

ISSN 2410-5031

**Научно-практический журнал**

**АГРОТЕХНИКА И ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ**



**ОРЛОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ Н.В. ПАРАХИНА**

№ 4 (33), 2021г.

*по итогам конференции "Энергообеспечение АПК"*

ОРЕЛ 2021

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР – **А.В. Виноградов**, доктор технических наук, доцент, руководитель научного направления "Энергообеспечение АПК" ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, профессор кафедры "Электроснабжение" ФГБОУ ВО Орловского ГАУ.

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

**Буяров Виктор Сергеевич**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор ФГБОУ ВО Орловский ГАУ.

**Васильев Алексей Николаевич**, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории электрофизического воздействия на сельскохозяйственные объекты и материалы ФГБНУ ФНАЦ ВИМ.

**Южаников Александр Юрьевич**, кандидат технических наук, доцент, директор по науке и инновационной деятельности ОАО «Сибирский научно-исследовательский и проектный институт цветной металлургии».

**Олин Дмитрий Михайлович**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроснабжение и эксплуатация электрооборудования» ФГБОУ ВО «Костромская государственная сельскохозяйственная академия».

**Шарупич Вадим Павлович**, доктор технических наук, профессор кафедры «Электроснабжение» ФГБОУ ВО Орловский ГАУ, академик МАЭН, директор НИПИ «Градознагроэкопром».

**Черкасова Нина Ильинична**, кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой электроэнергетики Рубцовского индустриального института Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, г. Барнаул.

**Коношин Иван Вячеславович**, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО Орловский ГАУ, начальник отдела продаж АО «Армада».

**Коломейченко Александр Викторович**, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО Орловский ГАУ; заведующий отделом Управления перспективных технологий Центра сельскохозяйственного машиностроения ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ».

**Жосан Артур Александрович**, кандидат технических наук, доцент кафедры «ЭМТП и тракторы» ФГБОУ ВО Орловский ГАУ.

**Кузнецов Юрий Алексеевич**, доктор технических наук, профессор кафедры «Надежность и ремонт машин» ФГБОУ ВО Орловский ГАУ.

**Серебряков Александр Сергеевич**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Электрификация и автоматизация» ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет».

**Осокин Владимир Леонидович**, кандидат технических наук кафедры «Электрификация и автоматизация» ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет».

**Шпиганович Александр Николаевич**, доктор технических наук, профессор кафедры электрооборудования ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», член-корреспондент Российской Академии Естествознания.

**Гавриченко Александр Иванович**, доктор технических наук, профессор, академик МАНЭБ.

**Скобло Тамара Семеновна**, доктор технических наук, профессор, академик Инженерной академии Украины, профессор кафедры «Технические системы ремонтного производства» Харьковского национального технического университета сельского хозяйства им. П. Василенко.

**Ковалев Михаил Михайлович**, доктор технических наук, главный научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Федеральный научный центр лубяных культур (ФГБНУ ФНЦ ЛК).

ПЕРЕВОДЧИК – старший преподаватель **Н.В. Махиянова**

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ – кандидат технических наук, доцент **Р.П. Беликов**

Зарегистрировано в федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор), номер свидетельства ПИ № ФС 77-78888, дата регистрации 28.08.2020.

Договор с РИНЦ №410-07/2014 от 15.07.2014г.

ISSN 2410-5031

Учредитель и издатель: **ФГБОУ ВО Орловский ГАУ**

Адрес издателя: 302019, Россия, г. Орел, ул. Генерала Родина, д. 69, тел.: +7 (4862) 76-14-51; факс: +7 (4862) 76-06-64.

Адрес редакции: 302019, Орловская обл., г. Орел, ул. Генерала Родина, д. 69, ФГБОУ ВО Орловский ГАУ, факультет агротехники и энергообеспечения, ауд. 2-211.

Тел.: 8(4862) 76-11-07

Адрес типографии: 302028, г. Орел, бульвар Победы, 19. ФГБОУ ВО Орловский ГАУ.

Тел.: 8(4862) 43-25-53

E-mail: [winaleksandr@yandex.ru](mailto:winaleksandr@yandex.ru)

Дата выхода журнала: 30.12.2021г.

© ФГБОУ ВО Орловский ГАУ, 2021

Тираж 100 экз.

Распространяется бесплатно

## ОГЛАВЛЕНИЕ

### ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

- ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА 8  
**Э.А. Бекиров, С.М. Велиляев**  
ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»
- ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПРИ РАБОТЕ НА ИМИТАТОР НАГРУЗКИ В ВИДЕ КАСКАДНОЙ СХЕМЫ РАСТИТЕЛЬНОГО ОБЪЕКТА 16  
**А.Э. Гафиев, В.Г. Ляпин**  
ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева
- ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ КОМБИНИРОВАННОГО ОБЛУЧАТЕЛЯ-ОЗОНАТОРА ВОЗДУХА В ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЯХ 22  
**Е. А. Овсянникова, В. Ф. Сторчевой, Н. Е. Кабдин, Л. В. Занфирова**  
ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева
- ОСОБЕННОСТИ ГИБРИДНЫХ СВЧ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК 30  
**М.И. Тухватуллин, Ю.С. Архангельский, А.Т. Ахметшин**  
ФГБОУ ВО Башкирский государственный аграрный университет
- ПРИМЕНЕНИЕ ПУНКТОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ПРН 10(6) КВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА 37  
**Т. В. Перинский**  
ООО «СКЭ-Электро»
- ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ВОЛН 42  
**Л.Н. Циперко, Э.Р. Муртазаев**  
Физико-технический институт КФУ им. В. И. Вернадского

INNOVATIVE ELECTRICAL UNIT FOR TREATMENT OF ANIMALS BY DIRECT ELECTROCHEMICAL OXIDATION OF BLOOD	49
<b>V Rudenok<sup>1</sup>, N Kondrateva<sup>1</sup>, R Bolshin<sup>2</sup>, M Krasnolutskaya<sup>2</sup></b>	
<sup>1</sup> Department of Chemistry and Automated Electric Drive, Izhevsk State Agricultural Academy, 11 Student Street, Izhevsk 426069, Russian Federation	
<sup>2</sup> Private educational institution of additional professional education "Educational and scientific innovation center" Omega "	
РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ПАРАМЕТРЫ ФЕРМЕРСКИХ ТЕПЛИЦ	56
<b>А.А. Блажнов</b>	
ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина»	
ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ СОВМЕСТНОГО ПРИМЕНЕНИЯ БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ И ТЕПЛОФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК	61
<b>А.А. Ковалев, В.А. Панченко, Д.А. Ковалев</b>	
ФГБНУ ФНАЦ ВИМ	
ВЛИЯНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО РЕЖИМА ОБЛУЧЕНИЯ НА РАСТЕНИЯ ЗЕМЛЯНИКИ IN VITRO	69
<b>Н. П. Кондратьева, Р. Г. Большин, А. И. Батулин, М. Г. Краснолуцкая, К А. Батурина</b>	
<sup>1</sup> Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Ижевская государственная сельскохозяйственная академия»	
<sup>2</sup> Частное образовательное учреждение дополнительного профессионального образования «Учебно—научный инновационный центр «Омега»	
ВИХРЕВЫЕ И ВИХРЕ–КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ РАЗРЕШЕНИЯ ГЛОБАЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ	75
<b>Р. А. Серебряков, <sup>2</sup>Е. Д. Сорокодум</b>	
<sup>1</sup> Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва	
<sup>2</sup> ООО «Вихре-колебательные технологии», Москва	
ЭКСТРАКЦИЯ ПРЭСНОЙ ВОДЫ ИЗ АТМОСФЕРНОЙ ВЛАГИ	86
<b>Р. А. Серебряков</b>	
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ	

- НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ПОЛИГОН НА БАЗЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В УСЛОВИЯХ ЮЖНОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА 107  
**С.С. Доржиев, Базарова Е.Г., Пилипков В.В. Розенблюм М.И.**  
ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Москва, Россия
- О ВЛИЯНИИ НЕСИММЕТРИИ И НЕСИНУСОИДАЛЬНОСТИ ТОКОВ НА ПОТЕРИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СИЛОВОМ ТРАНСФОРМАТОРЕ 114  
**М. А. Юндин<sup>1</sup>, Д. Т. Жариков<sup>1</sup>, Т. З. Пономаренко<sup>2</sup>**  
<sup>1</sup>Азово-Черноморский инженерный институт - филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донской государственной аграрный университет», г. Зерноград, Российская Федерация;  
<sup>2</sup>ЧУ ДПО МКУЦ «Энергетик», г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация
- СПОСОБЫ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕПЛООБМЕНА В ТЕПЛОПЕРЕДАЮЩИХ УСТРОЙСТВАХ 119  
**А.В. Шаповалов, Н.М. Кидун, Т.Н. Никулина**  
ГГТУ им. П.О. Сухого, г.Гомель, Республика Беларусь
- РАЗРАБОТКА СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РАБЕДИНИТЕЛЕМ В СЕТЯХ 6-10КВ 127  
**Д.Н. Тришин, С.В. Вендин**  
ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ
- ВЛИЯНИЕ ТОЛЩИНЫ СТЕНКИ БИОГАЗОВОГО РЕАКТОРА НА ВЕЛИЧИНУ МОЩНОСТИ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ ТЕПЛОТЫ ДЛЯ ПОДОГРЕВА СЫРЬЯ 132  
**А.Ю. Мамонтов, А.Е. Андреев, С.В. Вендин**  
ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ
- РАЗРАБОТКА СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗАРЯДКОЙ АККУМУЛЯТОРОВ ДЛЯ ВЕТРО-СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ 136  
**В.Ю. Сорокин, С.В. Вендин**  
ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ
- АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ КАК МЕРА ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ 142  
**А.Е. Кудрявцев, Е.П. Зацепин**  
ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

## ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ КОЛЕБАНИЙ И СТАТИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ РАДИАЛЬНЫХ РАБОЧИХ КОЛЕС ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ТУРБОМАШИН ДЛЯ АПК 146

**О.В. Репецкий, Хоанг Динь Кыонг**

Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского

ОБОСНОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОСТИ АГРЕГАТА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ МАШИН 158

**<sup>1</sup>Ю.Н. Рыжов, <sup>2</sup>С.В. Смыков, <sup>2</sup>С.Л. Никитченко**

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина

<sup>2</sup>Азово-Черноморский инженерный институт – филиал ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет» в г. Зернограде

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ИЗНОШЕННОГО БЛОКА ПЛУНЖЕРОВ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО НАСОСА 164

**И.С. Кузнецов, Т.С. Прокошина**

ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина»

К ВОПРОСУ О ВАРИАТИВНОСТИ КАЧЕСТВА ТОПЛИВА ДЛЯ ДИЗЕЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ 169

**М.М. Ревякин, А.А. Жосан, С.И. Головин**

ФГБОУ ВО Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина

К ВОПРОСУ О ДИАГНОСТИРОВАНИИ МОБИЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ 176

**М.М. Ревякин, А.А. Жосан, С.И. Головин**

ФГБОУ ВО Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина

## ФИЗИЧЕСКОЕ, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ, КОМПЬЮТЕРНОЕ И ЭЛЕКТРОМОДЕЛИРОВАНИЕ

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ МАЛЫХ ФОРМ ХОЗЯЙСТВОВАНИЯ В АПК 182

**Т.Е. Маринченко**

ОЦЕНКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ АВТОРЕГРЕССИОННЫХ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОЛНЕЧНЫХ ЭНЕРГОУСТАНОВОК 190

**Н. С. Филиппченкова**

Акционерное общество Объединенная энергетическая компания

ЦИФРОВОЙ АНАЛИЗ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РАДИАЛЬНЫХ РАБОЧИХ КОЛЕС ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ТУРБОМАШИН ДЛЯ АПК С УЧЕТОМ УПРУГОСТИ ВАЛА 195

**О.В. Репецкий, Хоанг Динь Кыонг**

Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского  
п. Молодежный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИТ-ТЕХНОЛОГИЙ В ОТРАСЛИ АПК 205

**Т.Г. Павленко**

ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина», Орел, Россия

ОБОСНОВАНИЕ СХЕМЫ И ПАРАМЕТРОВ ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ БАЗЫ 209

**А.Н. Токарева<sup>1</sup>, С.В. Панченко<sup>1</sup>, М.М. Украинцев<sup>1</sup>, С.А.Роговой<sup>2</sup>, Н.А.Польшин<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ

<sup>2</sup> Филиал ПАО «Газпром Газораспределение Ростов-на-Дону» в г.Зернограде

<sup>3</sup> ООО «Газпром трансгаз Краснодар»

УДК 621.311.243.003.13

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА**

Бекиров Э.А., Велиляев С.М.

ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»

***Аннотация.** В статье представлены методы определения характеристик и показателей эффективности устройств преобразования солнечной энергии в тепловую. Цель исследования – описание методики расчёта эффективности работы солнечного коллектора. Был применен метод анализа источников литературы, синтез. Расчет коэффициента тепловых потерь солнечного коллектора выполняют методом последовательных приближений. Для целей анализа метода расчета показателей эффективности солнечных коллекторов были изучены системы солнечного теплоснабжения и процессы, происходящие в них. В результате была представлена методика расчета энергоэффективности солнечного коллектора, включающая в себя расчет таких показателей, как оптический коэффициент полезного действия солнечного коллектора, коэффициент эффективности поглощения солнечного излучения и коэффициент теплопотерь. Приведенная модель расчета энергетической эффективности солнечного коллектора может служить для обоснования проектных решений при разработке солнечных коллекторов.*

***Ключевые слова:** альтернативные источники энергии, солнечный коллектор, энергетическая эффективность, оптический КПД солнечного коллектора, коэффициент тепловых потерь.*

**Актуальность.** Энергия является основным фактором, который является движущей силой в развитии общества. Современная экономика ставит вопрос рационального использования доступных человечеству ресурсов. Если прошлый век был ознаменован максимальной добычей полезных ископаемых, то тенденции текущего столетия диктуют отказ от использования не возобновляемых ресурсов в пользу возобновляемых, и, фактически неиссякаемых. И связано это не только с экологическими соображениями и вопросами сохранения окружающей среды от пагубного влияния нефтедобычи и нарушения углеродного обмена, но и с тем, что не возобновляемых источников в скором времени может оказаться меньше, нежели требуется для поддержания и развития прогресса.

Одним из путей решения проблемы рационального использования ресурсов являются альтернативные источники энергии, к которым можно отнести энергию солнца. Однако, эффективность добычи энергии зависит не только от источника, но и от технологии, которую применяют для её получения. Одним из перспективных способов преобразования энергии солнца в тепловую является солнечные коллекторы, которые получили широкое распространение в качестве систем отопления как промышленных, так и частных бытовых помещений. Разнообразие типов солнечных коллекторов, их конкуренция с другими способами преобразования солнечной энергии порождает проблему оценки эффективности



работы солнечного коллектора. Энергетическая эффективность солнечной водонагревательной установки в общем случае зависит от энергетического КПД солнечного коллектора, энергетического КПД тепловых аккумуляторов и энергетического КПД циркуляционных трубопроводов [5].

**Цель статьи** – описать методику расчёта эффективности работы солнечного коллектора.

**Материалы и методы.** Был применен метод анализа источников литературы. Говоря об эффективности солнечных коллекторов, исследователи оценивают два аспекта данного вопроса: экономическую целесообразность (окупаемость) и непосредственно эффективность работы солнечного коллектора (коэффициент полезного действия). Так, экономическую целесообразность внедрения солнечных коллекторов рассматривали А.М. Береговой, М.А. Дерина, Л.Н. Петрянина, которые отмечают, что некоторые модели солнечных коллекторов, несмотря на невысокий коэффициент полезного действия, имеют высокую окупаемость, и, следовательно, экономическую эффективность [2]. Исследователи Т.Н. Белоглазова, Т.Н. Романова отмечают, что срок окупаемости солнечных коллекторов соизмерим с их номинальным сроком службы, также ими отмечается снижение экологической нагрузки при применении солнечных коллекторов [1]. Перспективность использования солнечных коллекторов отмечают Р.А. Ильин, Н.Д. Шишкин, ими подчеркивается экономическая эффективность солнечных водонагревательных установок в климатических условиях Российской Федерации [4,7].

Некоторыми исследователями также оценивается экологическая эффективность внедрения солнечных коллекторов. Таким образом, М.Ф. Руденко, Л.П. Третьяк, В.В. Гривина, Ю.В. Шипулина в исследованиях по разработке математической модели расчета экологической эффективности гелиоэнергетических установок пришли к выводу, что использование гелиоэнергетических установок малой мощности (2–5 кВт) экологически эффективнее и удобнее в эксплуатации, чем котельные той же производительности, использующие органическое топливо [6].

Несмотря на многоаспектность вопроса эффективности солнечного коллектора, при изучении и экологического и экономического составляющего вопроса, исследователи обращались также к такому показателю, как понятие эксергетической эффективности, которая характеризует степень необратимости оптических и тепловых процессов, протекающих в аппарате (прохождение солнечных лучей через коллектор, поглощение их поверхностью коллектора, передача поглощенной энергии теплоносителю, тепловые потери в окружающую среду и т.п.) [3].

**Результаты и обсуждение.** Важнейшим фактором, определяющим выбор типа солнечного коллектора, является его энергетическая эффективность, характеризующаяся значениями оптического КПД солнечного коллектора, и коэффициент тепловых потерь. Величина КПД солнечного коллектора определяется по формуле:

$$\eta_{ck} = \frac{Q_{ck}}{I} = \frac{G \cdot C_p \cdot (t_{вых} - t_{вх})}{I}, \quad (1)$$

где  $Q_{ck}$  – количество полезной теплоты, получаемой с 1 м<sup>2</sup> площади солнечного коллектора в единицу времени, Вт/м<sup>2</sup>;

$I$  – плотность суммарного потока солнечного излучения, поступающего на поверхность солнечного коллектора, Вт/м<sup>2</sup>;

$C_p$  – удельная теплоемкость теплоносителя, Дж/(кг·К);

$G$  – удельный массовый расход теплоносителя в солнечном коллекторе, кг/(м<sup>2</sup>·с);

$t_{\text{вых}}, t_{\text{вх}}$  – температура теплоносителя на выходе и на входе в солнечном коллекторе, °С.

Поскольку в формулу определения коэффициента полезного действия включает в себя мгновенные значения, такие как плотность суммарного потока солнечного излучения, поступающего на поверхность солнечного коллектора и количество полезной теплоты, получаемой с  $1 \text{ м}^2$  площади солнечного коллектора в единицу времени, то КПД солнечного коллектора также является мгновенной величиной. Для получения среднего значения КПД солнечного коллектора производят усреднение исходных данных за определенный период времени (час, день, месяц, год и т.д.).

Коэффициент эффективности восприятия солнечной энергии показывает, какая доля солнечного излучения, которая поступает на абсорбер солнечного коллектора, поглощается его тепловоспринимающим элементом.

Коэффициент тепловых потерь, представляет собой отношение теплового потока от солнечного коллектора в окружающую среду к площади тепловоспринимающей поверхности солнечного коллектора и избыточной температуре теплоносителя. Этот коэффициент характеризует теплозащитные свойства солнечного коллектора.

Рассмотрим расчет коэффициента эффективности поглощения солнечного излучения. При расчетах коэффициент эффективности поглощения солнечного излучения ( $\tau\alpha$ ) учитывают четыре фактора: степень черноты стеклянного покрытия пластины абсорбера ( $\varepsilon_c$ ), коэффициенты загрязнения стекла ( $\eta_{\text{загр}}$ ) и пропускания стекла ( $\eta_c$ ), степень черноты тепловоспринимающей пластины абсорбера ( $\varepsilon_p$ ):

$$(\tau\alpha)_{\text{СК}} = \varepsilon_c \cdot \varepsilon_p \cdot \eta_{\text{загр}} \cdot \eta_c, \quad (2)$$

Степень черноты стекла  $\varepsilon_c$  зависит от состояния его поверхности и определяется опытным путем. Для гладкой поверхности стекла  $\varepsilon_c = 0,93 \dots 0,94$ .

Для повышения степени черноты тепловоспринимающей пластины  $\varepsilon_p$  на его поверхность наносят покрытие, обладающее высокой поглощающей способностью и низким коэффициентом отражения лучистой энергии. Обычно принимают  $\varepsilon_p = 0,92 \dots 0,96$ . В значительной степени на коэффициент эффективности восприятия солнечной энергии влияет загрязнение поверхности стекла.

Коэффициент пропускания солнечного излучения стеклом  $\eta_c$  зависит от толщины и марки стекла, от угла падения солнечных лучей. Если солнечные лучи падают перпендикулярно на поверхность абсорбера солнечного коллектора ( $s = 0$ ), то коэффициент пропускания равен:

$$\eta_c = \exp(-u \cdot \delta_c), \quad (3)$$

где  $u$  – линейный коэффициент поглощения солнечной энергии стеклом (обычно  $u = 30 \text{ 1/м}$ );

$\delta_c$  – толщина стекла, м.

В тепловых расчетах учитывают суммарную солнечную энергию – прямую и диффузную, соотношение между которыми в течение дня изменяется. Например, расчеты, выполненные по справочным данным, показывают, что в утреннее и вечернее время в ряде регионов Российской Федерации преобладающим является диффузное солнечное излучение. Расчеты показывают, что снижение коэффициента пропускания лучистой энергии при  $s > 65$  град. практически не оказывает, влияет на дневной баланс солнечной энергии, проходящей через стекло. Поэтому в тепловых расчетах солнечного коллектора принято считать, что коэффициент пропускания не зависит от угла падения солнечного излучения.

Рассмотрим способ расчёта коэффициента тепловых потерь. Между солнечным коллектором и окружающей средой происходит сложный процесс теплообмена: путем теплопроводности, вынужденной и свободной конвекции, тепловым излучением.

Обычно выбранные условия работы солнечного коллектора считают неизменными, а теплофизические свойства материалов считают не зависящими от температуры. Контактными термическими сопротивлениями с обеих сторон теплоизоляционного слоя солнечного коллектора, как правило, также пренебрегают. При расчетах коэффициента теплоотдачи излучением используется формула 4:

$$\alpha_{\text{луч}} = \frac{Q_{\text{луч}}}{A_{\text{ск}} \cdot (t_2 - t_1)}, \quad (4)$$

где  $Q_{\text{луч}}$  – лучистый тепловой поток, Вт;

$A_{\text{ск}}$  – площадь абсорбера солнечного коллектора, м<sup>2</sup>;

$t_2$  и  $t_1$  – температура тел, которые участвуют в лучистом теплообмене, К.

Лучистый теплообмен рассчитывают по формуле Стефана-Больцмана:

$$Q_{\text{луч}} = \varepsilon_{\text{пр}} \cdot \sigma_0 \cdot A_{\text{ск}} \cdot \left[ \left( \frac{t_2}{100} \right)^4 - \left( \frac{t_1}{100} \right)^4 \right], \quad (5)$$

где  $\sigma_0 = 5,67 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К}^4)$  – коэффициент Стефана-Больцмана (излучательная способность абсолютно черного тела);

$\varepsilon_{\text{пр}}$  – приведенная степень черноты двух тел, которые участвуют в лучистом теплообмене, определяется по формуле  $\varepsilon_{\text{пр}} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_c} + \frac{1}{\varepsilon_p} - 1}$ .

Для температурных условий работы солнечных коллекторов, когда  $0,9 < t_2/t_1 < 1,1$ , можно использовать среднее значение температуры:

$$t_{\text{cp}} = \frac{t_2 + t_1}{2}, \quad (6)$$

тогда:

$$\left[ \left( \frac{t_2}{100} \right)^4 - \left( \frac{t_1}{100} \right)^4 \right] = 0,04 \cdot \left( \frac{t_{\text{cp}}}{100} \right)^3, \quad (7)$$

Коэффициент теплоотдачи излучением с учетом формул 4–7 будет:

$$\alpha_{\text{луч}} = 0,227 \cdot \varepsilon_{\text{пр}} \cdot \left( \frac{t_1 + t_2}{200} \right)^3 \quad (8)$$

Конвективную составляющую теплообмена в зазоре между стеклом и абсорбером солнечного коллектора можно определить по формуле:

$$q_{\text{кз}} = \frac{\lambda_{\text{возд}}}{\delta_3} \cdot \eta_{\text{кз}} \cdot (t_p - t_c) = \alpha_{\text{луч}} \cdot (t_p - t_c), \quad (9)$$

где  $q_{\text{кз}}$  – удельный конвективный тепловой поток, Вт/м<sup>2</sup>;

$\alpha_{\text{луч}}$  – коэффициент конвективной теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup>·К).

$\eta_{\text{кз}}$  – коэффициент, учитывающий увеличение теплопроводности слоя из-за наличия свободной конвекции в зазоре;

$\delta_3$  – зазор между стеклом и абсорбером солнечного коллектора, м;

$t_p$ ,  $t_c$  – температура пластины абсорбера солнечного коллектора и стекла, К.

С учетом теплофизических свойств воздуха, при температуре  $t_{\text{cp}}$  для приближенного вычисления коэффициента теплоотдачи можно использовать формулу:

$$\alpha_{\text{кз}} = 1,94 \cdot \sqrt[4]{\frac{t_p - t_c}{\delta_3 \cdot t_p}}, \quad (10)$$

Конвективный теплообмен между внешней поверхностью гелиоколлектора и окружающим воздухом может осуществляться свободной конвекцией (при безветренной погоде) либо смешанной (вынужденной и свободной) конвекцией при наличии ветра. При

расчетах тепловых потерь солнечного коллектора обычно учитывается наиболее вероятная скорость воздуха в рассматриваемый период года для данной местности. Поэтому теплообмен чаще осуществляется путем смешанной конвекции.

Коэффициент теплоотдачи при свободной конвекции можно определить по критериальному уравнению, справедливому для турбулентного режима течения пограничного слоя воздуха вдоль вертикальной стенки:

$$\alpha_{кн} \approx 1,83 \cdot \sqrt[3]{t_c - t_a}, \quad (11)$$

где  $t_a$  – температура наружного воздуха, К.

$t_c$  – температура стекла, К.

Коэффициент теплоотдачи при вынужденной конвекции может быть определен по формуле:

$$\alpha_{кн} \approx 5,3 \cdot w^{0,8}, \quad (12)$$

где  $w$  – скорость ветра, м/с.

При смешанной конвекции для определения тепловых потерь вычисляют оба коэффициента теплоотдачи и далее используют больший из них.

Тепловые потери задней стенки солнечного коллектора определяются термическим сопротивлением тепловой изоляции и термическим сопротивлением пограничного слоя наружного воздуха. Поскольку термическое сопротивление тепловой изоляции солнечного коллектора значительно больше, чем внешнее термическое сопротивление, то внешним термическим сопротивлением можно пренебречь, полагая, что температура на внешней поверхности тепловой изоляции солнечного коллектора равна температуре окружающей среды. Тогда коэффициент теплопередачи через теплоизоляцию солнечного коллектора:

$$k_{из} = \frac{\lambda_{из}}{\delta_{из}}, \quad (13)$$

Расчет коэффициента тепловых потерь солнечного коллектора выполняют методом последовательных приближений. Равновесную температуру тепловоспринимающей пластины полагают одинаковой по всей площади солнечного коллектора. Значение коэффициента теплопотерь в  $i$ -м итерационном приближении:

$$U_{Li} = \left( \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{кзи} + \alpha_{лучзи}} + \frac{1}{\alpha_{кни} + \alpha_{лучни}} + \frac{\delta_c}{\lambda_c}} \right) + \left( 1 + \frac{2 \cdot (B_{ск} + L_{ск}) \cdot \delta_c}{A_{ск}} \right) \cdot U_{Li-1}, \quad (14)$$

где  $A_{ск}$  – площадь абсорбера;

$B_{ск}$  – ширина солнечного коллектора;

$L_{ск}$  – длина солнечного коллектора;

$\delta_c$  – толщина солнечного коллектора.

$\lambda_c$  – коэффициент теплопроводности пластины абсорбера, Вт/(м·К);

$\alpha_{кни}$  – коэффициент теплоотдачи при вынужденной конвекции;

$\alpha_{кзи}$  – коэффициент конвективной теплоотдачи;

$\alpha_{лучзи}$  – коэффициент теплоотдачи конвективным излучением;

$\alpha_{лучни}$  – коэффициент теплоотдачи излучением при вынужденной конвекции.

Равновесная температура тепловоспринимающей пластины в  $i$ -м приближении равна:

$$t_{pi} = \frac{(\tau\alpha)_{ск}}{U_L} \cdot I \cdot R + t_a, \quad (15)$$

где  $R$  – коэффициент пересчета суммарного потока солнечного излучения с горизонтальной поверхности солнечного коллектора на наклонную:

$$R = \frac{Ib}{I} \cdot Rb + \frac{Id}{I} \cdot \frac{1 + \cos(s)}{2} + \frac{(1 - \cos(s)) \cdot \rho}{2}, \quad (16)$$

учитывающий угол падения солнечных лучей ( $\Theta$ ), вклад прямого ( $I_b/I$ ) и диффузного ( $I_d/I$ ) солнечного излучения, а также отражательную способность поверхности земли  $\rho$ .

Угол падения солнечных лучей на поверхность солнечного коллектора (при  $\gamma=0$ ):

$$\cos\Theta = \sin(\delta) \cdot \sin(\varphi) \cdot \cos(\varphi) \cdot \cos(s) \cdot \cos(\omega) + \cos(\varphi) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(s) \cdot \cos(\omega), \quad (17)$$

где  $\varphi$  – географическая широта местности, град.;

$s$  – угол наклона абсорбера солнечного коллектора к горизонту, град.;

$\omega$  – часовой угол ( $\omega=0$  в полдень), град.;

$\gamma$  – азимутальный угол, град.;

$\delta$  – склонение Солнца, град.

Склонение Солнца определяется по формуле:

$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left(360 \cdot \frac{284+n}{365}\right), \quad (18)$$

$n$  – порядковый номер дня года.

Если стеклянную пластину рассматривать как экранирующее тело при лучистом теплообмене между тепловоспринимающей пластиной (абсорбером) солнечного коллектора и окружающей средой, то стартовую температуру стекла можно оценить по формуле:

$$t_{c0} = 100 \cdot \sqrt[4]{\frac{1}{2} \cdot \left[ \left(\frac{t_{pi}}{100}\right)^4 - \left(\frac{t_a}{100}\right)^4 \right]}, \quad (19)$$

После преобразования коэффициенты теплоотдачи определяются по формулам:

$$\alpha_{kzi} = 1,94 \cdot \sqrt[4]{\frac{t_{pi}-t_c}{\delta_3 \cdot t_{pi}}}, \quad (20)$$

$$\alpha_{лучзи} = 0,227 \cdot \varepsilon_{np} \cdot \left(\frac{t_{pi}+t_c}{200}\right)^3, \quad (21)$$

$$\alpha_{кни} = 1,83 \cdot \sqrt[3]{t_{ci} - t_a}, \quad (22)$$

$$\alpha_{лучни} = 0,227 \cdot \varepsilon_{np} \cdot \left(\frac{t_{ci}+t_a}{200}\right)^3 \quad (23)$$

По формулам 14–18 вычисляют новое значение коэффициента тепловых потерь  $U_{Li}$ , которое сравнивают с предыдущим  $U_{Li-1}$ . Относительная погрешность не должна превышать заданную точность расчетов:

$$\left| \frac{U_{Li}-U_{Li-1}}{U_{Li}} \right| \leq 0,05, \quad (24)$$

Если условие по формуле 24 выполняется, то вычисления считают окончанными и последнее значение коэффициента тепловых потерь принимают за истинное. Если неравенство 24 не удовлетворяется, выполняют следующее приближение:

$$t_{ci} = t_a + \frac{t_{pi-1}-t_a}{1 + \frac{\alpha_{кни} + \alpha_{лучни}}{\alpha_{kzi} + \alpha_{лучзи}} + \frac{\delta}{\lambda} (\alpha_{кни} + \alpha_{лучни})}, \quad (25)$$

Обычно для определения коэффициента тепловых потерь солнечного коллектора  $U_L$  не требуется больше трех итерационных приближений. За стартовое значение коэффициента тепловых потерь принимают:

$$U_{L0} = 3,5 \cdot U_{Li} + \left(1 + \frac{2 \cdot (B_{ск} + L_{ск}) \cdot \delta_c}{A_{ск}}\right) \cdot U_{Li-1}, \quad (26)$$

**Выводы.** Энергоэффективность солнечного коллектора является ключевым фактором при проектировании гелиосистемы теплоснабжения как промышленных зданий, так и частных домов. Нами рассмотрена методика расчета эффективности солнечных коллекторов, включающая в себя расчет таких показателей, как коэффициент эффективности поглощения солнечного излучения и коэффициент тепловых потерь. Приведенная модель расчета энергоэффективности солнечного коллектора может служить для обоснования проектных

решений при разработке солнечных коллекторов.

### Список используемых источников

1. Белоглазова, Т.Н. Эффективность внедрения солнечных коллекторов / Т.Н. Белоглазова, Т.Н. Романова // ПСЭ. – 2014. – №4 (52). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/effektivnost-vnedreniya-solnechnyh-kollektorov> (дата обращения: 16.12.2021).
2. Береговой, А.М. Техничко-экономическая эффективность энергосберегающих решений в архитектурно-строительном проектировании / А.М. Береговой, М.А. Дерина, Л.Н. Петрянина // Региональная архитектура и строительство. – 2015. – № 2 (23). – С. 144–148.
3. Дубровская, В.В. Анализ эффективности работы вакуумного солнечного коллектора / В.В. Дубровская, В.И. Шкляр, И.А. Негодуйко // Пром. теплотехника. – 2012, т. 34. – №1. – С. 95–99.
4. Ильин, Р.А. Комплексная оценка эффективности и создание экспериментальной солнечной водонагревательной установки / Р.А. Ильин, Н.Д. Шишкин // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2015. – Т. 13. – С. 2346–2350. – URL: <http://e-koncept.ru/2015/85470.htm> (дата обращения: 16.12.2021).
5. Псаров, С.А. Расчет КПД солнечных водонагревательных установок / С.А. Псаров // Восемнадцатые научные чтения памяти профессора М.П. Даниловского. – 2019. – URL: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_42346391\\_12275216.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_42346391_12275216.pdf) (дата обращения: 16.12.2021).
6. Руденко, М.Ф. Моделирование экологической эффективности внедрения гелиоэнергетических комплексов для производства теплоты / М.Ф. Руденко, Л.П. Третьяк, В.В. Гривина, Ю.В. Шипулина // Вестник АГТУ. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2016. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-ekologicheskoy-effektivnosti-vnedreniya-gelioenergeticheskikh-kompleksov-dlya-proizvodstva-teploty> (обращение: 16.12.2021).
7. Шишкин Н.Д. Энергетическая и технико-экономическая эффективность солнечных водонагревательных установок // Вестник Астраханского государственного технического университета. – 2015. – № 2. – С. 51–59.

*Бекиров Э.А.,*

*профессор, д-р тех. наук, заведующий кафедрой*

*электроэнергетики и электротехники Физико-технического института*

*федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего*

*образования «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»*

*(ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»)*

*Велиляев С.М.,*

*аспирант Физико-технического института*

*федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего*

*образования «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»*

*(ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»)*

## DETERMINATION OF THE SOLAR COLLECTOR EFFICIENCY

Abstract. The article presents methods for determining the characteristics and performance indicators of devices for converting solar energy into thermal energy. The purpose of the study is to describe the methodology for calculating the efficiency of the solar collector. The method of analysis of literature sources, synthesis has been applied. The calculation of the coefficient of heat loss of the solar collector is performed by the method of successive approximations. For the purpose of analyzing the method for calculating the efficiency indicators of solar collectors, solar heat supply systems and the processes occurring in them have been studied. As a result, a methodology for calculating the energy efficiency of a solar collector have been presented, which includes the calculation of such indicators as the optical efficiency of the solar collector, the efficiency of absorption of solar radiation and the coefficient of heat loss. The presented model for calculating the energy efficiency of a solar collector can serve to justify design decisions in the development of solar collectors.

Key words: alternative energy sources, solar collector, energy efficiency, solar collector optical efficiency, heat loss coefficient.

*Bekirov E.A.,*

*professor, Dr. Tech. sciences, head of department*

*Electricity and Electrical Engineering*

*at the Physics and Technology Institute*

*[V.I. Vernadsky](#) Crimean Federal University*

*Velilyaev S.M.,*

*PhD student at the Physics and Technology Institute*

*[V.I. Vernadsky](#) Crimean Federal University*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПРИ РАБОТЕ НА ИМИТАТОР НАГРУЗКИ В ВИДЕ КАСКАДНОЙ СХЕМЫ РАСТИТЕЛЬНОГО ОБЪЕКТА

Гафиев А.Э., Ляпин В.Г.

ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

**Аннотация:** Целью статьи является представление биологического объекта в виде каскадной электрической схемы и исследование ее характеристик в прикладной программе *Electronics Workbench*. Анализ процессов, протекающих в тканях сорняков при электроимпульсном воздействии, приводящем к повреждению внутренней структуры и последующей гибели растения, невозможно провести, располагая информацией лишь о эквивалентной электрической схеме замещения растительной ткани. Поэтому необходимо также иметь представление о количественных показателях электрических компонентов этой схемы и их изменении в процессе электроимпульсного повреждения. Существующие подходы к математическому описанию процессов электрического повреждения растительности, измерения параметров электродов электротехнологических установок и растительных объектов с известными геометрическими характеристиками позволяют определить проводимость, магнитную и диэлектрическую проницаемости всей электродной системы, нагрузки источника электропитания, эквивалентное сопротивление можно рассматривать как пассивный элемент электрической схемы.

**Ключевые слова:** силовая электроника, растительный объект, электрическое повреждение, электроды, электропреобразователь, напряжение, ток.

**Введение.** Анализ схем вторичных источников питания производится с погрешностью вследствие трудности учета обратного влияния нелинейной, возможно резонансной, нагрузки на электромагнитные процессы в источнике электропитания. Пассивные электрические свойства растительных объектов характеризуются полным сопротивлением (импедансом)  $Z$  или комплексной проводимостью (иммитансом)  $Y$ .

Применение этих показателей разрабатывается в качестве диагностического метода повреждения растительных объектов. При этом каждый элементарный участок ткани характеризуется величиной комплексного сопротивления полученной исходя из формы, линейных размеров и относительного положения в совокупности других проводников.

Каскадные схемы позволяют объяснить, что резкие и длительные воздействия электромагнитного поля приводят к распространению повреждения вглубь корневой системы растения, травмирует их органоиды и нарушает активность связанных с ними ферментных систем. Вследствие этого интенсивность клеточного дыхания снижается, активируются клеточные протеазы, что приводит к накоплению кислых продуктов протеолиза и снижению рН клеточной среды.

Обладая диэлектрическими свойствами и малой толщиной, клеточные (бислойные липидные) мембраны характеризуются высокой удельной емкостью. Большая емкость мембран, следовательно, и емкостные свойства РО обусловлены поляризационной способностью мембран, зависящей от ее относительной диэлектрической проницаемости. В области низких частот импеданс РО определяется в основном их резистивными свойствами



(проводящие ткани), средних – и резистивными и емкостными свойствами (паренхиматозные ткани), высоких – емкостным характером (мембраны, липиды). На высоких частотах выключаются механизмы поляризации с замедлением времени релаксации, поэтому с повышением частоты емкость РО должна уменьшаться, как и при повышении диэлектрической проницаемости. Замедленные механизмы поляризации в этой области частот могут приводить к значительным диэлектрическим потерям в тканях – нагреванию. Это является доказательством того, что живой РО, в т.ч. и клетку можно представить в виде контура  $RC$ , причем  $C$  (мембрана) определяется свободно радикальными реакциями и системой антиоксидантной защиты, а  $R$  – ферментативным окислением [1...7,8].

**Материалы и методы исследования.** Вместо двухполосника при численном моделировании в качестве РО можно ввести элементы  $RC$  каскадной (цепной, транспортной) схемы замещения растительной ткани (рис. 1). В аналитическом обзоре отмечено, что пассивные электрические свойства РО характеризуются полным сопротивлением  $Z$  или комплексной проводимостью  $Y$ . Применение этих показателей разрабатывается в качестве диагностического метода повреждения РО. Моделирование плотности распределения тока по сечению РО проводится путём разбиения биоткани на их совокупное множество, связанных между собой ёмкостными составляющими. При этом каждый элементарный участок ткани характеризуется величиной комплексного сопротивления, полученной исходя из формы, линейных размеров и относительного положения в совокупности других проводников [2...5,8].

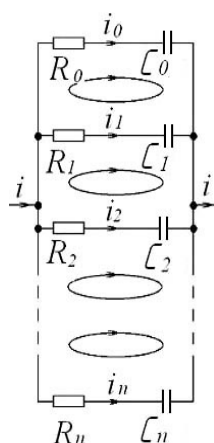


Рисунок 1 - Каскадная схема замещения ткани РО в ЭМП:  $R_0...R_n$  и  $C_0...C_n$  – активные и ёмкостные составляющие;  $i_0...i_n$  – токи участков при разбиении ткани на локальные зоны;  $i$  – ток, протекающий через ткань;  $\cup$  - направление ёмкостных токов в локальных зонах.

Данная схема, представленная на рис.1 является не совсем корректной. При использовании этой схемы замещения расчёты будут приближенными и не точными. В ней не учитываются все составляющие растительного объекта, которые вытекают из его биологического строения.

Для более точных расчётов при численном исследовании растительного объекта следует использовать схему замещения, которая вытекает из ее клеточного строения. Эта модель представляет собой принципиальную электрическую схему, включающую в себя параллельное соединение резистора  $R_2$ , соответствующего активному сопротивлению межклетника, и ветви, содержащей последовательное соединение активного сопротивления протоплазмы  $R_3$  со сложным соединением электрических компонентов мембраны – параллельно включенными емкостью  $C$  и активным сопротивлением  $R_1$ . Такая схема

замещения представлена на рис.2. Одним из наиболее часто применяемых и считающихся достоверными способов определения параметров элементов схемы замещения ( $R_1, R_2, R_3, C$ ) является метод анализа и расчета переходного процесса, протекающего в схеме замещения растительной ткани при подаче сигнала напряжения прямоугольной формы [2,3,5].

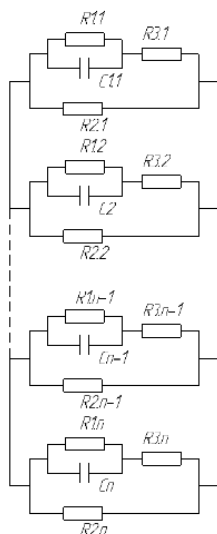


Рисунок 2 - Каскадная схема замещения ткани РО в ЭМП:  $R_1, R_2, R_3$ - активное сопротивление протоплазмы, межклетника, мембраны и  $C_1 \dots C_n$  – ёмкостные составляющие мембраны.

**Результаты и их анализ.** В учебно-исследовательской практике экспериментальные работы по исследованию параметров РО и почвы выполняются на учебных лабораторных установках и сопровождаются численными исследованиями путём математического моделирования с использованием различных программ, включая EWB.

При численном моделировании в пакете EWB:

- измерительная схема включает двухлучевой осциллограф, вольтметр, амперметр, двухполюсник (растительная ткань) (рис.3);

- исследование РО и почвы проводится по методике исследования электродной системы с РО и почвой при численном моделировании в пакете EWB [2,8].

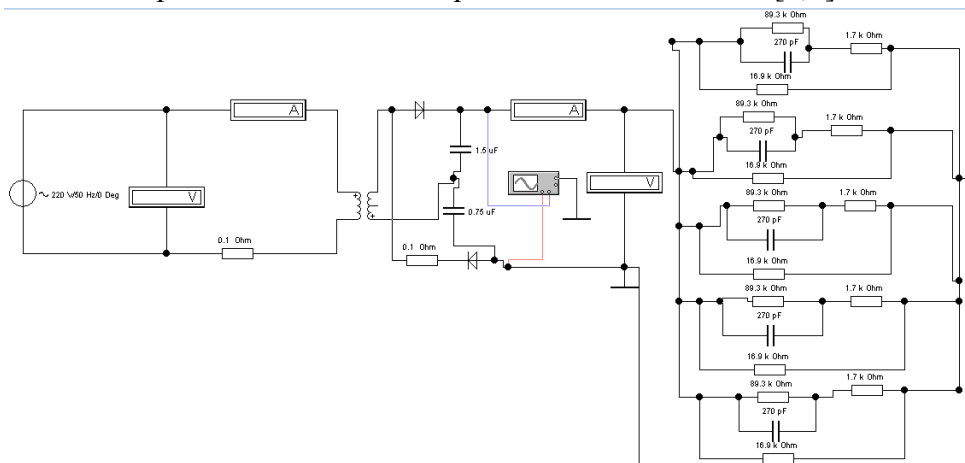


Рисунок 3 - Расчётная схема замещения при численном моделировании в пакете EWB.

Так как полное сопротивление растительной ткани носит активно-ёмкостный характер, то форма сигнала измерительного тока на осциллограмме будет отражать собой процесс зарядки-разрядки ёмкости клеточной мембраны при подаче на растительный образец однополярных импульсов напряжения прямоугольной формы.

Для поврежденной растительной ткани стебля размером  $1 \text{ см}^3$  значения параметров схемы замещения принимаем:  $R_1=89,3\text{кОм}$ ;  $R_2=16,9\text{кОм}$ ;  $R_3=1,7\text{кОм}$ ;  $C_m=270 \text{ пФ}$ . Стебель разделен на  $N$  количество участков, равное 5. Зависимость напряжения и тока от числа закороченных каскадов схемы замещения растительного объекта представлена в табл.1

Таблица 1. Зависимость напряжения и тока от числа закороченных каскадов

Число закороченных каскадов	0	1	2	3	4	5
U,В	992,3	785,6	574,4	393,7	224,5	126,4
I,мА	246,0	357,3	387,6	403,2	411,2	409,5

При повреждении мембраны около электрода импульсом высокого напряжения емкость мембраны  $C$  и сопротивление мембраны  $R_3$  уменьшаются, вследствие чего высокий потенциал переходит на следующий участок растительной ткани. При изменении сопротивления мембран изменяется и полное сопротивление участка растительной ткани. Напряжение на участке постепенно уменьшается, а ток возрастает. В момент подачи напряжения на растительную ткань, повреждается та её часть, которая находится ближе к электродной системе. Мембраны разрушаются, уменьшая полный импеданс участка. Данный процесс можно смоделировать в программе Electronics Workbench, закорачивая ёмкость и сопротивление мембраны каждого каскада растительного объекта [2,8,9,10].

