924522

Окончание табл. 6 – Результаты расчётов ввода мероприятий

№	Кап.влож, руб.	ΣДРЛ, кВт	ΣДРТРАНС., кВт	ΣДР, кВт	Сээ, руб.	Ток, год	αР	ΣΔW, кВтч	З, руб.
14	1313205	74,766	14,385	89,152		2,91		445761,6	1687765
10	1358000	82,053	11,468	93,521		3,61		467608,5	1766589
13	1412000	67,987	11,468	79,455		2,35		397276,9	1552274
11	1507205	72,885	11,468	84,353		2,93		421767	1649588
15	1561205	55,490	11,468	66,958		1,97		334794,7	1382023

Как видно из результатов расчёта, наиболее оптимальным мероприятием является компенсация реактивной мощности 0,4 и 10 кВ – установка БСК УКМ58-0,4-700-50УЗ вместе с 6КЭПЗ-10,5-200-3УЗ и заменой провода АС-50 на СИП-3 1х70.

Для повышения точности расчёта в задачах определения наиболее оптимального выбора мероприятий на критерий приведённых затрат необходимо рассматривать комплекс мер в их взаимосвязи. На основании подхода, использовавшегося в данной статье и полученных результатов в дальнейшем целесообразно адаптировать для реальных схем электроснабжения с большим числом исходных данных, а также для расчёта основных экономических показателей эффективности эксплуатации электрической сети в режиме реального времени и с учётом температурных режимов элементов сети.

#### Список литературы / References

1. Изолированный провод СИП-3 1х50. [Электронный ресурс]. – URL: [http://ingener-electric.ru/cabel/sip/sip3\\_20\\_1x50.html](http://ingener-electric.ru/cabel/sip/sip3_20_1x50.html) (дата обращения 14.11.2016).
2. Силовой провод АС-50. [Электронный ресурс]. – URL: <http://ingener-electric.ru/cabel/sip/acm/ac50.html> (дата обращения 14.11.2016).
3. Цены на силовые трансформаторы. [Электронный ресурс]. – URL: <http://trans-ktп.ru/price/transformators> (дата обращения 14.11.2016).
4. Трансформатор ТМ-1600/10-0,4 - технические характеристики. [Электронный ресурс]. – URL: [http://sil-trans-form.ru/tm\\_1600/10-04](http://sil-trans-form.ru/tm_1600/10-04) (дата обращения 14.11.2016).
5. Трансформатор ТМ-2500/10-0,4 - технические характеристики. [Электронный ресурс]. – URL: <http://nomek.ru/TM-2500/10> (дата обращения 14.11.2016).
6. Конденсаторные установки УКМ58. [Электронный ресурс]. – URL: <http://energozapad.ru/ukm58> (дата обращения 14.11.2016).
7. Стоимость БСК КЭПЗ-10,5-200-3УЗ. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.elec.ru/viewer?url=/catalog/komplektprommaterialy/price01072008.xls> (дата обращения 14.11.2016).

#### Список литературы на английском языке / References in English

1. Izolirovanniy provod SIP-3 1x50 [Insulated wire SIP-3 1x50] [Electronic resource]. – URL: [http://ingener-electric.ru/cabel/sip/sip3\\_20\\_1x50.html](http://ingener-electric.ru/cabel/sip/sip3_20_1x50.html) (accessed 14.11.2016). [in Russian]
2. Silovoi provod AC-50 [Bare conductor AC-50] [Electronic resource]. – URL: <http://ingener-electric.ru/cabel/sip/acm/ac50.html> (accessed 14.11.2016). [in Russian]
3. Cheny na silovie transformatori [Prices for power transformers] [Electronic resource]. – URL: <http://trans-ktп.ru/price/transformators> (accessed 14.11.2016). [in Russian]
4. Transformator TM-1600/10/0,4 – technicheskie charakteristiki [Transformer OT-1600/10/0.4] [Electronic resource]. – URL: [http://sil-trans-form.ru/tm\\_1600/10-04](http://sil-trans-form.ru/tm_1600/10-04)[in Russian]
5. Transformator TM-2500/10/0,4 – technicheskie charakteristiki [Electronic resource]. – URL: <http://nomek.ru/TM-2500/10> (accessed 14.11.2016). [in Russian]
6. Kondensatornie ustanovki UKM [Capacitor installation UKM] [Electronic resource]. – URL: <http://energozapad.ru/ukm58> (accessed 14.11.2016). [in Russian]
7. Stoimost BSK КЭПЗ-10,5-200-3УЗ [Cost of CB KEP 3-10,5-200-3У3] [Electronic resource]. – URL: <http://www.elec.ru/viewer?url=/catalog/komplektprommaterialy/price01072008.xls> (accessed 14.11.2016). [in Russian]