Исходя из соединения элементов каждого участка представляем  $Z$  в виде:

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3 + \frac{R_1(-jX_c)}{R_1 - jX_c}} \quad (1)$$

где  $R_1$ –активное сопротивление протоплазмы, кОм;

$R_2$ –активное сопротивление межклетника, кОм;

$R_3$ –активное сопротивление мембраны, кОм;

$X_c$ –реактивное сопротивление мембраны, кОм;

Реактивное сопротивление мембраны определяем по формуле:

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C_m} = \frac{1}{2*3,14*50*270,6*10^{-12}} = 11763,1 \text{ кОм} \quad (2)$$

Где  $f$ - частота сети, Гц

$C_m$ - емкость, Ф

Подставив наши значения в формулу (1) получаем:

$$Z = \frac{R_3(R_2 + \frac{R_1(-jX_c)}{R_1 - jX_c})}{R_3 + R_2 + \frac{R_1(-jX_c)}{R_1 - jX_c}} = \frac{16,9(1,7 + \frac{89,3(-j11763,1)}{89,3 - j11763,1})}{1,7 + 16,9 + \frac{89,3(-j11763,1)}{89,3 - j11763,1}} = 14,25 - j0,0166$$

Значение импеданса для участка размером в  $1 \text{ см}^3$  равно:

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{14,25^2 + 0,0166^2} = 14,25 \text{ кОм} \quad (3)$$

Для оценки степени повреждения растительной ткани, мы предлагаем ввести безразмерную величину  $S_{po}$  (степень повреждения растительного объекта). Эту величину можно определить как отношение полного импеданса растительной ткани после повреждения  $Z_{пк}$  значению импеданса до повреждения воздействием ЭМП  $Z_d$ . Данное выражение имеет вид [2,8]:

$$S_{po} = \frac{Z_{пк}}{Z_d}$$

Значение полного импеданса растительной ткани до и после повреждения  $Z_{пк}$

$$Z_{\partial} = 14,25 \text{ кОм}, Z_{нк} = 3,14 \text{ кОм}$$

Тогда

$$S_{po} = \frac{Z_{нк}}{Z_{\partial}} = \frac{3,14}{14,25} = 0,22$$

Если это значение равно 1, то никакого негативного воздействия ЭМП на растительность оказано не было. Если же значение  $S_{po}$  меньше 1, то растение находится в фазе разрушения. Чем меньше значение  $S_{po}$ , тем сильнее воздействие ЭМП на БО [2,8].

Таким образом, можно сделать вывод о том, что используя компьютерную программу и численный метод расчета можно смоделировать воздействие электрического тока, на растительный объект и проследить характеристику изменения электрических величин.

**Вывод:** Сравнивая две каскадные схемы, изображенные на рис.1 и рис.2 можно сказать, что вторая является более полноценной и расширенной, несет больше информации в исследовательский процесс изучаемого. В ней учитываются все составляющие растительного объекта, которые вытекают из его биологического строения. В связи с этим, при исследованиях биологического объекта, как двухполюсника и использовании численных методов расчета, результаты будут максимально приближенными к реальным (экспериментальным) значениям, а также отклонения в полученных величинах будут незначительными по сравнению с первой схемой замещения.

#### Список использованных источников:

1. Гафиев, А.Э. Электронизация мобильных электротехнологических машин и установок электрического повреждения нежелательной растительности/А.Э. Гафиев, В.Г. Ляпин, М.М. Прокофьев, В.К. Куликов//Биотехнические, медицинские и экологические системы, измерительные устройства и робототехнические комплексы – Биомедсистемы-2020 [текст]: сб. тр. XXXIII Всерос. науч.-техн. конф. студ., мол. ученых и спец., 9-11 декабря 2020 г. / под общ. ред. В.И. Жулева. – Рязань: ИП Коняхин А.В. (Book Jet), 2020. – С. 51-55.
2. Ляпин, В.Г. Оборудование и энергосберегающая электротехнология борьбы с нежелательной растительностью/В.Г. Ляпин; Новосиб. гос. аграр. ун-т. – 2-е изд. перераб. и доп. - Новосибирск, 2012. – 366 с.
3. Ляпин, В.Г. Определение электрических параметров растительных и почвенных объектов как активно-емкостных двухполюсников/В.Г. Ляпин, М.В. Самохвалов//Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2020. Т. 67. N4(41). - С. 125-136.
4. Ляпин, В.Г. Принципы проектирования электропреобразователей мобильных электротехнологических машин/В.Г. Ляпин, М.М. Мартынов//Доклады ТСХА: Сборник статей. Вып. 290. Ч. II. - М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2018. - С. 189-191.
5. Ляпин, В.Г. Принципы проектирования электродных систем и электропреобразователей мобильных электротехнологических машин/В.Г. Ляпин, М.М. Мартынов, Д.В. Морокин//Инновации в сельском хозяйстве, 2018, №2. – С. 84-90.
6. Ляпин, В.Г. Развитие средств моделирования источников электропитания для инфокоммуникаций и электротехнологий/В.Г. Ляпин, И.И. Зотов//Предупреждение. Спасение. Помощь. Сб. материалов XXVII Междунар. науч.-практ. конф., 16 марта 2017 г. Секция 18. Направления развития инфокоммуникационных технологий и систем оповещения РСЧС и ГО. – Химки: ФГБВОУ ВО АГЗ МЧС России, 2017. – С. 43-46.
7. Ляпин, В.Г. Современные проблемы электроэнергетики: методические указания / В.Г. Ляпин. –М.: ООО «Реарт», 2018. –85 с.

8. Соболев, А.В. Основы теории электрических цепей (учебное пособие) / А.В. Соболев, Е.Д. Григорьева, В.Г. Ляпин — Химки: ФГБОУ ВО АГЗ МЧС России, 2016 –176 с.
9. Топорков, В.Н. Электроимпульсная установка для борьбы с сорняками/В.Н. Топорков, В.А. Королев. - М.: ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2017. - 132 с.
10. Юдаев, И.В. Электроимпульсный пропольщик: обоснование проектного конструкторского решения: монография/Ю.В. Юдаев. - Волгоград: ФГБОУ ВПО Волгоградский ГАУ, 2012. – 224 с.

*Гафиев Алмаз Эдуардович, магистр группы Д-М232 2 курса Института механики и энергетики имени В.П. Горячкина, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, [almaz.gafiev2@mail.ru](mailto:almaz.gafiev2@mail.ru), 8-925-028-56-71, 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49.*

*Ляпин Виктор Григорьевич, к.т.н., доцент кафедры электроснабжения и электротехники имени академика И.А. Будзко Института механики и энергетики имени В.П. Горячкина, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, [lei130@ngs.ru](mailto:lei130@ngs.ru), 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49.*

#### RESEARCH OF ELECTRIC CONVERTERS WHEN WORKING ON A LOAD SIMULATOR IN THE FORM OF A CASCADE SCHEME OF A PLANT OBJECT

Gafiev A.E., Lyapin V.G.

Abstract: The purpose of the article is to represent a biological object in the form of a cascade electrical circuit and to study its characteristics in the Electronics Workbench application program. It is impossible to analyze the processes occurring in the tissues of weeds under electrical impulse action, leading to damage to the internal structure and subsequent death of the plant, having information only about the equivalent electrical circuit of replacement of plant tissue. Therefore, it is also necessary to have an idea of the quantitative indicators of the electrical components of this circuit and their change in the process of electrical pulse damage. Existing approaches to the mathematical description of the processes of electrical damage to vegetation, measurements of the parameters of electrodes of electrotechnological installations and plant objects with known geometric characteristics allow us to determine the conductivity, magnetic and dielectric permittivity of the entire electrode system, the load of the power supply source, the equivalent resistance can be considered as a passive element of the electrical circuit.

Key words: power electronics, plant object, electrical damage, electrodes, electrical converter, voltage, current.

*Gafiev Almaz Eduardovich, Master of the D-M232 group, 2nd year of the Institute of Mechanics and Energy named after V.P. Goryachkina, Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, [almaz.gafiev2@mail.ru](mailto:almaz.gafiev2@mail.ru), 8-925-028-56-71, 127550, Moscow, st. Timiryazevskaya 49.*

*Lyapin Viktor Grigorievich, Ph.D., Associate Professor of the Department of Power Supply and Electrical Engineering named after academician I.A. Budzko Institute of Mechanics and Power Engineering named after V.P. Goryachkina, Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, [lei130@ngs.ru](mailto:lei130@ngs.ru), 127550, st. Timiryazevskaya 49.*

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ КОМБИНИРОВАННОГО ОБЛУЧАТЕЛЯ-ОЗОНАТОРА ВОЗДУХА В ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЯХ

Овсянникова Е. А., Сторчевой В. Ф., Кабдин Н. Е., Занфирова Л. В.

ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

***Аннотация:** Анализ существующих методов и средств обеззараживания воздушной среды, а именно, ультрафиолетового излучения и озона. Принцип действия и результаты от применения облучателей-озонаторов. Анализ характеристик ультрафиолетовых бактерицидных лам их положительное воздействие на животных. Области и особенности применения облучателя-озонатора воздуха в свиноводческих помещениях. Исследование математических моделей процесса бактерицидного облучения, определение основных параметров и режимов работы облучателя. Изучение изменения состава воздуха в животноводческом помещении при включении облучателя-озонатора «ОЗУФ». В результате анализа полученных экспериментальных данные, уравнения регрессии имеет следующий вид по каждому критерию оптимизации, которые позволяют получить рациональные режимы УФ бактерицидного облучения и озонирования воздуха. 1.  $Z_1 = 38,978 - 5,8t - 168,333O_3$  2.  $Z_2 = 694,972 - 161,333t - 3,925N_3$ .  $Z_3 = 0,51111 - 3,33333O_3$*

***Ключевые слова:** обеззараживание воздушной среды, ультрафиолетовое излучение, озон, математические модели*

### Введение

Наиболее актуальной проблемой в сельскохозяйственном производстве, является увеличение производства продукции и повышение репродуктивной способности животных и птиц.

В связи с этим возникает острая потребность в применении современных технологий для обеспечения сохранности животных, высокой репродуктивной способности и получение экологически чистых пищевых продуктов. Для решения этих проблем стоит уделить, особое внимание на улучшение содержания животных и птиц. Одно из условий хорошего содержания животных и птиц это то, что в помещении не должны быть превышены предельно допустимые концентрации патогенной микрофлоры. В связи с этим в животноводческих и птицеводческих помещениях обеззараживают воздушную среду.

Обеззараживание воздушной среды общепринято классифицировать по принципу бактерицидного действия. В данный момент времени существуют: химические, механические и физические методы дезинфекции воздуха в животноводческих помещениях.

В животноводстве наиболее эффективным и экологически безопасным методом обеззараживания воздушной среды является физический метод, работающий на основе коротковолнового УФ излучения с выделением озона и искусственной ионизацией воздуха. К обеззараживающим особенностям озона относят обширный спектр его биоцидного воздействия при низкой концентрации, применение для стерилизации труднодоступных поверхностей и короткий период полураспада.

Но в тоже время озон является высокотоксичным газом, обеззараживание воздушной

среды в присутствии животных возможно, только при низких концентрациях в зоне дыхания животных – не более  $0,1 \text{ мг/м}^3$ .

Достаточно широкое использование в животноводстве приобрело облучение воздушной среды коротковолновым УФ излучением ( $\lambda = 254 \text{ нм}$ ) [1,3]. Ультрафиолетовое излучение относится к электромагнитным колебаниям и обладает всеми характерными для них свойствами. Существует три области УФ излучений: А (лучи с длиной волны  $\lambda$  от 400-315 нм), В (315-280 нм) и С (280-100 нм). Область «С» имеет самое сильное бактерицидное действие. Благодаря сильному бактерицидному эффекту коротковолнового УФ излучения, воздух в животноводческом помещении становится чище, что в свою очередь позволяет снизить заболеваемость и улучшить продуктивность животных.

В связи с этим особую актуальность представляют *Лампы ДБК* – ультрафиолетовые бактерицидные лампы производящие УФ излучение с пиком на длине волны 254 нм, предназначенные для использования в УФ – бактерицидных облучательных установках для обеззараживания воздуха в помещениях [5].

Отличительной особенностью данных ламп является отсутствие специального покрытия или увиолевого стекла, что при работе ламп вызывает образование озона. Озон вырабатывается из-за того, что в этих лампах присутствует спектральная линия с длиной волны 185 нм. Применение этих ламп требует тщательного контроля концентрации озона и соблюдении его в ПДК.

На основе ламп ДБК были созданы облучатели-озонаторы «ОЗУФ» применяющиеся в животноводческих помещениях [5].

Принцип действия данного облучателя-озонатора заключается в том, что при включении лампы низкого давления, создается озонно-воздушная смесь, которая выводится через отверстия при помощи вентилятора и дезинфицирует воздух от патогенной микрофлоры. Это дает возможность использовать данный облучатель не только в животноводческих помещениях, но также во фруктохранилищах, где необходимо поддержание определенного состава воздушной среды [6].

Главной задачей данного исследования становится, применение облучателя-озонатора воздуха для свиноводческого помещения, расчет режимов его работы и оптимальной благотворной микрофлоры.

### **Материалы и методы**

Для теоретического исследования процесса влияния УФ бактерицидного облучения и озонирования, в данный процесс необходимо также включить разработку и исследование математических моделей исследуемого процесса, которые будут описывать связь между варьируемыми параметрами технологического процесса с критериями оценки эффективности процесса. Применение математических моделей для исследования позволяет получить информацию для формирования базы данных [7]

Чтобы обосновать основные параметры и режимы работы облучателя-озонатора, решено использовать матрицу активного планирования трехфакторного эксперимента типа  $2^3$ .

Критериями, влияющими на патогенную микрофлору в воздушном пространстве свинарника, являются:

1.  $X_1$  – Количество облучателей озонаторов  $N$ , шт;
2.  $X_2$  – Предельно допустимая концентрация  $O_3$ ,  $\text{мг/м}^3$ ;
3.  $X_3$  – Время обеззараживания  $t$ , ч.

Выбор критериев, по которым определяют эффективность процесса обеззараживания воздушной среды, обосновывается их наибольшей значимостью для данного процесса.

1.  $Y_1$  – Концентрация в воздухе  $NH_3$ ,  $мг/м^3$ ;
2.  $Y_2$  – Концентрация в воздухе ОМЧ, тыс./ $м^3$ ;
3.  $Y_3$  – Концентрация в воздухе  $CO_2$ , %.

### Результаты и обсуждение

В процессе статистической обработки экспериментальных данных был проведен регрессионный анализ, получены уравнения множественной линейной регрессии для каждого варьируемого параметра. Уравнения, полученные в результате математических моделей при помощи программы «STATISTICA V10.0» отражают достоверные описание искомой величины, при помощи факторов подверженные зависимости от основных параметров и режимов работы. Для приведения регрессионной модели, показывающая зависимость рассматриваемых величин от поверхностей отклика в зависимости от фактора мы использовали программу «STATISTICA V10.0».

Для теоретического исследования процесса УФ облучения и озонирования воздуха от патогенной микрофлоры был выбран комбинированный облучатель-озонатор серии «ОЗУФ» с лампой ДБК-36 без специального увиолевого стекла, которое ограничивает выход озона.

Выбор количества облучателей-озонаторов основывается по допустимой концентрации озона, для расчета нами были выбраны параметры (0,06; 0,08; 0,1  $мг/м^3$ ). Большее концентрацию  $O_3$  мы взять не можем, так как 0,1  $мг/м^3$  – это ПДК озона, которым можно дезинфицировать животноводческое помещение в присутствии животных и людей.

Время обеззараживания воздуха, выбрано исходя из рекомендованного времени дезинфекции [4,5].

Таблица 1 составлена основываясь на экспериментальные данные [3,5] влияния озона и УФ бактерицидного действия на  $NH_3$ , ОМЧ и  $CO_2$ .

Таблица 1 – Матрица активного планирования трехфакторного эксперимента по оптимизации режимных параметров облучателя-озонатора

№ п/п		Варьируемые параметры			Критерии оптимизации (отклик)		
		Количество облучателей-озонаторов, шт.	ПДК озона $мг/м^3$	Время обеззараживания, ч	Кон-ция в воздухе $NH_3$ , $мг/м^3$	Кон-ция в воздухе ОМЧ, тыс./ $м^3$	Кон-ция в воздухе $CO_2$ , %
	Пр <sub>бк</sub>	$X_1$ N	$X_2$ $O_3$	$X_3$ t	$Y_1$ $NH_3$	$Y_2$ ОМЧ	$Y_3$ $CO_2$
Фон	-	-	-	-	25	700	0,4
1	20,5	10	0,06	1	20,8	455	0,4
2	20,5	30	0,08	2	12	189	0,2
3	20,5	50	0,1	3	4,3	21	0,1
4	20,5	10	0,06	2	18,3	347	0,3
5	20,5	30	0,08	3	5,8	42	0,1
6	20,5	50	0,1	1	18,8	399	0,3
7	20,5	10	0,06	3	14,7	250	0,3
8	20,5	30	0,08	1	20	427	0,3
9	20,5	50	0,1	2	10,5	161	0,2

График поверхностей для  $Y_1$ ,  $X_2$  и  $X_3$  представлен на рис. 1.



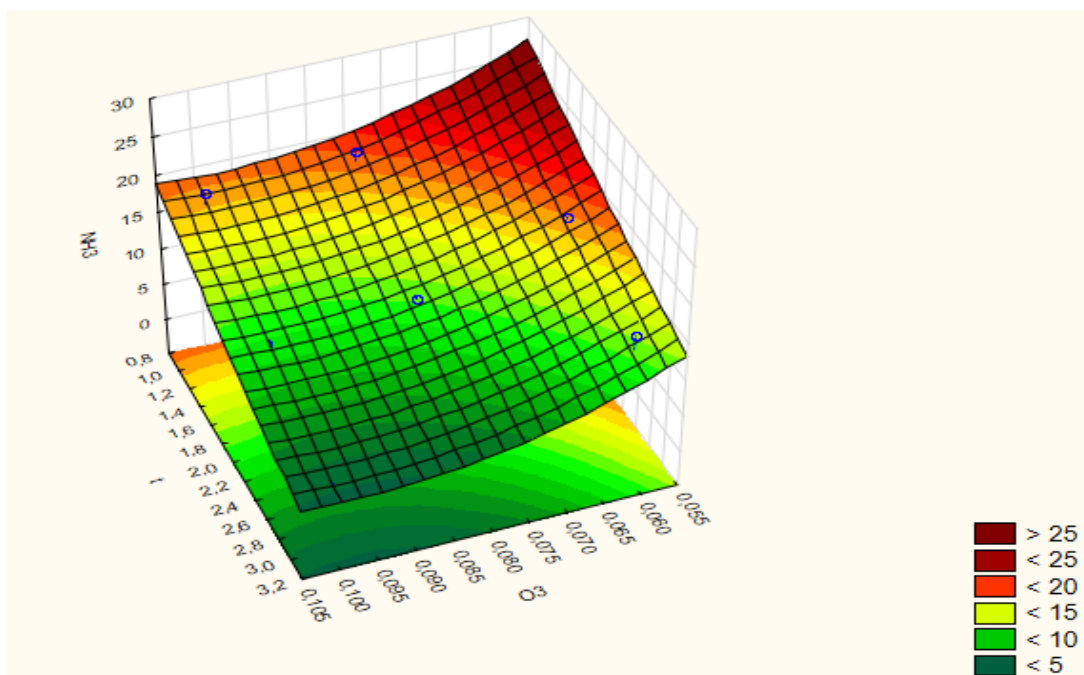


Рисунок 1 – Поверхность отклика трехфакторной модели, изменения концентрации аммиака  
 На рис. 2 представлен график поверхностей для оптимальных значений  $Y_1$ ,  $X_2$  и  $X_3$

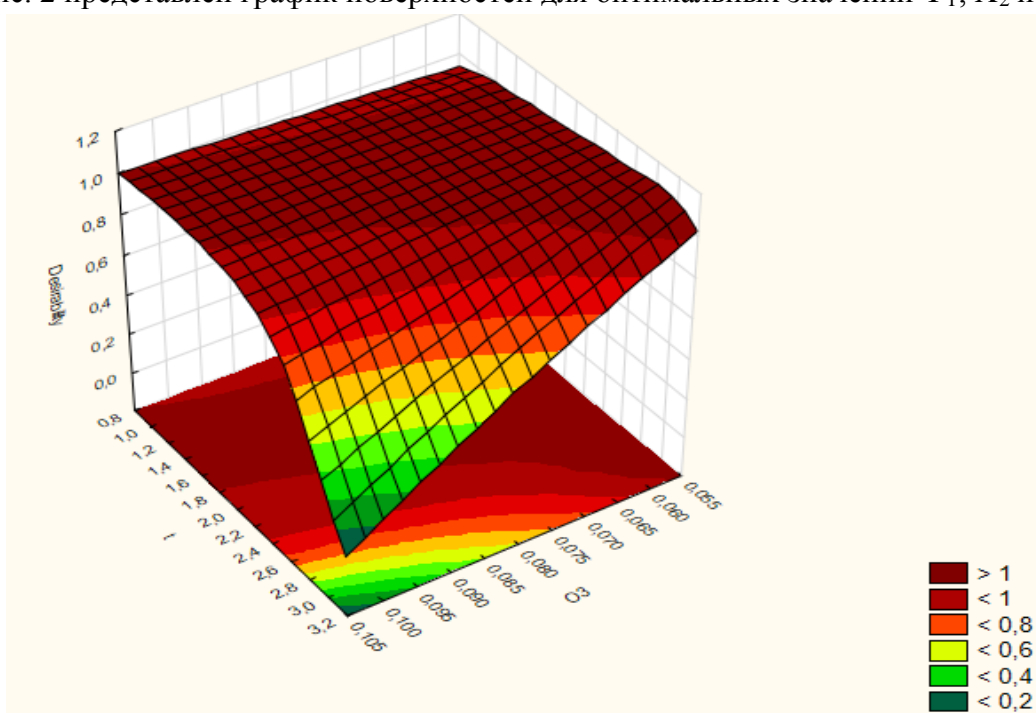


Рисунок 2 – Поверхность отклика трехфакторной модели оптимального изменения  
 концентрации аммиака (4-8 мг/м<sup>3</sup>)

График поверхности отклика трехфакторной модели поверхностей для  $Y_2$ ,  $X_1$  и  $X_3$   
 представлен на рис.3 – рис.6.

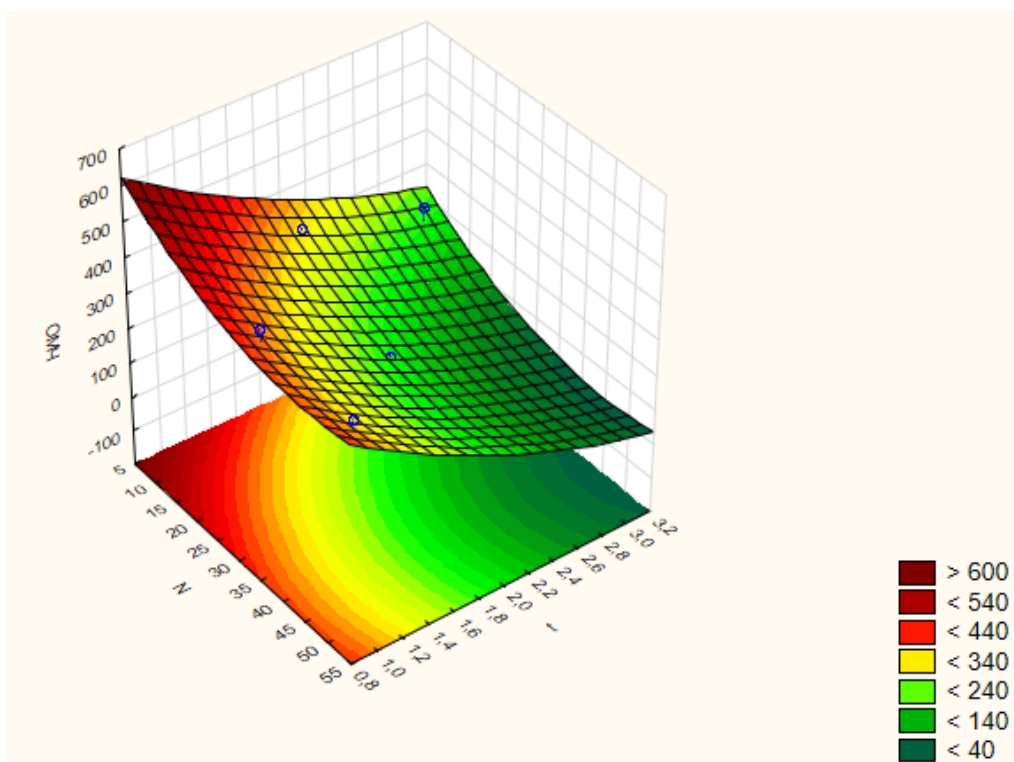


Рисунок 3 - Поверхность отклика трехфакторной модели, изменения общей микробной численности

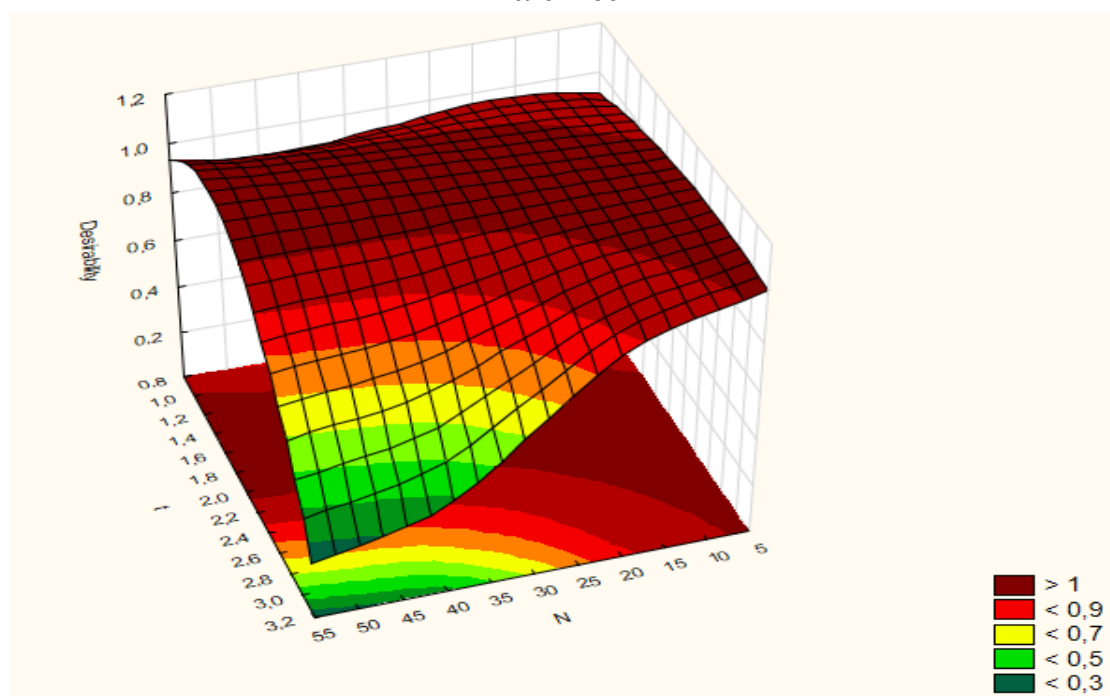


Рисунок 4 - Поверхность отклика трехфакторной модели оптимального изменения концентрации ОМЧ (20-100 тыс./м<sup>3</sup>)

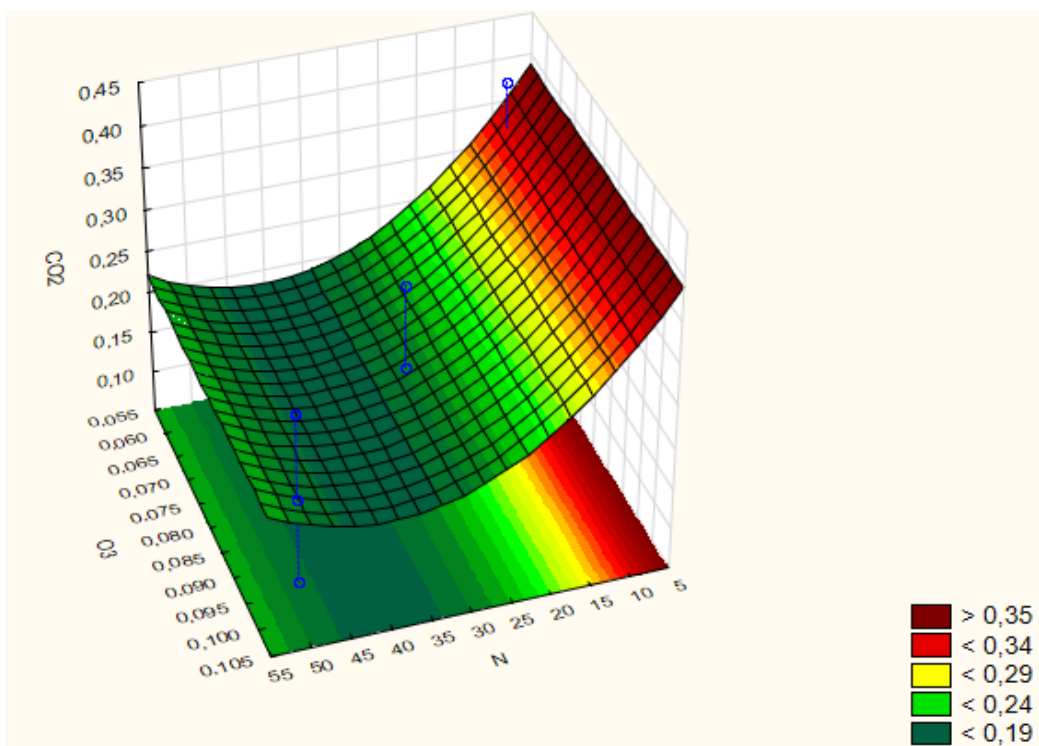


Рисунок 5 – Поверхность отклика трехфакторной модели, изменения концентрации азота

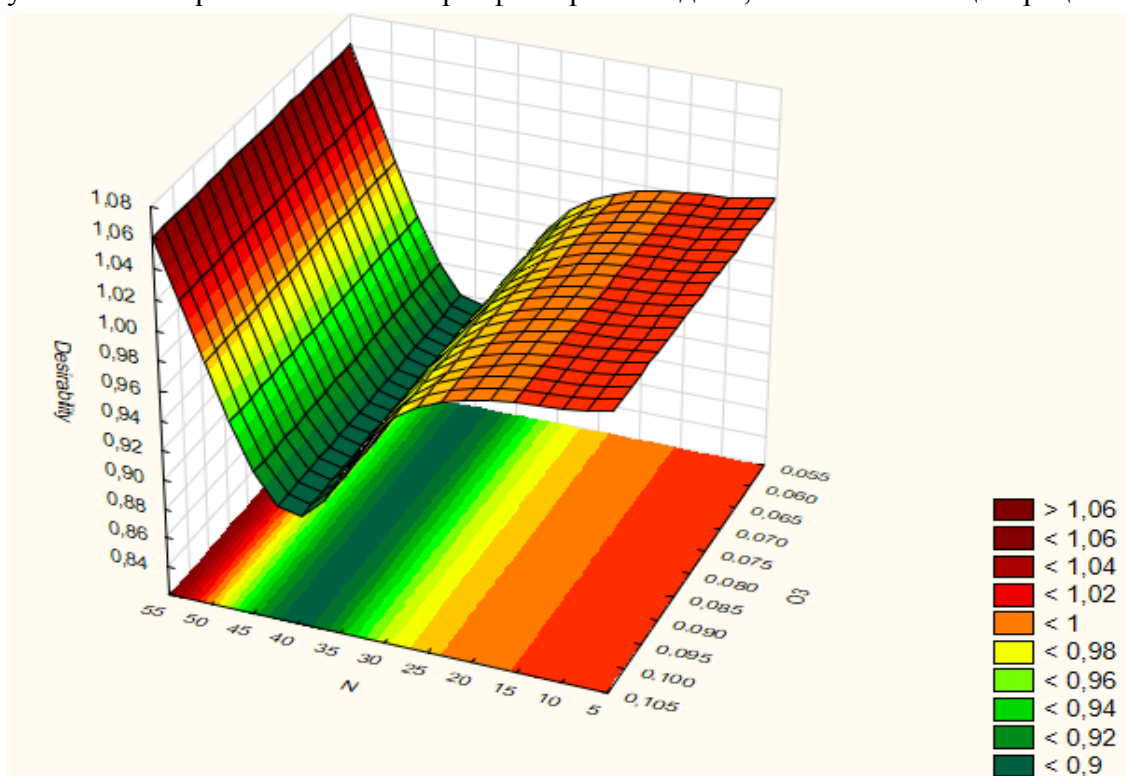


Рисунок 6 – Поверхность отклика трехфакторной модели оптимального изменения концентрации азота (0,1-0,2 %)

Проанализировав полученные экспериментальные данные, получаем уравнения регрессии по каждому критерию оптимизации, которые позволяют получить рациональные режимы УФ бактерицидного облучения и озонирования воздуха.

1.  $Z_1 = 38,978 - 5,8t - 168,333O_3$
2.  $Z_2 = 694,972 - 161,333t - 3,925N$
3.  $Z_3 = 0,51111 - 3,33333O_3$

## Выводы

Таким образом, в итоге были получены регрессионные модели и эффективные режимы УФ облучения и озонирования воздуха:

$NH_3 = 38,978 - 5,8t - 168,333O_3$  – изменение концентрации  $NH_3$  от времени УФ облучения и озонирования воздуха;

$OMЧ = 694,972 - 161,333t - 3,925N$  – изменение концентрации общей микробной численности от времени УФ облучения и озонирования воздуха;

$CO_2 = 0,51111 - 3,33333O_3$  – изменение концентрации азота от озонирования воздуха.

## Список использованных источников:

1. [Storchevoy, V., Suchugov, S., Umansky, P., Storchevoy, A. Study of the operating modes of a microwave installation for heat treatment and disinfection of grain. E3S Web of Conferences 273,pp. 01022, 2021](#)
2. Компаниец А.Е., Сторчевой В.Ф. Исследование параметров и режимов работы озонатора при термической обработке молока. В сборнике: Материалы международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 160-летию В.А. Михельсона. 2020. С. 299-303.
3. Курзин Н.Н., Нормов Д.А., Лебедев Д.В., Рожков Е.А. Электротехнологии в сельском хозяйстве. Учебно-методическое пособие для студентов направления 35.03.06 "Агроинженерия (Электрооборудование и электротехнологии)" / Краснодар, 2020.
4. Сторчевой В.Ф., Кабдин Н.Е., Компаниец А.Е. Исследование параметров и режимов работы озонатора-ионизатора для молочных ферм. [Агроинженерия](#). 2020. № 3 (97). С. 50-54.
5. Алферова Л.К. Бородин И.Ф. Юферев Л.Ю. Нанотехнологии на основе ультрафиолетового излучения в сельском хозяйстве. // Техника и оборудование для села. 2006. №6
6. Азизов Р.А., Чистова Я.С. Электрификация камеры с регулируемой газовой средой во фруктохранилище для хранения яблок. // Наука без границ. 2019. № 6 (34). С. 110-113.
7. Меликов А.В. Применение теории множеств для организации данных исходной реляционной базы данных. // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2011. №4 (16). С.16-22.

*Овсянникова Елена Александровна, старший преподаватель кафедры автоматизации и роботизации технологических процессов имени академика И.Ф. Бородина ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, [energo-ovs@mail.ru](mailto:energo-ovs@mail.ru)*

*Сторчевой Владимир Федорович, заведующий кафедрой автоматизации и роботизации технологических процессов имени академика И.Ф. Бородина, д.т.н., профессор ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, [v.storchevoy@rgau-msha.ru](mailto:v.storchevoy@rgau-msha.ru)*

*Кабдин Николай Егорович, к.т.н., доцент кафедры автоматизации и роботизации технологических процессов имени академика И.Ф. Бородина, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, [energo-nek@rgau-msha.ru](mailto:energo-nek@rgau-msha.ru)*

*Занфирова Лариса Вячеславовна, к.п.н., доцент кафедры автоматизации и роботизации технологических процессов имени академика И.Ф. Бородина [zanfirova@rgau-msha.ru](mailto:zanfirova@rgau-msha.ru)*

## DETERMINATION OF BASIC PARAMETERS AND OPERATING MODES OF THE COMBINED AIR IRRADIATOR-OZONATOR IN LIVESTOCK ROOMS

Ovsyannikova Elena Aleksandrovna, Storchevoy Vladimir Fedorovich, Kabdin Nikolay Egorovich,  
Zanfirova Larisa Vyacheslavovna

**Abstract:** Analysis of existing methods and means of air disinfection, namely, ultraviolet radiation and ozone. The principle of operation and the results from the use of irradiators-ozonizers. Analysis of the characteristics of ultraviolet bactericidal lamps and their positive effects on animals. Areas and features of the use of the irradiator-ozonator of air in pig-breeding premises. Study of mathematical models of the process of bactericidal irradiation, determination of the main parameters and operating modes of the irradiator. Study of changes in the air composition in the livestock building when the OZUF irradiator-ozonator is turned on. As a result of the analysis of the obtained experimental data, the regression equations have the following form for each optimization criterion, which make it possible to obtain rational modes of UV bactericidal irradiation and air ozonation. 1.  $Z_1 = 38.978 - 5.8t - 168.333O_3$  2.  $Z_2 = 694.972 - 161.333t - 3.925N_3$  3.  $Z_3 = 0.51111 - 3.33333O_3$

**Key words:** air disinfection, ultraviolet radiation, ozone, mathematical models

*Ovsyannikova Yelena Aleksandrovna, starshiy prepodavatel' kafedry avtomatizatsii i robotizatsii tekhnologicheskikh protsessov imeni akademika I.F. Borodina FGBOU VO RGAU-MSKHA imeni K.A. Timiryazeva, [energo-ovs@mail.ru](mailto:energo-ovs@mail.ru)*

*Storchevoy Vladimir Fedorovich, zaveduyushchiy kafedroy avtomatizatsii i robotizatsii tekhnologicheskikh protsessov imeni akademika I.F. Borodina, d.t.n., professor FGBOU VO RGAU-MSKHA imeni K.A. Timiryazeva, [v.storchevoy@rgau-msha.ru](mailto:v.storchevoy@rgau-msha.ru)*

*Kabdin Nikolay Yegorovich, k.t.n., dotsent kafedry avtomatizatsii i robotizatsii tekhnologicheskikh protsessov imeni akademika I.F. Borodina, FGBOU VO RGAU-MSKHA imeni K.A. Timiryazeva, [energo-nek@rgau-msha.ru](mailto:energo-nek@rgau-msha.ru)*

*Zanfirova Larisa Vyacheslavovna, k.p.n., dotsent kafedry avtomatizatsii i robotizatsii tekhnologicheskikh protsessov imeni akademika I.F. Borodina [zanfirova@rgau-msha.ru](mailto:zanfirova@rgau-msha.ru)*

## ОСОБЕННОСТИ ГИБРИДНЫХ СВЧ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Тухватуллин М.И., Архангельский Ю.С., Ахметшин А.Т.

ФГБОУ ВО Башкирский государственный аграрный университет

***Аннотация.** В сверхвысокочастотной электротехнологической установке с камерой гибридного типа, применяя сверхвысокочастотную электромагнитную энергию, возможно осуществлять тепловую модификацию диэлектрических материалов и нетепловую модификацию полимерных материалов, в результате которой у обрабатываемых объектов изменяются свойства и параметры быстрее и равномернее, чем при нагреве традиционными способами. В работе предложена конструкция сверхвысокочастотной электротехнологической установки с рабочей камерой гибридного типа. Такая конструкция позволяет в одной установке одновременно проводить нетепловую СВЧ модификацию полимерного материала и тепловую СВЧ модификацию диэлектрического материала. СВЧ электротехнологическая установка с рабочей камерой гибридного типа дешевле, занимает меньшую площадь в сравнении с двумя отдельными установками, выпускающими в общей сложности ту же продукцию с той же производительностью. Установка имеет максимальный коэффициент полезного действия, максимальную энергетическую и достойную экономическую эффективность, что обуславливает ее применение.*

***Ключевые слова:** электротехнологическая установка с камерой гибридного типа, СВЧ модификация.*

**Цель исследования.** Разработка СВЧ электротехнологической установки с рабочей камерой гибридного типа.

**Методы исследования.** Тепловая СВЧ модификация проводится на базе решения согласованной краевой задачи электродинамики и тепломассопереноса, нетепловая СВЧ модификация проводится на базе решения уравнения Максвелла.

**Введение.** Термообработка диэлектрических материалов и изделий – технологический процесс, который широко применяется в различных отраслях промышленности, в сельском хозяйстве, в медицине и быту. Нагрев диэлектрического материала за счет энергии электромагнитных колебаний сверхвысокой частоты в электромагнитном поле происходит значительно быстрее и равномернее чем при традиционных методах нагрева, так как распространение электромагнитной волны в обрабатываемом диэлектрике происходит с огромной скоростью, а тепловыделение происходит в каждом элементарном объеме обрабатываемого материала [1,9]. Созданием научных основ проектирования и разработкой конструкций СВЧ электротехнологических установок и их элементов занимаются такие ученые, как Архангельский Ю.С. [2]. В последние годы проводятся исследования по применению СВЧ энергии в сельском хозяйстве: Сивяков Б.К. [5], Степаненко В.В. [6], Хасанов Э.Р. [10], ведутся исследования в области нетепловой СВЧ модификаций Злобина И.В. [4], математическому моделированию СВЧ термообработки Тригорлый С.В. [7], Захаров В.В. [3].

**Материалы и методы исследования.** В данной работе предложена конструкция СВЧ

электротехнологической установки с рабочей камерой гибридного типа, в которой одновременно реализуются тепловая СВЧ модификация диэлектрического материала, например, сосновые доски, сено, овощи и нетепловая СВЧ модификация полимерного материала, например, поликапроамидные нити, полимерные масла, зерно в потоке.

На рисунке 1 приведен алгоритм проектирования СВЧ электротехнологической установки с рабочей камерой гибридного типа.

При выборе исходного варианта СВЧ электротехнологической установки с рабочей камерой гибридного типа следует выбирать наиболее простой вариант компоновки установки. На данном этапе приходится решать задачу определения параметров модифицируемых обетов. Это весьма трудоемкий и ответственный этап проектирования. Определение приближенных значений таких параметров как относительная диэлектрическая проницаемость  $\varepsilon'$  и тангенс угла диэлектрических потерь  $tg\delta$  обрабатываемых материалов может привести к неприемлемым ошибкам в расчете геометрии рабочих камер и режимов их работы. Параметры нетепловой СВЧ модификации полимеров изучены значительно меньше, и поэтому при проектировании следует проявить особую осмотрительность. В первую очередь нужно знать значения оптимальных напряжённостей  $E_{опт}$ , частоты  $f_{опт}$  и времени нетепловой модификации  $\tau_{опт}$ .

Необходимо знать число СВЧ генераторов  $M$ , их мощность  $P$  и частоту  $f$  (длина волны  $\lambda$ ). В первом приближении можно записать

$$V = \lambda^3; \quad (1)$$

$$S = (3...6)\lambda^2, \quad (2)$$

где  $V$  и  $S$  – объём и площадь поверхности нагреваемого диэлектрика;

$\lambda$  – длина волны генератора.

Если нетепловая СВЧ модификация выполняется при заданном значении напряженности  $E$ , то мощность СВЧ электротехнологической установки с камерой гибридного типа выбирается с учетом сечения волновода такой, чтобы в этом волноводе выполнялось условие

$$E = E_{опт}. \quad (3)$$

Длина однородного волновода рабочей камеры нетепловой СВЧ модификации выбирается по следующей формуле

$$l = \frac{1}{2\alpha} \ln \frac{E_{опт} + \Delta E_{опт}}{E_{опт} - \Delta E_{опт}}, \quad (4)$$

где  $\alpha$  – коэффициент затухания в волноводе, частично заполненном обрабатываемым полимером;

$\Delta E_{опт}$  – допустимое в нетепловой СВЧ модификации отклонение напряженности  $E$  от оптимального значения  $\Delta E_{опт}$ .

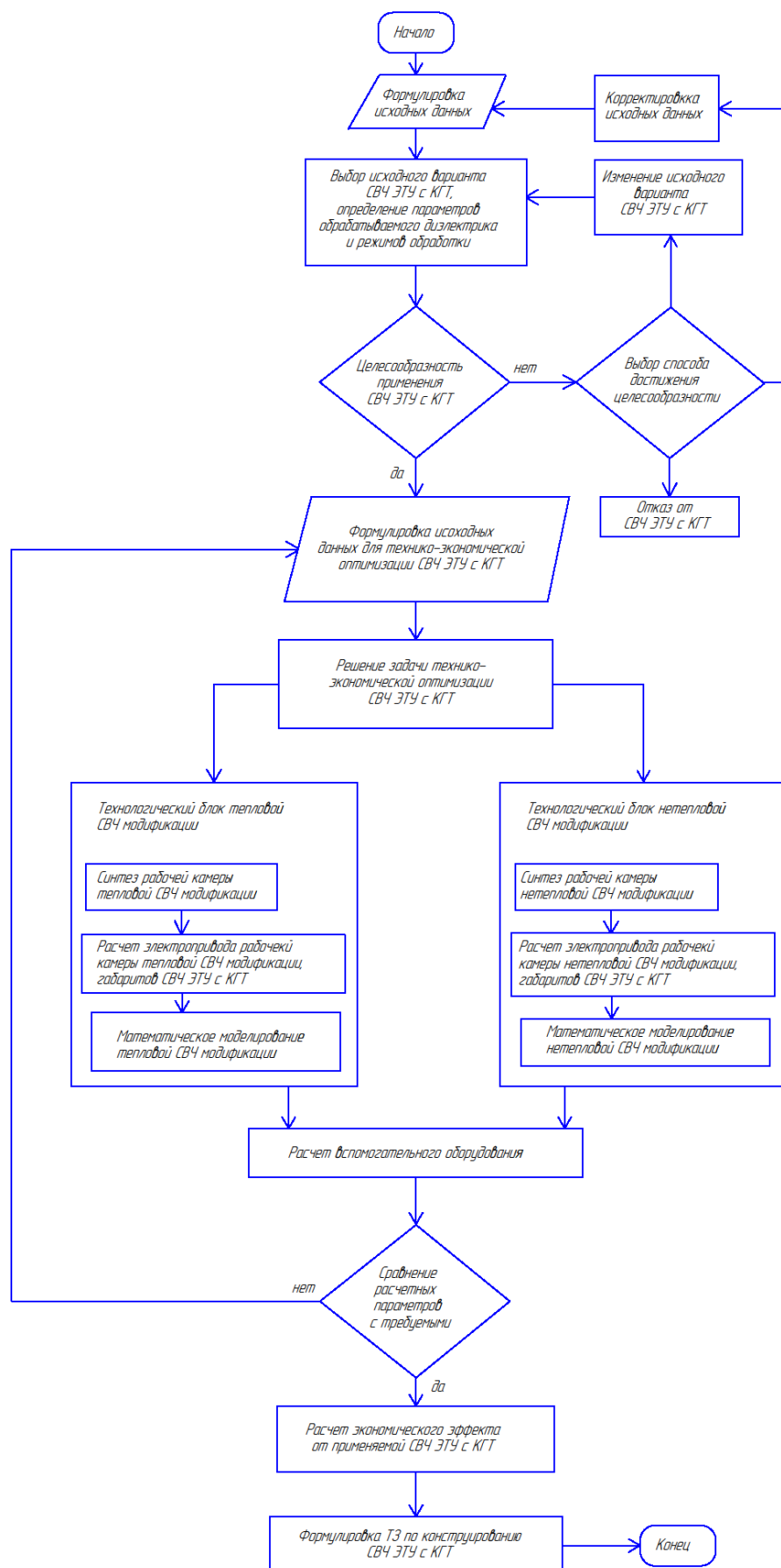


Рисунок 1 Алгоритм проектирования СВЧ электротехнологической установки с рабочей камерой гибридного типа  
 Проектирование СВЧ электротехнологической установки с камерой гибридного типа



базируется на решении согласованной краевой задачи электродинамики и тепломассопереноса [2,8]

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} H &= G + \frac{\partial D}{\partial t}; \\ \operatorname{rot} E &= -\frac{\partial B}{\partial t}; \\ \operatorname{div} B &= 0; \\ \operatorname{div} D &= 0, \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \theta}{\partial t} + v \nabla \theta &= k_{11} \nabla^2 \theta + k_{12} \nabla^2 U + k_{13} \nabla^2 p + \frac{P_{уд}}{c_o \rho_o}; \\ \frac{\partial U}{\partial t} + v \nabla U &= k_{21} \nabla^2 \theta + k_{22} \nabla^2 U + k_{23} \nabla^2 p; \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial p}{\partial t} + v \nabla p &= k_{31} \nabla^2 \theta + k_{32} \nabla^2 U + k_{33} \nabla^2 p; \\ \theta &= T - T_0, \end{aligned} \quad (7)$$

где  $H, E$  – напряженности магнитного и электрического поля электромагнитной волны;  
 $G$  – плотность тока проводимости (при нагреве диэлектрика  $G = 0$ );  
 $B, D$  – магнитная и электрическая индукции электромагнитного поля;  
 $T, T_0$  – текущая и начальная температуры обрабатываемого объекта;  
 $U$  – удельное влагосодержание обрабатываемого объекта;  
 $p$  – давление водяных паров в обрабатываемом объекте;  
 $v$  – скорость транспортировки обрабатываемого объекта в рабочей камере;  
 $k_{11}, k_{12}, \dots, k_{33}$  – коэффициенты тепломассопереноса;  
 $P_{уд}$  – удельная мощность, поглощаемая обрабатываемым объектом;  
 $c_o, \rho_o$  – удельная теплоемкость и плотность обрабатываемого объекта.

### Результаты исследования и их анализ.

Структурная схема СВЧ электротехнологической установки с рабочей камерой гибридного типа приведена на рисунке 2.

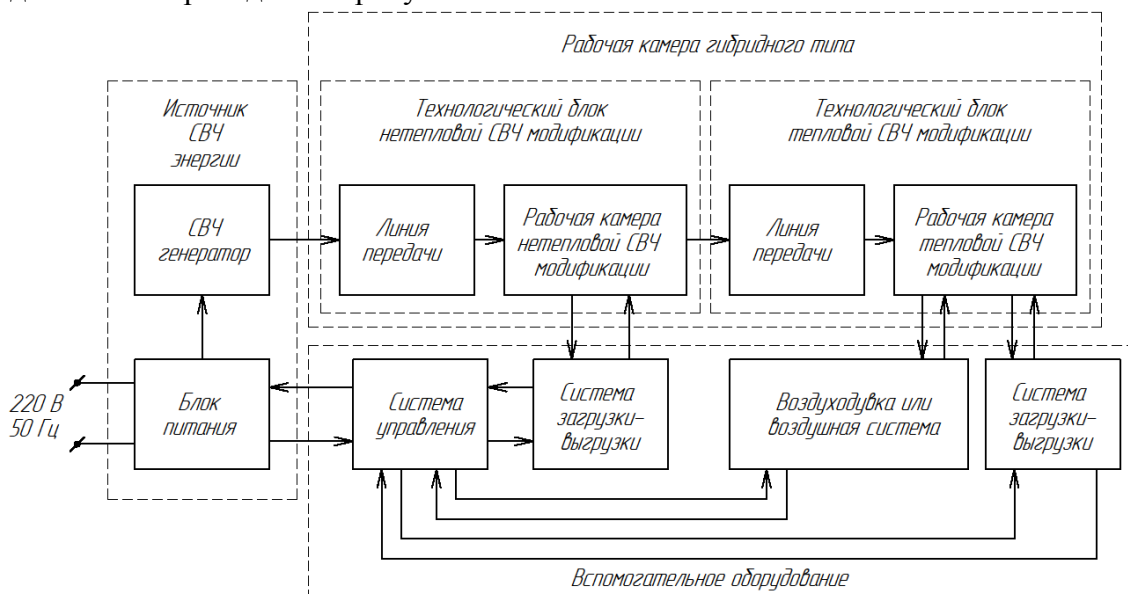


Рисунок 2 Структурная схема СВЧ электротехнологической установки с рабочей камерой гибридного типа

Конструкция СВЧ электротехнологической установки с камерой гибридного типа, приведенная на рисунке 2, выпускает два вида продукции, ее экономическая эффективность выше, чем у отдельно взятой установки нетепловой или тепловой СВЧ модификации, а ее коэффициент полезного действия, то есть энергетическая эффективность, равен максимально достижимой величине.

В установке можно проводить модификацию поликапроамидных нитей, от чего у нитей увеличивается прочность на разрыв, тепловую СВЧ модификацию жидкостей в потоке, от чего у нее уменьшается вязкость.

Поперечные сечения рабочих камер технологических блоков СВЧ электротехнологической установки с рабочей камерой гибридного типа приведены на рисунке 3.

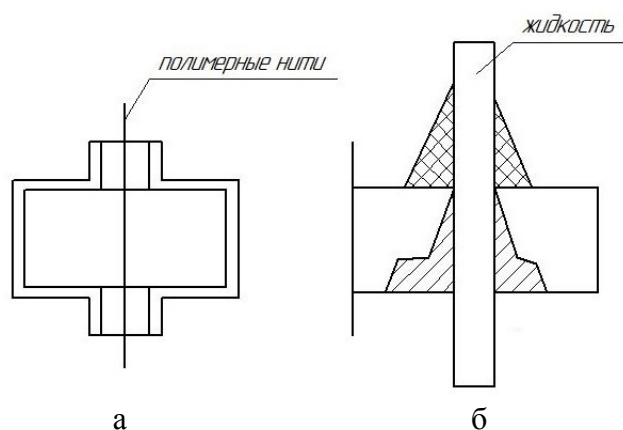


Рисунок 3 Поперечные сечения рабочих камер технологических блоков СВЧ электротехнологической установки с рабочей камерой гибридного типа:  
 а – прямоугольный волновод со слоем обрабатываемых нитей;  
 б – камера с бегущей волной на круглом нерегулярном волноводе, частично заполненном обрабатываемым объектом

Нетепловая СВЧ модификация длится считанные секунды, а потому рабочая камера нетепловой СВЧ модификации должна работать в методическом режиме, тепловая СВЧ модификация проводится в том же режиме. Периодический режим работы потребует выключение источника СВЧ энергии, при остановке нетепловой СВЧ модификации полимера, а это приведет к появлению начального и конечного брака продукции.

#### **Заключение.**

Предложена конструкция нового типа СВЧ электротехнологической установки с рабочей камерой гибридного типа, позволяющая проводить одновременно нетепловую СВЧ модификацию полимерного материала и тепловую СВЧ модификацию диэлектрического материала.

СВЧ электротехнологическую установку с рабочей камерой гибридного типа предлагается использовать вместо отдельных СВЧ электромагнитных установок, реализующих только нетепловую СВЧ модификацию полимерного материала или тепловую СВЧ модификацию диэлектрического материала.

Предлагаемая СВЧ электротехнологическая установка с рабочей камерой гибридного типа имеет ряд существенных преимуществ. Для реализации нетепловой и тепловой СВЧ модификаций в ней используется всего лишь один СВЧ генератор, то есть она потребляет меньше электроэнергии чем две отдельные СВЧ электротехнологические установки

нетепловой и тепловой СВЧ модификаций. Следовательно, СВЧ электротехнологическая установка с рабочей камерой гибридного типа дешевле двух отдельных СВЧ установок, производящих ту же продукцию, дешевле обходится ее эксплуатация и она занимает меньшую площадь.

Оставшаяся после нетепловой модификации СВЧ мощность в СВЧ электротехнологической установке с рабочей камерой гибридного типа, поступает в рабочую камеру тепловой СВЧ модификации, где расходуется на термообработку диэлектрического материала, так что КПД всей установки по использованию СВЧ энергии оказывается высоким и определяется главным образом типом рабочей камеры тепловой СВЧ модификации. Если это камера с бегущей волной, то этот КПД достигает порядка 98%. В предлагаемой СВЧ электротехнологической установке с рабочей камерой гибридного типа в результате использования нетепловой модификации в 10...50 раз ускоряется отверждение эпоксидных компаундов, в 1,5 раза увеличивается прочность на разрыв поликапроамидных нитей. В технологическом блоке тепловой СВЧ модификации могут быть использованы камеры с бегущей волной, камеры лучевого типа, камеры меандрового типа, то есть любая из известных сегодня рабочих камер, что дает возможность проводить нетепловую СВЧ модификацию объектов разных габаритов и с разными параметрами.

#### **Список использованных источников:**

- [1] Aipov R.S. Process unit for drying sawn timber rotating in the ultra high frequency field with a discrete arrangement of magnetrons / R.S. Aipov, I.I. Gabitov, M.I. Tuhvatullin, A.V. Linenko, M.F. Tuktarov, A.T. Akhmetshin // Bulgarian Journal of Agricultural Science, 25 (Suppl. 2), pp. 3-11. 2019.
- [2] Архангельский Ю.С. Измерения в СВЧ электротехнологических установках [Текст] / Ю.С. Архангельский, С.Г. Калганова, Р.К. Яфаров. – Саратов: Амирит, 2018. – 322 с.
- [3] Захаров В.В. Численное моделирование процессов СВЧ термообработки диэлектриков большой площади с применением СВЧ установок методического действия [Текст] / В.В. Захаров, С.В. Янкин, С.В. Тригорль // Вопросы электротехнологии, 2018. – №3(20). – С. 36-41.
- [4] Злобина И.В. Низкотемпературная упрочняющая модификация отвержденных полимерных композиционных материалов в СВЧ электромагнитном поле [Текст] / И.В. Злобина. // Вопросы электротехнологии, 2018. – №4(21). – С. 16-23.
- [5] Сивяков Б.К. Математическое моделирование многоволновой СВЧ установки для сушки продуктов [Текст] / Б.К. Сивяков, С.В. Григорьян // Вопросы электротехнологии, 2019. №4 (25). – С. 5-11.
- [6] Степаненко В.В. Дезинсекция пищевых продуктов энергией СВЧ электромагнитного поля [Текст] / В.В. Степаненко, В.Ю. Кажевников // Вопросы электротехнологии, 2017. – №4(17). – С.19-22.
- [7] Тригорль С.В. Численное моделирование процессов плавления диэлектриков в СВЧ установках лучевого типа [Текст] / С.В. Тригорль, В.В. Захаров, В.С. Алексеев // Вопросы электротехнологии, 2019. – №2(23). – С. 13-19.
- [8] Tuhvatullin M.I. Microwave drying of wood, mathematical simulation of rotating lumber in the SHF field / M.I. Tuhvatullin, R.S. Aipov, A.V. Linenko, R.R. Galiullin, T.I. Kamalov // International Journal of Advanced Science and Technology, vol. 28. №9 (2019). Pp. 208-218.
- [9] Тухватуллин М.И. Результаты экспериментальных исследований сушки пиломатериалов в СВЧ-установке [Текст] / М.И. Тухватуллин // Вопросы электротехнологии.

– 2019. – № 4. – С. 50-56.

[10] Хасанов Э.Р. Влияние режимов обработки токами СВЧ на обеззараживание и стимуляцию прорастания семян с последующей инкрустацией [Текст] / Э.Р. Хасанов // Вестник Башкирского ГАУ. - 2015.-№ 3 (35).- С.77-81.

*Тухватуллин Мидхат Ильфатович, к.т.н., старший преподаватель кафедры электроснабжения и автоматизации технологических процессов ФГБОУ ВО Башкирский государственный аграрный университет e-mail: [midhat.tuhvatullin@mail.ru](mailto:midhat.tuhvatullin@mail.ru)*

*Архангельский Юрий Сергеевич, доктор технических наук профессор, заслуженный деятель науки РФ.*

*Ахметшин Артур Талгатович, к.т.н., доцент кафедры электроснабжения и автоматизации технологических процессов ФГБОУ ВО Башкирский государственный аграрный университет e-mail: [artur-2506@mail.ru](mailto:artur-2506@mail.ru).*

## FEATURES OF HYBRID MICROWAVE ELECTRICAL INSTALLATIONS

Tukhvatullin M.I., Arkhangelskiy Yu.S., Akhmetshin A.T.

**Abstract.** In an ultra-high-frequency electrical installation with a hybrid-type chamber, using ultra-high-frequency electromagnetic energy, it is possible to carry out thermal modification of dielectric materials and non-thermal modification of polymer materials, because of which the properties and parameters of the processed objects change faster and more uniformly than when heated by traditional methods. The paper proposes the design of an ultra-high-frequency electrotechnical installation with a hybrid-type working chamber. This design makes it possible to simultaneously carry out non-thermal microwave modification of a polymer material and thermal microwave modification of a dielectric material in one installation. A microwave electrotechnical installation with a hybrid-type working chamber is cheaper and takes up less space in comparison with two separate installations that produce the same products with the same productivity in total. The installation has the maximum efficiency, maximum energy and worthy of economic efficiency, which determines its use.

**Key words:** electrotechnical installation with a hybrid-type chamber, microwave modification.

*Tukhvatullin Midkhat Ilfatovich, candidate of technical sciences, senior lecturer Department of Power Supply and Automation of Technological Processes Bashkir State Agrarian University e-mail: [midhat.tuhvatullin@mail.ru](mailto:midhat.tuhvatullin@mail.ru).*

*Arkhangelsky Yuri Sergeevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Scientist of the Russian Federation.*

*Akhmetshin Artur Talgatovich, candidate of technical sciences, senior lecturer Department of Power Supply and Automation of Technological Processes, Bashkir State Agrarian University e-mail: [artur-2506@mail.ru](mailto:artur-2506@mail.ru).*

## ПРИМЕНЕНИЕ ПУНКТОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ПРН 10(6) КВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Перинский Т. В.

ООО «СКЭ-Электро»

***Аннотация:** В статье рассматриваются требования предприятий агропромышленного комплекса к обеспечению качества электроэнергии. Описаны причины отклонения напряжения при питании от электрических сетей единой энергетической системы. В качестве технического решения предложена установка Пункта регулирования напряжения 10 кВ для обеспечения требуемого уровня напряжения в автоматическом режиме. Приведены примеры установки на конкретных предприятиях, представлены строительные решения и технические решения по организации дистанционного контроля и телеуправления. Показан результат применения устройства с приведением графика регулирования напряжения в течение суток.*

***Ключевые слова:** линии электропередачи, отклонение напряжения, вольтодобавочный автотрансформатор, Пункт регулирования напряжения, обеспечение качества электроэнергии, автоматическое регулирование напряжения.*

Современные предприятия агропромышленного комплекса (далее АПК) выдвигают жесткие требования по качеству электроснабжения, включая требования к отклонению напряжения от номинальных значений и к отсутствию несимметрии напряжений [2]. Прежде всего это связано с применением современного высокотехнологичного оборудования, а также высокой степенью автоматизации производства.

Также многие предприятия приобретают свои источники электроснабжения на природном газе. Это связано с тем, что себестоимость электроэнергии на собственной электростанции существенно ниже, чем существующие тарифы на электроэнергию. При этом предприятия АПК не отказываются от использования электроэнергии от сетей, используя ее в качестве горячего резерва.

Следует также принимать во внимание, что предприятие АПК не всегда располагаются вблизи подстанций напряжением 35 кВ и выше, поэтому длина ЛЭП напряжением 10(6) кВ может достигать значения 10 км и более, что оказывает существенное влияние на качество электроэнергии, прежде всего, на отклонение напряжения. В периоды питания от собственных энергоисточников отклонения не превышают допустимых значений, но в периоды аварийных или плановых отключений собственных энергоисточников возникает необходимость в обеспечении нормального уровня напряжения. Отклонение напряжение также может быть вызвано не только потерями напряжения в ЛЭП 10(6) кВ, но и влиянием иных потребителей. Например, из-за влияния тяговые подстанции возникает несимметрия напряжений

Одним из самых эффективных способов является установка Пункта регулирования напряжения ПРН 10(6) УХЛ1 [1, 5], который обеспечивает автоматическое регулирование напряжения в диапазоне до 15%. ПРН состоит из двух или трех однофазный

вольтодобавочных автотрансформаторов. Данное оборудование уже нашло свое применение на ряде предприятий АПК в России и СНГ. Схема электроснабжения в упрощенном виде представлена на рис. 1

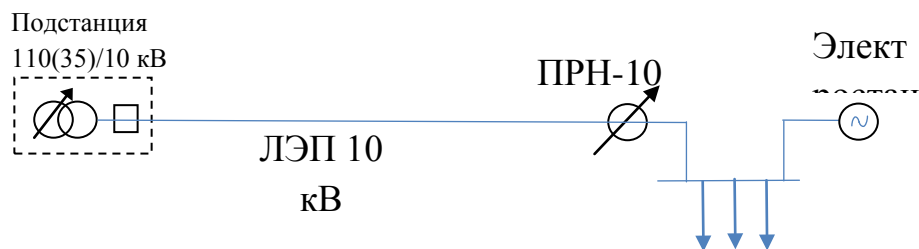


Рисунок 1

С точки зрения максимального эффекта регулирования напряжения размещение ПРН вблизи потребителя не является оптимальным. Рекомендуется устанавливать ПРН на ЛЭП вблизи точки, где отклонение напряжения от номинального составляет около 10 % [3]. Тем не менее, предприятия АПК предпочитают устанавливать ПРН в границах балансовой принадлежности в целях безопасности и удобства обслуживания. Установка ПРН вблизи потребителей также позволяет обеспечить надёжные каналы связи для организации телемеханики ПРН [4]. Структурная схема связи по проводному и беспроводному каналам связи представлена на рисунках 2 и 3.

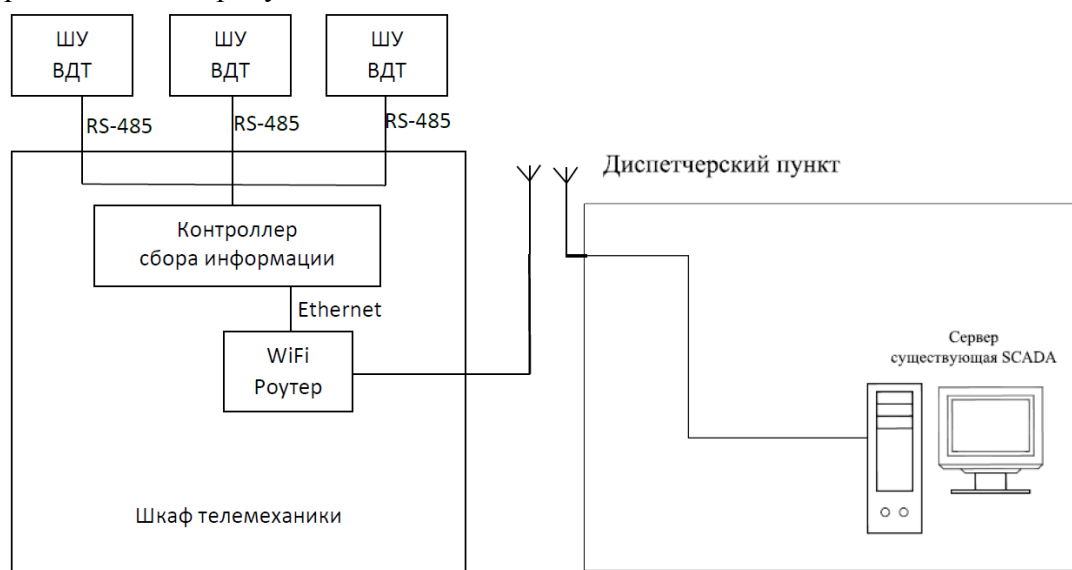


Рисунок 2

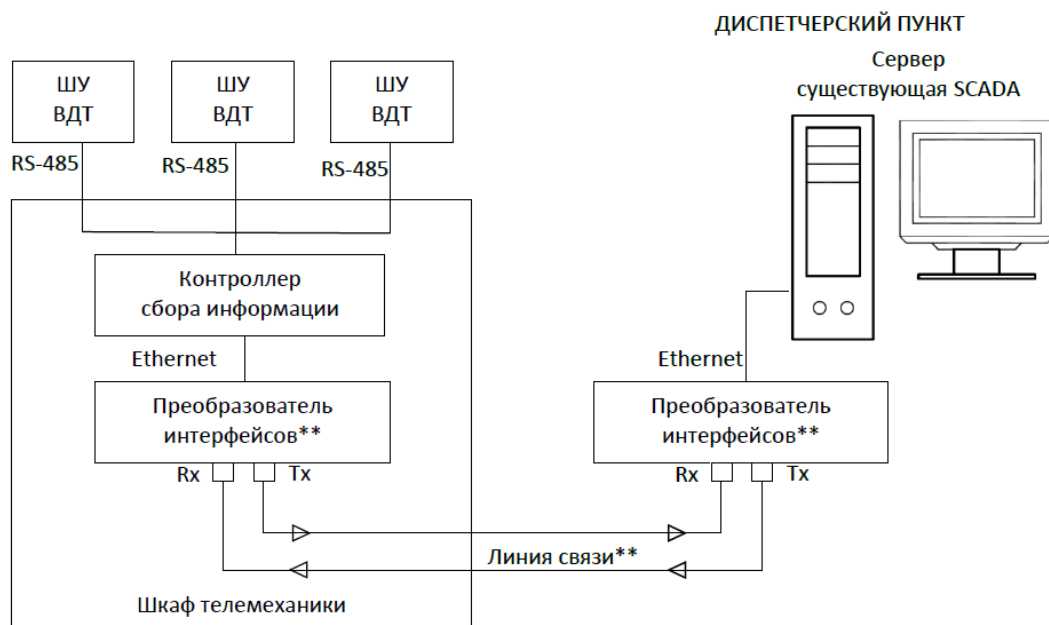


Рисунок 3 - Например, на предприятии в Казахстане ПРН 10 кВ установлен непосредственно на территории, обвязка выполнена кабелем из сшитого полиэтилена (рис. 4). Дистанционный контроль организован по локальной сети предприятия с использованием проводной связи.



Рисунок 2 - На предприятии в Республике Мордовия два комплекта ПРН 10 кВ установлены на опорах ЛЭП в непосредственной близости от предприятия (рис. 5). Телемеханика организована с использованием беспроводной связи.



Рисунок 5 - В системе телемеханики предусмотрены функции измерения параметров сети и текущих параметров ПРН. Также есть возможно изменения уставок регулирования и перевода ПРН из автоматического режима регулирования в ручной.

В результате установки ПРН отклонения напряжений не превышают требуемых значений. На рисунке 6 приведен график регулирования напряжения ПРН 10 кВ на предприятии АПК в Ростовской области в течение суток. Заданное значение выходного напряжения ПРН составило  $10,6 \text{ кВ} \pm 100 \text{ В}$ . Изменение входного напряжения связано с не только с падением напряжения на питающей ЛЭП 10 кВ, но и с влиянием тяговой подстанции.

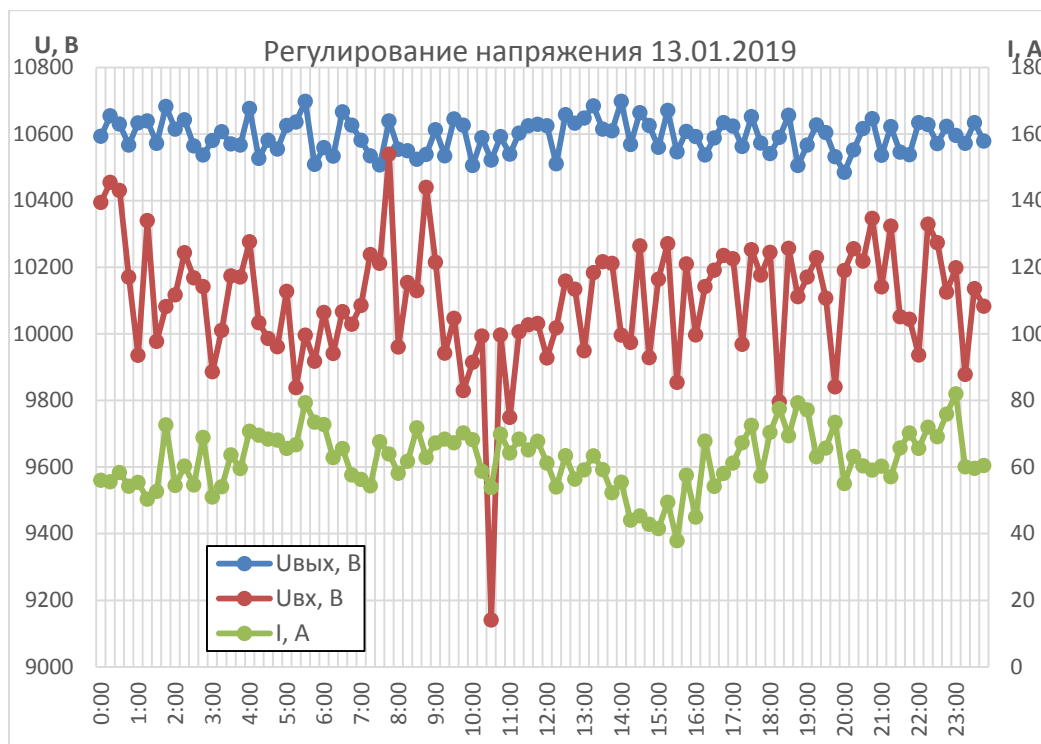


Рисунок 6 - Приведенный график показывает, что установка ПРН позволяет обеспечить нормальный уровень напряжения для потребителей.

ПРН также может быть использован в других схемах электроснабжения. Например, при увеличении нагрузки длины существующих ЛЭП 10(6) кВ для расширения системы мелиорации. ПРН в этом случае повышает пропускную способность ЛЭП [6, 7].

Таким образом, применение ПРН для регулирования напряжения на ЛЭП 10(6) кВ является эффективным решением проблем качества электроэнергии для предприятий АПК.

#### Список использованных источников:

1. Абдуллазянов Э.Ю., Ахметшин А.Р. «Выбор оптимального решения для обеспечения нормативного уровня напряжения в распределительных сетях 0,4-10 кВ». Вестник Иркутского Государственного Технического Университета, № 6(53), год 2011, с. 113-119.
2. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения
3. Методические указания по применению вольтодобавочных трансформаторов (пунктов регулирования напряжения) 6-20 кВ и вольтодобавочных трансформаторов 0,4 кВ в линиях электропередачи распределительных сетей. Том 1.1. Методические указания: СТО 34.01-3.2.17-014.1-2020. Стандарт организации ПАО "Россети", введ. 04.03.2020. - 44 с. //www.rosseti.ru. - Режим доступа 12.03.2021.
4. Методические указания по применению вольтодобавочных трансформаторов



(пунктов регулирования напряжения) 6-20 кВ и вольтодобавочных трансформаторов 0,4 кВ в линиях электропередачи распределительных сетей. Том 1.2. Типовые решения: СТО 34.01-3.2.17-014.2-2020. Стандарт организации ПАО "Россети", введ. 04.03.2020. - 44 с. //www.rosseti.ru. - Режим доступа 12.03.2021.

5. Перинский Т.В. Регулирование напряжения на ВЛ 10(6) кВ как эффективный способ обеспечения качества электроэнергии. Сборник трудов научно-практической конференции «Управление качеством электрической энергии» 2018. С. 148-150

6. Перинский Т.В. Увеличение пропускной способности ВЛ 6-10 кВ. Сборник трудов третьей научно-практической конференции «Линии электропередач 2008: проектирование, строительство, опыт эксплуатации и научно-технический прогресс». 2008. С 226-228.

7. Ярмухаметов Р.В., Костюченко Л.П. «Оценка влияния Пунктов автоматического регулирования напряжения на повышение пропускной способности сети 10 кВ». Материалы VII Международной научно-практической конференции молодых ученых. Инновационные тенденции развития российской науки 2015., с. 173-176

*Перинский Т. В.*

*ООО «СКЭ-Электро», Россия, г. Белгород, [Vdt10kv@gmail.com](mailto:Vdt10kv@gmail.com)*

## THE USE OF VOLTAGE REGULATION POINTS PRN 10 (6) KV TO ENSURE THE QUALITY OF ELECTRICITY AT THE ENTERPRISES OF THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

Perinsky T.V.

LLC "SKE-Electro"

Abstract. The article presents the requirements of the agricultural companies to ensure the quality of electricity. The reasons for the voltage deviation when powered from the electrical networks of the energy system are described. The technical solution is the installation equipment of automatic voltage regulation 10 kv to ensure the required voltage level in automatic mode. Examples of installation at specific enterprises are given, construction solutions and technical solutions for the organization of remote control are presented. The result of using the equipment with the voltage regulation schedule during the day is shown.

Keywords: power transmission lines, voltage deviation, voltage booster autotransformer, voltage regulation point, power quality assurance, automatic voltage regulation.

*Perinsky T.V.*

*LLC "SKE-Electro", Russia, Belgorod [Vdt10kv@gmail.com](mailto:Vdt10kv@gmail.com)*

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ВОЛН

Циперко Л.Н. Муртазаев Э.Р.

Физико-технический институт КФУ им. В. И. Вернадского

***Аннотация:** Использование преобразователей энергии морских волн может стать решением как вопросов электроснабжения потребителей, расположенных на берегу, так и вопросов снижения выбросов при производстве энергии. На данный момент разработан целый ряд устройств для преобразования энергии волн. Однако, они не позволяют достаточно адекватно решить задачу устойчивого преобразования волновой энергии. Целью данной работы является разработка устройства для преобразования энергии волн в электрическую энергию и его экспериментальное исследование. В данной работе представляется схема и принцип работы устройства. Испытание устройства состоит из двух этапов: исследование работы буя при наполнении воздухом, а затем углекислым газом. В результате эксперимента следует, что при наполнении буя углекислым газом эффективность работы преобразователя энергии волн примерно в 1,5 раза выше, чем наполнение воздухом.*

***Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии, преобразователи энергии волн, результаты эксперимента.*

### Введение

Электроснабжение прибрежных районов зачастую связано с определенными трудностями, связанными с их значительной удаленностью от источников энергии. Строительство и функционирование генерирующих установок, использующих ископаемое топливо, вблизи морей и океанов может негативно сказаться на экологической обстановке этих регионов. Альтернативным вариантом обеспечения потребителей необходимой электроэнергией может стать использование возобновляемых источников, таких как преобразователи энергии волн в электрическую энергию.

Существует целый ряд устройств для преобразования энергии волн. Их разделяют на несколько типов: преобразователь колеблющегося тела, колеблющийся столб воды и устройства перелива [1-4]. К первому типу относятся устройства, находящиеся на поверхности воды или под ней, использующие движение волн для выработки электроэнергии. Колеблющийся столб воды - это частично погруженная под воду камера, открытая морю ниже уровня воды, в которой над столбом воды расположен столб воздуха. Под действием набегающих волн столб воды перемещается вверх и вниз, тем самым вытесняя и втягивая воздух в камеру. Движущийся воздух вращает воздушную турбину, которая генерирует электрическую энергию. Резервуар переливающегося устройства расположен выше средней свободной поверхности воды. Он наполняется за счет набегающих волн, обратно в море вода возвращается проходя через турбину, генерирующую электрическую энергию [5-7].

Однако до настоящего времени устройства, создаваемые на базе известных технических решений, не позволяли достаточно адекватно решить задачу устойчивого

преобразования волновой энергии. Эти устройства предназначены для работы в условиях регулярного волнения так как эффективность их действия не может быть высокой в силу довольно сложного вероятностного характера реального процесса волнообразования.

Целью работы является разработка устройства для преобразования энергии волн в электрическую энергию с перспективой его использования в прибрежных районах Черного моря.

### Материалы и методы

Конструкция устройства представляет собой буй внутри которого расположен поршень с пружиной. Такое устройство имеет сравнительно небольшие размеры, что позволяет применять его вблизи берега. Такая схема имеет следующие преимущества:

1. Вблизи берега волна имеет как потенциальную, так и кинетическую энергию.
2. Несколько таких устройств, установленных в ряд помимо своей основной задачи по выработке электрической энергии, будут выполнять функцию волнорезов, уменьшая неблагоприятное воздействие волн на побережье.
3. Расположенная у побережья станция не представляет угрозы для судов;
4. При расположении станции вблизи берега удастся сократить затраты на кабельную линию.

Общий вид устройства представлен на рисунке 1.

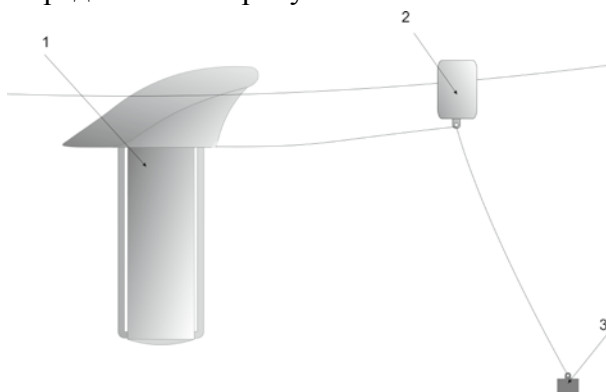


Рисунок 1 - Общий вид устройства преобразования энергии волн:

1 – буй; 2 – плавучий якорь; 3 – свая.

Устройство буя в разрезе представлено на рисунке 2.

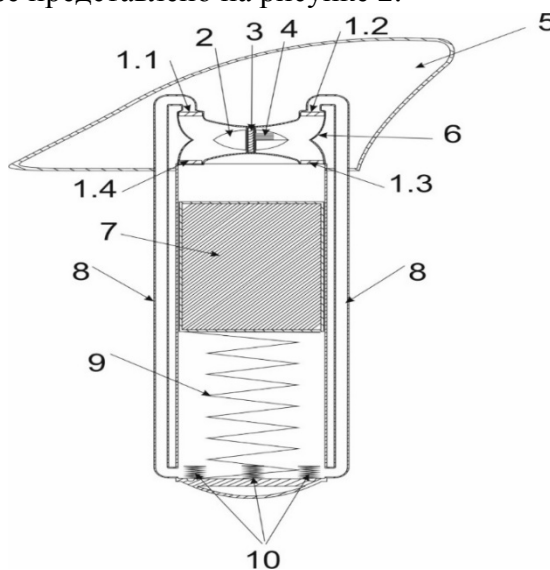


Рисунок 2 - Устройство буя:

1.1-1.4 - впускные и выпускные клапаны; 2 - обтекатель; 3 - турбина; 4 - генератор; 5 -

поплавок; 6 - диффузор; 7 - балласт; 8 - воздуховоды; 9 - пружина; 10 - пружины для гашения удара.

Принцип действия устройства представлен на рисунке 3.

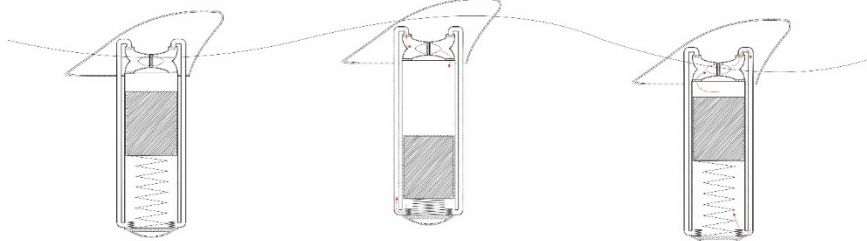


Рисунок 3 - Принцип действия устройства преобразования энергии волн

Под действием волны буй начинает всплывать, при этом балласт (7), имея большую инерцию остается на месте и сжимает пружину (9). В этот момент воздух под давлением вытесняется из полости под поршнем в воздуховод (8) и через обратный клапан (1.1) попадает в диффузор (6). Затем приводит в движение турбину 3 и генератор 4, после чего через обратный клапан (1.3) попадает в полость над поршнем. После того как буй прошел гребень волны, пружина (9) возвращает поршень в исходное положение, при этом вытесняя воздух из полости над поршнем через обратный клапан (1.4) в диффузор (6), вращая турбину (3) и генератор (4) в том же направлении. Далее через обратный клапан (1.2) и воздуховод (8), воздух поступает в пространство под поршнем. Далее цикл повторяется.

Был изготовлен опытный экземпляр описанного устройства преобразования энергии волн. Корпус модели был выполнен из пластиковой трубы диаметром 100 мм, поршень изготовлен из стеклопластика и утяжелен металлическим балластом. 3D модель устройства представлена на рисунке 4.

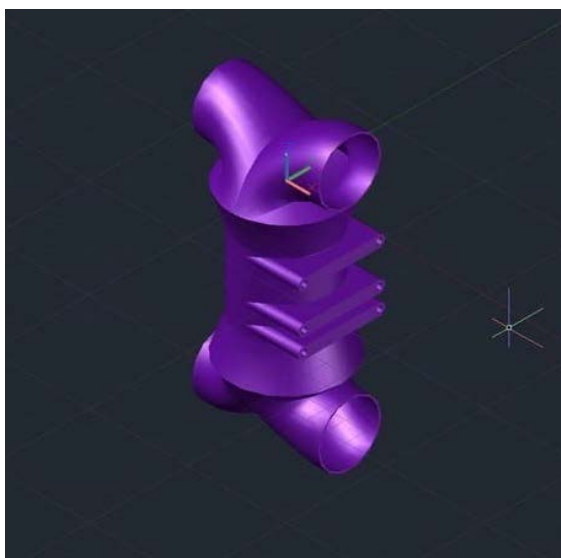


Рисунок 4 - Модель устройства преобразования энергии волн

Диффузор, конфузор и турбина были изготовлены на 3D принтере из ABS пластика и представлены на рисунках 5 и 6 соответственно.



Рисунок 5 - Модель диффузора и конфузора устройства преобразования энергии волн



Рисунок 6 - Модель турбины устройства преобразования энергии волн

К выходам диффузора подсоединяются обратные клапаны и воздуховоды как показано на рисунке 7.



Рисунок 7 - Обратные клапаны и воздуховода на выходе диффузора

Для проведения эксперимента и определения оптимального соотношения расхода и давления при заданных условиях было установлено устройство для регулировки сечения диффузора, генератор был установлен внутри корпуса диффузора, как показано на рисунке 8.



Рисунок 8 - Устройство для регулировки сечения диффузора.

Буй представляет собой герметичный сосуд, внутри которого под действием волнения перекачивается газ. Такая схема обеспечивает высокую надежность, так как она имеет минимум деталей и не имеет контакта с морской водой.

Испытание устройства включает в себя два этапа: исследование характеристик модели устройства при работе с воздухом и с углекислым газом.

Модель буя наполняется воздухом под атмосферным давлением. Далее буй помещают в резервуар с водой и совершают вертикальные колебательные движения аналогичные тем, которые вызваны морским волнением. При этом поршень перекачивает воздух, приводя в движение турбину и генератор. К генератору подсоединен амперметр, вольтметр и нагрузка в виде реостата. После того как буй сделал несколько колебаний и выходной сигнал с генератора стабилизировался производим замеры тока и напряжения под нагрузкой. Далее опыт повторяется еще для четырех значений высот волны с учетом масштаба. Эксперимент повторяется, при этом в буй закачивается углекислый газ с плотностью  $1,97 \text{ кг/м}^3$ , что больше плотности воздуха. Результаты экспериментов представлены в таблице 1 и на рисунке 9.

### Результаты и их анализ

Таблица 1. Результаты исследования работы буя при наполнении воздухом и углекислым газом

Высота колебания буя, $h$ , м	Сила тока, мА		Напряжение, В		Мощность, мВт	
	воздух	углекислый газ	воздух	углекислый газ	воздух	углекислый газ
0,05	2	3,28	0,1	0,11	0,2	0,36
0,1	3	4,92	0,14	0,14	0,42	0,68
0,15	5	8,2	0,2	0,2	1	1,64
0,2	9	14,7	0,35	0,35	3,15	5,14
0,25	11	18	0,4	0,4	4,4	7,2

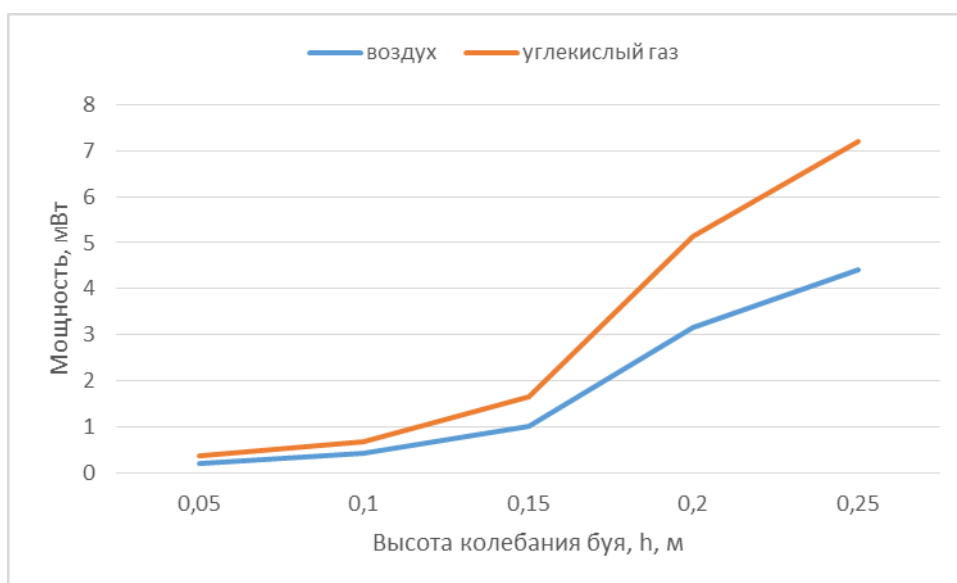


Рисунок 9 - Зависимость мощности на выходе генератора преобразователя энергии волн от высоты колебания буя

Как видно из результатов эксперимента, при наполнении буя газом большей плотности, в нашем случае использовались углекислый газ и воздух, эффективность работы преобразователя энергии волн выше. С увеличением высоты колебания буя, разность выходных характеристик возрастает.

### Выводы

Решением проблемы электроснабжения потребителей, расположенных в прибрежной зоне, может стать использование преобразователей энергии волн в электрическую энергию. Они смогут обеспечить электроэнергией в необходимых объемах не загрязняя при этом окружающую среду.

В результате испытаний разработанного устройства преобразования энергии волн была получена линейная зависимость изменения мощности от плотности рабочего тела. Следовательно, целесообразнее использовать в качестве рабочего тела газы большей плотности, при условии обеспечения скорости потока достаточной для вращения турбины с частотой 1500 об/мин. Такая частота вращения турбины позволяет применять серийно выпускаемый генератор с минимальным числом пар полюсов, что в свою очередь уменьшает его стоимость и необходимый запас плавучести устройства преобразования.

### Список использованной литературы:

1. Kempener R. and Neumann F. Wave Energy. Technology brief. - Abu Dhabi: IRENA, 2014. – 28 p.
2. Joubert J. R., van Niekerk J. L., Reinecke J. and Meyer I. Wave Energy Converters (WECs). - Matieland: Centre for Renewable and Sustainable Energy Studies, 2013. – 96 p.
3. Blaabjerg F. and Ionel D. M. Renewable Energy Devices and Systems with Simulations in MATLAB® and ANSYS®. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2017. – 412p.
4. Hodge B. K. Alternative Energy Systems and Applications. - Chichester: John Wiley & Sons, Ltd, 2017. – 416 p.
5. Aderinto T. and Li H. Review on Power Performance and Efficiency of Wave Energy Converters // Energies. – 2019. – 12. – 4329.
6. Bekirov, E.A., Voskresenskaya, S.N., Asanov, M.M., Murtazaev. E.R. Analysis of the

Sea Waves Energy Characteristics in the Black Sea Region // 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2020. – 9271464

7. Bekirov, E.A., Asanov, M.M., Murtazaev. E.R. Mathematical description of wave propagation in order to assess the efficiency of the wave energy converter and find its optimal characteristics // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2021. - 1089 (1). – 012036.

Циперко Л.Н. Муртазаев Э.Р.

Физико-технический институт КФУ им. В. И. Вернадского,  
295007, Республика Крым, г. Симферополь, просп. Академика Вернадского, д. 4.

## EXPERIMENTAL STUDY OF THE WAVE ENERGY CONVERSION DEVICE

Tsiperko L.N. Murtazaev E.R.

Physics and Technology Institute V.I. Vernadsky Crimean Federal University

**Annotation:** The use of marine wave energy converters can be a solution to both issues of power supply to consumers located on the shore and issues of reducing emissions during energy production. At the moment, a number of devices for converting wave energy have been developed. However, they do not allow us to adequately solve the problem of stable wave energy conversion. The purpose of this work is to develop a device for converting wave energy into electrical energy and its experimental study. In this paper, the scheme and principle of operation of the device is presented. The test of the device consists of two stages: the study of the operation of the buoy when filled with air, and then with carbon dioxide. As a result of the experiment, it follows that when filling the buoy with carbon dioxide, the efficiency of the wave energy converter is about 1.5 times higher than filling with air.

**Key words:** renewable energy sources, wave energy converters, experimental results.

Tsiperko L.N. Murtazaev E.R.

Physics and Technology Institute V.I. Vernadsky Crimean Federal University,  
295007, Republic of Crimea, Simferopol, p. Vernadsky, 4.



## INNOVATIVE ELECTRICAL UNIT FOR TREATMENT OF ANIMALS BY DIRECT ELECTROCHEMICAL OXIDATION OF BLOOD

V Rudenok<sup>1</sup>, N Kondrateva<sup>1</sup>, R Bolshin<sup>2</sup>, M Krasnolutsкая<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Chemistry and Automated Electric Drive, Izhevsk State Agricultural Academy, 11 Student Street, Izhevsk 426069, Russian Federation

<sup>2</sup>Private educational institution of additional professional education "Educational and scientific innovation center" Omega "

**Abstract.** *The electrical installation for the treatment of staphylococcal infections of rabbits, dogs and calves, allowing direct electrochemical oxidation of blood is proposed. The setup consists of an extended platinum wire electrode up to 20 cm long, an adjustable DC rectifier, and two auxiliary electrodes made of electrically conductive material. The process of direct electrochemical oxidation of blood occurs on the surface of this platinum wire electrode inserted along the axis of the blood vessel. Preliminary laboratory tests have been carried out in a glass tube.*

*In the experiments, a solution containing a culture of staphylococci have been poured into a test tube. After the current passed through the system, staphylococci died. The atomic oxygen, which circulates during the spontaneous decomposition of the hypochlorite ion is the reason for the death of staphylococci was. In the anodically polarized region, the chlorine ion is oxidized to the chlorine atom. Two chlorine atoms form a molecule that interacts with water in a disproportionation reaction, forming a hypochlorite ion. Unstable hypochlorite decomposes to form atomic oxygen. Atomic oxygen is harmful to bacteria, viruses and their waste products. Host cells are genetically protected against the effects of atomic oxygen. The aim of our study is to develop an electrical installation for the treatment of infections in animals using the technology of direct electrochemical blood oxidation. The use of the proposed electrical installation have given positive results in the treatment of rabbits from staphylococcal infection, in the treatment of dogs and calves from pneumonia.*

**Keywords:** *electrical installation for the treatment of infections of animals, direct electrochemical oxidation of blood*

### Introduction

The constancy of the internal environment of an animal's body is the most important factor in its vitality and productivity. This is most clearly manifested in the example of the problem of ketosis in cows. Ketosis is an animal disease characterized by impaired carbohydrate, protein and fat metabolism, and is widely discussed in the literature. Works [3, 4, 6 10, 11] are devoted to the method of detecting this disease, its stabilization, and treatments. Signs of the disease are detected by blood tests [3], and other tests such as chromatography [11]. The treatment is also associated with exposure to the blood: the introduction of a glucose solution into the venous blood. Indicators for metabolic disorders by infrared spectroscopy of blood, systems for automatic monitoring of metabolic parameters are being developed [9, 11,]. The effectiveness of using anolyte for binding antibodies is being studied [10]. A photometric study of the content of ketones in the blood is described [4 6, 7]. Kondrateva N and others propose to use harmonic vibrations<sup>2</sup> of the audio range

to improve the condition of animals [6]. The positive effect depends on the dose, that is, on the time of exposure [1, 2, 8]. It is important to pay attention to the energy savings in these electrical installations [12]. They got positive results. However, none of the described methods provides for the synthesis of drugs from the blood itself in a blood vessel.

Obviously, the method of treating animals by direct electrochemical oxidation of blood directly in a blood vessel, proposed in this article for the treatment of various diseases, is extremely relevant, especially since its use eliminates the need for antibiotics. The aim of our study was to develop an electrical installation for the treatment of infections in animals using the technology of direct electrochemical blood oxidation.

### **Materials and Methods**

To carry out the electrolysis process in a blood vessel, a platinum wire electrode with a diameter of 0.2-0.3 mm and a length of 200-300 mm is used. At one end of the electrode, a ball is formed with a diameter of 10-20% larger than the diameter of the wire. The ball is formed by plasma reflow of the end of the platinum electrode for its safe insertion, excluding trauma to the vessel. The platinum electrode is inserted through a syringe needle (like a mandrel) previously inserted into a blood vessel. After the introduction of platinum into the blood vessel along its entire length, the needle is removed in order to exclude the participation of the metal of the needle in the electrolysis process. The use of the plastic needle is another alternative. The tip of the wire remaining on the surface is bent to prevent its complete immersion in the vessel channel.

Conductive rubber electrodes are used to pass direct current through the system. They are applied to the surface of the skin near the ends of the wire electrode using gauze swabs moistened with saline. The current is passed through the electrodes using a regulated constant current source. The source itself was powered either from a 220V network, or from a small-sized lead-acid battery. The current in the electrode circuit is 2 - 3 milliamperes. The upper limit of the current value is limited by the appearance of pain at the point of contact of the patch rubber electrodes with the skin surface. In the selected current range, its passage is practically not felt by the treated animal. With the current of 10 mA, an unbearable pain sensation occurs.

### **Results and discussion**

The technique of direct electrochemical oxidation of blood has been developed, which does not require the use of antibiotics in the treatment of animals. For the first time [5, 13, 14, 15, 16] the process of electrochemical oxidation of blood inside a blood vessel was performed. The chlorine ion, which is part of the sodium chloride in the blood plasma, is oxidized. The resulting molecular chlorine interacts with water by a disproportionation reaction to form a hypochlorite ion. Being unstable, it decomposes with the formation of atomic oxygen. Atomic oxygen destroys viruses and bacteria, as well as their waste products. At the same time atomic oxygen is safe for the animals cells. These cells are protected from the effects of atomic oxygen. The effectiveness of the described process has been successfully tested on various animals [15]. The experiments were carried out on rabbits with staphylococcal infection. Auricle vessels were used to insert the electrodes. Rabbits in the control group were treated with antibiotics, and were sick 2 - 3 days longer. Dogs were treated for stubborn skin diseases. The calves were treated with pneumonia. Three sessions of 15 minutes were performed with one day interval. The animals in the control groups were treated according to the standard technology. They were sick more severely and longer.

During the treatment of the dogs, morphological and biochemical blood tests were carried

out. Studies have shown that the electrochemical effect on the blood activates the production of erythrocytes, white blood cells, increases the level of hemoglobin in the blood, has a pronounced biostimulating and detoxifying effect. The treatment improves metabolic processes, increases the activity of the body's protective factors and promotes faster relief of the inflammatory reaction, healing of affected skin areas. In the treatment of skin diseases in dogs in a clinic, more detailed studies of the method were carried out using biochemical and other techniques.

The experiments were carried out on 18 mongrel dogs aged from 1.5 to 2 years and weighted from 20 to 30 kg, selected according to the principle of analogues. Was formed 3 groups of 6 animals each: control group - clinically healthy; the first and second experimental groups - with a diagnosis of weeping eczema. The control animals underwent morphological and biochemical blood tests. The data served as a control. The dogs of the first experimental group received drug treatment according to the scheme described below, without the use of direct electrochemical oxidation (PEE) of blood. Dogs of the second experimental group underwent drug treatment in combination with blood PEE. Eczema in the dogs was medically treated according to the generally accepted method by parenteral administration of glucocorticoids (at a dose of 4 mg / animal), gamavit (according to the instructions) and local treatment with antiseptic agents (terramycin).

The animals of the second experimental group additionally underwent PEE of blood using a device for detoxifying the body in order to treat endogenous and exogenous intoxication caused by the accumulation of various toxic substances. For this, a conductor made of platinum wire was inserted into the cavity of the lateral saphenous vein of the forearm. Two oppositely polarized electrodes were applied to the skin at the ends of the conductor, which were connected to a direct current source, and a current of 3 mA was passed for 15 minutes. The procedures were carried out ten times every other day. All sick animals before the experiment, and then after 1, 3, 7, 14, 21 and 28 days, underwent clinical examination, morphological and biochemical blood tests.

Blood tests of the dogs from the control group showed that the main morphological and biochemical parameters were within the physiological norm. In the dogs of both experimental groups, the following changes in blood were noted before treatment: a decrease in the number of erythrocytes, hemoglobin, increased ESR, leukocytosis, eosinophilia, neutropenia, lymphocytosis.

The conducted studies of the content of erythrocytes in the blood during the treatment of animals with eczema using blood PEE showed an increase in erythrocytes number during all periods of the study. By the end of treatment they exceeded the control data by 2.78%. In the dogs of the first experimental group, by the end of therapy, the indicator was less by 8.33% in comparison with clinically healthy ones. The hemoglobin of the dogs of the first and second experimental groups before the experiment was 104.01.26 and 102.01.11 g / l, respectively. After the experiment - 125.03.6 and 135.04.0 g / l. In the dogs of the first experimental group it did not reach the control level by 6.72%, in contrast to the second experimental group. The data obtained indicate the beneficial effect of this method of treatment on the dynamics of erythrocytes and hemoglobin. The results of the experiments are shown in Table 1.

**Table 1.** Leukogram of dogs in the different treatments of eczema

Indicators	Animal groups	Before treatment	After 7 days
Eosinophils, %	Control group	4.0±0.4*	
	1 group	7.5±0.47*	5.8±0.44*
	2 group	7.5±0.73*	5.5±0.47*
Neutrophils Stab, %	Control group	3.5±0.24*	
	1 group	5.2±0.18*	4.3±0.37*
	2 group	5.3±0.23*	4.8±0.18*
Segmented neutrophils, %	Control group	62.7±0.83*	
	1 group	55.5±0.84*	60.8±0.87*
	2 group	55.7±0.73*	58.2±0.91*
Lymphocytes, %	Control group	28.1±0.5*	
	1 group	30.0±0.80*	27.3±0.61*
	2 group	29.8±0.72*	29.3±0.83*
Monocytes, %	Control group	1.7±0.37****	
	1 group	1.8±0.34***	1.8±0.34***
	2 group	1.7±0.37****	2.2±0.34**

Note: \* - P<0,001, \*\* - P<0,002, \*\*\* - P<0,005, \*\*\*\* - P<0,01

It was found that the number of leukocytes in the blood of the dogs of the first and second experimental groups during the treatment tends to decrease. This occurs more intensively in the animals received blood PEE. As can be seen from Table 1, the number of eosinophils, stab neutrophils. This indicates the relief of allergic and inflammatory reactions. Neutropenia and lymphocytosis, indicating antigenic stimulation of the body, disappear by the end of treatment. But in the dogs of the first experimental group, there is a significant decrease in the number of lymphocytes. This is probably a reaction to the administration of glucocorticoids. An immunosuppression can develop, leading in the future to a weakening of the body and the appearance of a new pathology in these animals. Such immunosuppression does not occur in the dogs of the second experimental group received blood PEE. That can be recommended as a way to increase immunity.

There is a positive dynamics of protein level in the animals of both experimental groups. But more pronounced changes are observed in the dogs that, in combination with drug treatment, underwent blood PEE. An increase in the level of protein metabolism also indicates an increase in the immune response from the animal's body in response to blood PEE.

Thus, the developed electrical installation for the treatment of animals using the technology of direct electrochemical blood oxidation showed that Aspartate aminotransferase (AST) and alanine aminotransferase (ALT) are important indicators in assessing the therapeutic effect of the above treatment regimens for eczema. Before treatment, the amount of AST in animals of the first and second experimental groups was 2.8 and 3.3 times higher than in clinically healthy animals,

respectively. However, the content of AST in the blood serum of dogs of the first experimental group, even by the end of treatment, exceeds the control data by 86.67%; and in dogs of the second experimental group, who received PEE with blood, only by 13.33%.

The ALT content in the blood of the dogs of the first and second experimental groups before treatment differed from those of clinically healthy animals by 2.2 and 2.4 times, respectively. Despite the rapid decrease in the amount of ALT in animals of both experimental groups, the content of this enzyme in dogs that received only drug treatment did not reach the level of clinically healthy ones and differed from it by 1.4 times. In the animals of the second experimental group, which were used in combination with the basic traditional therapy with blood PEE, the ALT index reached the level of clinically healthy dogs.

### **Conclusion**

Thus, we have fulfilled the goal of our research. An innovative electrical device for the treatment of animals allows direct electrochemical oxidation of the blood, which causes a significant positive trend in laboratory parameters important for eczema, such as AST and ALT. Studies have also shown that the inclusion of PEE in the blood in the treatment of eczema has a beneficial effect on the dynamics of alkaline phosphatase, total bilirubin, cholesterol, creatinine and urea.

It should be emphasized that in the body of animals similar processes proceed without external interference. The animal's liver produces a special enzyme P-450, which is responsible for the oxidation of chlorine - ion to hypochlorite. Thus, the above-described electrolysis process only repeats and strengthens the mechanism known in nature for the struggle of an animal's body with a disease.

### **References**

1. Bolshin R.G Irradiating set with uv diodes and microprocessor system of automatic dose control / Bolshin R.G., Kondratieva N.P., Krasnolutskaya M.G. / *Light & Engineering*. 2019. T. 27. № 6. С. 127-132. DOI: 10.33383/2018-058
2. Bolshin, R.G. Irradiator installation with uv diodes and microprocessor system of automatic dose control / Kondratyeva N.P., Krasnolutskaya M.G. // *Lighting engineering*. 2019.No. 2.P. 78-81.
3. Drackley J. K. Biology of Dairy Cows During the Transition Period: the Final Frontier? *Journal of Dairy Science* 1999. Vol. 82. No. 11. P. 2259–2273
4. Iwersen M., Falkenberg U., Voigtsberger R., Forderung D., Heuwieser W. Evaluation of an electronic cowside test to detect subclinical ketosis in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2009 Vol. 92. No. 6. P. 2618–2624
5. McArt J.A., Nydam D.V., Ospina P.A., Oetzel G.R. A field trial on the effect of propylene glycol on milk yield and resolution of ketosis in fresh cows diagnosed with subclinical ketosis. *Journal of Dairy Science*.. 2011 Vol. 94. No. 12. P. 6011–6020
6. Kanz P., Drillich M., Klein-Jöbstl D., Mair B., Borchardt S., Meyer L., Schwendenwein I., Iwersen M. Suitability of capillary blood obtained by a minimally invasive lancet technique to detect subclinical ketosis in dairy cows by using 3 different electronic hand-held devices. *Journal of Dairy Science*. 2015. Vol. 98. No. 9. P. 6108–6118
7. Kaufman E.I., LeBlanc S.J., McBride B.W., Duffield T.F., DeVries T.J. Short communication: Association of lying behavior and subclinical ketosis in transition dairy cows. *Journal of Dairy Science*.. 2016 Vol. 99. No. 9. P. 7473–7480

8. Kondratyev, N.P. DIGITAL LIGHTING TECHNOLOGIES FOR BEHAVIORAL CONTROL GALLERIA MELLONELLA / Kondratyeva N.P., Buzmakov D.V., Ilyasov I.R., Bolshin R.G., Krasnolutsкая M.G. // Agricultural machines and technologies. 2021. T. 15. No. 1. S. 78-83. DOI: 10.22314 / 2073-7599-2021-15-1-78-83
9. Kondrateva N.P., Ovchukova S.A., Kirillov N.K., Belov V.V., Bolshin R.G. Progressive electrotechnologies for increasing productivity of animals. Bulletin of Kazan State Agrarian University 2018. Vol. 13. No. 2 (49). P. 114-117 DOI 10.12737/article\_5b3508799af6e2.76526007
10. Tate J., Ward G. 2004 Interferences in Immunoassay. Clin Biochem Rev. Vol. 25. P. 105-120
11. Overton T. R., McArt A. A., Nydam D. V. A 100-Year Review: Metabolic health indicators and management of dairy cattle. Journal of Dairy Science. 2017 Vol. 100. No. 12. P. 10398–10417
12. Ovchukova, S.A. Energy saving in lighting technologies of agricultural production / Ovchukova S.A., Kondratyeva N.P., Kovalenko O.Y. // Light & Engineering. 2021. T. 29. № 2. С. 21-25. DOI: 10.33383/2020-039
13. Rudenok V.A., Zakomyrdin A.A., Marasinskaya E.I... Synthesis of sodium hypochlorite preparation by direct electrochemical blood oxidation. Actual problems of veterinary pharmacology, toxicology and pharmacy: Materials of the III Congress of pharmacologists and toxicologists of Russia. St. Petersburg, 2011 P.390-394.
14. Rudenok V.A., Zakomyrdin A.A., Marasinskaya E.I.. A method for detoxifying an organism and a device for implementing the method: pat. 2229300. Russian Fed., 2013. 7A61K 33/14
15. Rudenok V.A., Alimov A.M. Zakomyrdin A.A., Milaev V.B.. Electrochemical synthesis of hypochlorite and hydrogen in the blood stream. Proceedings of the Kuban State Agrarian University. Publishing house of the Kuban State Agrarian University. Krasnodar 2013. № 43. P.181-182
16. Rudenok V.A., Alimov A.M. Zakomyrdin A.A Blood electrolysis device: pat. 2566199. Russian Fed., № 2013 126340/14

*V Rudenok<sup>1</sup>, N Kondrateva<sup>1</sup>, R Bolshin<sup>2</sup>, M Krasnolutsкая<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Department of Chemistry and Automated Electric Drive, Izhevsk State Agricultural Academy, 11 Student Street, Izhevsk 426069, Russian Federation*

*<sup>2</sup>Private educational institution of additional professional education "Educational and scientific innovation center" Omega "*

## ИННОВАЦИОННАЯ ЭЛЕКТРОУСТАНОВКА ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ ЖИВОТНЫХ ПРЯМЫМ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ ОКИСЛЕНИЕМ КРОВИ

Руденок Владимир Афанасьевич<sup>1</sup>, Кондратьева Надежда Петровна<sup>1</sup>, Большин Роман Геннадьевич<sup>2</sup>, Краснолуцкая Мария Геннадьевна<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Ижевская государственная сельскохозяйственная академия»: 426069, Ижевск, ул.

*Аннотация.* Предложена электротехническая установка для лечения от стафилококковых инфекций кроликов, собак и телят, позволяющая осуществлять прямое электрохимическое окисление крови. Установка состоит из протяженного платинового проволочного электрода длиной до 20 см, регулируемого выпрямителя постоянного тока и двух вспомогательных электродов из электропроводного материала. Процесс прямого электрохимического окисления крови происходит на поверхности этого электрода из платиновой проволоки, введенного в вдоль оси кровеносного сосуда. Предварительные лабораторные исследования были проведены в стеклянной трубке. В экспериментах в пробирку наливали раствор, содержащий культуру стафилококков. После прохождения тока по системе стафилококки погибали. Причиной гибели стафилококков был атомарный кислород, образующийся при самопроизвольном разложении иона гипохлорита. В анодно поляризованной области ион хлора окисляется до атома хлора. Два атома хлора образуют молекулу, которая взаимодействует с водой в реакции диспропорционирования, образуя ион гипохлорита. Неустойчивый гипохлорит разлагается с образованием атомарного кислорода. Атомарный кислород вреден для бактерий, вирусов и продуктов их жизнедеятельности. Клетки хозяина имеют генетическую защиту от воздействия атомарного кислорода. Целью нашего исследования была разработка электротехнической установки для лечения от инфекций животных по технологии прямого электрохимического окисления крови. Применение предлагаемой электротехнической установки дало положительные результаты при лечении кроликов от стафилококковой инфекции, при лечении собак и телят от пневмонии.

*Ключевые слова:* электротехническая установка для лечения от инфекций животных, прямое электрохимическое окисление крови.

*Руденок Владимир Афанасьевич<sup>1</sup>, кандидат хим. наук, доцент*

*Кондратьева Надежда Петровна<sup>1</sup>, доктор техн. наук, профессор.*

*Большин Роман Геннадьевич<sup>2</sup>, кандидат техн. наук, преподаватель*

*Краснолуцкая Мария Геннадьевна<sup>2</sup> кандидат техн. наук, преподаватель*

<sup>1</sup>Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования  
«Ижевская государственная сельскохозяйственная академия»: 426069, Ижевск, ул.

Студенческая, 11

<sup>2</sup>Частное образовательное учреждение дополнительного профессионального образования  
«Учебно—научный инновационный центр «Омега»

## РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ПАРАМЕТРЫ ФЕРМЕРСКИХ ТЕПЛИЦ

А.А. Блажнов

ФГБОУ ВО Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина

*Аннотация.* Одна из основных задач агротехники - минимизация ресурсозатрат на единицу продукции. В суммарных тепловых потерях теплиц круглогодичного использования примерно 95% составляют потери через светопрозрачные ограждающие конструкции. Поэтому для снижения энергетических затрат площадь ограждающих конструкций культивационного сооружения должна быть минимальной. Цель исследования предусматривала вывод формул для обоснования энергосберегающих объёмно-планировочных параметров теплиц, предлагаемых рынком для фермерских хозяйств, и сравнительную оценку различных типов сооружений. Получены формулы для определения минимального коэффициента ограждения теплиц различной формы, на основе которого проведено их сравнение по тепловым потерям и расходу материалов на ограждающие конструкции.

*Ключевые слова:* фермерская теплица, коэффициент ограждения, рациональные типы теплиц.

**Введение.** Выращивание сельскохозяйственной продукции в культивационных сооружениях является одним из видов фермерской деятельности. Для круглогодичного использования заводами – изготовителями предлагаются различные типы фермерских теплиц, основные из которых показаны на рис.1[1-5]. Светопрозрачные ограждающие конструкции теплиц обладают небольшим термическим сопротивлением и в холодный период года тепловые потери через них являются весьма значительными [6-9]. Выбор рациональной формы и размеров культивационного сооружения позволяет уменьшить тепловые потери и повысить рентабельность производства продукции.

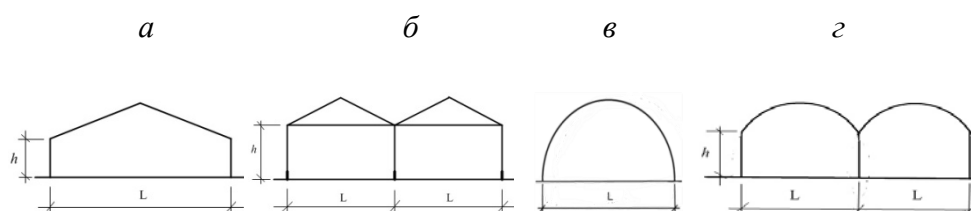


Рисунок 1 - Основные типы фермерских теплиц: а- ангарная с прямолинейными скатами; б – блочная (многопролётная) с прямолинейными скатами; в – арочная с круговым очертанием покрытия; г – многопролётная с очертанием скатов по окружности

Цель исследования предполагала установить зависимости для определения размеров теплиц, обеспечивающих минимизацию тепловых потерь через ограждающие конструкции, и провести сравнение различных типов фермерских теплиц по удельным тепловым потерям и удельному расходу материалов на ограждающие конструкции.

**Материалы и методы.** Для достижения намеченной цели использовался аналитический метод с применением положений математического анализа. Сравнение



удельных тепловых потерь и удельных расходов материалов при оценке теплиц различной формы можно выполнить на основе анализа коэффициента ограждения, показывающего отношение площади светопрозрачных ограждающих конструкций к площади застройки теплицы. Сооружению с меньшим коэффициентом ограждения соответствуют более низкие значение тепловых потерь и площади ограждающих конструкций. Связь удельных тепловых потерь и коэффициента ограждения показана следующей формулой

$$q = mK_{OGR} \quad , \quad (1)$$

где  $q$  – удельные тепловые потери, Вт/м<sup>2</sup>;  $m$  – тепловая характеристика, равная произведению коэффициента теплопередачи на разность температур, Вт/м<sup>2</sup>;  $K_{OGR}$  – коэффициент ограждения.

**Результаты и обсуждение.** Математическое выражение коэффициента ограждения ангарной теплицы (рис.1,а),

$$K_{OGR} = \frac{2h}{L} + \frac{1}{\cos \alpha} + \frac{2h}{A} + \frac{L}{2A} \operatorname{tg} \alpha \quad , \quad (2)$$

где  $h$ - высота продольного вертикального ограждения, не менее 1,5 м по технологическим требованиям;  $L$  и  $A$  – соответственно ширина и длина теплицы;  $\alpha$  – угол наклона скатов кровли, обычно равный 30°.

Минимальное значение коэффициента ограждения можно установить подставив в формулу (2) значение длины теплицы  $A = F/L$  ( $F$  – требуемая площадь теплицы), продифференцировав выражение по  $L$  и решив полученное уравнения относительно ширины теплицы. Так, для теплицы площадью 500 м<sup>2</sup> получим

$$L^3 \operatorname{tg} \alpha + 2hL^2 - 1000h = 0 \quad (3)$$

Откуда оптимальное значение пролёта теплицы  $L_{opt} = 12$  м, а соответствующий пролёту минимальный коэффициент ограждения  $K_{OGR} = 1,56$ .

В однопролётных теплицах с одинаковыми площадями и наклонами плоских скатов изменение коэффициента ограждения происходит вследствие изменения площадей боковых и торцовых стен, площадь кровли при изменении планировочных размеров сооружения остаётся постоянной.

Блочную теплицу (рис.1,б) можно рассматривать как состоящую из  $n$  двускатных теплиц. Следовательно, коэффициент ограждения теплицы будет зависеть только от изменения площади торцовых и продольных стен. Площади торцовых и продольных стен

$$F_T = 2n(Lh + \frac{L^2 \operatorname{tg} \alpha}{4}) \quad ; \quad (4)$$

$$F_{пр.ст} = 2hb = 2h \frac{F_{пл}}{Ln} \quad , \quad (5)$$

где  $n$ - количество пролётов в теплице;  $L$ - пролёт, м;  $h$  – высота продольных стеклянных стен, не менее 2,1м по технологическим требованиям;  $\alpha$  – угол наклона скатов кровли в градусах;  $b$  – длина теплицы, м;  $F_{пл}$  – площадь пола теплицы, м<sup>2</sup>.

Сумма торцовых и продольных стен

$$F_T + F_{пр.ст} = 2Ln h + \frac{L^2 \operatorname{tg} \alpha n}{2} + 2h \frac{F_{пл}}{Ln} \quad (6)$$

Считая  $L$  известной величиной (технологически заданной), установим  $n$ , соответствующее минимуму суммы площадей стен. Для определения экстремальных значений функции (6) возьмём первую производную по  $n$

$$\frac{d(F_T + F_{пр.ст})}{dn} = 2Lh - \frac{2hF_{пл}}{Ln^2} + \frac{L^2 \operatorname{tg} \alpha}{2} \quad (7)$$

Приравняв производную к нулю определим  $n$ , соответствующее минимуму суммы площадей стен  $\sum(F_T + F_{пр.ст})$

$$2Lh - \frac{2hF_{II}}{Ln^2} + \frac{L^2tg\alpha}{2} = 0 \quad (8)$$

Тогда 
$$n = \frac{2}{L} \sqrt{\frac{hF_{II}}{4h + Ltg\alpha}} \quad (9)$$

Подставляя в (9) значение технологически требуемого пролёта  $L$ , можно определить количество пролётов  $n$ , а затем и ширину блочной теплицы, соответствующую минимальному значению коэффициента ограждения.

Из математического выражения коэффициента ограждения арочной однопролётной теплицы с круговым очертанием покрытия (рис.1,в)

$$K_{огр} = \frac{\pi}{2} \left( \frac{L^2}{2F_{II}} + 1 \right), \quad (10)$$

следует, что при постоянной площади теплицы  $F_{II}$  с увеличением пролёта  $L$  (диаметра окружности) значение  $K_{огр}$  возрастает. Наименьший коэффициент ограждения будет соответствовать минимально допустимому по технологическим требованиям пролёту.

Коэффициент ограждения многопролётной арочной теплицы с круговым очертанием покрытия (рис.1,г)

$$K_{огр} = \frac{\pi}{2b} + \frac{2h}{Ln} + \frac{n(2Lh + \pi L^2)}{F_{II}} \quad (10)$$

Полученные формулы минимального коэффициента ограждения для принятых значений пролёта и площади теплицы для наиболее характерных типов фермерских теплиц сведены в табл.1. Формулы позволяют определить ресурсосберегающие объёмно – планировочные параметры культивационных сооружений.

Таблица 1 - Формулы минимального коэффициента ограждения теплицы

Покрытие	Минимальный коэффициент ограждения $K_{огр}^{\min}$	Оптимальное количество пролётов $n$ при соответствующем $K_{огр}^{\min}$
Двускатное с углом наклона скатов $30^\circ$	$K_{огр}^{\min} = \frac{1}{\cos 30^\circ} + \frac{2h}{Ln} + \frac{2h}{b} + \frac{Ltg 30^\circ}{2h}$	$n = \frac{2}{L} \sqrt{\frac{hF_{II}}{4h + 0,577L}}$
С очертанием по окружности	$K_{огр}^{\min} = \frac{\pi}{2b} + \frac{2h}{Ln} + \frac{n(2Lh + \pi L^2)}{F_{II}}$	$n = \frac{2}{L} \sqrt{\frac{2hF_{II}}{8h + \pi L}}$
С очертанием по эллипсу	$K_{огр}^{\min} = 1,075 + \frac{2h}{Ln} + \frac{2Lnh + \frac{\pi L^2 n}{4}}{F_{II}}$	$n = \frac{4}{L} \sqrt{\frac{hF_{II}}{16h + \pi L}}$
Неравностатное с углами наклона скатов $30$ и $60^\circ$	$K_{огр}^{\min} = \frac{1}{\cos 30^\circ} + \frac{1}{\cos 60^\circ} + \frac{2h}{Ln} + \frac{(Lh + 0,216L^2)2n}{F_{II}}$	$n = \frac{1}{L} \sqrt{\frac{hF_{II}}{h + 0,216L}}$

В качестве примера вычислены минимальные коэффициенты ограждения для основных типов фермерских теплиц площадью  $300 \text{ м}^2$  (табл.2).

Таблица 2 - Минимальные коэффициенты ограждения теплиц площадью 300 м<sup>2</sup>

Ангарная с прямолинейными скатами (рис.1, <i>а</i> )	Блочная (многопролётная) с прямыми скатами (рис.1, <i>б</i> )	Арочная с круговым очертанием покрытия (рис.1, <i>в</i> )	Многопролётная с очертанием скатов по окружности (рис.1, <i>г</i> )
1,56 (117%)	1,74 (130%)	2,63 (197%)	1,34 (100%)

Примечание. Коэффициенты  $K_{огр}^{\min}$  определены при следующих значениях величин:  $h = 2,1\text{ м}$ ;  $\alpha = 30^\circ$ ;  $L = 6\text{ м}$  для арочной и многопролётных теплиц.

Из данных табл.2 следует, что при принятых значениях площади теплицы  $F_{П}$  и пролёта блочных теплиц  $L$  меньший коэффициент ограждения соответствует многопролётной теплице с очертанием скатов по окружности. Следовательно, расход материалов на ограждающие конструкции и тепловые потери для такого типа теплиц будут меньшими по отношению к другим типам рассмотренных культивационных сооружений.

**Заключение.** Выведены формулы для определения рациональных параметров различных типов фермерских теплиц, при которых энергетические затраты на отопление сооружения в холодный период и расход материалов на ограждающие конструкции будут минимальными.

#### Список используемых источников:

- 1.Блажнов А.А. Производственные сооружения для фермерских хозяйств: монография /А.А.Блажнов, М.А. Фетисова. - Орёл: ООО ПФ «Картуш», 2017. - 132 с.
- 2.Теплица Агрисовгаз:[сайт] - URL: [http:// 6 cotok.ru](http://6cotok.ru) > Каталог > Теплицы > АгриСовГаз (дата обращения: 11.11.2021). – Текст электронный.
- 3.Теплица Агросфера Фермер: [сайт] - URL: [http://rus-teplici.ru>catalog/product/teplitsa-agrosfera](http://rus-teplici.ru/catalog/product/teplitsa-agrosfera) (дата обращения: 11.11.2021). – Текст электронный
- 4.Теплица промышленная Фермер-11,5: [сайт] - URL: <http://orel.zagorod.shop> > shop/teplitsy/dlya fermerov (дата обращения: 11.05.2021). - Текст электронный.
5. Фермерская теплица: [сайт] - URL: [http:// ochenkreiko.ru](http://ochenkreiko.ru) > Фермерские-теплицы (дата обращения: 11.05.2021). - Текст электронный.
- 6.К.Бекетт. Растения под стеклом (пер. с англ.). М.: Издательство Мир, 1992.- 200стр.
- 7.Дэвид Г. Хессайон. Всё о теплицах и зимних садах (пер. с англ.).Издательство АСТ.Кладезь, 2014.-128 стр.
- 8.Сатарова Р. Сотовый поликарбонат - теплосберегающее покрытие для фермерских теплиц /Р. Сатарова// ГАВРИШ. Научно-исследовательский институт овощеводства защищённого грунта. - 2017. - №2. - с.48-49.
- 9.Юдаев И.В. Изучение светопропускающих свойств сотового поликарбоната - покровного материала круглогодичных теплиц/ И.В.Юдаев // Научный журнал Кубанского ГАУ. -2016.- №120(06). - с. 239-252.

*Блажнов Александр Александрович, к.т.н., доцент кафедры Агропромышленного и гражданского строительства Орловского государственного аграрного университета имени Н.В.Парахина*

## THE RESOURCE-SAVING PARAMETERS OF FARM GREENHOUSES

Blazhnov A.A.

Oryol State Agrarian University named after N.V. Parakhina

Abstract. One of the main tasks of agricultural technology is to minimize resource costs per unit of production. In the total heat losses of greenhouses of year-round use, approximately 95% are losses through translucent enclosing structures. Therefore, in order to reduce energy costs, the area of the enclosing structures of the cultivation facility should be minimal. The purpose of the study have provided for the derivation of formulas to justify energy-saving space-planning parameters of greenhouses offered by the market for farms, and a comparative assessment of various types of structures. Formulas for determining the minimum coefficient of greenhouse fencing of various shapes are obtained, on the basis of which their comparison is carried out on heat losses and material consumption for enclosing structures.

Keywords: farm greenhouse, fencing coefficient, rational types of greenhouses.

*Alexander A. Blazhnov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Agro-Industrial and Civil Engineering of the N.V. Parakhin Oryol State Agrarian University*

## ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ СОВМЕСТНОГО ПРИМЕНЕНИЯ БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ И ТЕПЛОФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Ковалев А.А., Панченко В.А., Ковалев Д.А.

*Аннотация.* В статье представлены предпосылки совместного применения биоэнергетических и теплофотоэлектрических установок. Приведены данные о росте поголовья на предприятиях животноводства России. Показано, что наблюдается резкий рост поголовья на предприятиях свиноводства, которые являются объектами негативного воздействия на окружающую среду I категории, а отходы жизнедеятельности свиней относятся к III классу опасности. Приведены расходы и характеристика навозных стоков свиноводческих предприятий. Цель работы заключается в эколого-экономической оценке совместного применения биоэнергетических и теплофотоэлектрических установок для получения энергии путем анаэробной биоконверсии органических отходов животноводства. Показано, что биоэнергетический потенциал органических отходов свиноводства составит 50,4 ПДж/год. Предложены способ увеличения эффективности выработки электроэнергии при анаэробной биоконверсии отходов, включающие в себя применение микробной электролизной ячейки с питанием от теплофотоэлектрической установки. Показано, что для переработки органических отходов свиноводства РФ с помощью биоэнергетических установок с комплексным применением МЭЯ и теплофотоэлектрических модулей необходимо затратить 65,3 млрд. рублей при ежегодном получении 8,23 млрд. рублей только за счет отпуска электроэнергии с тарифом 6 руб./кВтч.

*Ключевые слова:* биоэнергетическая установка, биогаз, эффлюент, теплофотоэлектрическая установка, органические отходы свиноводства

Отрицательное воздействие человеческой деятельности на окружающую среду связано не только с возрастающим потреблением природных ресурсов, но и, в большей степени, с образованием жидких и твердых отходов предприятий сельского хозяйства и перерабатывающей промышленности [1, 2].

По информации, представленной Росстатом, на конец июля 2021 года поголовье крупного рогатого скота в хозяйствах всех сельхозпроизводителей, по расчетам, составляло 18,9 млн голов (на 1,3% меньше по сравнению с соответствующей датой предыдущего года), из него коров - 8 млн (на 1,4% меньше), свиней - 27,5 млн (на 2,4% больше), овец и коз - 23,3 млн голов (на 5,4% меньше). В структуре поголовья скота на хозяйства населения приходилось 40,4% поголовья крупного рогатого скота, 9,3% свиней, 46% овец и коз (на конец июля 2020 года - соответственно 40,9%, 10,3%, 45%). [3]

За 5 лет производство продукции свиноводства в России увеличилось на 39%. Основной прирост обеспечивает промышленный сектор, доля продукции которого в прошлом году составила 88%. [4]

Согласно Федеральному классификационному каталогу отходов, утвержденному приказом Росприроднадзора от 22.05.2017 № 242, к III классу опасности относится навоз свиной свежий и помет птичий свежий, к IV классу опасности - навоз свиней перепревший, помет птичий перепревший, навоз крупного и мелкого рогатого скота свежий, навоз конский свежий, к V классу опасности - навоз крупного и мелкого рогатого скота перепревший, навоз

конский перепревший.

Объекты, на которых осуществляется деятельность по выращиванию и разведению свиней с проектной мощностью 20 тыс. мест и более для свиней массой тела более 30 кг (для объектов, введенных в эксплуатацию до 1 января 2005 г.); с проектной мощностью 42 тыс. мест и более для свиней массой тела более 30 кг (для объектов, введенных в эксплуатацию после 1 января 2005 г.), относятся к объектам негативное воздействие на окружающую среду (НВОС) I категории, к которой относятся объекты, оказывающие значительное НВОС и относящиеся к областям применения наилучших доступных технологий.

В таблицах 1 и 2 приведены усредненные расходы навозных стоков свиноводческих предприятий и характеристика навозных стоков, соответственно.

Таблица 1 – Усредненные расходы навозных стоков свиноводческих предприятий различной производительности

Производительность предприятия, голов/год	Расход стоков м <sup>3</sup> /сут. при различных системах удаления навоза			
	Самотечная		Гидросмывная	
	Непрерывного действия и секционная	Периодического действия	Бесканальная	Канальная
24000	300	360	450	700
54000	700	800	1000	1400
108000	1400	1600	2000	2800
216000	2800	3200	4000	5600

Таблица 2 – Характеристика навозных стоков свинокомплексов

Показатели	Ед. изм.	Значение
рН		7,1-8,0
Взвешенные вещества	мг/л	8000-39600
Сухое вещество	г/л	8-35
ХПК	мг/л	7600-40000
БПК <sub>полн.</sub>	мг/л	6400-33600
Общий азот	мг/л	1700-4370
Аммонийный азот	мг/л	480-1430
Фосфаты	мг/л	430-900
Калий	мг/л	150-630
Хлориды	мг/л	140-600
Сульфаты	мг/л	190-220
Мочевина	мг/л	1500-7200
Общее число микроорганизмов и колиподобных палочек	экз/мл	10 <sup>15</sup> – 10 <sup>17</sup>
Содержание яиц гельминтов	экз/л	100-40000

Как видно из представленных Таблиц 1 и 2 наиболее вредное влияние на окружающую среду оказывают промышленные комплексы, на которых для уборки навоза применяется гидросмыв [5].

Одним из способов снижения вредного влияния органических отходов животноводства на окружающую среду является их анаэробная обработка. Несмотря на положительные эффекты анаэробной обработки навоза в биогазовых реакторах серьезным

тормозом их внедрения в сельское хозяйство России является их относительно низкая энергетическая эффективность при производстве биогаза (до 60% выделившегося биогаза используется установкой для собственных нужд) [6].

Для увеличения эффективности выработки электрической энергии за счет использования анаэробной биоконверсии органических отходов необходимо разработать комплекс технических средств для компенсации собственных нужд биогазовой установки. Одним из способов снижения собственных нужд является использование местных возобновляемых источников энергии (ВИЭ), в том числе солнечной энергии [7]. При этом в настоящее время в центре внимания находится электрофизическое влияние на процесс разложения органических субстратов, в том числе отходов, с образованием метана. Интересно, что скорость образования метана увеличивается в разы и его концентрация в биогазе повышается до 80 - 90%. [8]

Цель работы заключается в эколого-экономической оценке совместного применения биоэнергетических и теплофотоэлектрических установок для получения энергии путем анаэробной биоконверсии органических отходов животноводства.

#### Материалы и методы

Для оценки биоэнергетического потенциала использовалась методика, приведенная в [9].

Количество отходов животноводства оценивалось по формуле

$$V = 365 \cdot N \cdot D_o$$

где  $V$  - объем влажного навоза за год, т/год;

$N$  - популяция животных, тыс.гол.;

$D_o$  - количество влажного помета в день, кг/гол.

Годовой биоэнергетический потенциал отходов животноводства был рассчитан по выходу влажного навоза по формуле:

$$E = V \cdot \frac{(100 - W)}{100} LHV$$

где  $E$  - технический биоэнергетический потенциал, ГДж/год;

$V$  - объем влажного навоза за год, т/год;

$W$  - содержание воды во влажном помете для  $i$ -го вида животных, %;

$LHV$  - это низшая теплотворная способность навоза ГДж/т.

Значения низшей теплотворной способности приняты согласно справочнику по ресурсам возобновляемых источников энергии России Безруких. [10]

#### Результаты и обсуждение

Согласно методике, представленной Намсараевым и соавт. [9] биоэнергетический потенциал органических отходов от содержания 27,5 миллионов свиней составит 50,4 ПДж/год.

С целью обеспечения электрической и тепловой энергией биогазовых установок для увеличения выхода биогаза благодаря уменьшению его использования на собственные нужды, предложено использование солнечных теплофотоэлектрических модулей [11, 12] совместно с биогазовой установкой.

В качестве строительного-защитного компонента биогазовой установки с функцией тепло- и электрогенерации от солнечной энергии предложена планарная теплофотоэлектрическая кровельная панель [13, 14], в состав которой входят планарные фотоэлектрические преобразователи собственного производства с относительно невысокой

электрической эффективностью, однако в планируемом серийном производстве теплофотоэлектрических планарных кровельных панелей будут использоваться высокоэффективные планарные фотоэлектрические преобразователи (электрическая эффективность 22%) с односторонней контактной сеткой на тыльной стороне фотоэлектрических преобразователей (SunPower или Maxeon), что увеличит и выходную электрическую мощность (до 20 Вт) (таблица 3).

В результате проведённых лабораторных и натурных исследований теплофотоэлектрической планарной кровельной панели получены основные её характеристики, которые представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Основные параметры образца стационарного теплофотоэлектрического модуля в виде кровельной панели

Длина кровельной панели, мм	434
Ширина кровельной панели, мм	312
Толщина кровельной панели, мм	26
Масса кровельной панели, кг	2,5
Срок номинальной мощности, лет	40 – 50
Тип фотоэлектрических преобразователей	Монокристаллические кремниевые
Количество фотоэлектрических преобразователей, шт.	6
Коммутация фотоэлектрических преобразователей	Последовательная
Размер фотоэлектрического преобразователя, мм	125 × 125
Площадь фотоэлектрического преобразователя, м <sup>2</sup>	0,09
Площадь фотоприёмника, м <sup>2</sup>	0,1
Материал абсорбера	Алюминий (медь)
Ток короткого замыкания, А	4,7 (6,2)*
Ток в рабочей точке, А	4,6 (5,8)*
Напряжение холостого хода, В	3,2 (4,1)*
Напряжение в рабочей точке, В	2,5 (3,4)*
Мощность электрическая, Вт	11 (20)*
Коэффициент заполнения ВАХ, %	60 (75)*
КПД фотопреобразования, %	13 (20)*
Материал подложки	Пластик (вторичный пластик)
Заполнитель-герметик	Кремнийорганический двухкомпонентный полисилоксановый компаунд
Температура эксплуатации панели, °С	- 50 ... + 90
Крепление панели	2 самореза в деревянную балку
Теплоизолятор лицевой	Воздух (инертные газы)
Теплоизолятор тыльный	Воздух (пенопласты, минеральные ваты)
Защитный лицевой материал	Закалённое стекло с малым содержанием оксида железа (optiwhite) толщиной 3 – 4 мм



Класс защиты распределительной коробки	IP 65
Коннекторы	МС4 герметичные
Длина кабеля, мм	40
Сечение кабеля, мм <sup>2</sup>	4 (6)
Теплоноситель	Вода (воздух, фреон)
Количество отверстий для теплоносителя	1 (2) вход, 1 (2) выход
Коммутация магистрали теплоносителя	Гидравлические штуцеры
Тепловая магистраль панелей	Теплоизоляционные трубопроводы
Объем теплоносителя в радиаторе панели, л	0,3
Расход теплоносителя, л/мин	... 0,1 – 1 ... (регулируемый)
Температура теплоносителя на входе, °С	10 – 30
Температура теплоносителя на выходе, °С	35 – 55
Стоимость панели, тыс. руб.	0,6 – 1
* В скобках указаны электрические значения при использовании фотоэлектрических преобразователей с односторонней контактной сеткой и электрическим коэффициентом полезного действия около 20 %, которые планируются использовать в серийном производстве стационарных теплофотоэлектрических модулей в виде кровельных панелей	

На рисунке 1 представлен опытный образец разработанной планарной теплофотоэлектрической кровельной панели.



Рисунок 1 – Общий вид планарной теплофотоэлектрической кровельной панели.

Вырабатываемая солнечными теплофотоэлектрическими модулями электрическая энергия с постоянным током может быть направлена на питание микробной электролизной ячейки (МЭЯ). При этом экспериментально установлено, что подача разности потенциалов на электроды микробной электролизной ячейки, являющейся средством интенсификации процессов, происходящих в биоэнергетической установке, способна повысить производительность процесса анаэробной биоконверсии в 1,46 раза при напряжении 2,5 В. Таким образом, подача напряжения на электроды МЭЯ возможна непосредственно от теплофотоэлектрических модулей без использования дополнительных преобразователей.

Анаэробно обработанные органические отходы являются органическими удобрениями по ГОСТ 33380-2015 «Удобрения органические. ЭФФЛЮЭНТ» [15]

Капитальные вложения на создание биогазовой установки в составе метантенков, газгольдера и устройств для утилизации биогаза по действующим в настоящее время мировым ценам составляют от 500 до 1000 американских долларов за 1 м<sup>3</sup> метантенка.

При этом по информации ООО «СельхозБиоГаз» [16] стоимость поставки «под ключ» одного реактора блочно-модульной конструкции объемом 100 м<sup>3</sup> составляет 5 млн. руб., включая насосы загрузки и перемешивания, водогрейный котел и инженерную обвязку анаэробного биореактора.

Однако в настоящее время фактическое использование органических отходов, потенциально пригодных для производства биогаза, на 2-3 порядка ниже, чем имеющийся потенциал для органических отходов. [17]

Для переработки органических отходов от 27,5 миллионов голов свиней необходимый объем анаэробных биореакторов, построенных по традиционной технологии (аналогично Байцуры), составит  $2,75 \cdot 10^6$  м<sup>3</sup>. При этом применение МЭЯ в биоэнергетической установке совместно с теплофотоэлектрической установкой при термофильном температурном режиме позволяет не только обеззаразить навоз с получением органических удобрений, но и снизить необходимый объем более чем в три раза до  $825 \cdot 10^3$  м<sup>3</sup> за счет ускорения микробиологических и биохимических процессов путем повышения температуры и воздействия постоянным электрическим током.

Согласно полученным экспериментальным данным выход биогаза составляет 2,2 м<sup>3</sup>/(м<sup>3</sup>·сут), что эквивалентно 41 ТДж/сут при обработке органических отходов от 27,5 миллионов голов свиней, или 3,76 ГВтч/сут при утилизации биогаза в когенерационной установке с газопоршневым двигателем.

Удельные капитальные вложения на создание биоэнергетической установки с МЭЯ и когенерационной установкой составляют 428 тыс. руб. за кВт производимой электрической мощности, при этом применение теплофотоэлектрических модулей позволяет снизить удельные капитальные вложения на 3-5% до 417 тыс. руб./кВт в зависимости от региона и поступающего солнечного излучения.

#### Выводы

Таким образом, для переработки органических отходов от содержания 27,5 млн. голов свиней с помощью биоэнергетических установок с комплексным применением МЭЯ и теплофотоэлектрических модулей необходимо затратить 65,3 млрд. рублей при ежегодном получении 8,23 млрд. рублей только за счет отпуска электроэнергии с тарифом 6 руб./кВтч. При этом розничная цена эффлюента, получаемого при анаэробной обработке органических отходов, под различными названиями в среднем составляет 200 рублей за 5 литров.

#### Список использованных источников:

1. Izmaylov A. Yu., Lobachevskiy Ya. P., Fedotov, A. V., Grigoryev V. S., Tsench Yu. S. Adsorption-Oxidation Technology of Wastewater Recycling in Agroindustrial Complex Enterprises. Vestnik mordovskogo universiteta = Mordovia University Bulletin. 2018;28(2):207–221. <https://doi.org/10.15507/0236-2910.028.201802.207-221>
2. Artamonov, A.V., Izmailov, A.Yu., Kozhevnikov, Yu.A., Kostyakova, Yu.Yu., Lobachevsky, Ya.P., Pashkin, S.V. & Marchenko, O.S. Effective purification of concentrated organic wastewater from agro-industrial enterprises, problems and methods of solution. AMA, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America. 2018;49:49-53.
3. Интернет-ресурс: <https://tass.ru/ekonomika/12274597#> Дата обращения:08.12.2021
4. Интернет-ресурс: <https://specagro.ru/news/202111/za-5-let-proizvodstvo-produkcii-svinovodstva-v-rossii-uvlechilos-na-39> Дата обращения:08.12.2021
5. Ковалев, Д. А. Обоснование применения систем анаэробно-аэробной очистки навозных стоков свинокомплексов / Д. А. Ковалев, А. А. Ковалев, Е. И. Азимжанов // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. – 2016. – № 4(24). – С. 116-119.
6. Ковалев, А. А. Система получения электроэнергии за счет комбинированного использования анаэробной биоконверсии органических отходов агропромышленного

комплекса и солнечной энергии / А. А. Ковалев, В. А. Панченко // Новое в российской электроэнергетике. – 2021. – № 11. – С. 32-38.

7. Осмонов О.М. Научно-технические основы создания автономных биоэнергетических установок для крестьянских хозяйств в горных районах Киргизии: дис. ... докт. техн. наук. Москва, 2012.

8. Choi K.S., Kondaveeti S., Min B. Bioelectrochemical methane (CH<sub>4</sub>) production in anaerobic digestion at different supplemental voltages // Bioresource Technology. 2017. V. 245. P. 826–832.

9. Namsaraev, Z., Gotovtsev, P., Komova, A., Vasilov, R.G. (2018). Current status and potential of bioenergy in the Russian Federation. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 81. 625-634. 10.1016/j.rser.2017.08.045.

10. Справочник по ресурсам возобновляемых источников энергии России и местным видам топлива/показатели по территориям/ под ред. П.П.Безруких – М., «ИАЦ Энергия», 2007

11. Kharchenko V., Panchenko V., Tikhonov P.V., Vasant P. Cogenerative PV Thermal Modules of Different Design for Autonomous Heat and Electricity Supply // Handbook of Research on Renewable Energy and Electric Resources for Sustainable Rural Development, 2018, pages 86 – 119, DOI: 10.4018/978-1-5225-3867-7.ch004.

12. Панченко В.А. Солнечные теплофотоэлектрические модули стационарной и мобильной конструкции // Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE), № 31-33, 2020, с. 20-33. <https://doi.org/10.15518/isjaee.2020.11.002>.

13. V.A. Panchenko. Solar Roof Panels for Electric and Thermal Generation // Applied Solar Energy, 2018, Vol. 54, No. 5, pp. 350–353. DOI: 10.3103/S0003701X18050146. ISSN 0003-701X. Allerton Press, Inc., 2018.

14. Панченко В.А. Моделирование теплофотоэлектрической кровельной панели для энергоснабжения объектов // Строительство и техногенная безопасность, №13(65), 2018, с. 143 – 158.

15. ГОСТ 33380-2015 «Удобрения органические. ЭФФЛЮЭНТ. Технические условия» Дата введения 2017-01-01, М.: Стандартинформ, 2020

16. Интернет-ресурс: <https://shbiogaz.ru/> Дата обращения: 08.12.2021

17. Namsaraev, Zorigto & Litt, Yu & Nozhevnikova, A. (2018). Analysis of the resource potential of biogas production in the Russian Federation. Journal of Physics: Conference Series. 1111. 012012. 10.1088/1742-6596/1111/1/012012.

*Ковалев Андрей Александрович, ст. научный сотрудник, к.т.н., Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ" (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ), 109428, РФ, г. Москва, 1-й Институтский проезд, дом 5*

*Панченко Владимир Анатольевич, доцент, доцент; ст. научный сотрудник, к.т.н., Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Российский университет транспорта", 127994, ГСП-4, г. Москва, ул Образцова, д. 9, стр. 9*

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ" (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ), 109428, РФ, г. Москва, 1-й Институтский проезд, дом 5*

*Ковалев Дмитрий Александрович, вед. научный сотрудник, к.т.н., Федеральное*

## ECOLOGICAL AND ECONOMIC PREREQUISITES FOR THE JOINT USE OF BIOENERGY AND THERMAL PHOTOELECTRIC PLANTS

Kovalev A.A., Panchenko V.A., Kovalev D.A.

The article presents the prerequisites for the joint use of bioenergy and thermal photoelectric installations. The data on the growth of the livestock at the animal husbandry enterprises in Russia are presented. It is shown that there is a sharp increase in the number of livestock at pig breeding enterprises, which are objects of negative impact on the environment of the 1st category, and the waste of pigs belongs to the III hazard class. The flow and characteristics of manure from pig breeding enterprises are presented. The aim of the work is the ecological and economic assessment of the joint use of bioenergy and thermal photoelectric plants for energy production by anaerobic bioconversion of organic waste from animal husbandry. It is shown that the bioenergy potential of organic waste from pig breeding is 50.4 PJ / year. A method for increasing the efficiency of power generation during anaerobic bioconversion of waste is proposed, including the use of a microbial electrolysis cell powered by a thermal photoelectric plant. It is shown that for the processing of organic waste of pig breeding in the Russian Federation with the help of bioenergy plants with the integrated use of MEC and thermal photovoltaic plants, it is necessary to spend 65.3 billion rubles with an annual production of 8.23 billion rubles only through the sale of electricity at a rate of 6 rubles / kWh.

Keywords: bioenergy plant, biogas, effluent, thermal photoelectric plant, organic waste from pig breeding

*Kovalev Andrey Alexandrovich, Art. Researcher, Ph.D., Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Agroengineering Center VIM" (FGBNU FNATS VIM), 109428, Russian Federation, Moscow, 1st Institutskiy proezd, building 5*

*Panchenko Vladimir Anatolyevich, associate professor, associate professor; Art. Researcher, Ph.D., Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Russian University of Transport", 127994, GSP-4, Moscow, Obraztsova st., 9, bldg. 9 Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Agroengineering Center VIM" (FGBNU FNATS VIM), 109428, Russian Federation, Moscow, 1st Institutskiy proezd, building 5*

*Dmitry Alexandrovich Kovalev, Leading Researcher, Ph.D., Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Agroengineering Center VIM" (FGBNU FNATS VIM), 109428, Russian Federation, Moscow, 1st Institutskiy proezd, building 5*

## ВЛИЯНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО РЕЖИМА ОБЛУЧЕНИЯ НА РАСТЕНИЯ ЗЕМЛЯНИКИ IN VITRO

Кондратьева Н. П.<sup>1</sup>, Большин Р. Г.<sup>2</sup>, Батурина А. И.<sup>1</sup>, Краснолуцкая М. Г.<sup>2</sup>,  
Батурина К. А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Ижевская государственная сельскохозяйственная академия»: 426069, Ижевск, ул. Студенческая, 11

<sup>2</sup>Частное образовательное учреждение дополнительного профессионального образования «Учебно—научный инновационный центр «Омега»:

*Аннотация. Достоинством выращивания растений in vitro (в пробирках) является выращивание за короткий срок совершенно здоровых растений и в большом количестве. Свет (облучение) является приоритетным фактором, обеспечивающим полноценный рост растений. Целью работы является обоснование энергосберегающего режима облучения для выращивания in vitro меристемных растений земляники сорта «Корона» и «Брайтон», позволяющего повысить урожайность культуры и уменьшить затраты электроэнергии на ее выращивание. Опыты проводились в Удмуртском научно-исследовательском институте сельского хозяйства. Сравнивались два режима облучения растений. Первый режим с использованием люминесцентными лампами (контроль). Второй режим с использованием светодиодов, которые мигают. Этот режим сочетал в себе короткие импульсы света по 0,5 с в течение 30 с, а затем один длительный импульс по 15с. Реализация этого режима облучения осуществлялась с помощью разработанной цифровой автоматизированной системы управления. Проведенные лабораторные эксперименты показали положительное воздействие мигающего облучения на укореняемость при этом затраты на потребленную электроэнергию уменьшились на 50%.*

*Ключевые слова: энергосберегающий световой режим, растения in vitro, мигающее облучение, цифровые автоматизированные системы управления.*

**Введение.** По меристемной технологии выращивания растений [14] за короткий срок получают генетически одинаковые копии совершенно здоровых растений в требуемом количестве (рисунок 1).



Рисунок 1 - Меристемные растения (in vitro)

За первые 30 дней происходит активное наращивание зеленой массы растений, в последующие 30 дней активно начинают развиваться корни. В заключительные 30 дней растения высаживают в грунт или в горшочек, где и происходит его адаптация к реальным условиям [15]. Меристема (от греч. meristos – «делимый») — это ткань растений, в течение всей жизни сохраняющая способность к образованию новых клеток. За счет меристемы деревья и цветы растут, образуют новые листья, стебли, корни, цветки. Меристемная технология предполагает размножение и выращивание растений *in vitro*, то есть в пробирке [14, 15].

Приоритетным фактором для полноценного роста растениям является свет, в том числе его спектральный состав [2, 9, 10]. С учетом все возрастающей стоимости электроэнергии необходимо обратить внимание на [организационно-экономические проблемы развития аграрного сектора экономики](#) [6, 7], что неразрывно связано с применением светодиодного облучения растений [1, 8, 11] и разработкой энергосберегающих режимов облучения [12, 13, 16] **Целью работы** является обоснование энергосберегающего режима облучения для выращивания *in vitro* меристемных растений земляники сорта «Корона» и «Брайтон», позволяющего повысить урожайность культуры и уменьшить затраты электроэнергии на ее выращивание.

#### **Задачи исследования.**

1. Разработать цифровую автоматизированную систему для управления работой светодиодного мигающего фитооблучателя.
2. Провести эксперименты для оценки эффективности мигающего и непрерывного режимов облучения на укореняемость и образование числа нормально развитых листьев.

#### **Материалы и методы.**

Опыты проводились в световой комнате лаборатории Удмуртского научно-исследовательского института сельского хозяйства Удмуртского Федерального Исследовательского Центра Уральского Отделения Российской Академии Наук. Объектами исследований являлись меристемные растения земляники садовой сорта «Корона» и земляники ремонтантной сорта «Брайтон». Сравнивались два режима облучения (освещения) растений. Первый режим осуществлялся непрерывно работающими люминесцентными лампами (ЛЛ), это был контроль. Второй режим (мигающий) реализовывался светодиодным (LED) фитооблучателем. Мигающий режим сочетал в себе короткие импульсы света по 0,5 с и один длинный импульс по 15 с. В обоих вариантах фотопериод составлял 16 час. в сутки; облученность (освещенность) составляла 75...85 мМоль/(м<sup>2</sup>\*сек); температура и относительная влажность воздуха соответственно были равны 22...25<sup>0</sup>С и 70...75 % [3, 4, 5].

В LED фитооблучатель входило 32 светодиода. Основным узлом цифровой автоматизированной системы для управления работой LED фитооблучателя в мигающем режиме был программируемый микроконтроллер [4, 14, 15]. Импульсы генерировал кварцевый генератор. В схеме использовался один цифровой инвертор, один резистор, два конденсатора и кристалл кварца, который действует как высокоизбирательный элемент фильтра. Для реализации необходимого алгоритма используется схемное решение на микросхеме низкой интеграции серии К 561. Для преобразования напряжения использован понижающий однофазный трансформатор ОСМ 1-0.063.

#### **Результаты и обсуждения.**

LED мигающий фитооблучатель оказал существенное положительное влияние на укореняемость меристемных растений обоих сортов земляники (рисунок 2).

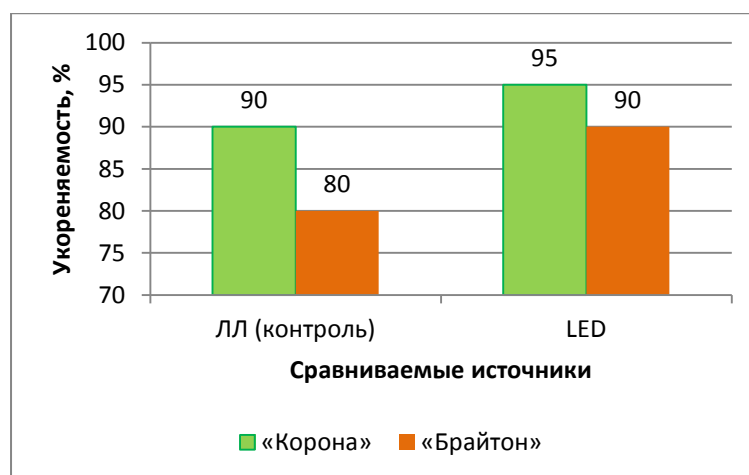


Рисунок 2 - Влияние мигающего света на укореняемость

Из рисунка 2 видно, что под ЛЛ фитооблучателем (контроль) укореняемость земляники была ниже, чем у LED, то есть у сорта «Корона» под ЛЛ укореняемость 90,0 % и под LED - 95,0 %. У сорта «Брайтон»: под ЛЛ укореняемость 80,0 % и под LED - 90,0 %.

LED мигающий фитооблучатель оказал положительное воздействие на число нормально развитых листьев у сорта «Корона» (рисунок 3).

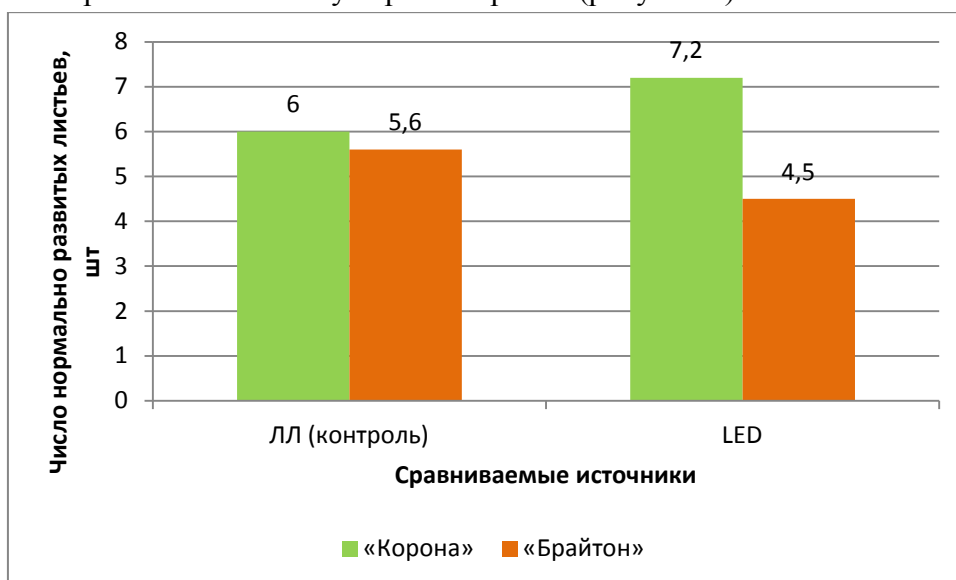


Рисунок 3 - Влияние мигающего света на число нормально развитых листьев

Из рисунка 3 видно, влияние мигающего света оказалось разным: у сорта «Брайтон» количество листьев уменьшилось, а у сорта «Корона» наоборот увеличилось по сравнению с контролем.

Затраты на израсходованную электроэнергию уменьшились на 50%.

#### **Выводы.**

Таким образом, цель работы выполнена. По результатам работы можно сделать следующие выводы:

1. Разработана цифровая автоматизированная система для управления работой светодиодного мигающего фитооблучателя.
2. Проведенные эксперименты показали, что мигающее облучение оказало положительное воздействие укореняемость для обоих сортов земляники. Влияние мигающего облучения на количество нормально развитых листьев оказалось неоднозначным: положительно отреагировал только сорт «Корона». Поэтому здесь необходимо провести дальнейшие исследования.

3. Энергосберегающий режим облучения позволил снизить на 50% затраты на потребление электроэнергии.

#### Список использованных источников:

1. Беркович, Ю.А. Некоторые пути оптимизации светодиодного освещения в светокультуре растений / Беркович Ю.А. Очков О.А., Буряк А.А., Смолянина С.О., Переведенцев О.В., Лапач // В сборнике: Светотехника. Материалы Международной научно-технической конференции по применению светодиодных фитооблучателей. Москва, Издательство: ВНИСИ 2019. С. 37-42.

2. Клешнин, А.Ф. Растение и свет. Теория и практика светокультуры растений / А.Ф. Клешнин // М.: Издательство академии наук СССР, 1954. – 350 – 353 с.

3. Кондратьева, Н.П. Обоснование мигающего светового режима облучения на развитие земляники / Кондратьева Н.П., Батурина К.А., Батуринов А.И., Бигбашев М.Ю. // Актуальные вопросы энергетики АПК. Материалы Национальной научно-практической конференции, посвященной 100-летию плана ГОЭРЛО. Издательство: ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА 2021. С. 36-41.

4. Кондратьева, Н.П. Цифровые технологии для мониторинга параметров микроклимата / Кондратьева Н.П., Ваштиев В.К., Радикова А.В., Шишов А.А. // Технологические тренды устойчивого функционирования и развития АПК. Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной году науки и технологии в России. Ижевск, Издательство: ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА 2021. С. 106-109.

5. Кондратьева, Н.П. Цифровое управление безопасными агроэкологическими электротехнологиями / Кондратьева Н.П., Большин Р.Г., Краснолуцкая М.Г., Батуринов А.И., Шишов А.А., Батурина К.А., Радикова А.В., Ваштиев В.К. // Евразийское Научное Объединение. 2021. № 3-1 (73). С. 75-79.

6. Мухаметгалиев, Ф.Н. [Организационно-экономические основы технической модернизации аграрного бизнеса](#) / Мухаметгалиев Ф.Н., Файзрахманов Д.И., Валиев А.Р., Зиганшин Б.Г., Лукин А.С. // [Финансовый бизнес](#). 2021. № 6 (216). С. 171-175.

7. Мухаметгалиев, Ф.Н. [Организационно-экономические проблемы развития аграрного сектора экономики](#) / Мухаметгалиев Ф.Н., Валиев А.Р., Зиганшин Б.Г., Лукин А.С., Ситдикова Л.Ф., Дубровская Л.В. // [Финансовый бизнес](#). 2021. № 7 (217). С. 62-66.

8. Прикупец, Л.Б. Светодиоды в тепличном освещении: возможности и реальность / Прикупец, Л.Б. // Светотехника. Материалы Международной научно-технической конференции по применению светодиодных фитооблучателей. Москва, Издательство: ВНИСИ 2019. С. 8-12.

9. Тихомиров, А.А. [Концептуальные подходы к выбору спектра излучения ламп для выращивания растений в искусственных условиях](#) / Тихомиров А.А., Ушакова С.А., Шихов В.Н., Шклавцова Е.С. // [Светотехника](#). 2019. № 5. С. 19-23.

10. Тихомиров, А.А. Концептуальные подходы к выбору спектра излучения ламп для выращивания растений в искусственных условиях / Тихомиров А.А., Ушакова С.А., Шихов В.Н., Шклавцова Е.С. // Светотехника. Материалы Международной научно-технической конференции по применению светодиодных фитооблучателей. Москва, Издательство: ВНИСИ 2019. С. 19-23.

11. Тихомиров, А.А. [Оценка субстратной и регуляторной роли излучения различного спектрального состава современных светодиодных ламп в продукционном процессе фитоценозов](#) / Тихомиров А.А., Ушакова С.А., Тихомирова Н.А., Величко В.В., Шихов В.Н.



// В книге: IX Съезд общества физиологов растений России «Физиология растений - основа создания растений будущего». тезисы докладов. Казань, 2019. С. 434.

12. Овчукова, С.А. Экономия электроэнергии в световых технологиях сельскохозяйственного производства / Овчукова С.А., Кондратьева Н.П., Коваленко О.Ю. // Светотехника. 2020. № 6. С. 68-70.

13. Филатов, Д.А. [Способ снижения энергоёмкости светодиодной системы облучения \(освещения\) растений](#) / Филатов Д.А., Кондратьева Н.П., Большин Р.Г., Батурин А.И., Корепанов Р.И., Ильясов И.Р., Бузмаков Д.В. // Патент на изобретение 2725486 С1, 02.07.2020. Заявка № 2019117195 от 03.06.2019.

14. Kondrateva, N.P. [Influence of a pulsed \(flashing\) light-emitting diode \(led\) phyto-irradiator on the efficiency of rooting of garden strawberry micro-cuttings in vitro](#) / Kondrateva N.P., Somova E.N., Markova M.G., Maksimov I.I., Ovchukova S.A., Kirillov N.K., Krasnolutsкая M.G., Belov V.V., Bolschin R.G., Korepanov D.A. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Сер. "International AgroScience Conference, AgroScience 2020" 2020. С. 012010. DOI: [10.1088/1755-1315/604/1/012010](https://doi.org/10.1088/1755-1315/604/1/012010)

15. Kondrateva, N.P. Influence of a pulsed (flashing) light-emitting diode (led) phyto-irradiator on the efficiency of rooting of garden strawberry micro-cuttings in vitro / Kondrateva N.P., Somova E.N., Markova M.G., Maksimov I.I., Ovchukova S.A., Kirillov N.K., Krasnolutsкая M.G., Belov V.V., Bolschin R.G., Korepanov D.A. // В сборнике: iop conference series: earth and environmental science. International AgroScience Conference (AgroScience-2020). 2020. С. 012010.

16. Ovchukova, S.A. Energy saving in lighting technologies of agricultural production / Ovchukova S.A., Kondrateva N.P., Kovalenko O.Y. // Light & Engineering. 2021. Т. 29. № 2. С. 21-25.

*Кондратьева Надежда Петровна<sup>1</sup>, доктор техн. наук, профессор.*

*Большин Роман Геннадьевич<sup>2</sup>, кандидат техн. наук, преподаватель*

*Батурин Андрей Иванович<sup>1</sup>, ассистент*

*Краснолуцкая Мария Геннадьевна<sup>2</sup> кандидат техн. наук, преподаватель*

*Батурина Кристина Андреевна<sup>1</sup>, инженер*

<sup>1</sup>*Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования*

*«Ижевская государственная сельскохозяйственная академия»: 426069, Ижевск, ул.*

*Студенческая, 11*

<sup>2</sup>*Частное образовательное учреждение дополнительного профессионального образования*

*«Учебно—научный инновационный центр «Омега»:*

## INFLUENCE OF ENERGY-SAVING IRRADIATION ON STRAWBERRY PLANTS IN VITRO

<sup>1</sup>Kondrateva N. P., <sup>2</sup>Bolshin R. G., <sup>1</sup>Baturin A. I., <sup>2</sup>Krasnolutsкая M. G., <sup>1</sup>Baturina K. A.

<sup>1</sup>Federal State Budgetary educational establishment the higher education  
"Izhevsk state agricultural academy"

<sup>2</sup>Private educational institution of additional professional education "Educational and scientific

Annotation. The advantage of growing plants in vitro (in test tubes) is growing completely healthy plants in a short time and in large quantities

Light (irradiation) is a priority factor that ensures the full growth of plants. The aim of the work is to substantiate an energy-saving irradiation regime for in vitro cultivation of meristemic plants of strawberry varieties "Korona" and "Brighton", which makes it possible to increase the yield of the crop and reduce the cost of electricity for its cultivation. The experiments were carried out at the Udmurt Research Institute of Agriculture. Two regimes of irradiation of plants were compared. The first mode is using fluorescent lamps (control). Second mode using LEDs that flash. This mode combined short pulses of light of 0.5 s for 30 s, and then one long pulse of 15 s. The implementation of this irradiation mode was carried out using the developed digital automated control system. Laboratory experiments have shown the positive effect of blinking irradiation on rooting, while the cost of consumed electricity decreased by 50%.

Key words: energy saving light mode, in vitro plants, blinking irradiation, digital automated control systems.

Kondratyeva Nadezhda Petrovna<sup>1</sup>, Doctor of Technical Sciences sciences, professor.

Bolshin Roman Gennadievich<sup>2</sup>, Candidate of Engineering sciences. teacher

Baturin Andrey Ivanovich<sup>1</sup>, assistant

Krasnolutskaya Maria Gennadievna<sup>2</sup> Candidate of Engineering sciences. teacher

Baturina Kristina Andreevna<sup>1</sup>, engineer

<sup>1</sup>Federal State Educational Institution of Higher Education "Izhevsk State Agricultural Academy":  
426069, Izhevsk, st. Studencheskaya, 11

<sup>2</sup>Private educational institution of additional professional education "Educational and scientific  
innovation center" Omega ":

## ВИХРЕВЫЕ И ВИХРЕ–КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ РАЗРЕШЕНИЯ ГЛОБАЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ

<sup>1</sup>Р. А. Серебряков, <sup>2</sup>Е. Д. Сорокодун

<sup>1</sup>Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва

<sup>2</sup>ООО «Вихре-колебательные технологии», Москва

**Аннотация:** Сейчас на Планете происходит нехватка электрической, тепловой и механической энергии. Решение энергетических проблем путем сжигания нефти, газа, угля и других топлив, ядерной, водородной и биоэнергетики является дорогим и приносит огромный экологический ущерб и потепление на Планете. К этому надо добавить, что количество углеводородного топлива в недрах Земли резко сокращается. Вода начала уходить в пустоты от выработки угля и нефти и катастрофически увеличивается дефицит воды. А к дикому «достижению» сегодняшней цивилизации: - сотни тысяч километров электролиний, газо-нефте и теплотрасс, уже все привыкли. Сейчас делается большая ставка на традиционные возобновляемые источники энергии: - использование энергии ветра, течений, морских волн, солнца и т.п. Но, это обеспечит, в лучшем случае, не более 2-15% потребности в энергетике на Планете. Эти источники энергии не решат энергетические проблемы в глобальном масштабе из-за большой стоимости, сложности конструкции, зависимости от наличия ветра или солнца и отрицательного влияния на окружающую среду. Не случайно уже многими экспертами делается заключение об альтернативной и возобновляемой энергетике как о «зеленом пузыре». Необходимы инновационные технологии для решения этих проблем.

**Ключевые слова:** вихрь, вихре-колебательные технологии, энергетика, идеальная энергетика, инновация, экстракция

Решить современные энергетические проблемы могут экстракторы энергии, берущие энергию из идеальных для потребителя источников энергии. Такими источниками энергии может быть низкопотенциальная энергия статического давления и тепловая энергия спокойной атмосферы и водных сред, которые находятся в неограниченном количестве и рядом с потребителем. Почему эти источники, если не считать тепловые насосы и вакуумные бомбы, до сих пор не освоены? Потому что экстракция энергии идеальных источников связана с трансцендентно сложными и малоизученными физическими процессами. Тем не менее, ученые, ещё в прошлом веке [1, 2, 3] обратили внимание на низкопотенциальные возобновляемые атмосферные источники энергии (смерчи, торнадо, шаровые молнии...), берущие тепловую энергию и энергию статического давления из окружающей атмосферы (без ветра, солнца, воды...).

1. Для примера, напомним об известных способах экстракции низкопотенциальной энергии из спокойной окружающей среды [4, 5, 6, 7, 8]:

- Способ экстракции тепловой энергии.



Рисунок 1 - Схема теплового насоса

Один из способов «способ теплового насоса» показан на Рис. 1. Специально создаётся зона (тепловой приёмник) с ещё более низкой температурой, чем имеет окружающая среда. Тогда окружающая низкопотенциальная среда отдаёт тепловую энергию этой зоне. Затем тем или способом эта экстрагированная тепловая энергия доводится до высокого потенциала и передаётся потребителю.

- Способ струи.

Виктор Шаубергер открыл, что при определенных геометрических характеристиках спиральной струи происходит самоохлаждение струи, а освободившаяся внутренняя тепловая энергия превращается в дополнительную кинетическую энергию струи.

Сейчас ученые обнаружили, что в прямолинейной струе происходит аналогичное явление. Но она происходит при скоростях струи близкой к скорости звука, а у Виктора Шаубергера этот эффект на спиральной струе происходил при скоростях несколько метров в секунду!

- Способ экстракции энергии статического давления (Рис.2.)



Рисунок 2

При истечении струи в струе образуется пониженное статическое давление (эффект Бернулли), а вне струи, в неподвижной среде остаётся статическое давление прежнее. Возникает перепад давления, который заужает струю. Это действие совершается благодаря энергии статического давления внешней спокойной среды, которая передаётся струе. Использование эффекта Бернулли может позволить разработать много способов экстракции статического давления окружающей спокойной среды.

- Экстракция низкопотенциальной энергии из спокойной окружающей среды в природе (Рис.3.)

На основе полученных результатов предварительной оценки экстракции тепловой энергии и энергии давления спокойной окружающей атмосферы и водной среды, можно утверждать, что в природе эта экстракция происходит повсеместно в сотнях разных вариантах (от турбулентности до торнадо и др.).



Рисунок 3

- Акустический тепловой насос (Рис.4.)

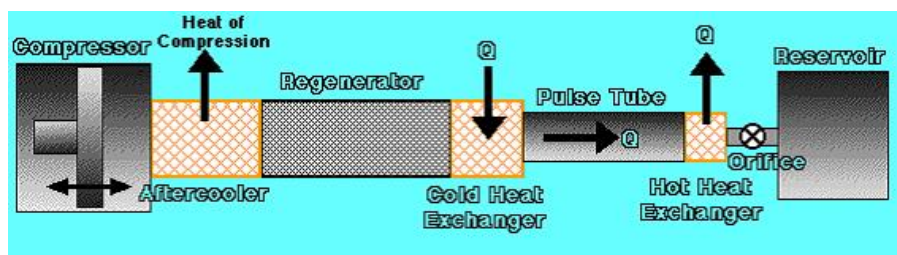


Рисунок 4

- Энергия статического давления при урагане (Рис.5.)



Рисунок 5

При урагане крышу сверху обтекают струи ветра и по закону Бернулли статическое давление, действующее на наружную поверхность крыши будет меньше, чем

статическое давление неподвижного воздуха внутри крыши. Происходит перепад давления и неподвижный воздух внутри крыши отдаёт свою энергию для срыва крыши.

- Вакуумная бомба (Рис.6).



Рисунок 6

В вакуумной бомбе, с помощью легкого подрыва или быстрого сгорания, создаётся разрежение (пониженное давление). Давление окружающего спокойного воздуха остаётся прежним, 1 атм. Благодаря перепаду статических давлений наружный воздух начинает устремляться внутрь области разрежения воздуха (эту область делают большой). Освобождается огромная энергия статического давления окружающей атмосферы и происходит взрыв огромной мощности. Здесь происходит процесс экстракции внешней энергии типа имплозии в форме взрыва.

2. Достаточно примеров конкретных конструктивных решений экстракции низкопотенциальной энергии из спокойной окружающей среды с использованием технологий вихревой энергетики [9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16]:

- вихревая башня типа «торнадо» (Рис.7.)

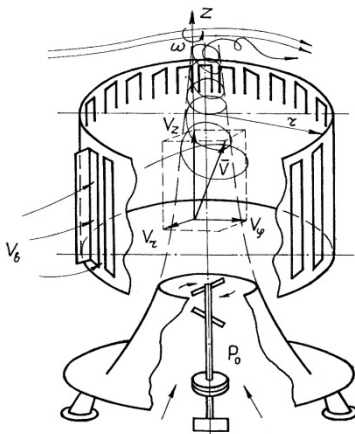


Рисунок 7 - Схема вихревой башни типа «торнадо»

- вихревой ветропреобразователь (Рис. 8.)

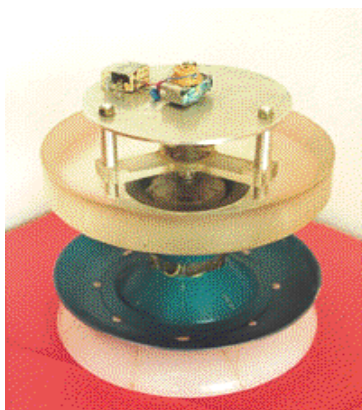


Рисунок 8 - Аэродинамический макет вихревого ветропреобразователя  
- вихревой экстрактор воздушного потока (Рис. 9.)



Рисунок 9 - Действующий образец вихревого экстрактора воздушного потока

Представленные выше материалы подтверждают, что низкопотенциальная возобновляемая энергия спокойной окружающей атмосферы и водных сред действительно является реальным идеальным источником энергии (тепловая энергия и энергия статического давления) и, оказывается, что целесообразно использовать не прямую экстракцию энергии Солнца (солнечные и ветроэлектростанции), а энергию тепловую и статического давления атмосферы и водных сред полученную путем накопления её на Земле от энергии солнца и других источников.

**3.** Энергия из окружающей среды по отношению к потребителю может быть (см. Рис. 10):

- высокопотенциальной (высокое давление, ветер, течения, солнечная, высокотемпературная);
- низкопотенциальной (спокойная окружающая атмосфера, водная среда, земля; их температура и давление ниже или равны той, что имеет потребитель);
- консервированной (энергия веществ, которые могут выделять внутреннюю скрытую энергию после специального на них воздействия (сжигание, разложение или др.. ); При этом выделенная энергия может быть высокопотенциальной или низкопотенциальной)

В случае высокопотенциальной энергии потребитель может получать энергию от источника, когда потенциал источника (динамическое давления ветра и течений воды, температура, давление, сила, электрическое напряжение и т.п.) будет выше соответствующего потенциала потребителя. Человечество сравнительно просто освоило получение высокопотенциальной энергии (ГЭС, ветроэлектростанции, солнечные и др.).

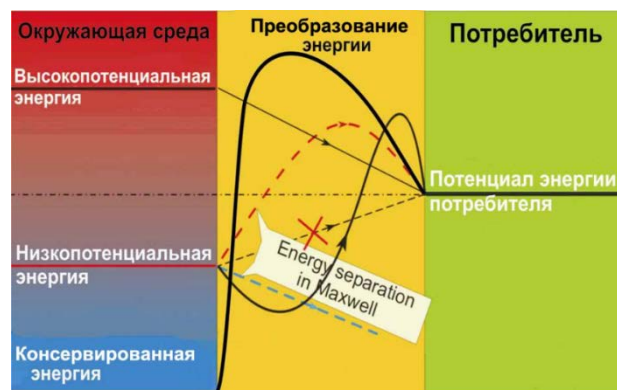


Рисунок 10 - Соотношение потенциалов источников энергии и потребителя

Также человечество освоило консервированную энергию: посредством извлечения внутренней скрытой энергии (сжигания топлива, химических реакций, ядерных или других процессов). Потенциал извлеченной энергии доводится до высокого потенциала.

Низкопотенциальные источники энергии имеют много видов известных (низкая температура и статическое давление окружающей спокойной среды) и еще мало неизвестные или неизвестные источников энергии. Но извлечение низкопотенциальной энергии оказалось задачей намного более трудной (физика экстракции и преобразования энергии), чем извлечение высокопотенциальной или консервативной энергии. Поэтому низкопотенциальные источники энергии остаются слабо освоенными.

4. Источниками энергии, близкими по качеству к идеальным источникам энергии могли бы стать бестопливные источники энергии.

Могут быть идеальными источниками энергии из энергии микромира и других видов энергии.

Для получения ответа о том, что внутренняя энергия тепловая и статического давления спокойной атмосферы и водной среды соответствуют требованиям идеальных источников энергии, необходимо провести сравнительную оценку этих энергий с существующими возобновляемыми источниками энергии по величинам конечной энергии, полученной потребителем. Для сравнения выберем:

- высокопотенциальную кинетическую энергию ветра и течений (на основе этого вида энергии во всем мире построены ГЭС и ветроэлектростанции; этот источник энергии и преобразователи, дающие потребителю эту энергию, будут выбраны в качестве образцов для сравнения с предполагаемым идеальным источником энергии);

- низкопотенциальную тепловую энергию и энергию статического давления спокойной атмосферы и водной среды (на данном этапе - это предполагаемые идеальные источники энергии).

Для сравнительных оценок были выбраны ветро- и гидроэлектростанции, экстрагирующие кинетическую энергию. Этот тип источников энергии является сейчас самыми распространенными возобновляемыми источниками энергии. И наша задача оценить возможность и целесообразность заменить их предлагаемыми нами источниками тепловой энергии и энергии статического давления окружающей спокойной среды. При сравнениях различных форм энергии их характеристики брались приближенно (с целью упрощения на данном этапе сравнительных доказательств). (Целесообразно проводить сравнительную оценку по величинам полученной потребителем энергии).



## 5. Сравнение экстракции тепловой энергии сухого воздуха с кинетической энергией ветра

Удельная полученная кинетическая мощность для течения воздуха  $q_{kag}$

$$q_{kag} = \eta_{kag} \cdot \eta_{kae} \cdot \delta_{ka} \cdot \frac{E_{ka}}{m_a} = \eta_{ka} \cdot \frac{V_{ka}^2}{2}$$

$$E_{ka} = \frac{m_a \cdot V_{ka}^2}{2}$$

$$\eta_{ka} = \eta_{kag} \cdot \eta_{kae} \cdot \delta_{ka}$$

где:  $E_{ka}$  - кинетическая энергия воздуха;

$m_a$  - масса текущей воздуха;

$V_{ka}$  - скорость течения воздуха;

$\delta_{ka}$  - относительная доля выделенной кинетической энергии из внутренней энергии;

$\eta_{kae}$  - КПД экстракции кинетической энергии воздуха из выделенной энергии;

$\eta_{kag}$  - КПД преобразования экстрагированной кинетической энергии воздуха в энергию для потребителя;

$\eta_{ka}$  - суммарное КПД преобразования внутренней кинетической энергии воздуха в энергию для потребителя.

Удельная полученная тепловая мощность воздуха  $q_{Tag}$

$$q_{Tag} = \eta_{Tag} \cdot \eta_{Tae} \cdot \delta_{Tw} \cdot \frac{E_{Ta}}{m_a} = \eta_{Tag} \cdot \eta_{Tae} \cdot C_{am} \cdot \Delta T_a = \eta_{Tage} \cdot C_{am} \cdot \Delta T_a$$

$$E_{Ta} = C_{am} \cdot (T_a - T_{ao}) \cdot m_a$$

$$\delta_{Ta} = \frac{\Delta T_a}{T_a - T_{ao}}$$

$$\eta_{Tage} = \eta_{Tag} \cdot \eta_{Tae}$$

где:  $E_{Ta}$  - тепловая энергия воздуха;

$q_{Tag}$  - удельная полученная тепловая мощность воздуха;

$T_a$  - температура воздуха;

$T_{ao}$  - температура замерзания воздуха;

$\Delta T_a$  - изменение температуры воздуха;

$\delta_{Ta}$  - доля выделения энергии из внутренней тепловой энергии воздуха;  $\eta_{Tae}$  - КПД экстракции тепловой энергии воздуха из выделенной энергии;

$\eta_{Tag}$  - КПД преобразования экстрагированной тепловой энергии воздуха в форму энергии, необходимую для потребителя;

$\eta_{Tage}$  - КПД выделения и экстракции тепловой энергии воздуха из внутренней энергии;

$$C_{amp} = 1.006 \text{ (кДж/(кг*К))} = 0.917 \text{ (кВт/((кг/с)*К))} - \text{удельная теплоемкость воздуха по массе при постоянном давлении.}$$

Для сравнения, характеристики ветровых электростанций выбираем высокие:

$$V_{ka} = 20 \text{ м/с, а } \eta_{ka} = \eta_{kag} \cdot \eta_{kae} \cdot \delta_{ka} = 0,9 \cdot 0,5 \cdot 0,8 = 0,36.$$

Для сравнения, характеристики будущих электростанций, экстрагирующих тепловую энергию неподвижного воздуха. Выбираем очень низкие (их КПД):

$$\eta_{Tage} = \eta_{Tag} \cdot \eta_{Tae} = 0.2 \cdot 0.01 = 0.002$$

$$\eta_{Tage} = 0.5 \cdot 0.1 = 0.05$$

$$\eta_{Tage} = 0.8 \cdot 0.25 = 0.2$$

Сравнение полученных энергий производим с помощью относительных удельных мощностей  $\eta_{Twg}$ :

$$\eta_{Tag}(\Delta T_a, \eta_{Tage}) = q_{Tag}/q_{kag} = \eta_{Tage} \cdot C_{amp} \cdot \Delta T_a / \eta_{ka} \cdot (V_{ka}^2/2)$$

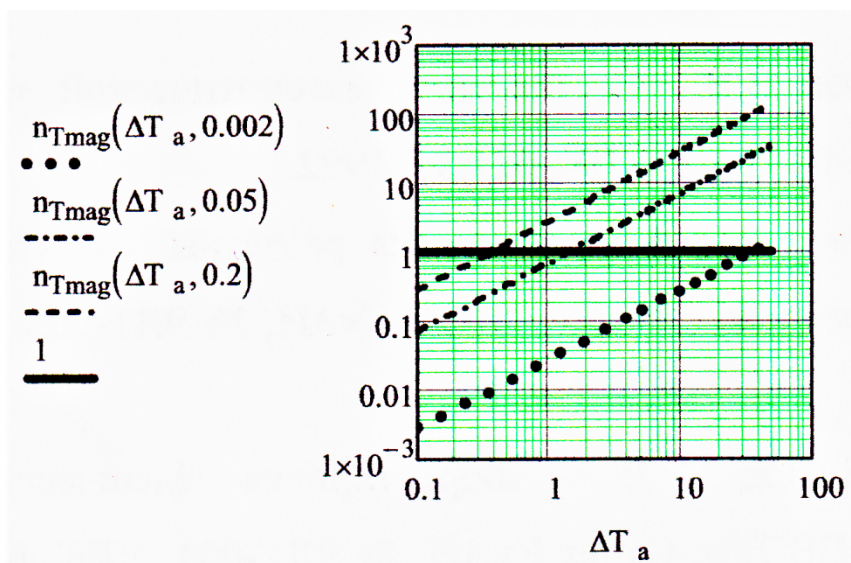


Рисунок 11 - Зависимость относительной удельной полученной тепловой энергии воздуха  $\eta_{Tag}(\Delta T_a, \eta_{Tage})$  от понижения температуры  $\Delta T_a$

Из Рис. 11. по экстракции тепловой энергии из воздуха видно:

- отбор тепловой энергии воздуха начинает происходить при любом понижении температуры воздуха  $\Delta T_a$  при КПД выделения и экстрагирования энергии тепла спокойного окружающего воздуха  $\eta_{Tage} = 0.002$ ;
- при понижении температуры воздуха  $\Delta T = 0.1-40$  градусов, полученная энергия будет меньше, чем имеют ветровые электростанции;
- при КПД выделения и экстрагирования энергии тепла спокойного окружающего воздуха  $\eta_{Tage} = 0.05-0.2$  и при понижении температуры воздуха  $\Delta T = 1-50$  градусов, полученная энергия будет в 2-100 раз больше, чем имеют ветровые электростанции.

### Заключение

Низкопотенциальные источники тепловой энергии и энергии статического давления способны брать энергию из атмосферы и стремиться снизить её температуру. Тепловые выделения будут отсутствовать. Эти источники будут двигать все виды транспорта, приводить в механическое движение оборудование заводов и предприятий. Будут выдавать тепловую и электрическую энергию непосредственно рядом с потребителем (без электролиний и тепловых магистралей). Такие электростанции могут находиться рядом с потребителем и будут удовлетворять все требования идеального источника энергии. На основе экстракции этих идеальных источников энергии можно создать сверх дешёвые электростанции (Рис. 12.), которые решат все энергетические проблемы малых потребителей энергии: индивидуальных потребителей, сельхоз фирм, малых фирм. Эти источники энергии обеспечат бесплатной энергией всю Планету и дадут воду везде. В Азии и Африке вместо пустынь зазеленеют поля и леса и их страны будут спасены. Приостановится процесс таяния ледников и затопления материков. Уже сейчас разработаны и хорошо известны некоторые способы формирования течений вязких сплошных сред, в том числе закрученных, где формирование потоков при этом осуществляется под действием избыточного давления или за счет энергии, сообщаемой потоку всевозможными нагнетателями.

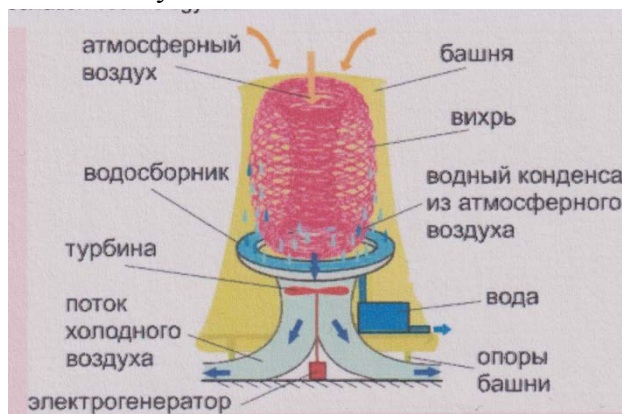


Рисунок 12 - Схема вихре-колебательной электростанции

### Список использованных источников:

1. Никола Тесла. Статьи, Tesla Print, Москва, 2003.
2. Виктор Шаубергер, Энергия воды, «Яуза – Эксмо», 2007.
3. Предводителев А.С., «О тепловом движении в конденсированных средах и об их уравнении состояния», Вестник Моск. Университета, сер. «Физика», 1949, №3, с. 4.
4. Стребков Д.С., Сорокодун Е.Д., Использование низкопотенциальной энергии для

производства электрической и тепловой энергии. Журнал «Достижения науки и техники АПК», Москва, 2011.

5. Sorokodum E. "About the general principles extraction low potential energy of an environment". IWONE 2007, Malmo, Sweden, 2007.

6. Sorokodum E. Extraction of Low-Potential Energy from Environment. The Solution to Energy and Ecological Problems. World Affairs, Spring 2006, Vol. 10, No. 1, pp.166-183. URL: <http://www.indianjournals.com/ijor.aspx?target=ijor:wa&volume=10&issue=1&article=009>

7. Сорокодум Е.Д. Низкопотенциальная энергия окружающей среды, - спасение для человечества. Международная конференция "Наука и будущее: идеи, которые изменяют мир" Москва, 2004. URL: <http://www.vortexosc.com/images/pdf/sorokodum50.pdf>

8. Sorokodum E. Some General Properties of Matter and Energy Sources. New Energy Technologies, March-April 2003, Issue 11, pp. 29-34. URL: <http://www.vortexosc.com/images/pdf/sorokodum31.pdf>

9. Hsu C., Эффективность ветроэнергетических установок типа «Торнадо» // Journal of Energy, 1983, v.7, №6.

10. Volk T., Performance of Tornado Energy Conversion Systems // Journal of Energy, 1982, v.6.

12. Windrick I., Experimental and theoretical study of the tornado type wind energy system. Proceeding of the 4-th International Colloquium on Wind Energy, Brington V., 1981.

13. Burgers Y., A mathematical model illustrating the theory of turbulence. Advan, Appl. Mechan, 1948, p.1

14. Серебряков Р.А., Вихревая ветроэнергетика, Москва, изд. «ONE BOOK», 172 с., 2020.

15. Серебряков Р.А., Современное состояние, проблемы и перспективы развития ветроэнергетики, Вестник ВИЭСХ, №1(30), с. 89-96, 2018.

16. Патент РФ, №2751004, Серебряков Р.А., Автономный экстрактор атмосферной влаги, опубл. 07.07, 2021.

*Серебряков Рудольф Анатольевич, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории «Энергетического оборудования на возобновляемых источниках энергии» ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 109428, Россия, Москва, 1-й Институтский проезд, 5, E-mail: [silver39\\_07@bk.ru](mailto:silver39_07@bk.ru).*

*Сорокодум Евгений Дмитриевич, кандидат технических наук, Генеральный директор ООО «Вихре-колебательные технологии», Россия, Москва, E-mail: [esorocodum@dol.ru](mailto:esorocodum@dol.ru), website: <http://www.vortexosc.com>*

VORTEX AND VORTEX - OSCILLATORY TECHNOLOGIES FOR SOLVING GLOBAL ENERGY AND ENVIRONMENTAL PROBLEMS <sup>1</sup>Rudolf Anatolievich Serebryakov <sup>2</sup>Evgeniy Dmitrievich Sorokodum

<sup>1</sup>Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow

<sup>2</sup>"Vortex-Oscillatory Technologies" LLC, Moscow

Abstract: Now the planet is experiencing a shortage of electrical, thermal and mechanical energy. Solving energy problems by burning oil, gas, coal and other fuels, nuclear, hydrogen and

bioenergy is expensive and brings enormous environmental damage and warming on the planet. To this it must be added that the amount of hydrocarbon fuel in the bowels of the Earth is sharply decreasing. Water began to go into voids from the production of coal and oil, and the water shortage is catastrophically increasing. And to the wild "achievement" of today's civilization: - hundreds of thousands of kilometers of power lines, gas-oil and heating mains, everyone is already used to it. Nowadays, a big stake is placed on traditional renewable energy sources: - the use of wind energy, currents, sea waves, sun, etc. But, this will provide, at best, no more than 2-15% of the energy demand on the Planet. These energy sources will not solve energy problems on a global scale due to the high cost, the complexity of the design, the dependence on the presence of wind or sun and the negative impact on the environment. It is no coincidence that many experts are already making a conclusion about alternative and renewable energy as a "green bubble". Innovative technologies are needed to address these challenges.

Key words: vortex, vortex-oscillatory technologies, energy, ideal energy, innovation, extraction

*Serebryakov Rudolf Anatolyevich, Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher of the Laboratory for Power Equipment Based on Renewable Energy Sources of the Federal State Budgetary Scientific Institution FNATS VIM, 109428, Russia, Moscow, 1st Institutskiy proezd, 5, E-mail: silver39\_07@bk.ru.*

*Sorokodum Evgeniy Dmitrievich, Candidate of Technical Sciences, General Director of LLC "Vortex-Oscillatory Technologies", Russia, Moscow, E-mail: esorocodum@dol.ru, website: <http://www.vortexosc.com>*

**ЭКСТРАКЦИЯ ПРЕСНОЙ ВОДЫ ИЗ АТМОСФЕРНОЙ ВЛАГИ**

Р. А. Серебряков

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ

***Аннотация** Проблема дефицита пресной воды становится все актуальней для многих регионов мира – это становится одним из главных факторов, сдерживающих развитие цивилизации во многих регионах Земли. Её обострение связывают с ростом населения, климатическими изменениями и рядом других причин. Так в XX веке население земного шара выросло в три раза. За этот же период потребление пресной воды увеличилось в семь раз, в том числе на коммунально-питьевые нужды - в 13 раз. При таком росте потребления стало резко не хватать водных ресурсов в целом ряде регионов мира. По данным Всемирной организации здравоохранения более двух миллиардов человек в мире страдают сегодня от нехватки питьевой воды. Предлагается современная альтернативная энергонезависимая установка с использованием технологий вихревой энергетики – «Воздушный Родник» для получения пресной воды из атмосферного воздуха.*

***Ключевые слова:** вода, экстракция, атмосферная влага, конденсат, вихревая энергетика, родник, имитационное моделирование, биокаталитическая активность, окислительно-восстановительный потенциал*

**Введение.** Для многих мест на земном шаре проблема нехватки питьевой воды не является новой, так как она обусловлена климатическими особенностями, а именно небольшим количеством осадков. К засушливым областям относятся те территории, где выпадает менее 400 мм осадков в год. При таких значениях невозможно ведение сельского хозяйства без дополнительных источников воды. Наиболее засушливые области, где выпадает менее 100 мм осадков в год, составляют 34% земной поверхности (без учета Антарктиды). На аридные области (100-200 мм осадков в год) приходится 15% поверхности суши. Столько же занимают семиаридные области (200-400 мм осадков в год). Территории аридных земель в основном приходятся на развивающиеся страны, в которых нормы потребления воды отличаются от индустриальных стран. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) в развивающихся странах лишь 25% сельского населения имеют приемлемый доступ к источнику водоснабжения. Территории 36 государств мира включают засушливые области, а территории 11 стран представляют собой на 100% засушливые области (Египет, Саудовская Аравия, Йемен, Джибути и др.). В России к районам, испытывающим дефицит пресной воды, относится Крым и Калмыкия, из стран ближнего зарубежья – Казахстан, Туркмения, Узбекистан. В настоящее время водный голод ощущается даже в тех местах, где раньше его не было. На 70% всех обрабатываемых земель царит засуха. При этом в нетронутых степях содержание влаги в почве в 1,5 - 3 раза больше, чем в пашне. Причина водного голодания не в недостатке пресной воды, а в нарушении цепи, связывающей воду с почвой. И всё более ощутимее на изменение режима вод суши влияет деятельность человека, в результате которой заметно увеличивается расход вод на испарение в процессе развития орошения и увеличения площади водохранилищ. Сокращение атмосферных осадков и речного стока при увеличении испаряемости

внутренних областей суши также привело к снижению их общей увлажненности. Так же, с деятельностью человека связано изменение обмена подземных вод, их пополнение за счет создания искусственных водоемов и сокращения в результате интенсивного выкачивания. Ежегодно извлекается до 20 тыс. км<sup>3</sup> подземных вод. В настоящее время, под воздействием антропогенной деятельности, более 20 % территории континентов преобразована коренным образом (перевыпас скота, вырубка лесов и т.п.), что привело к изменению водного режима. Такие экологические нарушения не могли не сказаться на глобальном процессе потребления воды [1, 2, 3].

### **1. Так где же взять чистую воду?**

В настоящее время основным источником пресной воды являются воды рек, озер, артезианских скважин и опресненная морская вода. Количество воды, находящейся в данный момент в атмосфере, равно 14 тыс. км<sup>3</sup>, в то время как во всех речных руслах всего 1,2 тыс. км<sup>3</sup>. Ежегодно с поверхности суши и океанов испаряется 577 тыс. км<sup>3</sup> воды, столько же потом выпадает в виде осадков. Речной годовой сток составляет лишь 7% общего количества выпадающих осадков. Из сравнения общего количества испаряющейся влаги и количества воды в атмосфере легко видеть, что в течение года она обновляется в атмосфере 45 раз [4]. Таким образом, основной источник пресной воды – вода в атмосфере – оказывается неиспользуемым. Большие возможности - за методами добычи воды из атмосферного воздуха с использованием природных энергетических факторов. Это подтверждается следующими данными:

- огромные пустынные области расположены в зонах, где плотность солнечной энергии максимальная;
- абсолютное содержание паров воды в атмосферном воздухе пустынь мало отличается от других регионов;
- территории для сбора рассеянной солнечной энергии и объема воздуха, используемого для добычи воды, практически не ограничены;
- атмосферный воздух является наиболее чистым и восстанавливаемым источником воды;
- ресурс пресной воды в атмосфере постоянно обновляется, качество конденсата для большинства районов нашей планеты очень высокое: в нем на два-три порядка меньше токсичных металлов (по сравнению с требованиями санитарных служб), практически нет микроорганизмов, он хорошо аэрирован. Как показывают экономические оценки, вода из атмосферы может стать самой дешевой из всех, что получаются иными способами. Количество воды в атмосфере оценивается в 14 тыс. км<sup>3</sup>, в то время как пресная вода в гидросфере составляет по объему лишь 1,2 тыс. км. За методом добычи воды из атмосферного воздуха с использованием природных энергетических факторов - большое будущее. Между тем, огромные территории ряда развивающихся стран, расположенных в аридных районах земного шара, все еще остаются неосвоенными из-за отсутствия ресурсов пресных вод и энергии.

### **2. Предыстория способов конденсации влаги из воздуха.**

Ещё в далекой древности – до 3000 лет назад, **умели добывать** пресную воду путем естественной конденсации водяных паров из воздуха:

- в античные времена в Крыму для обеспечения водой города Феодосия использовались насыпи из щебня в виде пирамиды, которые сооружались на невысоком горном плато. За счет разницы дневной и ночной температуры окружающего воздуха на поверхности щебня образовывался конденсат и стекал в специальную емкость. Оттуда естественным путем по желобу он поступал к водоразборным сооружениям. В засушливые летние месяцы конденсировалось такое количество воды, которое обеспечивало 80 тысяч

жителей [http://interesko.info/naznachenie-zagadochnyx-peshheryx-kompleksov-v-peshheryx-gorodax-kryma][5].

■ с незапамятных времен известны системы типа «Водяной конус» (Рис.1.) [youtube]On7gbKIa5zc[/youtube].



Рисунок 1 - Водяной конус

■ наглядным примером способности инженеров древности использовать природные эффекты является Великий шёлковый путь [http://technicamolodezhi.ru/news/rss/; www.npto.com ]. Одним из его главных достоинств были колодцы. Вдоль пути на расстоянии в 12...15 километров друг от друга были созданы колодцы, в каждом из которых имелось воды, в количествах достаточных, чтобы напоить караван в 150...200 верблюдов. В таком колодце чистая вода добывалась непосредственно из атмосферного воздуха. Благодаря конструкции колодца через его объём «прокачивался» пустынный воздух тысячами кубометров в сутки и у каждого такого кубометра отнималась практически вся масса воды, содержащаяся в нём. Древние инженеры использовали «Вихревой эффект».

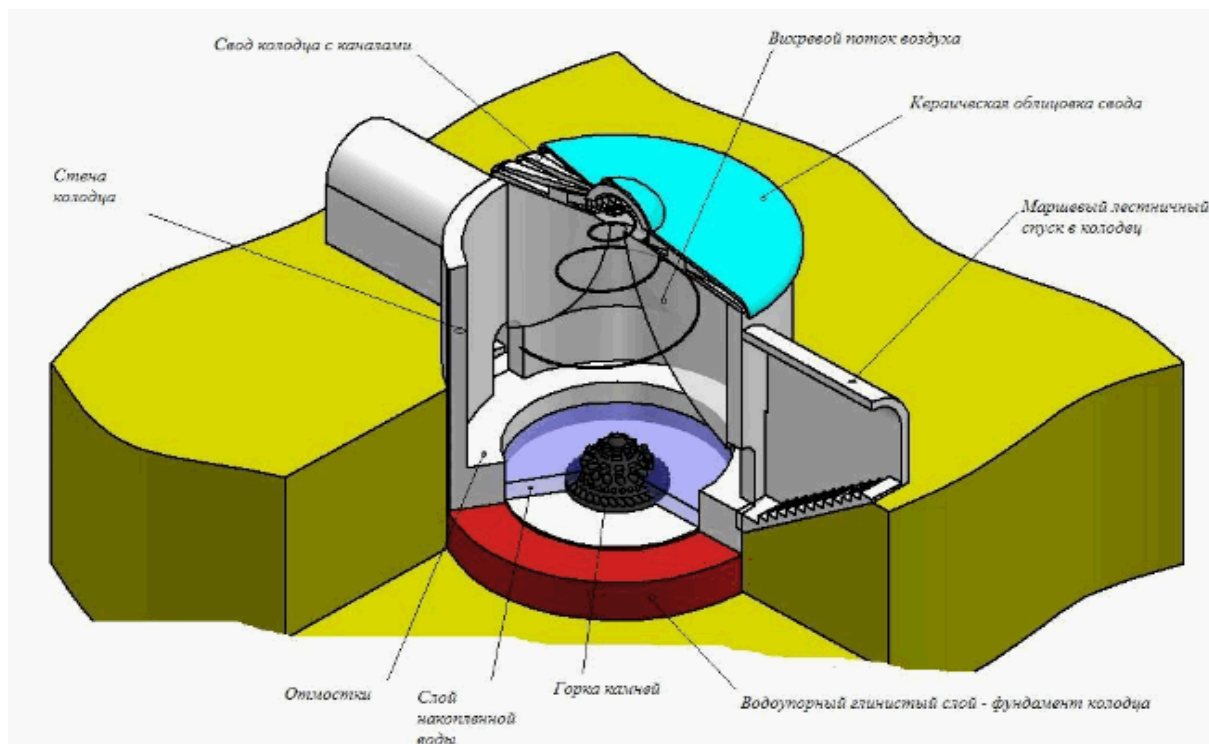


Рисунок 2 - Вихревой колодец

Сам колодец был наполовину своей высоты вкопан в грунт (Рис. 2.).



Путешественники спускались за водой по лестницам – а таких спусков было несколько,- на отмошки и черпали воду. В центре углубления для скопившейся воды возвышалась аккуратно выложенная высоким конусом груда камней (конденсатор?!). Вода, и воздух на уровне отмошков, были на удивление холодными, хотя снаружи колодца стояла убийственная жара.

■ водопроводная система для конденсации и транспортировки воды (Рис. 3, 4) [ [file:///F:/Величайшее изобретение древности.html](file:///F:/Величайшее%20изобретение%20древности.html)], которой около 3000 лет. Сооружение называется кяриз, или qanat, и находится оно в городе Гонабад, что в современном Иране. Кяриз считается одним из величайших изобретений того времени! Эта водопроводная система способна конденсировать собирать воду из подземных горизонтов и транспортировать ее в города и ирригационные каналы. Благодаря этому Персия смогла существовать и развиваться в условиях засушливого климата.



Рисунок 3 - Колодцы гонабадского кяриза

Гидротехническая система включает в себя основной колодец, который получает воду из подземного горизонта, систему туннелей, по которой вода транспортируется в определенное место, и вертикальные скважины для вентиляции вдоль всего маршрута, что также позволяет конденсировать влагу. Ко всему прочему, подземный водовод значительно снижает испарение драгоценной влаги.

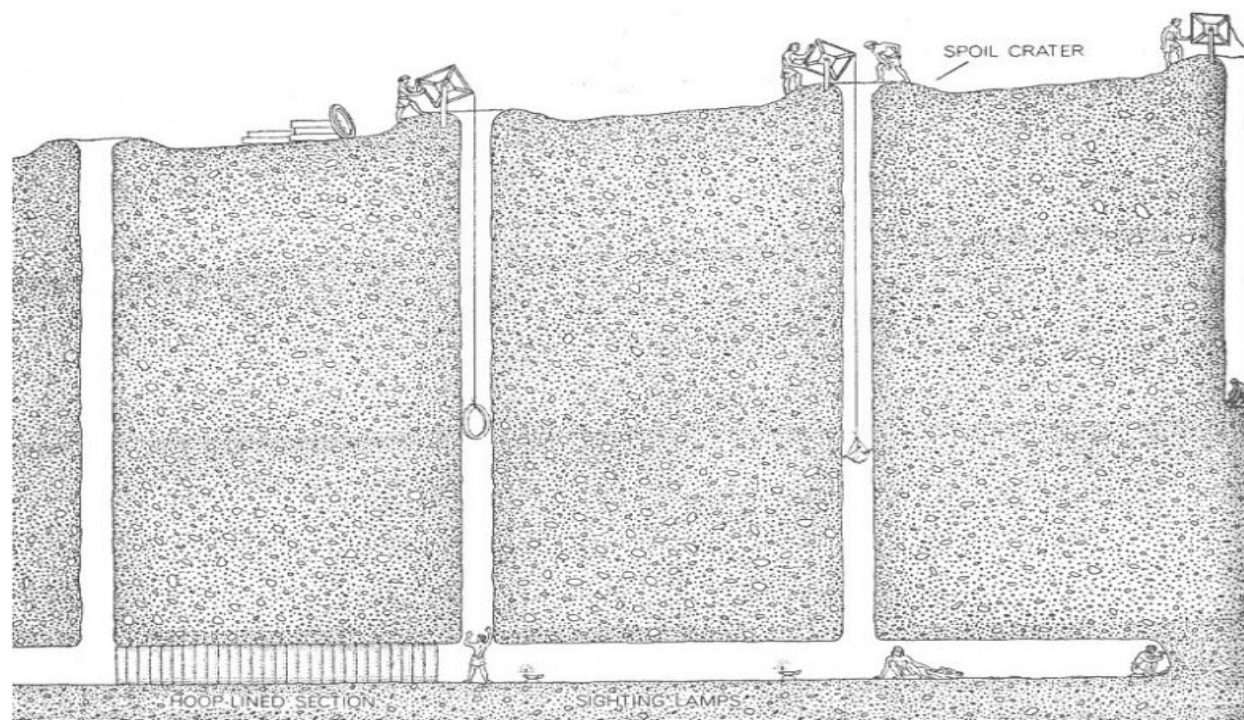


Рисунок 4 - Схема кяриза

Длина гонабадского кяриза составляет 33,113 километров, он содержит 427 углублений для воды. Сооружения построены с использованием знаний законов физики, геологии и гидравлики. Подобный метод получения воды был заимствован многими другими народами и встречается в Марокко, Алжире, Ливии и Афганистане. Кяриз есть также в Евпатории и в Крыму. Гонабадская система действует до сих пор, хоть и была построена почти 3000 лет назад. В наши дни она обеспечивает водой примерно 40 000 человек, а это очень внушительная цифра.

■ На северо-западе Китая в Синьцзян-Уйгурском автономном районе существует чудо под пустыней (Рис. 5.) - система каналов (кяризы) протяжённостью более 5 тыс. километров. Подземные каналы, служили жителям региона на протяжении веков. Они были высотой 1,5 метра, шириной 60-70 см и несли 858 кубических метров воды в день. Эти каналы были построены уйгурами 2 200 лет назад. Система каналов пролегает на глубине 110 метров и представляет собой разветвленную сеть под пустыней [<https://www.borsagundem.com/foto-galeri/colun-altinda-turk-mucizesi-neredeysse-cin-seddi-kadar-uzun-galeri/1440431/19>].



Рисунок 5 - Уйгурская система водоснабжения

### 3. Современные технологии экстракции влаги из воздуха.

В настоящее время для решения вопросов водоснабжения предлагается ряд технологий различной производительности для производства воды из воздуха. В целом их можно разделить на два класса – это устройства сорбции и десорбции влаги и устройства,

охлаждающие воздух ниже температуры точки росы при помощи холодильников компрессионного типа. Проблема этих технологий - в их большой энергозатратности:

- **«Холодильник Зысина В.А.»**. В установке охлаждение идет в два этапа. Верхняя часть установки утилизирует теплоту, а нижняя часть - по существу представляет собой обычный компрессионный холодильник, т.е. схема Зысина способна использовать тепло охлаждаемого тела ниже температуры охлаждающей среды, например, до температуры точки росы.

- **Солнечный цикл тепловой машины Ренкина**. Здесь используются фазовые превращения для создания движущей силы на компрессоре и насосах. Это по сути тепловой насос.

- **Детандерная схема**. Наружный воздух через входное устройство поступает на теплообменник, захлаживается и сбрасывает влагу, затем поступает на детандерную турбину, где расширяется до давления около 0,05-0,085 МПа с понижением температуры до 0-3 °С и поступает на сепаратор, где осуществляется отвод влаги. Один литр воды в час получается при затратах энергии 0,35-1,0 кВт/ч.

- **Абсорбционный трансформатор**. Исходя из средней мощности потока энергии на поверхности Земли в 1,366 кВт/м<sup>2</sup>, общая мощность потока энергии солнечного излучения, падающего на Землю, примерно равна  $1,74 \cdot 10^{17}$  Вт. Эту энергию можно использовать для получения воды путем осушения воздуха при помощи абсорбционного трансформатора. Энергия солнца позволяет отказаться от большого количества механических частей требующих затрат электроэнергии (например, «Атмосферный водогенератор», компании Aquamanic (Япония), производительность 30-40 л/час, мощность 1,1 кВт, фреон R13, вес 50 кг, цена 94 тыс.руб.) [6, 7].

Но ..., здесь необходимо обратить внимание, что те, для кого эти технологии нужны прежде всего – это страны Африки, Юго-Восточной Азии, Южной Америки, как правило, имеют проблемы и с электричеством.

#### **4. Вихревой Воздушный Родник.**

Предлагается современная альтернативная автономная энергонезависимая установка с использованием технологий вихревой энергетики - «Воздушный Родник» для получения пресной воды из атмосферного воздуха [8 - 15]. «Воздушный Родник» осуществляет эффективную экстракцию влаги из атмосферного воздуха за счет использования набегающего потока воздуха (ветра), формирования его, с помощью «Генератора вихря», в ламинаризованный квазипотенциальный закрученный воздушный поток и подохлаждения этого воздушного потока до «точки росы» в пластинчатом теплообменнике. Конденсат влаги накапливается в блоке водосборника. Для увеличения эффективности работы установки и интенсивности экстракции пресной воды, конструкция активного экстрактора в «Воздушном Роднике» может быть дополнена тепловой трубкой, грунтовым тепловым насосом или вихревым холодильником и т.п. и альтернативными источниками электроэнергии - Вихревой Ветроэнергетической Установкой [8, 9] (Рис.6.) или солнечным фотомодулем.

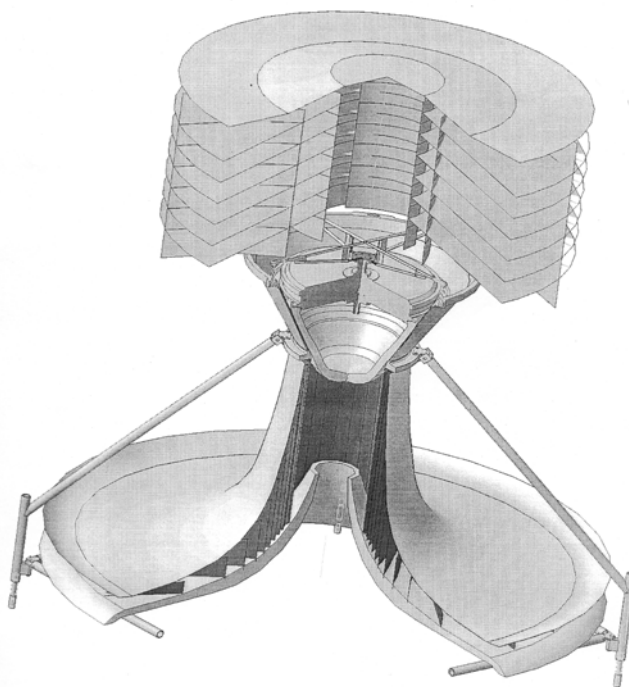


Рисунок 6 - Опытный образец вихревой ветроэнергетической установки

Вихревая Ветроустановка работает от набегающего потока воздуха (ветра) и эжектирует воздух из блока воздухозаборника в блок охлаждения. Эффективность работы установки и интенсивность экстракции зависят только от скорости ветрового потока, температуры наружного воздуха и количества влаги, содержащейся в воздухе. Конструкция «Воздушного родника» сформирована таким образом, чтобы можно было гибко изменять её габариты и мощность, приспособив как для индивидуального водопотребления, так и для водоснабжения поселений, а также для создания искусственных водоёмов в засушливых районах для поддержания экологических каркасов, подверженных опустыниванию, засолению и деградации. На Рис.7. представлена физическая 3D-модель «Генератора вихря и Вихревого холодильника» - основных элементов «Воздушного родника».

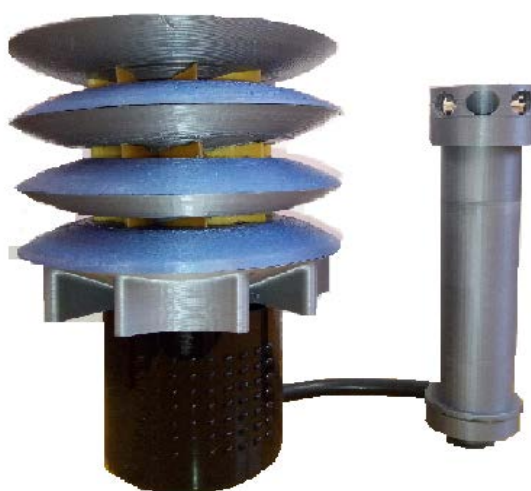


Рисунок 7

На Рис. 8. представлена схема «Воздушного родника».

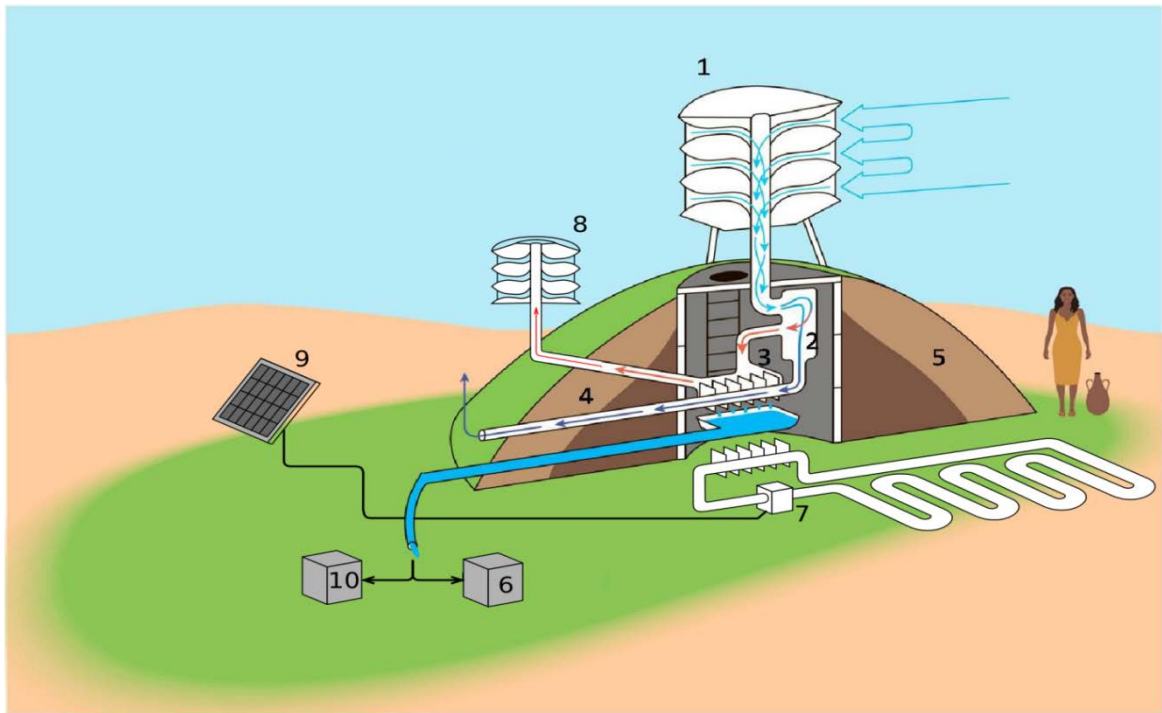


Рисунок 8 - (1- воздушный эжектор; 2 - вихревой охладитель; 3 - теплообменник; 4 - выход отработанного воздуха; 5- холм (насыпь); 6 – водоём; 7 – тепловая трубка; 8 – вихревая ветроустановка; 9 – солнечная панель; 10 – к потребителю).

Для удобства сбора полученной пресной воды и улучшения эксплуатационных характеристик установки водосборник с конденсатором росы размещают под насыпным холмом выше линии грунта высотой равной глубине прогревания грунта в зависимости от климатических условий конкретной местности. Вода отводится к потребителю по мере её накопления в водосборнике. Изготовлено нескольких опытных масштабных образцов «Воздушного родника». Один из них (Рис.9.) установлен в Крыму, в Ялтинском Ботаническом саду. Его размеры: - высота 1,2 м, диаметр 1,2 м, материал - пластмасса. В летнее время в течение суток он выдает чуть более (0,5 -0,7) м<sup>3</sup> чистой холодной воды.



Рисунок 9 - Опытный образец «Воздушного родника» (Крым, Ялта, Ботанический сад)

Предлагаемое устройство, ничем не может навредить окружающей среде (даже если их будет установлено очень много в каком-то определённом месте). Процесс в летнее время может идти бесконечно, работа аппаратов ограничена лишь погодными условиями, а как показывают экономические оценки, вода, сконденсированная из атмосферы, намного дешевле и чище воды, полученной любыми другими способами. Например, широко распространенные способы «опреснения» морской воды очень энергозатратны, большие проблемы с отходами опреснения – жидкая «рапа», сухая соль, (куда её девать?), а в получаемый после «опреснения» дисциллят воды обязательно необходимо добавлять комплекс солей (~7%).

Использование большого количества родников позволит замедлить или остановить процесс опустынивания, а также включить в процесс природного водоворота пресную воду атмосферы.

## **5. Технологии разработки и исследования Воздушного Родника.**

### **5.1. Компьютерное имитационное моделирование трехмерной модели вихревого холодильника и эжектора воздушного потока**

Расчет вихревого холодильника и многомодульного вихревого эжектора производился по методикам, изложенным в работах [9, 16, 17, 18], а построение их компьютерной модели и экспериментальные исследования - [19, 20, 21] (Основная часть работы по этому разделу выполнена в Самарском Государственном аэрокосмическом университете (СГАКУ) - Красноруцким И.А. и Бирюком В.В.). Для построения компьютерной модели Вихревого преобразователя Вихряка использовались средства компьютерного моделирования и анализа [CFJ/CFV/CFT – системы.] Для разработки 3D моделей использовался программный пакет КОМПАС-3D. В качестве программного пакета для газодинамических расчетов был выбран ANSYS Fluent.

На первом этапе моделирования были созданы расчетные модели с помощью современной САД-системы SolidWorks. Модели вихревого эжектора воздушного потока и вихревого холодильника представлены на рисунках 10 и 11.

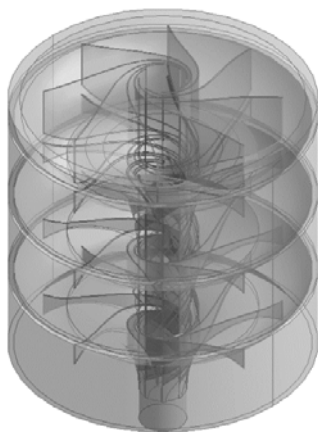


Рис. 10. Расчетная модель вихревого эжектора    Рис. 11. Расчетная модель в/холодильника

Далее была наложена конечно-элементная сетка с помощью сеточного генератора ANSYS Meshing. Была использована сетка с конечными элементами в виде тетраэдров. Сеточные модель представлены на рисунках 12 и 13.



Рис. 12. Сеточная модель вихревого холодильника

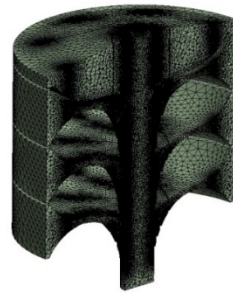


Рис.13. Сеточная модель в/эжектора

Далее были определены зоны, на которые накладываются различные граничные условия. В качестве граничных условий были выбраны входные и выходные поверхности. При исследовании течения газов наиболее часто на входе задаются граничные условия *Pressureinlet*, *Velocityinlet* или *Massflowinlet*, а на выходе *Pressureoutlet*. В данном случае на входной и выходных границах вихревого эжектора воздушного потока задано условие *Velocityinlet* *Pressureoutlet* соответственно. Остальные зоны определены как непроницаемая стенка *Wall*. В результате анализа полученных результатов было выполнено пять пар расчетов вихревого эжектора воздушного потока и вихревого холодильника на различных режимах. Первый режим: скорость Воздушного потока обтекающего вихревого эжектора воздушного потока равна 1 м/с. Второй – 3 м/с, третий – 5 м/с, четвертый – 7 м/с и пятый – 9 м/с. В результате выполненных расчетов были получены картины течения газа, распределение параметров в каждой точке, поля распределения параметров потока для вихревого холодильника и многомодульного вихревого эжектора. На рисунках 14, 15 представлены некоторые результаты расчетов.

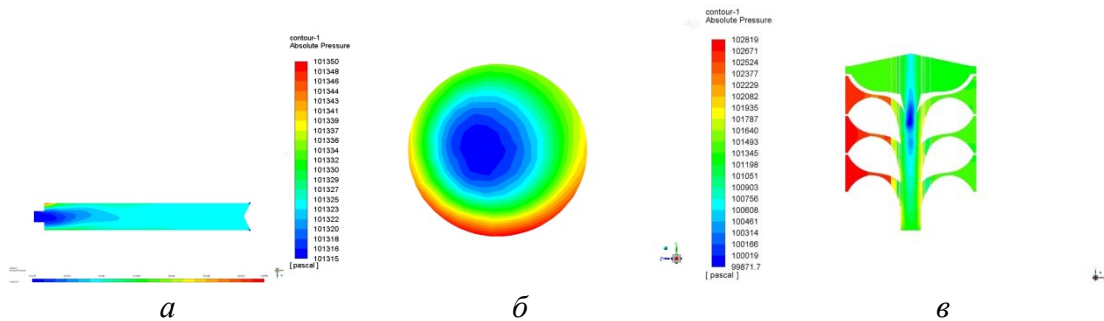


Рисунок 14: а - поле распределения давления в продольном сечении вихревого холодильника ( режим – 5м/с); б - поле распределения давления на выходе из вихревого холодильника ( режим – 5м/с); в - поле распределения давления в продольном сечении вихревого эжектора воздушного потока (режим – 5м/с).

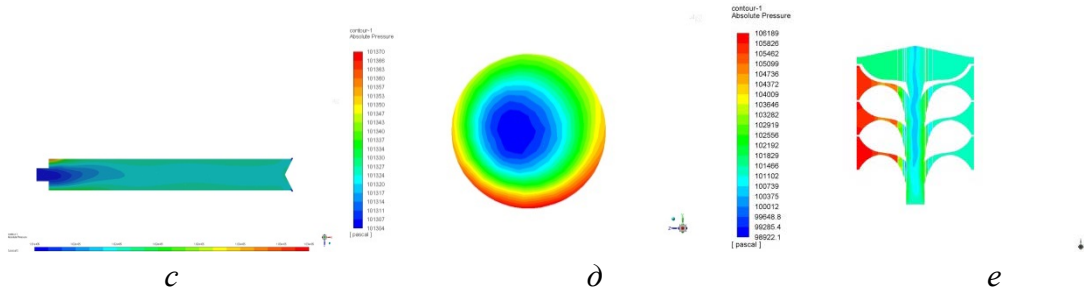


Рис. 15. : с - поле распределения давления в продольном сечении вихревого холодильника ( режим – 9м/с); д - поле распределения давления на выходе из вихревого холодильника ( режим – 9м/с) е - поле распределения давления в продольном сечении вихревого эжектора воздушного потока ( режим – 9м/с)

Результаты, полученные при расчете вихревого эжектора воздушного потока на пяти режимах сведены в Таблицу 1.

Таблица 1

Номер режима	Моделируемая скорость ветра, м/с	Расход воздуха, кг/с	Скорость потока, м/с
1	1	0,102	6
2	3	0,155	10
3	5	0,259	17
4	7	0,365	25
5	9	0,498	32

Для разработки 3D моделей конструктивных элементов вихревого эжектора использовался программный пакет КОМПАС 3D. Была построена геометрическая модель статорной части установки (Рис.16, 17.).

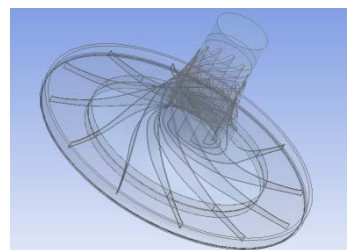


Рис.16. Корпус статорной установки Рис.17. Компьютерная модель статорной установки

На Рис.18. и в Таблице 2 представлены результаты компьютерных расчетов полей параметров аэродинамической структуры потоков рабочего тела исследуемой установки в вихревой и периферийной зонах Вихревого преобразователя

Таблица 2

	Массовый расход воздуха, кг/с	Полное давление, Па	Скорость, м/с
На входе в установку	0,0051833163	101325,0	0,27886328
На входе в эжектор	0,02398211	101773,14	0,2
На выходе из установки	0,029139828	101582,27	1,8855532

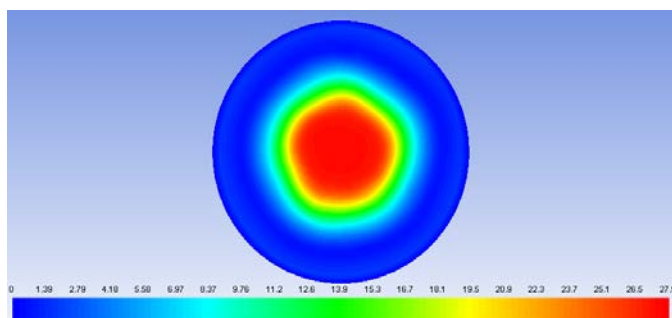
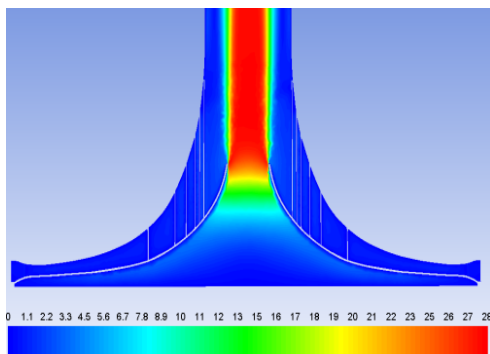


Рис.18 Поля скоростей воздушных потоков при входе в статорную часть установки 0,2 м/с.

Далее была произведена корректировка геометрии компьютерной модели статорной части установки и из построенной ранее 3D-модели методом быстрого прототипирования



был выращен макет статорной части установки (Рис.19)



Рисунок 19 - Макет статорной части установки

Для подтверждения или опровержения корректности выбранных предположений о характере работы установки и правильности задания граничных условий при проведении компьютерного исследования, был проведен натурный эксперимент на модели статорной части установки с измерением скоростных, гидравлических и расходных параметров потока на входе и выходе установки. На рисунках 20-23 графически представлены результаты компьютерных расчетов аэродинамической структуры воздушных потоков с влиянием различных значений скорости ветра, набегающего на установку, и натурных экспериментальных исследований аэродинамических и гидравлических характеристик потоков рабочего тела статорной части натурной модели исследуемой установки на различных режимах работы - на экспериментальном стенде соединенным с автоматизированным комплексом сбора параметров.

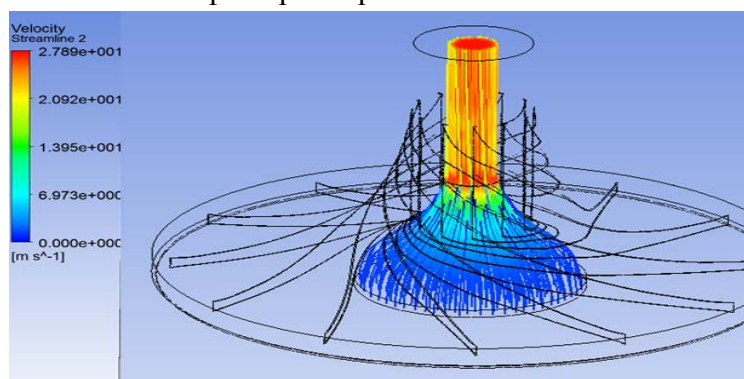


Рисунок 20 - Распределение скоростей рабочего тела, идущего от входа к выходу из статорной части установки

При скорости ветра в атмосфере равной 1 м/с и скорости рабочего тела на входе в установку 0,2 м/с (что соответствует расходу 0,023982 кг/с) картина линий тока будет такой, как изображено на рисунках 22 и 23.

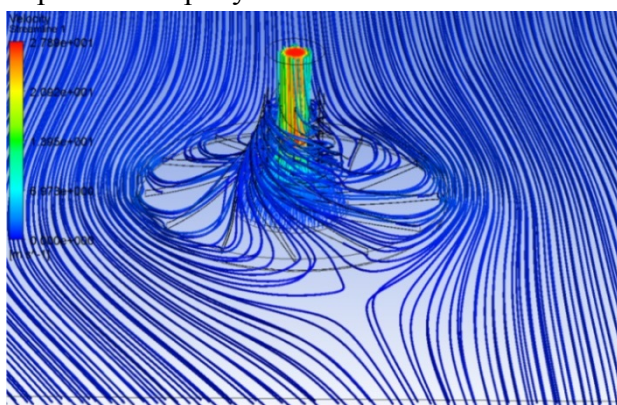


Рисунок 21

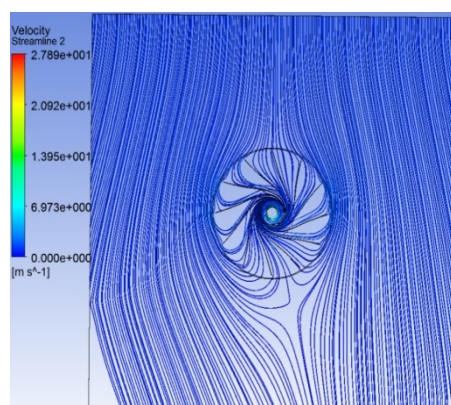


Рисунок 22

При скорости ветра в атмосфере равной 10 м/с и скорости рабочего тела на входе в эжектор установки равной 0,6 м/с, картина линий тока будет такой, как изображено на

рисунке 23.

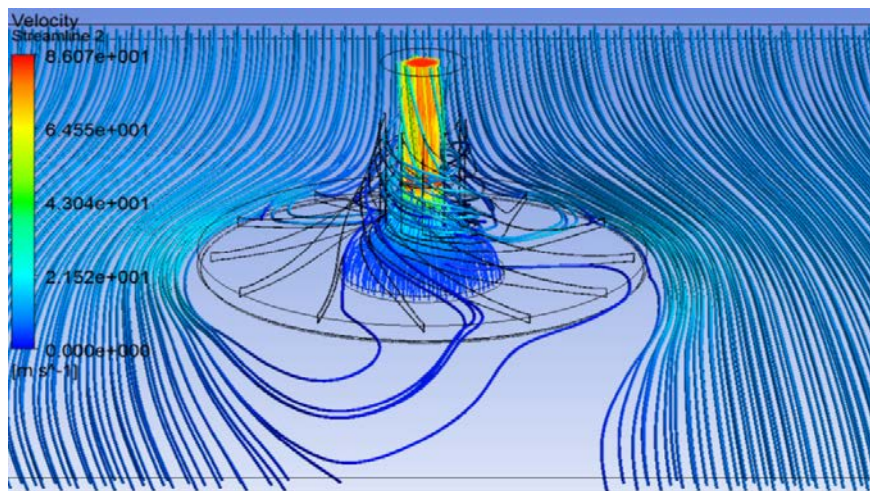


Рисунок 23

Проведенные компьютерные исследования потоков в вихревой зоне модели статорной части ветроэнергетической установки [22, 23] позволили установить, что в ней образуется периферийный поток, текущий к выходному сечению и имеющий распределение окружной скорости, близкое к потенциальному течению и приосевой поток, вращающийся в ту же сторону и имеющий радиальное распределение окружной скорости, близкое к закону вращения твердого тела. В периферийном потоке, который принято в теории Вихревого эффекта называть свободным вихрем, в произвольном сечении температура торможения практически постоянна по радиусу, а в приосевом потоке, называемом вынужденным вихрем температура торможения резко снижается с уменьшением радиуса. Наиболее интенсивное круговое движение наблюдается в выходном сечении вихревой зоны, здесь имеет место наибольший градиент давления и температуры по радиусу.

**5.2. Анализ результатов работы экспериментальной модели экстрактора атмосферной влаги в натуральных условиях.** (Исследования проводились с 20 по 25 июня 2018 (Никитский ботанический сад, г. Ялта).

Процесс извлечения атмосферной влаги зависит от многих параметров (температура окружающей среды, давление, скорость и влажность воздушного потока). В Таблице 3 представлены расчетные зависимости степени извлечения от влияющих параметров:

$V$  – объем воздуха, проходящего через установку,  $Q_{эв}$  – количество получаемой влаги за определенное количество времени (час, сутки),

$$V = v_{\text{ветра}} \cdot \eta, \quad (1.1)$$

где,  $v_{\text{ветра}}$  – скорость воздушного потока,  $\eta$  - КПД установки – 50%.

$$Q_{эв} = \frac{\rho \cdot RH\% \cdot V}{100\% \cdot 2} \quad (1.2)$$

где,  $\rho$  - содержание пара, г/м<sup>3</sup>, RH% - относительная влажность воздуха,

$V$  – объем воздуха, проходящего через установку, м<sup>3</sup>/с

$Q_{эв} = 3600 \cdot Q_{эв \text{ час}}$ ,  $Q_{эв \text{ час}}$  - количество получаемой влаги, г/час

$$Q_{эв \text{ сутки}} = \sum_{i=1}^{24} \left( \frac{\rho \cdot RH\% \cdot V \cdot 3600}{100\% \cdot 2} \right)_i \quad (1.3)$$

Таблица 3 – Расчет экстрагирования воды из атмосферного воздуха в Ялте на 20.06.2018г.

Время, ч	RH%	tвозд, С <sup>0</sup>	vветра, м/с	V возд прох через уст, м <sup>3</sup> /с	Содерж пара, г/м <sup>3</sup>	Qэв, г/с	Qэв в г/час
0:00	74%	18	2,0	1,00	15,246	5,641	20307,672
1:00	74%	17	2,2	1,10	14,367	5,847	21050,528
2:00	73%	17	2,7	1,35	14,367	7,079	25485,621
3:00	73%	17	3,0	1,50	14,367	7,866	28317,357
4:00	74%	17	3,0	1,50	14,367	7,974	28705,266
5:00	75%	17	3,0	1,50	14,367	8,081	29093,175
6:00	76%	17	2,5	1,25	14,367	6,824	24567,570
7:00	74%	17	2,0	1,00	14,367	5,316	19136,844
8:00	72%	18	1,9	0,95	15,246	5,214	18770,875
9:00	71%	19	2,0	1,00	16,172	5,741	20667,816
10:00	73%	19	1,9	0,95	16,172	5,608	20187,508
11:00	77%	20	1,4	0,70	17,148	4,621	16636,990
12:00	80%	20	1,0	0,50	17,148	3,430	12346,560
13:00	78%	20	1,8	0,90	17,148	6,019	21668,213
14:00	75%	20	2,7	1,35	17,148	8,681	31252,230
15:00	73%	20	3,0	1,50	17,148	9,389	33798,708
16:00	73%	20	3,0	1,50	17,148	9,389	33798,708
17:00	72%	20	3,0	1,50	17,148	9,260	33335,712
18:00	71%	20	3,0	1,50	17,148	9,131	32872,716
19:00	73%	19	2,5	1,25	16,172	7,378	26562,510
20:00	76%	18	2,4	1,20	15,246	6,952	25027,834
21:00	79%	18	2,0	1,00	15,246	6,022	21679,812
22:00	75%	18	2,1	1,05	15,246	6,003	21611,205
23:00	75%	18	2,1	1,05	15,246	6,003	21611,205
0:00	73%	17	2,2	1,10	14,367	5,768	20766,062
						Всего в сутки	609258,696

Исходя из уравнения (1.3), повысить эффективность можно либо увеличением объема проходящего воздуха через установку, либо устанавливать в местах с повышенным содержанием влаги в воздухе.

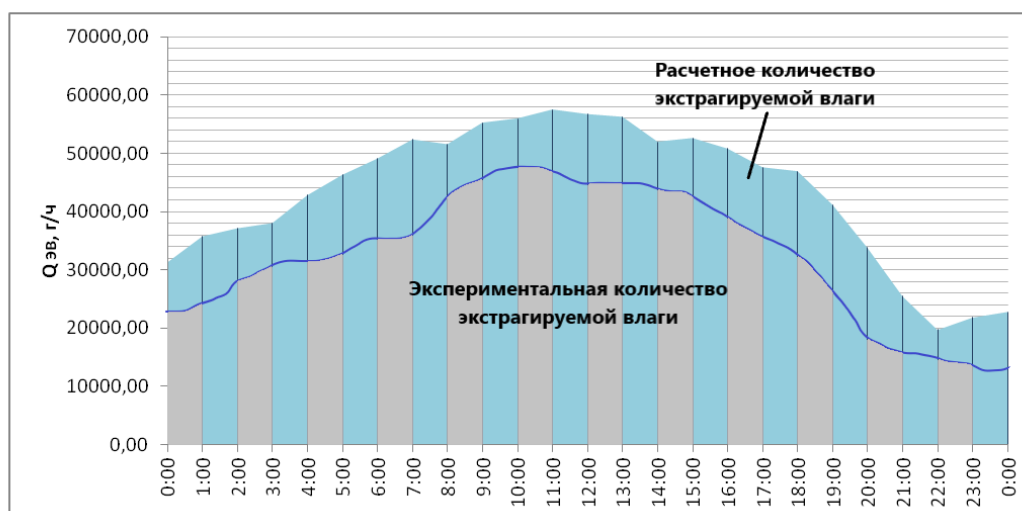


Рисунок 24 – Экспериментальное количество экстрагируемой влаги в г. Ялта на 20.06.2018

Таблица 4. - Экспериментальные данные экстрагирования воды из атмосферного воздуха в Ялте на 20.06.2018

Время, ч	RH%	t возд, С°	v ветра, м/с	Содержпара, г/м³	Qэв, г/с	Qэв в г/час
0:00	74%	18	2,0	15,246	5,641	17307,672
1:00	74%	17	2,2	14,367	5,847	17050,528
2:00	73%	17	2,7	14,367	7,079	17485,621
3:00	73%	17	3,0	14,367	7,866	21317,357
4:00	74%	17	3,0	14,367	7,974	21705,266
5:00	75%	17	3,0	14,367	8,081	21993,175
6:00	76%	17	2,5	14,367	6,824	20567,570
7:00	74%	17	2,0	14,367	5,316	18136,844
8:00	72%	18	1,9	15,246	5,214	15770,875
9:00	71%	19	2,0	16,172	5,741	17667,816
10:00	73%	19	1,9	16,172	5,608	15187,508
11:00	77%	20	1,4	17,148	4,621	15636,990
12:00	80%	20	1,0	17,148	3,430	14346,560
13:00	78%	20	1,8	17,148	6,019	15668,213
14:00	75%	20	2,7	17,148	8,681	19252,230
15:00	73%	20	3,0	17,148	9,389	20798,708
16:00	73%	20	3,0	17,148	9,389	21798,708
17:00	72%	20	3,0	17,148	9,260	21335,712
18:00	71%	20	3,0	17,148	9,131	21272,716
19:00	73%	19	2,5	16,172	7,378	20562,510
20:00	76%	18	2,4	15,246	6,952	17027,834
21:00	79%	18	2,0	15,246	6,022	16679,812
22:00	75%	18	2,1	15,246	6,003	17611,205
23:00	75%	18	2,1	15,246	6,003	17611,205
					<b>Всего в сутки</b>	<b>545765,696</b>

Из рисунка 24 и таблиц 4 и 5 видно, что эффективность экстракции растет при увеличении скорости ветра и температуры окружающей среды.

Таблица 5 - Экспериментальные показатели экстрагирования воды из атмосферного воздуха в Ялте с мая по сентябрь 2018г.

Дата	t°С	v м/с	RH%	Q г/сутки
20 мая	22	1.8	79	533328,80
25 июня	26	2.2	60	596365,12
5 июля	27	2.4	61	607130,08
30 июля	29	2.4	60	688090,80
15 августа	29	3.6	54	922985,84
10 сентября	20	2.1	80	452266,72

Проведены теоретические, а также и экспериментальные исследования процессов экстракции атмосферной влаги (в натуральных условиях) экспериментальным образцом Воздушного Родника в Никитском ботаническом саду (Крым, г. Ялта). Исследования показали, что сравнивая результаты натуральных экспериментов с теоретическими предпосылками, зависимости влияния определяющих параметров на работу установки (температура воздуха, его скорость и влажность) в общем случае имеют схожий характер, а, следовательно, адекватность рассмотренных функциональных зависимостей подтверждается и теорией и на практике.

**Результаты измерений электрохимических показателей и биокаталитической активности воды, экстрагированной из атмосферного воздуха экспериментальным образцом Воздушного Родника в Крыму, на территории Ботанического сада (образец воды от 3 июля 2019 г.)**

Оценка биоэнергетического состояния экстрагированной воды осуществлялась в соответствии со стандартными операционными процедурами, входящими в технологию контроля структурно – энергетического состояния воды - п.42.2 в соответствии с Реестром услуг ФГБУ «ЦСП», утвержденным Минздравом России на 2018 год. Основными показателями, используемыми в сравнительной оценке биоэнергетического состояния воды, являются:

- **Биокаталитическая активность** (концентрация  $\text{HO}_2^{(*)}$ , мкг/л) – показатель, устанавливающий степень электронной неравновесности воды, отвечающей за интенсивность колебательных и конформационных процессов в воде, биологических мембранах, белках и нуклеиновых кислотах, работу «клеточных насосов», транспорт везикул и пролиферативную активность клеток;

- **Окислительно – восстановительный потенциал Eh**, мВ - показатель, оценивающий стабильность системы антиоксидантной защиты клеток, степень свободнорадикальной нагрузки на клеточные структуры и участие в запуске программы апоптоза клеток;

- **Термодинамический показатель (динамическая вязкость,  $\mu$ , сантипуаз)** - показатель, определяющий термодинамические и реологические свойства жидкости в организме, приток энергии гидратации белковых структур клеток и их способность к конформационной перестройке;

- **Доля фазы ассоциированной воды, q, %** - показатель степени гидратации белков, устанавливающий эффективность электронного переноса и транспорта внутриклеточных метаболитов, активность ферментов и органелл клеток и активирующее действие на клеточный цикл;

- **Энергетическое распределение фазы ассоциированной воды** (доля состояний  $\Delta(q_i)$ , отн.ед.) – показатель направленности активирующего и регуляторного действия на работу внутриклеточных структур и селективной экспрессии оперонов ДНК, управляющих клеточным циклом и дифференцировкой клеток.

#### Результаты исследований:

Оценка изменений биоэнергетического состояния исследуемой воды проводилась в соответствии с методологией оценки биоэнергетической активности питьевых вод [24]. Основными показателями оценки являются: водородный показатель (pH), окислительно-восстановительный потенциал (Eh), электропроводимость (S) (таблица 6), концентрация пероксид анион - радикалов ( $\text{HO}_2^{(*)}$ ) (таблица 7), биотест «Эколюм» (оценка токсичности и биоэнергетической активности)(таблица 8). Итоговая характеристика биоэнергетической активности тест - образцов воды представлена в таблице 9 и в выводах

Таблица 6 – Электрохимические показатели экстрагированной воды

Дата	Тв, °С	Образец	pH, ед.		Eh, мВ		S, мкС/см		To, °С
			средн.	вар.	средн.	вар.	средн.	вар.	средн.
3 июля	23,8	Экстрагир. вода	5,5894	0,016	262,7	0,002	35,5	0,001	23,2

Таблица 7 – Параметры кинетики люминол-геминовой хемилюминесценции и биокаталитическая активность экстрагированной воды

Дата	Тв, °С	Образец	Сумма (3)		Амплитуда, $A_m$		Время $t_m$ , сек		$[\text{HO}_2^{(*)}]$ , мкг/л
			средн.	вар.	средн.	вар.	средн.	вар.	средн.
3 июля	23,8	Экстрагир. вода	10,7	0,04	22,7	0,09	0,37	0,31	8,47

Оценка токсичности и биологической активности воды по отношению микроорганизмов осуществлялось в соответствие с утвержденными МЗ РФ методическими документами [25].

Экспресс-тестирование образцов питьевой воды проводилось с помощью люминесцентного бактериального теста «Эколюм» в соответствии с Методическими рекомендациями по изменению степени свечения микроорганизмов, возникающему в результате их жизнедеятельности в экспериментальных водах. Интенсивность свечения фиксируется прибором «Биотокс-10». Критерием оценки биологической активности воды служит показатель активности, рассчитываемый по формуле  $A = I_o / I_k$ , где  $I_o$  и  $I_k$  соответственно интенсивность свечения опытного (о) и контрольного (к) образцов. Проба воды считается активной, если величина A составляет 1,2 и более. При значениях A в диапазоне 0,8-0,5 вода токсична, а при  $A < 0,5$  – очень токсична.

Таблица 8 – Оценка реакции тест-организмов «Эколюм» на экстрагированную воду

Время (от 3.07)	Сравниваемые образцы воды				Относительная активность, $I_o / I_k$
	Дистиллированная вода (контроль)		Экстрагир. вода (опыт)		
	среднее	вариации	среднее	вариации	
10:00 – 12:00	46	0,24	44,16	0,22	0,96

Полученные значения показателей биоэнергетической активности, приведенные в таблице 8, свидетельствуют о биологической инертности исследуемой воды.

Таблица 9 – Характеристика биоэнергетической активности тест - образцов воды

Показатели	Уровни биоэнергетической активности				Экстрагир. вода
	низкий	средний	высокий	Экстремально высокий	
Биокаталитическая активность (концентрация $\text{NO}_2^{(*)}$ , мкг/л)	$< 10^{-1}$	$10^{-1} \dots 1$	1... 10	10...40	8,47
Окислительно-восстановительный потенциал Eh, мВ	230...400	230...150	150...-50	-50...-150	262,7
Термодинамический показатель (динамическая вязкость, $\mu$ , сНПз)	1,100-0,995	0,995-0,980	0,980-0,970	0,970-0,955	-
Доля фазы ассоциированной воды, q, %	0,0012...0,4	0,4...0,7	0,7...1,0	>1,0	-
Энергетическое распределение фазы ассоциированной воды (доля состояний $\Delta(q_i)$ , отн.ед.)	$\Delta < 0,1$ $q_i > 1,0\%$	$0,25 > \Delta > 0,1$ $1,2\% > q_i > 1,0\%$	$0,15 > \Delta > 0,05$ $q_i > 1,2\%$	$\Delta > 0,15$ $q_i > 1,2\%$	-

Экстрагированная вода, полученная экспериментальным образцом Воздушного Родника, по своим электрохимическим показателям соответствует осмотической воде (электропроводимость  $S=35,5 \text{ мкС/см}$ ). Низкие значения водородного показателя и высокие значения окислительно-восстановительного потенциала исследуемой воды свидетельствуют о наличии кислых продуктов в воде, к которым могут быть отнесены атмосферные газы (углекислый газ, сернистый и серный ангидриды и др.), а также перекись водорода.

Результаты хемилюминесцентного анализа подтверждают наличие молекулярной перекиси водорода в воде, что может быть следствием протекания электрофизических процессов в воде за счет использования вихревого эжектора в процессе конденсации влаги.

Исследуемая вода не обладает токсичностью, при этом она биологически инертна и не может быть рекомендована для питьевых целей без добавления в неё специально подобранного комплекса солей, но для орошения и полива сельскохозяйственных культур подходит идеально – экстрагированная вода аналогична талой воде.

#### Выводы:

- Представлен альтернативный источник влаги – экстрактор пресной воды из атмосферной влаги, работающий полностью в автономном режиме, пригодный для массового потребления и сельского хозяйства;
- В процессе разработки экстрактора проведено исследование процессов и параметров установки;
- Проведена оценка термодинамики температурного разделителя и компьютерное имитационное моделирование вихревого эжектора;
- По результатам компьютерного моделирования были разработаны 3D чертежи и 3D детали конструкции нагнетательного блока экстрактора атмосферной влаги и вихревого температурного разделителя;
- Были построены расчетные модели и наложена конечно-элементная сетка, произведена настройка решателя программного комплекса ANSYS Fluent, выполнен расчет аэродинамической структуры потока и проанализированы результаты расчета аэродинамической картины потока;
- Проведены натурные испытания экстрактора, установленного в Ботаническом саду г. Ялта. Результаты экспериментальных исследований адекватны теоретическим предпосылкам;

• Проведены исследования электрохимических показателей и биокаталитической активности воды, экстрагированной из атмосферного воздуха. Полученная вода не обладает токсичностью, биологически инертна, при использовании для питьевых целей необходима добавка комплекса солей, для орошения и полива сельскохозяйственных культур – идеальна.

#### Список использованных источников:

1. Крыжановский Р.А., Громов Е.Н., Галушкина Т.П., Морская экономика: сегодня и завтра. М.:»Наука», 1991.
2. Захаров Л.А., Экологическая генетика и проблемы биосферы, - Л.: Знание, 1984.
3. Данилов-Данильян В.И., Глобальная проблема дефицита пресной воды //Век глобализации, №1, 2008, С.45-56.
4. Хргиан А.Х., Физика атмосферы, 1978. Т.2., - Л.: Гидрометиздат.
5. Зибольд Ф.И., Роль подземной росы в водоснабжении города Феодосия //Труды опытных лесничеств, 1905, №3, С. 387-412.
6. Алексеев В.В., Чекарев К.В., Получение пресной воды из влажного воздуха. Аридные экосистемы, 1996, Т.2. №2-3, С. 111-122.
7. Robert S., Schemenauer and Pilar Cereceda//Fog-water Colltction in Arid Coastal Locations. Ambio.1991. Vol. 20, №7, P. 303-308.
8. Патент РФ № 2093702, Вихревая ветроустановка, Бюл. 29 от 20.10.1997, Серебряков Р.А.
9. Серебряков Р.А., Вихревая ветроэнергетика, Москва, изд. «ONE BOOK», 172 С., 2020.
10. Патент РФ №2648796, Способ и установка экстракции пресной воды из атмосферного воздуха, Бюл. 10 от 28.03.2018, Доржиев С.С., Серебряков Р.А.
11. Патент РФ № 2649890, Установка экстракции пресной воды из атмосферного воздуха, Бюл. 10 от 05.04.2018, Доржиев С.С., Серебряков Р.А., Базарова Е.Г.
12. Патент РФ №2703119, Вихревой эжектор, Бюл. 29 от 15.10.2019, Серебряков Р.А.
13. Патент РФ № 2681282, Вихревой экстрактор атмосферной влаги, Бюл. 2 от 05.03.2019, Серебряков Р.А., Доржиев С.С., Базарова Е.Г.
14. Патент РФ № 2683552, Вихревая установка конденсации влаги из атмосферного воздуха, опубл. 23.03.2019, Бюл. 3. Серебряков Р.А.,
15. Патент РФ № 2717043, Пневмоэкстрактор атмосферной влаги (варианты), опубл. 17.03.2020г., Бюл. 8, Серебряков Р.А., Бирюк В.В., Акобян Р.Х.
16. Патент РФ №2751004, Автономный экстрактор атмосферной влаги, опубл. 07.07.2021, Бюл. 19, Серебряков Р.А.
17. Бирюк В.В., Красноруцкий А.С., Зубрилин И.А., Вихревая газоветроэнергетическая установка для электроснабжения компрессорных станций//Вестник СГАУ, 2011, №5(29), С. 29-35.
18. Бирюк В.В., Серебряков Р.А., Толстоногов А.П., Методика расчета вихревых ветроустановок, Самара, НТО СГАКУ, 1992, 96 с.
19. Меркулов А.П. Вихревой эффект и его применение в технике. М.: Машиностроение, 1969. 183 с.
20. Серебряков Р.А., Бирюк В.В., Вихревой эффект энергетического разделения газов в системах охлаждения и кондиционирования, ж. Вестник МАИ, №10, 1994г., с.33÷34.
21. Бирюк В.В., Сукчев В.М., Смоляр Г.А., Расчет вихревых авиационных



охладителей, труды 4-й ВНТК «Вихревой эффект и его применение в технике», КуАИ, Куйбышев, 1984, с.59-63.

22. Моделирование крупных вихрей в расчетах турбулентных течений [Текст] / К.Н. Волков. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 368 с.

23. Волков К. Н. Моделирование турбулентных течений на основе метода крупных вихрей: Учебное пособие. – СПб: БГТУ, 2003. – 85 с.

24. Рахманин Ю.А., Стехин А.А., Яковлева Г.В. Методология оценки качества питьевой воды по структурно – энергетическим показателям. Гигиена и санитария. 2012; 2: 26-30.

25. Методика экспрессного определения токсичности воды с помощью люминесцентного бактериального теста «Эколюм», Методические рекомендации.-М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2000.

### **Bibliography**

1. Kryzhanovsky RA, Gromov EN, Galushkina TP, Marine economy: today and tomorrow. М.: "Science", 1991.

2. Zakharov LA, Ecological genetics and problems of the biosphere, - L.: Knowledge, 1984.

3. Danilov-Danilyan VI, The global problem of fresh water shortage // Age of globalization, No. 1, 2008, pp. 45-56.

4. Khrgian A.Kh., Physics of the atmosphere, 1978. Vol. 2., - L.: Gidrometizdat.

5. Zibold FI, The role of underground dew in the water supply of the city of Feodosia // Proceedings of experimental forestry, 1905, No. 3, pp. 387-412.

6. Alekseev VV, Chekarev KV, Obtaining fresh water from humid air. Arid ecosystems, 1996, Vol.2. No. 2-3, S. 111-122.

7. Robert S., Schemenauer and Pilar Cereceda // Fog-water Colltction in Arid Coastal Locations. Ambio. 1991. Vol. 20, no. 7, P. 303-308.

8. RF patent No. 2093702, Vortex wind turbine, Bull. 29 from 20.10.1997, Serebryakov R.A.

9. Serebryakov RA, Vortex wind power, Moscow, ed. "ONE BOOK", 172 S., 2020.

10. RF patent No. 2648796, Method and installation for the extraction of fresh water from atmospheric air, Bul. 10 from 28.03.2018, Dorzhiev S.S., Serebryakov R.A.

11. RF patent No. 2649890, Installation for the extraction of fresh water from atmospheric air, Bul. 10 of 04/05/2018, Dorzhiev S.S., Serebryakov R.A., Bazarova E.G.

12. RF patent No. 2703119, Vortex ejector, Bul. 29 from 15.10.2019, Serebryakov R.A.

13. RF patent No. 2681282, Vortex extractor of atmospheric moisture, Bul. 2 from 05.03.2019, Serebryakov R.A., Dorzhiev S.S., Bazarova E.G.

14. RF patent No. 2683552, Vortex installation for condensation of moisture from atmospheric air, publ. 03/23/2019, Bul. 3. Serebryakov R.A.,

15. RF patent No. 2717043, Pneumatic extractor of atmospheric moisture (options), publ. 03/17/2020, Bul. 8, Serebryakov R.A., Biryuk V.V., Akobyan R.Kh.

16. RF patent No. 2751004, Autonomous extractor of atmospheric moisture, publ. 07.07.2021, Bul. 19, Serebryakov R.A.

17. Biryuk V.V., Krasnorutskiy A.S., Zubrilin I.A., Vortex gas-turbine power plant for power supply of compressor stations // Bulletin of SSAU, 2011, No. 5 (29), pp. 29-35.

18. Biryuk V.V., Serebryakov R.A., Tolstonogov A.P., Methodology for calculating vortex wind turbines, Samara, NTO SGAKU, 1992, 96 p.

19. Merkulov A.P. Vortex effect and its application in technology. Moscow: Mashinostroenie, 1969. 183 p.
20. Serebryakov RA, Biryuk VV, Vortex effect of energy separation of gases in cooling and air conditioning systems, Zh. Bulletin of MAI, No. 10, 1994, pp. 33-34.
21. Biryuk V.V., Sukchev V.M., Smolyar G.A., Calculation of vortex aircraft coolers, works of the 4th VNTK "Vortex effect and its application in technology", KuAI, Kuibyshev, 1984, p.59-63.
22. Modeling large eddies in the calculations of turbulent flows [Text] / K.N. Volkov. - M.: FIZMATLIT, 2008. -- 368 p.
23. Volkov KN Modeling of turbulent flows based on the method of large eddies: Textbook. - SPb: BSTU, 2003. -- 85 p.
24. Rakhmanin Yu.A., Stekhin A.A., Yakovleva G.V. Methodology for assessing the quality of drinking water by structural and energy indicators. Hygiene and sanitation. 2012; 2: 26-30.
25. Methods for the rapid determination of water toxicity using a luminescent bacterial test "Ecolum, Methodical recommendations. -M.: Federal Center for State Sanitary and Epidemiological Supervision of the Ministry of Health of Russia, 2000.

*Рудольф Анатольевич Серебряков, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ), 109428, Россия, Москва, 1-й Институтский проезд, 5, тел. 8(917)576-97-83, E-mail: [silver39\\_07@bk.ru](mailto:silver39_07@bk.ru);*

## FRESH WATER EXTRACTION FROM ATMOSPHERIC MOISTURE

Rudolf Anatolyevich Serebryakov

Federal Scientific Agroengineering Center VIM

**Abstract:** The problem of fresh water shortage is becoming more and more urgent for many regions of the world - this is becoming one of the main factors hindering the development of civilization in many regions of the Earth. Its aggravation is associated with population growth, climatic changes and a number of other reasons. So in the twentieth century, the world's population has tripled. During the same period, the consumption of fresh water increased sevenfold, including for communal drinking needs - 13 times. With such an increase in consumption, water resources have become severely scarce in a number of regions of the world. According to the World Health Organization, more than two billion people in the world today suffer from a lack of drinking water.

**Key words:** water, extraction, atmospheric moisture, condensate, vortex energy, spring, simulation modeling, biocatalytic activity, redox potential.

*Rudolf Anatolyevich Serebryakov, Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM (FGBNU FNATS VIM), 109428, Russia, Moscow, 1st Institutskiy proezd, 5, tel. 8 (917) 576-97-83, E-mail: [silver39\\_07@bk.ru](mailto:silver39_07@bk.ru)*

## НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ПОЛИГОН НА БАЗЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В УСЛОВИЯХ ЮЖНОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА

С.С. Доржиев, Базарова Е.Г., Пилипков В.В. Розенблюм М.И.

ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Москва, Россия

*Аннотация.* Многие сельскохозяйственные объекты находятся в зонах децентрализованного энергоснабжения. Электрификацию таких объектов возможно обеспечить за счет энергии ветра и солнца.

Для проведения исследований экспериментальных установок ветро-солнечной аддитивной электростанции и солнечного модуля с устройством поддержания оптимального температурного режима работы был создан научно-исследовательский полигон на территории Южного Федерального округа, д. Лола Республики Калмыкия. Построены производственное и административное помещения, хозяйственные блоки с общей потребляемой мощностью мощностью 10 кВт. Проверка экспериментальных установок проводилась в течение 3 месяцев с июля по октябрь при температуре окружающего воздуха 20-50°C и скорости ветра от 4 м/с до 14 м/с. Сочетание использования энергии ветра и солнца для электроснабжения научно-исследовательского полигона в условиях Южного федерального округа позволило в течение 3 месяцев обеспечивать потребителей электроэнергией практически при любых погодных условиях.

*Ключевые слова:* возобновляемая энергетика, ветроэнергетика, ветрогенератор, ветроэлектростанции малой мощности, солнечная энергетика, научно-исследовательский полигон.

**Введение.** Экономическое развитие многих регионов России в значительной степени обусловлено необходимостью вовлечения в хозяйственный оборот новых, не освоенных территорий, которые в основном не имеют развитой инфраструктуры и не обеспечены энергоресурсами. Такое положение характерно, в первую очередь, для сельскохозяйственного сектора [1], причем не только на территориях страны, не охваченных централизованным энергоснабжением [2]. Согласно «Плану деятельности Министерства сельского хозяйства Российской Федерации на 2016-2021 годы» [3] в целях устойчивого развития сельских территорий должна быть решена задача стимулирования инновационного развития агропромышленного комплекса.

Россия в силу географических особенностей обладает огромным сельскохозяйственным потенциалом. Однако удаленность от линий электропередач сельских территориях не способствует развитию сельского хозяйства. Централизованное питание этих объектов электрической энергией от сетей нерентабельно. Электроснабжение таких удаленных объектов до 10 кВт обеспечивается топливными генераторами. С учетом ежегодного роста цен на топливо, а также дополнительных расходов на транспортировку и хранения топлива, энергоснабжение сельскохозяйственных объектов на удаленных сельских территориях с помощью возобновляемых источников энергии является актуальной задачей. А также в перспективе встанет вопрос энергоснабжения туристических объектов (глэмпинг-лагерей), базовых станций сотовой связи в рамках цифровизации сельского хозяйства.

Одними из наиболее эффективных систем на основе возобновляемых источников энергии являются гибридные установки, сочетающие солнечные и ветровые источники энергии. Их основные преимущества заключаются в доступности и распространённости ресурсов, а также во взаимном дополнении.

#### **Материалы и методы.**

Ветро-солнечные электростанции имеют техническую перспективу использования преимущественно в тех районах, где солнечные и ветровые потенциалы достаточно высоки для выработки электроэнергии. В большинстве регионов России среднегодовая скорость ветра не превышает 5 м/с. Ветровые зоны с наибольшим энергетическим потенциалом расположены в основном на побережье и островах Северного Ледовитого океана от Кольского п-ова до Камчатки. Около 30 % экономического потенциала ветроэнергетики сосредоточено на Дальнем Востоке, 14 % – в Северном экономическом районе, около 16 % – в Западной и Восточной Сибири [4].

Потенциал использования солнечной энергии на территории нашей страны также неоднороден. Уровень солнечной радиации значительно варьируется: от 810 кВт·ч/м<sup>2</sup> в год в отдаленных северных районах до 1400 кВт·ч/м<sup>2</sup> в год в южных районах. На уровень солнечной радиации оказывают влияние и большие сезонные колебания: на широте 55° солнечная радиация в январе составляет 1,69 кВт·ч/м<sup>2</sup>, июле – 11,41 кВт·ч/м<sup>2</sup> в день. В Элисте в течение года насчитывается около 2866.52 часов солнечного света. В среднем в месяц бывает 93.97 часов солнечного света [5].

Однако применение энергии ветра на континентальной части России на сегодняшний день затруднительно из-за непостоянства во времени развиваемой мощности ветроустановки, что значительно усложняет обеспечение оптимальных режимов генератора, наблюдается резкое понижение КПД ветроэнергетических установок при низких среднепериодических скоростях ветра 4 м/с, характерных для большей части территории РФ. В таких ветровых условиях при выработке электроэнергии с помощью ветрогенератора теряется до 80% годовой энергии прихода ветрового потока, т.к. ветроэнергетические установки рассчитаны на более высокие скорости ветра 7-14 м/с [6]. А при преобразовании энергии солнца в электрическую при температуре воздуха более 25-30°C КПД солнечной панели также существенно снижается. И при таких условиях только 6 – 20 % падающего на фотоэлемент солнечного излучения используется для получения электричества [7]. Остальная энергия идет на нагрев фотоэлемента.

Для сохранения и накопления низкопотенциальной энергии ветра предлагается использовать ветро-солнечную аддитивную электростанцию с системой гидроаккумулирования. Для повышения КПД фотоэлектрического элемента разработано устройство поддержания оптимального температурного режима работы, с применением которого появляется возможность поддерживать оптимальную температуру работы фотоэлектрических элементов и избежать искажения электрических характеристик под воздействием экстремальных температур. Это достигается путем охлаждения фотоэлектрического приемника солнечного модуля теплообменом между рамой (подложкой) фотоэлектрических элементов и нижним горизонтом грунта за счет разницы температур по антигравитационному теплообменному устройству с капиллярным телом.

В Южном федеральном округе на территории городского округа Элиста (д.Лола) Республики Калмыкия был организован научно- исследовательский полигон (рис.1) для проведения испытаний экспериментальных установок ветро-солнечной аддитивной

электростанции (далее Электроснация) и солнечного модуля с устройством для поддержания оптимального температурного режима фотоэлементов (далее Солнечный модуль), предназначенных для электроснабжения сельских потребителей различного назначения. Были проведены работы по подготовке площадки, построены производственное и административное помещения, а также хоз.блоки с общей потребляемой мощностью мощностью 10 кВт.



Рисунок 1 – Научно-исследовательский полигон в Южном федеральном округе  
Инфраструктура научно-исследовательского полигона включает следующие компоненты:

1. Ветро-солнечную электростанцию аддитивного режима;
2. Солнечный модуль с устройством поддержания оптимального температурного режима фотоэлементов;
3. Солнечные модули для электроснабжения жилых помещений;
4. Блок связи.

Задача, решаемая в ходе испытаний, состояла в демонстрации работоспособности функциональных возможностей Электростанции и Солнечного модуля на примерах практической работы в климатических условиях Южного Федерального округа.

Проверка экспериментальных установок Электростанции и Солнечного модуля проводилась на территории Республики Калмыкия, городской округ Элиста, пос. Лола с 01.07.2021 по 01.10.2021.

Испытания Электростанции и Солнечного модуля проводились при температуре окружающего воздуха 20-50°C и скорости ветра от 4 м/с до 14 м/с.

В течение трех месяцев с июля по октябрь 2021 были сняты почасовые показания производительности Электростанции, а также показания климатических параметров (температуры и влажности воздуха, скорости ветра и освещенности).

#### **Результаты и обсуждение.**

В результате реализации проекта были построены три типовых жилых помещения мощностью 1 кВт, в которых электроснабжение обеспечивалось солнечными панелями и испытуемым солнечным модулем с устройством поддержания оптимальной температуры фотоэлементов, производственная площадка, два хоз. блока и крытая терраса с электроснабжением от ветро-солнечной аддитивной электростанции.

На рисунке 2 показана структурная схема научно-исследовательского полигона для электроснабжения сельских потребителей, удаленных от централизованной сети.

После подготовки площадки приемочным испытаниям подверглись экспериментальные образцы Ветро-солнечной электростанция аддитивного режима и Солнечного модуля с устройством для поддержания оптимального температурного режима

фотоэлементов.

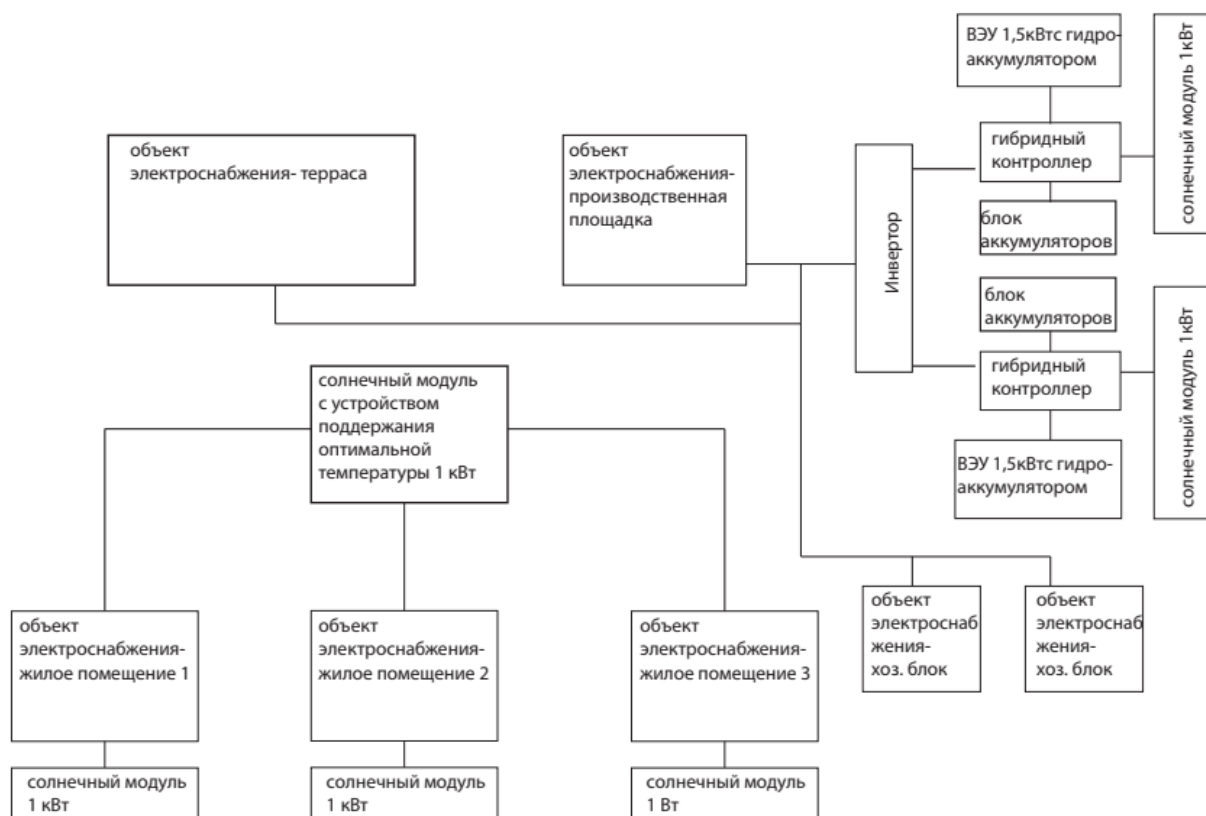


Рисунок 2 - Структурная схема научно-исследовательского полигона

В соответствии с техническим проектом в состав Электростанции вошли следующие компоненты:

- Ветрогенератор 3-лопастной мощностью 1кВт (2 шт);
- Солнечная панель мощностью 150кВт(6 шт);
- Гибридный контроллер (2шт);
- Аккумуляторная батарея 12В (8шт);
- Инвертор для ветрогенератора 48В/220В (1шт);
- Инвертор для солнечных панелей 12В/220В (3шт);
- Балансиры (2шт);
- Разгрузочный резистор (2 шт).

Комплектация ветрогенератора с мачтой, фундаментной арматурой и контроллером (2 шт). Система из ветровой турбины, мачты, фотоэлектрических модулей и гибридного ветро-солнечного контроллера (1 кВт от ветра + 500 Ватт от солнца), предназначена для работы с аккумуляторной секцией 48 вольт - отличное дополнение к уже существующей солнечной электростанции или как самостоятельная ветросолнечная электростанция (вместе с инвертором 48 вольт/220 вольт мощностью не менее 1.5 кВт).

Мачта свободностоящая, изготовлена в виде трехногой трубчатой усеченной пирамиды с поясами и подкосами из уголков. Она оканчивается фланцем, к которому примыкает верхняя труба мачты. К нижней части мачты трубу крепят с помощью промежуточной диафрагмы, вследствие чего конец трубы жестко соединяется с трехногой частью мачты. Опорная рама закреплена на грунте специальными буравами. Высота мачты составляет 5 метров, башня изготовлена из трубы диаметром 50 мм и укреплена укосинами трубой диаметром 32 мм. Основа башни изготовлена из металлической балки, размером 2018/100/50мм, общая длина 4036 мм. Также использовалась труба диаметром 150 мм, и

длиной 2300 мм.

Инвертор СибВольт 1548 Li-ion (преобразователь напряжения) преобразует постоянное напряжение аккумулятора 48В в переменное синусоидальное напряжение 220 В и частотой 50 Гц. Качественные характеристики такого напряжения аналогичны характеристикам напряжения в бытовой сети.

Структурная схема ветроэнергетической установки была разработана с заранее заданным КИЭВ ветродвигателя и гибридным контроллером для обеспечения возможности изменения алгоритма управления приведена на рисунке 3.

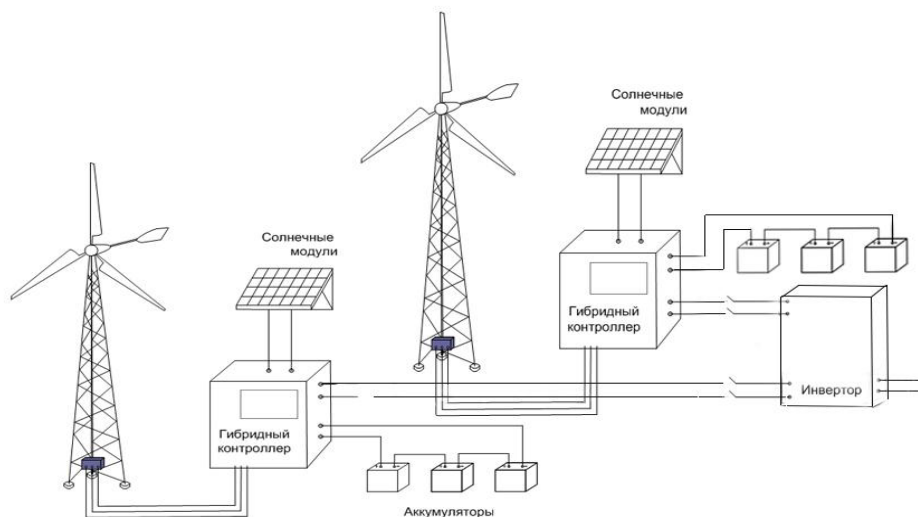


Рисунок 3 - структурная схема ветро-солнечной аддитивной электростанции

В соответствии с техническим проектом в состав Солнечный модуля вошли:

- Солнечный модуль, включающий в себя фотоэлектрические элементы, подложку, прозрачную пластину;
- Контроллер;
- Инвертор;
- Аккумуляторные батареи;
- Антигравитационное теплообменное устройство.



Рисунок 4 – Общий вид Солнечного модуля на научно-исследовательском полигоне

Солнечный модуль состоит из прозрачной пластины, подложки (теплопроводного листа), фотоэлектрических элементов, установленных между пластиной и подложкой, заключенными в раму. Габаритные размеры солнечного модуля составляют 1100\*900 мм. Антигравитационное теплообменное устройство предназначено для охлаждения

фотоэлементов до оптимальной температуры 25°C за счет холода нижних горизонтов грунта. Антигравитационное теплообменное устройство в виде труб с капиллярным телом, верхняя часть которого является испарителем и соединена с подложкой, а нижняя часть является конденсатором и погружается в нижний горизонт грунта.

Общий вид Солнечного модуля представлена на фотографии на рисунке 4.

### **Заключение.**

Сочетание использования энергии ветра и солнца для электроснабжения научно-исследовательского полигона в условиях Южного федерального округа позволило в течение 3 месяцев обеспечивать потребителей электроэнергией практически при любых погодных условиях. Таким образом, такая энергетическая инфраструктура автономного объекта на сельских территориях позволяет создавать условия для проживания в удаленных от централизованной электросети сельских территориях с малой удельной нагрузкой за счёт электроснабжения от возобновляемых источников энергии.

Разработка технических средств и оборудования для энергообеспечения с использованием сельскохозяйственных потребителей позволит вовлечь в хозяйственный оборот неиспользуемые сельхоз угодья, а также улучшить бытовых, жилищных и культурных условий сельскохозяйственных работников в том числе сезонных рабочих. Потенциальные потребители - фермерские хозяйства, сезонные полевые станы и пастбищные хозяйства, инфраструктура сельских территорий – базовые станции сотовой связи, гидрометеопосты, посты мониторинга и МЧС и т.д.

Инфраструктура, состоящая из ветро-солнечной электростанции аддитивного режима, помещений с солнечными модулями и отдельной солнечной станции с устройством поддержания оптимального температурного режима работы может обеспечить энергоснабжения автономного объекта мощностью от 10 до 16 кВт на сельских территориях, удаленных от линий электропередач. Инфраструктура обеспечивает полное электроснабжение автономных объектов на сельских территориях.

### **Список использованных источников:**

1. Шадек, Е. Г. Тригенерация как технология экономии энергоресурсов//Энергоснабжение.2015.№ 2.
2. Долгов И.Ю., Тихомиров А.В., Харченко В.В. Энергопотребление и энергосбережение в сельскохозяйственном секторе Российской Федерации. Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2012. № 2. С. 16.
3. План деятельности Минсельхоза России на 2016 – 2021 годы. Электронный ресурс: <http://www.mcx.ru/documents/document/show/35599.htm> (дата обращения 15.07.2021).
4. Климатические данные для возобновляемой энергетики России (База климатических данных): учебное пособие / [О.С. Попель и др.]. – М.: Изд-во МФТИ, 2009. – 56 с.
5. Евдокимов, В.М. Методы расчета и исследование предельных энергетических и тепловых характеристик фотоэлектрических преобразователей солнечного концентрированного излучения. Вестник ВИЭСХ, № 1(26)/2017, стр. 111-121.
6. Dorjiev S S, Bazarova E G, Pimenov S V, Rozenblum M I. Development of wind power installations with the accelerator of an air stream for areas with a low speed of wind/ S.S. Dorjiev et al// Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – Volume 1111. 012053.
7. Майоров, В.А. Исследование параметров тепло- и фотоэлектрической установки в составе солнечных модулей с концентраторами и следящей системой. Сборник ВИЭСХ, №



*Доржиев Сергей Содномович, кандидат технических наук, Россия, Москва, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», +79257722933, 109428, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5, e-mail: [dss.61@mail.ru](mailto:dss.61@mail.ru).*

*Базарова Елена Геннадьевна, кандидат технических наук, Россия, Москва, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», +79253463747, 109428, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5, e-mail: [bazegen08@mail.ru](mailto:bazegen08@mail.ru)*

*Пилипов Владислав Владимирович, инженер, Россия, Москва, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», 109428, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5, e-mail: [pilipkov2014@yandex.ru](mailto:pilipkov2014@yandex.ru)*

*Розенблюм Мария Игоревна, ведущий инженер, Россия, Москва, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», +79773147074, 109428, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5, e-mail: [Maryrozenblum@mail.ru](mailto:Maryrozenblum@mail.ru)*

#### SCIENTIFIC RESEARCH POLYGON ON THE BASIS OF RENEWABLE ENERGY SOURCES IN THE CONDITIONS OF THE SOUTH FEDERAL DISTRICT

S.S. Dorzhiev, E.G. Bazarova, Pilipkov V.V., Rosenblum M.I.

FSBSI FNAC VIM, Moscow, Russia

*Abstract. Many agricultural objects are located in areas of decentralized energy supply. The electrification of such objects can be provided by wind and solar energy. To conduct research on experimental installations of a wind-solar additive power plant and a solar module with a device for maintaining an optimal temperature regime, a scientific research polygon was created on the territory of the Southern Federal District, the village of Lola, Republic of Kalmykia. Production and administrative premises, utility blocks with a total power consumption of 10 kW were built. Testing of the experimental installations was carried out for 3 months from July to October at an ambient temperature of 20-50 ° C and a wind speed of 4 m / s to 14 m / s. The combination of the use of wind and solar energy for power supply of the research site in the Southern Federal District made it possible to provide consumers with electricity for 3 months in almost any weather conditions.*

*Keywords: renewable energy, wind energy, wind generator, low power wind farms, solar energy, scientific research polygon.*

*Sergei Dorzhiev, PhD in Engineering, Associate Professor, Head of the Laboratory for Electricity and Heat Supply, Moscow, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, +79257722933, 109428, Moscow, 1st Institutsky proezd, 5, e-mail: [dss.61@mail.ru](mailto:dss.61@mail.ru).*

*Elena Bazarova, PhD in Engineering, Moscow, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, +79253463747, 109428, Moscow, 1st Institutsky proezd, 5, e-mail: [bazegen08@mail.ru](mailto:bazegen08@mail.ru)*

*Vladislav Pilipkov, Engineer, Russia, Moscow, Federal scientific Agroengineering center VIM, 109428, Moscow, 1st Institutsky proezd, 5, e-mail: [pilipkov2014@yandex.ru](mailto:pilipkov2014@yandex.ru)*

*Maria Rosenblum, Leadumn Engineer, Moscow, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, +79773147074, 109428, Moscow, 1st Institutsky proezd, 5, e-mail: [Maryrozenblum@mail.ru](mailto:Maryrozenblum@mail.ru)*

## О ВЛИЯНИИ НЕСИММЕТРИИ И НЕСИНУСОИДАЛЬНОСТИ ТОКОВ НА ПОТЕРИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СИЛОВОМ ТРАНСФОРМАТОРЕ

Юндин М. А.<sup>1</sup>, Жариков Д. Т.<sup>1</sup>, Пономаренко Т. З.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Азово-Черноморский инженерный институт - филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донской государственной аграрный университет», г. Зерноград, Российская Федерация;  
<sup>2</sup>ЧУ ДПО МКУЦ «Энергетик», г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

***Аннотация.** С использованием полнофакторного активного эксперимента на физической модели получено регрессионное уравнение для расчета потерь электроэнергии в силовом трансформаторе. При проведении опытов из общих потерь электроэнергии отнимались скорректированные потери электроэнергии в магнитопроводе трансформатора и обмотках от тока основной частоты. На основании полученной математической модели предлагается вычислять потери электроэнергии в силовом трансформаторе по известным значениям  $K$ -фактора трансформатора и отношению тока нулевой последовательности основной гармоники к току 3-ей гармоники в нулевом проводе. Рекомендуемый диапазон применимости математической модели по  $K$ -фактору от 1,04 до 1,10, по соотношению тока нулевой последовательности основной гармоники к току 3-ей гармоники от 0,68 до 6,82.*

***Ключевые слова:** потери электроэнергии в силовом трансформаторе, несинусоидальность, несимметрия,  $K$ -фактор, ток нулевой последовательности, ток третьей гармоники.*

**Введение.** В силу исторического развития подавляющее большинство силовых трансформаторов напряжением 10/0,4 кВ в сельском электроснабжении имеют схему соединения обмоток «звезда/звезда с нулем». Такие трансформаторы для токов обладают большим сопротивлением нулевой последовательности. Нескомпенсированные магнитные потоки у этих трансформаторов от токов нулевой последовательности частотой 50 Гц и токов 150 Гц замыкаются через стальной бак, конструктивные элементы силового трансформатора и создают дополнительные потери электроэнергии. В сельском электроснабжении большая часть электроэнергии потребляется в настоящее время коммунально-бытовыми потребителями, для которых характерно однофазное подключение к сети и концентрация в узле нагрузки нелинейных электроприемников. Относительная величина тока в нулевом проводе силовых трансформаторов увеличивается из-за токов несимметрии и высших гармоник, особенно кратных трем.

Целью статьи является развитие и совершенствование методов оценки потерь электроэнергии в силовом трансформаторе при несинусоидальных и несимметричных нагрузках в системе сельского электроснабжения. Данному вопросу в последние годы уделяется много внимания, о чем свидетельствуют работы [1-8]. Для достижения указанной цели проанализированы известные методики расчета как технологических потерь электроэнергии в силовом трансформаторе, так и дополнительных [4-6]. Точность определения потерь электроэнергии в элементах электрической сети влияет на норматив

технологических потерь электроэнергии при электропередаче.

### Методы исследования.

В лабораторных условиях с использованием силового трансформатора ТС-1,5 был поставлен активный эксперимент.

В качестве зависимой переменной выбраны потери электроэнергии в силовом трансформаторе ( $\Delta W_T$ ). Данная величина в ходе первоначальных опытов вычислялась при любой комбинации изменения факторов, влияющих на нагрузочный режим силового трансформатора. Величина  $\Delta W_T$  вычислялась путем вычитания из измеренных потерь электроэнергии потерь холостого хода трансформатора, скорректированных величиной приложенного напряжения, и потерь короткого замыкания, скорректированных коэффициентом загрузки трансформатора [1, 2]. Зависимая переменная была статистически эффективной, её выборка имела минимальную дисперсию.

Первоначально в качестве факторов были взяты: коэффициент реактивной мощности ( $pF$ ) трансформатора, К-фактор ( $kF$ ) и отношение тока нулевой последовательности основной гармоники к току 3-ей гармоники в нулевом проводе ( $I_{n1}/I_{n3}$ ), создаваемое нагрузкой.

Факторы позволяли в опытах варьировать требуемые уровни и поддерживать их. В ходе корреляционного анализа фактор  $pF$  был отброшен, поскольку на основе выборочных данных в сочетании с другими факторами он имел статистически не значимый коэффициент корреляции с зависимой переменной и одновременно значимо коррелировал с фактором  $I_{n1}/I_{n3}$ .

Лабораторная установка приведена на рисунке 1. В качестве измерительного комплекса использовались электросчетчики ( $pWi1$ ,  $pWi2$ ) Меркурий 230 ART и прибор НЮКИ 3196. Регулирование напряжение на входе лабораторной установки осуществлялось трехфазным ЛАТРом. Состав нагрузок изменялся вручную ( $z1 - z3$ ).

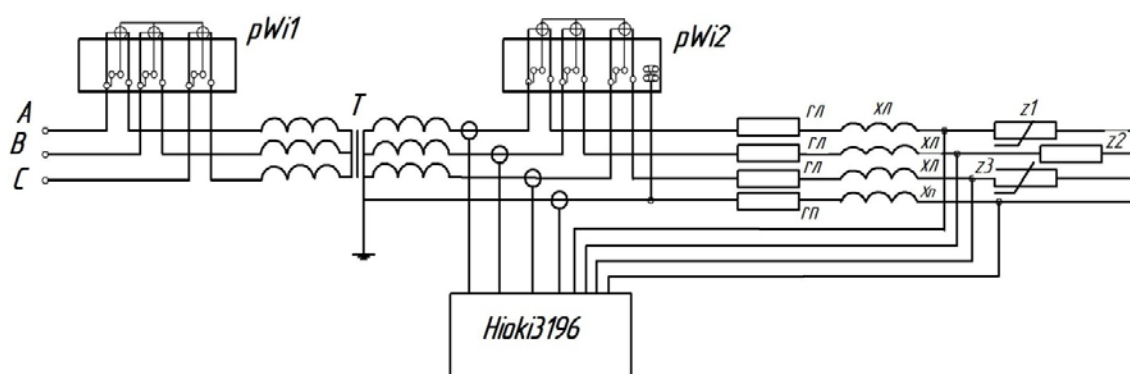


Рисунок 1 – Схема лабораторной установки при проведении экспериментов

Следует отметить, что по данным [7] у коэффициента несимметрии по току нулевой последовательности и суммарного коэффициента гармонических искажений по току имеется сильная корреляционная связь.

Анализ точности определения коэффициентов регрессии показал, что несмещенная оценка дисперсии возмущений (дисперсия воспроизводимости) составляла 0,48. Проверка значимости коэффициентов уравнения регрессии, выполнялась с использованием параллельных опытов (на каждом уровне их было по три) по критерию Стьюдента. Статистически значимые коэффициенты приведены в уравнении регрессии.

**Результаты и их анализ.** Уравнения регрессионной связи в натуральном виде между зависимой переменной и оставленными двумя факторами имеет вид  $\Delta W_T = 253,67 - 202,82 \cdot kF - 22,80 \cdot I_{n1}/I_{n3} + 22,31 \cdot kF \cdot I_{n1}/I_{n3}$ .

В приведенное уравнение К-фактор ( $kF$ ) и отношение тока нулевой последовательности основной гармоники к току 3-ей гармоники в нулевом проводе ( $I_{n1}/I_{n3}$ ) следует подставлять в относительных единицах. Потери электроэнергии силового трансформатора при указанной подстановке получаются в Вт·ч. Диапазон применимости уравнения регрессии по  $kF$  от 1,04 до 1,10, по  $I_{n1}/I_{n3}$  – соответственно от 0,68 до 6,82.

Адекватность уравнения регрессии проверена по критерию Фишера. Рассчитанный критерий Фишера оказался меньше табличного, что свидетельствует об адекватности модели, которая позволяет предсказывать значение отклика.

Проверка автокорреляции остатков, выполненная с использованием статистики Дарбина-Уотсона, показала, что между соседними отклонениями факторов отсутствует корреляция.

**Выводы.** Полученная математическая модель позволяет определить дополнительные к технологическим потерям потери электроэнергии в силовом трансформаторе в лабораторных условиях, при наличии в нагрузке токов нулевой последовательности основной частоты и токов частотой 150 Гц. Использованный метод исследования может быть рекомендован для силовых трансформаторов напряжением 6-10/0,4 кВ.

#### Список используемых источников:

1. Балабин, А.А. Повышение достоверности расчета потерь электроэнергии в трансформаторах 10(6)/0,4 кВ [Текст] / А.А.Балабин, Ю.Д.Волчков // Механизация и электрификация сельского хозяйства, 2009, №4. – С. 22-23.
2. Бухвал, А.В. К вопросу о потерях электроэнергии в силовом трансформаторе 10/0,4 кВ [Текст] / А.В. Бухвал, Р.Р. Швек, М.А. Юндин // Инновации в сельском хозяйстве. – 2015. – №1(11). – С.26-28.
3. Васильева, Т.Н. Дополнительные потери мощности в силовых трансформаторах, обусловленные несинусоидальностью напряжений [Текст] / Т.Н.Васильева, Л.В.Аронов // Технические науки в России и за рубежом: материалы II Междунар. науч. конф. (г. Москва, ноябрь 2012 г.). – Москва: Буки-Веди, 2012. – С. 79-81.
4. Косоухов, Ф.Д. Новые научные направления в энергосбережении в трёхфазных трансформаторах и четырёхпроводных линиях при несимметричной, нелинейной и реактивной нагрузках [Текст] / Ф.Д.Косоухов, Н.В.Васильев, Е.С.Кузнецова. // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2017. – №2(47) – С.300 - 309.
5. Костинский, С.С. Метод определения дополнительных потерь активной мощности в трансформаторах распределительных сетей, обусловленных нелинейными нагрузками [Текст] / С.С.Костинский, А.И.Троицкий // Известия вузов. Электромеханика, 2015, № 3 (539). – С. 61-67.
6. Шерьязов, С.К. Потери мощности в трансформаторах, вызванные нелинейной нагрузкой сельских потребителей [Текст] / С.К.Шерьязов, А.В.Пятков – Достижения науки и техники АПК. – 2017. – Т.31, №11. – С.72-74.
7. Ханин, Ю.И. Корреляционно-регрессионный анализ дополнительных потерь электроэнергии в силовых трансформаторах 10/0,4 кВ [Текст] / Ю.И.Ханин // Вестник

аграрной науки Дона, 2014, №3(27). – С.27-32.

8. Functional dependence for calculation of additional real-power losses in a double-wound supply transformer caused by unbalanced active inductive load in a star connection with an insulated neutral / Kostinskiy S.S., Troitsky A.I. / International Journal of Environmental and Science Education. - 2016. - Vol. 11, Is. 15. - P. 7975-7989.

### Literature

1. Balabin, A.A. Increase of reliability of calculation of the electric energy losses in transformers 10(6)/0,4 kV [Text] / A.A. Balabin, Yu.D. Volchkov // Mechanization and electrification of agriculture, 2009, 4. - P. 22-23.

2. Bukhval A.V. To the question of power losses in the power transformer 10/0,4 kV [Text] / A.V. Bukhval, R.R. Shvek, M.A. Yundin // Innovations in agriculture. - 2015. - №1 (11). - P.26-28.

3. Vasilyeva T.N. Additional power losses in power transformers due to non-sinusoidal voltage [Text] / T.N. Vasilyeva, L.V. Aronov // Technical Sciences in Russia and abroad: Proceedings of II International. (Moscow, November 2012). - Moscow: Bucky Vedi, 2012. - P. 79-81.

4. Kosoukhov F.D. New scientific directions in energy conservation in three-phase transformers and four-wire lines under asymmetrical, nonlinear and reactive loads [Text] / F.D. Kosoukhov, N.V. Vasiliev, E.S. Kuznetsova. // Izvestiya Sankt-Peterburgskogogosudarstvennogoagrarunogouniversiteta. - 2017. - №2 (47) - P.300 - 309.

5. Kostinsky, S.S. Method for determining the additional losses of active power in distribution network transformers due to nonlinear loads [Text] / S.S. Kostinsky, A.I. Troitsky // Izvestiyavuzov. Electromechanics, 2015, № 3 (539). - P. 61-67.

6. Sheryazov S.K. Power losses in transformers caused by nonlinear loading of rural consumers [Text] / S.K. Sheryazov, A.V. Pyatkov - Achievements of science and technology of the APK. - 2017. - Т.31, №11. - P.72-74.

7. Khanin Y.I. Correlation-regression analysis of additional power losses in power transformers 10/0,4 kV [Text] / Y.I. Khanin // Vestnik agrarnaya nauki Don, 2014, № 3 (27). - P.27-32.

8. Functional dependence for calculation of additional real-power losses in a double-wound supply transformer caused by unbalanced active inductive load in a star connection with an insulated neutral / Kostinskiy S.S., Troitsky A.I. / International Journal of Environmental and Science Education. - 2016. - Vol. 11, Is. 15. - P. 7975-7989.

*Юндин Михаил Анатольевич<sup>1</sup>, кандидат технических наук, профессор,  
e-mail: m.a.ju@yandex.ru;*

*Жариков Дмитрий Тимофеевич<sup>1</sup>, магистрант, e-mail: Garikov@mail.ru;*

*Пономаренко Тамара Зурабовна<sup>2</sup>, заместитель директора, e-mail:ponomarenktz@mail.ru;*

*<sup>1</sup>Азово-Черноморский инженерный институт - филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донской государственный аграрный университет», г. Зерноград, Российская Федерация;*

*<sup>2</sup>ЧУ ДПО МКУЦ «Энергетик», г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация*

## ON THE EFFECT OF ASYMMETRY AND NON-SINUSOIDAL CURRENTS ON THE LOSS OF ELECTRICITY IN A POWER TRANSFORMER

Yundin M. A.<sup>1</sup>, Zharikov D. T.<sup>1</sup>, Ponomarenko T. Z.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Azov-Black Sea Engineering Institute - branch of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Don State Agrarian University", Zernograd, Russian Federation;

<sup>2</sup>Institution of higher professional education "Energetic", Rostov-on-Don, Russian Federation

**Abstract.** Using a full-factor active experiment on a physical model, a regression equation for calculating power losses in a power transformer has been obtained. During the experiments, the corrected electric power losses in the transformer magnetic core and windings from the main frequency current have been subtracted from the total electric power losses. On the basis of the obtained mathematical model it is proposed to calculate electric power losses in a power transformer according to the known values of transformer K-factor and the ratio of zero sequence current of the basic harmonic to the current of the 3rd harmonic in the zero conductor. The recommended range of applicability of the mathematical model by K-factor is from 1.04 to 1.10, by the ratio of zero sequence current of the main harmonic to the 3rd harmonic current from 0.68 to 6.82.

**Key words:** power losses in power transformer, non-sinusoidality, asymmetry, K-factor, zero sequence current, third harmonic current.

*Yundin Mikhail Anatolievich<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences, Professor,  
e-mail: m.a.ju@yandex.ru*

*Zharikov Dmitry Timofeyevich<sup>1</sup>, master's student, e-mail: Garikov@mail.ru*

*Ponomarenko Tamara Zurabovna<sup>2</sup>, deputy director, e-mail: ponomarenktz@mail.ru*

<sup>1</sup>Azov-Black Sea Engineering Institute - branch of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Don State Agrarian University", Zernograd, Russian Federation;

<sup>2</sup>Institution of higher professional education "Energetic", Rostov-on-Don, Russian Federation

## СПОСОБЫ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕПЛООБМЕНА В ТЕПЛОПЕРЕДАЮЩИХ УСТРОЙСТВАХ

А.В. Шаповалов, Н.М. Кидун, Т.Н. Никулина

ГГТУ им. П.О. Сухого, г.Гомель, Республика Беларусь

*Аннотация.* Представлены результаты экспериментального исследования работы замкнутых двухфазных теплопередающих устройств, заправленных хладагентами R404A, R407C, R410A. Проведены эксперименты при углах наклона устройств (0°, 90°), что увеличивает область применения таких теплообменных элементов в промышленности. Диапазон подводимых тепловых потоков – 20-128 Вт, температура поверхности устройства изменялась в пределах +18...+63 °С. Установлена зависимость термического сопротивления термосифона от подводимой тепловой нагрузки, проведен анализ полученных результатов.

*Ключевые слова:* термосифон, теплообменник, термическое сопротивление, хладагенты.

**Введение.** Для успешной работы современного энергетического оборудования важное значение имеет отвод теплоты от отдельных тепловыделяющих элементов и поверхностей [1-3].

Замкнутые двухфазные термосифоны многими авторами [4-6] рассматриваются как достаточно перспективные, высокоэффективные, надежные теплопередающие теплообменные устройства за счет автономности, конструкционной гибкости, простоты изготовления, отсутствия движущихся частей, высокой интенсивности внутренних процессов теплопереноса, отсутствия насосов для перекачки теплоносителя и др.[7] В связи с этим актуальным является исследование возможности применения термосифонов как основного элемента системы охлаждения приборов, устройств и оборудования [8-9].

В настоящее время термосифоны используются в промышленности достаточно редко. Объяснить данное явление можно тем, что еще недостаточно изучена физика процессов, протекающих в термосифонах (совместно протекающие процессы теплопроводности, конвекции и фазовых переходов в зонах испарения и конденсации). Помимо этого, накопленные знания в данной области представляют собой, как правило, выводы, полученные для конкретных вариантов термосифонов и теплоносителей, конструктивных схем и технических решений [10-12]. Анализ результатов [13-16] исследований теплопереноса в замкнутых двухфазных термосифонах показывает, что наиболее значимой характеристикой их работы является термическое сопротивление.

Целью работы является получение экспериментальных данных исследования работы эффективных двухфазных замкнутых теплопередающих систем, заправленных хладагентами R404A, R407C, R410A при разных углах наклона устройства к горизонту.

**Основная часть. Описание установки и методики эксперимента.** Для исследования процессов, протекающих в замкнутых двухфазных термосифонных устройствах, на кафедре «Промышленная теплоэнергетика и экология» учреждения образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого» был создан экспериментальный

стенд, представленный на рисунке 1.



Рисунок 1 - Экспериментальный стенд

Методика проведения экспериментов заключалась в ступенчатом увеличении теплового потока с определенной выдержкой между двумя приращениями тепловой нагрузки для стабилизации изменяющихся параметров. Подвод теплового потока к испарителю осуществлялся спиральным электрическим нагревателем, мощность которого регулировалась с помощью лабораторного автотрансформатора. Охлаждение зоны конденсации производилось каналным вентилятором при постоянном расходе. Подробно методика проведения экспериментальных исследований представлена в [7].

### Экспериментальные данные

В рамках представленного исследования была изучена и проанализирована работа цилиндрического и пародинамического термосифона с внутренними циркуляционными вставками (рис.2). Объем заправки хладагентами составил 500 г – половина объема испарителя, угол наклона установки –  $0^\circ$  и  $90^\circ$ .

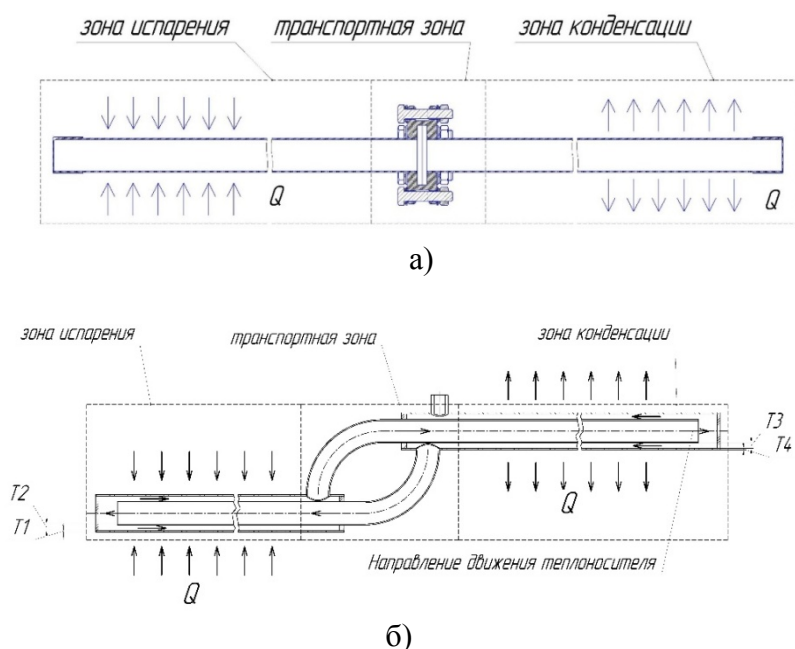


Рисунок 2 - Замкнутые двухфазные теплопередающие устройства:  
а – цилиндрический термосифон; б – пародинамический термосифон

На рис. 3 представлен график результатов опытных данных для цилиндрического (рис. 3а) и пародинамического (рис. 3б) термосифонов, заправленных фреонами R404A, R407C,



R410A.

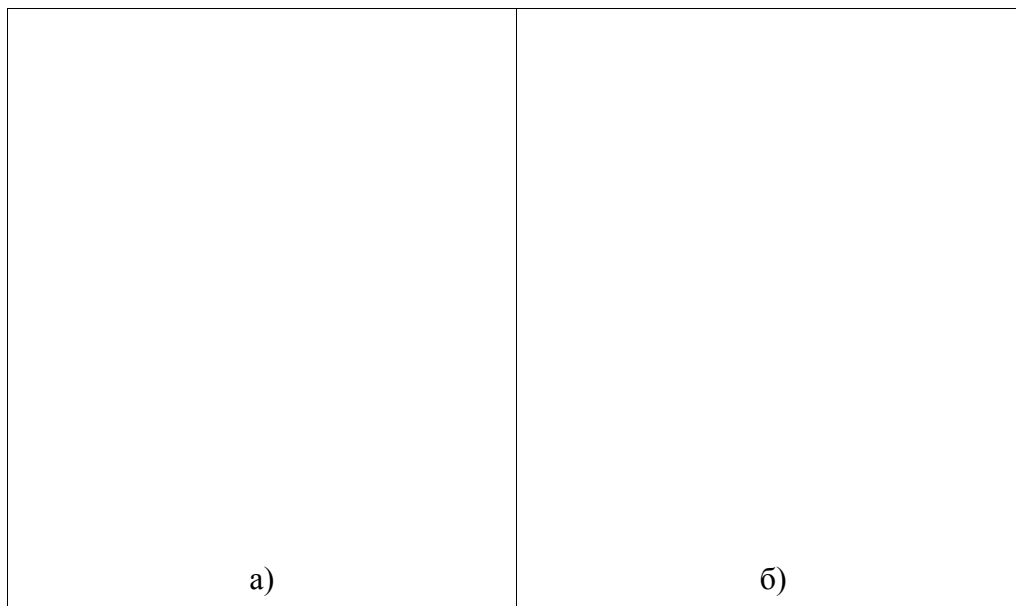


Рисунок 3 - Термическое сопротивление термосифонов при изменении подводимого теплового потока и угла наклона:

а – цилиндрический термосифон; б – пародинамический термосифон

Анализ полученных результатов позволяет установить зависимость параметров, характеризующих эффективность работы термосифона, в частности термического сопротивления, от свойств фреонов, используемых для их заправки. Было установлено, что наибольшее влияние на значение термического сопротивления термосифона, от которого зависит значение коэффициента теплоотдачи  $\alpha$  (обратно пропорциональная зависимость), оказывают такие параметры, как давление  $p$ , плотность  $\rho$ , удельная теплота парообразования  $r$ , динамическая вязкость  $\mu$ , удельная теплоемкость  $c$ , коэффициент теплопроводности  $\lambda$  используемой рабочей жидкости.

Экспериментально определено, что изменение угла наклона термосифона относительно горизонтальной плоскости не влияет на теплопередающие характеристики устройства, термические сопротивления для указанных выше фреонов изменяются в диапазоне 0,0014 – 0,018 °С·м<sup>2</sup>/Вт при плотности теплового потока 248 – 1415,28 Вт/м<sup>2</sup>.

Термическое сопротивление  $R$  термосифона непрерывно падает с увеличением давления при кипении фреонов (рис. 3). Это свидетельствует о росте коэффициента теплоотдачи  $\alpha$  и повышении эффективности процесса теплоотдачи. Однако при низких давлениях зависимость  $\alpha$  от  $p$  менее резкая, чем при высоких.

Исследование влияния коэффициента теплопроводности  $\lambda$  на значение термического сопротивления термосифона показало, что с ростом  $\lambda$  значение термического сопротивления уменьшается, следовательно, повышается эффективность работы термосифона. Также установлено незначительное уменьшение значения термического сопротивления с увеличением удельной теплоемкости  $c$  фреона.

Влияние всех вышеуказанных параметров в большей степени проявляется в диапазоне небольших подводимых мощностей до 50 Вт. С ростом подводимой нагрузки значение термического сопротивления термосифона становится более стабильным и практически не меняется на всем диапазоне.

Эксперименты показали, что термическое сопротивление для цилиндрического и пародинамического термосифонов значительно изменяется при увеличении теплового потока.

Также было отмечено, что термическое сопротивление цилиндрического и пародинамического термосифонов, заправленных фреоном R407C, значительно отличается по сравнению с фреонами R404A и R410A (рис.4).

Данный факт можно объяснить тем, что температурный глайд для фреона R407C составляет 7,1 °C (для R404A – 0,5 °C , R410A - менее 0,3 °C). Так как в процессе эксперимента давление в исследуемой установке повышалось, соответственно температурный глайд увеличивался, что привело к изменению теплофизических свойств при фазовых переходах в зонах испарения и конденсации и, как следствие, повышенному термическому сопротивлению термосифона при работе на фреоне R407C.

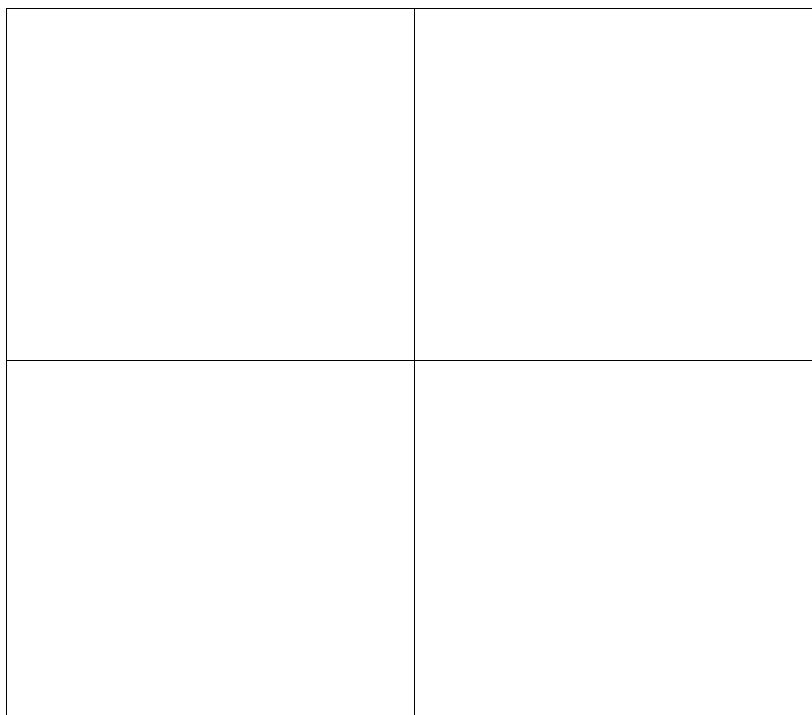


Рисунок 4 - Термическое сопротивление термосифонов, заправленных фреонами R404A, R407C, R410A :

а – цилиндрический термосифон, угол наклона 0 град; б – цилиндрический термосифон, угол наклона 90 град; в – пародинамический термосифон, угол наклона 0 град; г – пародинамический термосифон, угол наклона 90 град;

На основе экспериментальных данных были предложены методы расчета термических сопротивлений цилиндрического и пародинамического термосифонов. Предложенные методы позволяют установить обобщающие зависимости для расчета термического сопротивления испарителя и конденсатора цилиндрического и пародинамического термосифонов и могут быть использованы при моделировании процессов, протекающих в замкнутых двухфазных термосифонных системах. Результаты сравнения экспериментальных и расчетных значений для R404a приведены ниже (рис.5). Погрешность предложенной методики не превышает 25%.

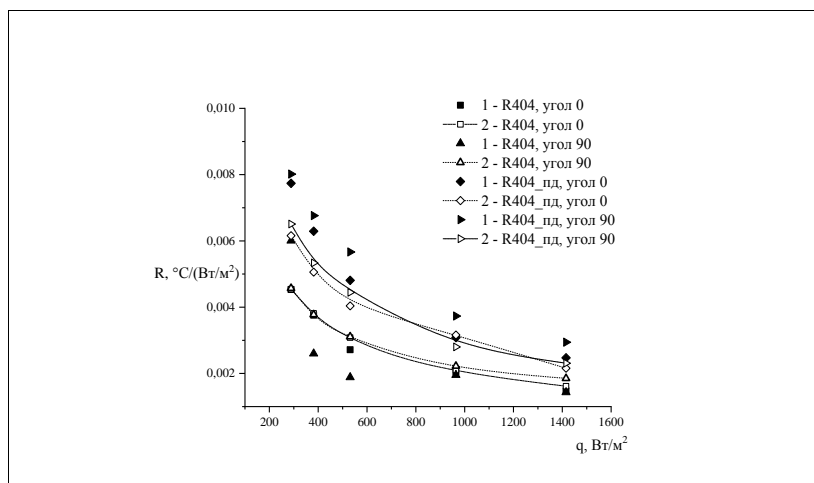


Рисунок 5 - Обработка опытных данных по разработанной методике (1- эксперимент; 2 – расчет)

После проведенных исследований были предложены методы совершенствования конструкции для интенсификации теплообмена в термосифонных элементах, а именно:

а) изменена конструкция существующих термодинамических элементов (испарителя, конденсатора) пародинамического термосифона;

б) предложен метод интенсификации процесса теплообмена при парообразовании в термосифонных элементах. Теплообмен в зоне парообразования может быть увеличен за счет изменения кольцевого зазора при изменении диаметров внутренней трубки (рисунок 1).

Были вырезаны две медные трубки длиной 1м, с диаметрами 20 мм. и 15 мм. За счет изменения толщины парового канала, планируется увеличить теплообмен в зоне парообразования.

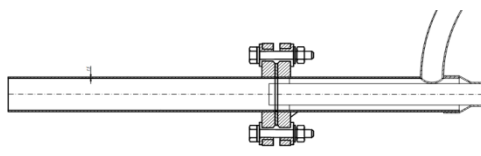


Рисунок 6 - Зона испарения пародинамического термосифона

в) предложен метод интенсификации процесса теплообмена при конденсации в термосифонных элементах. В зоне конденсации было выполнено наружное поперечное оребрение поверхности конденсатора. Из листа латуни толщиной 15 мм при помощи лазерной резки было вырезано 202 кольца, после чего кольца были припаены на конденсатор. Шаг оребрения выбран 2 мм, высота ребер 1,6 см. Наружное поперечное оребрение поверхности конденсатора (рис.7) позволит увеличить тепловой поток без увеличения затрат мощности. Данный тип оребрения выбран в связи с возможностью работы термосифона при разных углах установки. Другие виды оребрения для данной конструкции будут нецелесообразны;

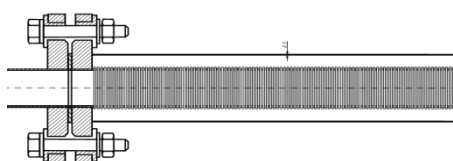


Рисунок 7 - Внутреннее оребрение поверхности конденсатора

г) разработана 2D-модель усовершенствованной конструкции термосифона.

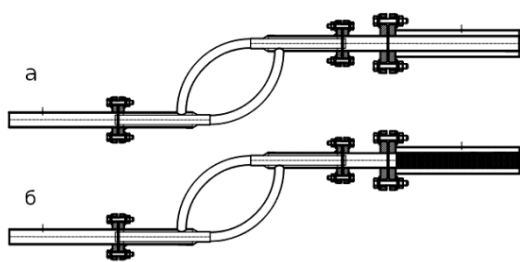


Рисунок 8 - а) существующая конструкция пародинамического термосифона; б) конструкция пародинамического термосифона с оребренным конденсатором и уменьшенным кольцевым зазором в испарителе

### Заключение

Анализ полученных экспериментальных данных показал:

- изменение угла наклона термосифона относительно горизонтальной плоскости не влияет на теплопередающие характеристики устройства, заправленного фреонами R404A, R407C, R410A;
- на величину термического сопротивления значительное влияние оказывает состав используемого фреона, а именно температурный глайд для зеоетропных фреонов;
- термическое сопротивление для цилиндрического и пародинамического термосифонов значительно уменьшается при увеличении теплового потока.
- предложены методы совершенствования конструкции для интенсификации теплообмена в термосифонных элементах.

Установленные экспериментальные данные в дальнейшем позволят разработать эффективные теплообменники с двухфазными теплопередающими элементами для их применения в энергетике, холодильной технике, системах вентиляции и кондиционирования, промышленности, с целью уменьшения потребляемой энергии, материалоемкости, а также повышения качества выпускаемой продукции.

### Список использованных источников

1. Garimella S.V, Singhal V, Liu D. On–chip thermal management with microchannel heat sinks and integrated micropumps // Proceedings of the IEEE. – 2006. – Vol. 94. № 8. P. 1534–1548.
2. Fu W., Li X., Wu X., Zhang Z. Investigation of a long term passive cooling system using two-phase thermosyphon loops for the nuclear reactor spent fuel pool // Annals of Nuclear Energy. – 2015. – Vol. 85. – P. 346-356.
3. Xue,Z.H., Qu W., Xie M.H. High perfomance loop heat pipe with flat evaporator for energy-saving cooling systems of supercomputers// *J. Heat Transfer*. Mar 2020, 142(3): 031901 (7 pages)
4. Васильев, Леонард Л. Пародинамические термосифоны и их применение в тепловом оборудовании различного назначения / Леонард Л. Васильев, Леонид Л. Васильев, А.С. Журавлев, М.И. Рабецкий, А.В. Шаповалов, А.В. Родин // Тепло- и массоперенос-2013. Сборник научных трудов. – Минск, 2014. – с. 12-16.
5. Безродный, М.К. Процессы переноса в двухфазных термосифонных системах. Теория и практика / М.К. Безродный, И.Л. Пиоро, Т.О. Костюк. – Киев: Факт, 2005. – 704 с.
6. Накоряков, В.Е. Тепломассообмен при фазовых переходах и химических превращениях в микроканальных системах / В.Е. Накоряков, В.В. Кузнецов // Труды 4ой РНКТ, Москва, 23–27 2006 г. / РАН, МЭИ. – Москва, 2006. – Т. 1. – С. 33–37.
7. Шаповалов, А.В. Результаты экспериментального исследования пародинамического термосифона/ А.В. Шаповалов, А.В.Родин, Р.Н. Жихарев // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та

им. П.О. Сухого. – 2015. – № 3. – с.58-64.

8. Васильев Л.Л. Перспективы применения тепловых насосов в Республике Беларусь // ИФЖ. 2005. Т. 78, №1. С. 23–34.

9. Безродный М.К., Волков С.С., Мокляк В.Ф. Двухфазные термосифоны в промышленной теплотехнике. – Киев: Вища школа, 1991. – 75 с.

10. Noie S.H. Heat transfer characteristics of a two-phase closed thermosyphon // Appl Therm Eng. – 2005. – Vol. 25. – P. 495–506.

11. Кузнецов Г.В., Аль-Ани М.А., Шеремет М.А. Режимы смешанной конвекции в замкнутом двухфазном термосифоне цилиндрической формы // Известия ТПУ. – 2011. – Т.318, № 4. – С. 18–23.

12. Niro A., Beretta G. P. Boiling regimes in a closed two-phase thermosyphon // Int. Journal of Heat and Mass Transfer. – 1990. – Vol. 33. – P. 2099– 2110.

13. Jouhara H., Robinson A.J. Experimental investigation of small diameter two phase closed thermosyphons charged with water, FC-84, FC-77 and FC-3283 // Applied Thermal Engineering. – 2010. – Vol. 30. – P. 201–211.

14. Тюрин М.П., Бородин Е.С., Кочетов Л.М., Бельданова О.Г. Экспериментальное исследование процессов переноса в термосифоне как элементе энергосберегающей технологии при производстве солей на основе фосфорной кислоты // Дизайн и технологии. – 2014. – № 39. – С. 28–33.

15. Hashimoto H., Kaminaga F. Heat transfer characteristics in a condenser of closed two-phase thermosyphon: effect of entrainment on heat transfer deterioration // Heat Transf – Asian Res. – 2002. – Vol. 31. – P. 212–225.

16. Sobhan C.B., Rag R.L., Peterson G.P. A review and comparative study of the investigations on micro heat pipes // Int J Energy Res. – 2007. – Vol. 31. – P. 664– 688.

*Шаповалов Александр Валерьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленная теплоэнергетика и экология», Республика Беларусь, Гомель, УО «ГГТУ им. П.О. Сухого», [a\\_v\\_shapovalov@gstu.by](mailto:a_v_shapovalov@gstu.by)*

*Кидун Наталья Михайловна, старший преподаватель кафедры «Промышленная теплоэнергетика и экология», Республика Беларусь, Гомель, УО «ГГТУ им. П.О. Сухого», +375 (29) 170 59 89 [nkidun@ya.ru](mailto:nkidun@ya.ru)*

*Никулина Татьяна Николаевна, старший преподаватель кафедры «Промышленная теплоэнергетика и экология», Республика Беларусь, Гомель, УО «ГГТУ им. П.О. Сухого», [aqua-tn@tut.by](mailto:aqua-tn@tut.by)*

## METHODS OF HEAT TRANSFER INTENSIFICATION IN HEAT TRANSFER DEVICES

A.V. Shapovalov, N.M. Kidun, T.N. Nikulina.

Sukhoi State Technical University

Abstract. The results of an experimental study of the operation of closed two-phase heat transfer devices filled with refrigerants R404A, R407C, R410A are presented. Experiments were carried out at angles of inclination of the devices (0°, 90°), which increases the scope of application of heat exchange elements in industry. The range of supplied heat fluxes was 20-128 W, the surface temperature of the device varied within + 18 ... + 63 ° C. The dependence of the thermal resistance of the thermosyphon on the supplied thermal load was established, and the results were analyzed.

Keywords: thermosiphon, heat exchanger, thermal resistance, refrigerants.

*Shapovalov Alexander Valerievich, ph.d., assistant professor of "Industrial energy and ecology", the Republic of Belarus, Gomel, Sukhoi State Technical University of Gomel,  
a\_v\_shapovalov@gstu.by*

*Kidun Natalia Mikhailovna, senior teacher of "Industrial energy and ecology", the Republic of Belarus, Gomel, Sukhoi State Technical University of Gomel, nkidun@ya.ru*

*Nikulina Tatiana Nikolaevna, senior teacher of "Industrial energy and ecology", the Republic of Belarus, Gomel, Sukhoi State Technical University of Gomel, aqua-tn@tut.by*

## РАЗРАБОТКА СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РАЗЪЕДИНИТЕЛЕМ В СЕТЯХ 6-10КВ

Тришин Д.Н., Вендин С.В.

ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ

**Аннотация:** в статье представлены результаты исследований по разработке схемы дистанционного управления разъединителем в сетях 6-10 кВ для систем сельского электроснабжения с целью повышения надежности систем электроснабжения. Основу устройства составляет разъединитель РЛК с электромеханическим приводом, а также выпрямитель, трансформатор тока, блок зарядки аккумулятора, контроллер зарядки, аккумуляторная батарея, фотоэлектрический модуль, система дистанционного управления электромеханическим приводом и блок коммутации цепи питания электромеханического привода. Принцип работы разъединителя состоит в том, что для привода механической части используется электромагнит постоянного тока получающий питание через блок коммутации цепи питания электромеханического привода от аккумуляторной батареи. Блок коммутации цепи питания электромеханического привода управляется дистанционно через систему дистанционного управления электромеханическим приводом. Представлена также методика расчета мощности фотоэлектрической станции и выбора аккумулятора для дистанционного привода разъединителя. Для обеспечения электропитания привода разъединителя необходимо иметь солнечный модуль мощностью 25 Вт и аккумуляторную батарею емкостью 40 А·ч. Рассмотрены также возможные варианты выбора электрооборудования системы электропитания привода разъединителя.

**Ключевые слова:** электроснабжение, сети 6-10 кВ, разъединители, электромеханический привод, схема управления, дистанционное управление.

**Введение.** Обеспечение надежности электроснабжения и качества электроэнергии являются одними из основных факторов устойчивого производства не только в промышленности, но и в сельском хозяйстве [2-5 и др.]. При этом важным элементом систем электроснабжения в сетях 6-10 кВ являются разъединители.

Обзор опыта эксплуатации разъединителей в сетях 6-10 кВ показывает, что одной из проблем эксплуатации распределительных сетей 6-10 кВ являются отказы линейных разъединителей наружной установки. В энергосистемах Российской Федерации оценка распределения разъединителей по срокам службы выглядит следующим образом: до 15 лет 42%; 16-25 лет 40%; свыше 25 лет 18% [1, 6 и др.].

При этом повреждаемость разъединителей, в отдельных районах Российской Федерации достигает 2,5 % от числа установленных.

Условия, при которых происходили отказы разъединителей, можно сгруппировать следующим образом:

- при оперировании разъединителем эксплуатационным персоналом;
- во время грозы; при замыкании птицами (или другими посторонними предметами);
- бой (расстрел) изоляторов;
- при воздействии посторонних лиц (в частности, при оперировании под нагрузкой).

Наиболее частыми причинами повреждения узлов линейных разъединителей являются:

Контактная группа - несоосность и большой люфт осей ножей, деформация (изгиб) ножей разъединителей, низкое качество обработки поверхностей, окисление поверхностей контактов в процессе эксплуатации (алюминий), низкое качество нажимных пружин неподвижных контактов, ненадежная конструкция узла присоединения шлейфов к контактам;

Привод - большие люфты во всех соединениях, сложность регулировки тяги с рычагами подвижных колонок, заклинивание вала привода во втулках (малые зазоры, черный металл, коррозия), низкая надежность узла соединения тяги с рамой разъединителя, низкое качества сварного соединения ручки привода;

Изоляторы — низкая механическая и электрическая прочность изоляторов, изломы при оперировании, перекрытия при перенапряжениях.

Обзор современных конструкций разъединителей показал, что в последнее время все большее применение находят разъединители РЛК с электромеханическим приводом [7-9 и др.]. Одним из узких мест при эксплуатации таких разъединителей может стать неуправляемость при неисправности источника питания электромеханического привода разъединителя.

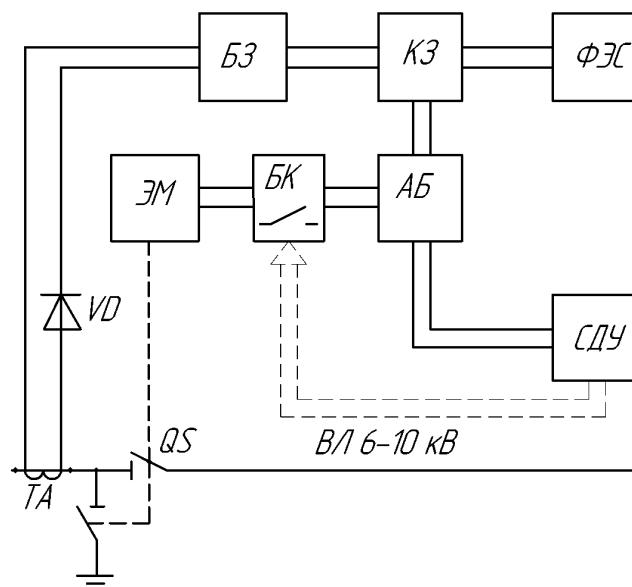
Поэтому разработка конструкций и обоснование параметров разъединителей на 6-10 кВ для систем сельского электроснабжения, обеспечивающих повышение надежности систем электроснабжения, является важной научной задачей.

**Материалы и методы исследований.** В основу приведенных исследований положены методы патентного поиска и анализа конструкций электротехнического оборудования, а также методы анализа структурных схем автоматического управления электромеханических систем.

**Разработка структурной схемы разъединителя с электромеханическим приводом.** Для повышения надежности работы разъединителя предлагается конструкция, структурная схема, которой показанная на рисунке 1. Основу структурной схемы разъединителя составляет разъединитель РЛК с электромеханическим приводом. Однако внесены изменения в электрическую часть управления коммутацией разъединителя.

Принцип работы разъединителя состоит в том, что для привода механической части используется электромагнит постоянного тока ЭМ получающий питание через блок коммутации цепи питания электромеханического привода БК от аккумуляторной батареи АБ. Блок коммутации цепи питания электромеханического привода БК управляется дистанционно через систему дистанционного управления электромеханическим приводом СДУ. Зарядка аккумуляторной батареи может осуществляться через трансформаторы тока ТА, выпрямитель VD, блок зарядки и стабилизации тока зарядки БЗ и гибридный контроллер зарядки КЗ. В тоже время, зарядка аккумуляторной батареи может осуществляться через гибридный контроллер зарядки КЗ фотоэлектрического модуля ФЭС. В этом случае управление коммутацией разъединителя может осуществляться независимо, благодаря зарядке аккумулятора от фотоэлектрического модуля ФЭС. При отсутствии достаточного солнечного излучения подзарядка аккумуляторной батареи происходит через трансформаторы тока ТА, выпрямитель VD, блок зарядки и стабилизации тока зарядки БЗ и гибридный контроллер зарядки КЗ.





QS – разъединитель; ЭМ электромеханический привод; VD – выпрямитель;  
 ТА – трансформатор тока; БЗ – блок зарядки аккумулятора; КЗ – контроллер зарядки;  
 АБ – аккумуляторная батарея; ФЭС – фотоэлектрический модуль; СДУ – система  
 дистанционного управления электромеханическим приводом; БК – блок коммутации цепи  
 питания электромеханического привода

Рисунок 1 - Схема управления разъединителем

Для практического использования устройства необходимо: определить параметры электромагнита; рассчитать мощность фотоэлектрической станции; выбрать аккумуляторную батарею и гибридный контроллер; выполнить (изготовить) блок коммутации и системы дистанционного управления электромеханическим приводом.

**Расчет мощности фотоэлектрической станции и выбор аккумулятора для дистанционного привода разъединителя.**

Расчет мощности фотоэлектрической станции и выбор аккумулятора для дистанционного привода разъединителя можно провести на основе предлагаемой ниже методики.

Мощность фотоэлектрической станции определяется мощностью аккумуляторной батареи для привода разъединителя. Напряжения питания электромагнита привода разъединителя составляет  $U_{\text{п}} = 12 \text{ В}$ , а токовая нагрузка определяется величиной магнитодвижущей силы.

При токовой нагрузке  $I$  требуемая мощность фотоэлектрической станции составит:

$$P_{\text{фэ}} = U_{\text{п}} I . \quad (1)$$

Энергия запасенная  $W_{\text{АБ}}$  аккумуляторной батареей зависит от ее емкости  $E_{\text{АБ}}$  и напряжения  $U_{\text{п}}$ :

$$W_{\text{АБ}} = E_{\text{АБ}} U_{\text{п}} , \quad (2)$$

В расчете на суточный цикл работы солнечных модулей мощность аккумуляторной батареи составит:

$$P_{\text{АБ}} = E_{\text{АБ}} U_{\text{п}} / 24 , \quad (3)$$

Для предотвращения полной разрядки аккумуляторной батареи принимаем:

$$P_{\text{АБ}} = 0,7 P_{\text{фэ}} . \quad (4)$$

Тогда расчетная емкость аккумуляторной батареи составит:

$$E_{AB} = 0,7 \cdot 24 \cdot P_{\text{фэ}} / U_{\text{п}} . \quad (5)$$

Расчеты показывают, что при токовой нагрузке  $I = 2,5$  А и напряжении питания  $U_{\text{п}} = 12$  В мощность фотоэлектрической станции составит  $P_{\text{фэ}} = 30$  Вт, а расчетная емкость аккумуляторной батареи составит  $E_{AB} = 42$  А·ч.

Таким образом, для обеспечения электропитания привода разъединителя необходимо иметь солнечный модуль мощностью 25 Вт и аккумуляторную батарею емкостью 40 А·ч.

### **Выбор электрооборудования системы электропитания привода разъединителя.**

Согласно структурной схеме представленной на рисунке 1 для электропитания привода разъединителя необходимо иметь фотоэлектрический модуль, аккумуляторную батарею и микроконтроллер для управления процессом зарядки аккумулятора.

В настоящее время на рынке предлагаются различные типы фотоэлектрических модулей мощностью от 7 Вт и более, такие как [ФСМ-М](#), [ФСМ-П](#), [ФСМ-МТ](#), [ФСМ-F](#) и другие [10-11 и др.]. Разработаны и выпускаются различные по конструкции, принципу действия и условиям работы аккумуляторные батареи (АКБ), поэтому всегда есть возможность выбрать интересующую модель по предъявляемым к ней требованиям. Существующие виды АКБ, используемые в составе солнечных электростанций, включают: автомобильные аккумуляторы (WET); аккумуляторы AGM и GEL; аккумуляторы OPzS; щелочные аккумуляторы; литиевые АКБ. Выбор АКБ определяется в каждом случае индивидуально с учетом контроллера зарядки аккумулятора.

Контроллер заряда аккумулятора – это устройство, которое позволяет обеспечить правильные режимы заряда аккумулятора. Выбор этого устройства, как правило, чисто технический момент, за исключением выбора типа контроллера МРРТ или ШИМ. Иногда контроллер заряда может быть встроен в инвертор.

### **Заключение.**

Разработана структурная схема разъединителя, основу которой составляет разъединитель РЛК с электромеханическим приводом с измененной электрической частью управления коммутацией. Предложена методика расчета мощности фотоэлектрической станции и выбор аккумулятора для дистанционного привода разъединителя.

Приведенные результаты исследований являются актуальными при совершенствовании систем дистанционного управления разъединителями в сетях 6-10 кВ.

### **Список использованных источников:**

- 1 Васильев, А. А. Электрическая часть станций и подстанций / А. А. Васильев, И. П. Крючков, Е. Ф. Наяшкова, М. Н. Околович.- М.: Энергоатомиздат, 1990.
2. Вендин, С. В. Оценка эффективности мероприятий по снижению несимметрии и несинусоидальности в распределительных сетях 0,4-10 кВ / С. В. Вендин, С. В. Килин, С. В. Соловьёв // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2018. № 2 (18). С. 3-19.
3. Вендин, С. В. Экспериментальные исследования несинусоидальности и несимметрии напряжений в электрических сетях 10 кВ / С. В. Вендин, С. В. Соловьёв, С. В. Килин // Вестник ВИЭСХ. 2018. № 3 (32). С. 18-25.
4. Виноградов, А. В. Анализ основных составляющих эффективности систем электроснабжения сельских потребителей / А. В. Виноградов, А. В. Виноградова // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2019. – №3 (54). – С. 96-102.
5. Виноградов, А. В. Отключения в электрических сетях 0,4 кВ: количество, причины и контрмеры /А. В. Виноградов, В. Е. Большев, А. В. Виноградова // Вестник Казанского

государственного аграрного университета. – 2020. – №2 (58). – С. 77-81.

6. Кудрин, Б. И. Электроснабжение промышленных предприятий: Учебник для студентов высших учебных заведений/ Б. И. Кудрин.- М.: Интермент Инжиниринг, 2005.- 672с.:ил.

7. Макаров, Ю. В. Высоковольтные разъединители: назначение, устройство, эксплуатация / Режим доступа: <https://www.asutpp.ru/vysokovoltnye-razediniteli.html>

8. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Изд.5-е.- Ростов н/Д: Феникс, 2006.-320с.

9. Разъединители высоковольтные 10 кВ. / Режим доступа: [https://grantek-svet.ru/catalog/Razediniteli\\_vysokovoltnye/10-kv.php](https://grantek-svet.ru/catalog/Razediniteli_vysokovoltnye/10-kv.php)

10. Расчёт солнечных батарей / Режим доступа: <http://e-veterok.ru/095-solnehnnye-batarei-vraschyot.php>

11. Солнечные модули ФСМ / Режим доступа: <https://energo-souz.ru/moduli-fsm>

*Тришин Дмитрий Николаевич, аспирант, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, [elapk@mail.ru](mailto:elapk@mail.ru)*

*Вендин Сергей Владимирович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, [elapk@mail.ru](mailto:elapk@mail.ru)*

#### DEVELOPMENT OF A CONNECTOR CONTROL SCHEME IN 6-10KV NETWORKS

Trishin D.N., Vendin S.V.

FGBOU VO Belgorod SAU

Abstract: The article presents the results of research on the development of a circuit for remote control of a disconnector in 6-10 kV networks for rural power supply systems in order to increase the reliability of power supply systems. The device is based on an RLC disconnector with an electromechanical drive, as well as a rectifier, a current transformer, a battery charging unit, a charging controller, a storage battery, a photovoltaic module, a remote control system for an electromechanical drive and a switching unit for the power supply circuit of an electromechanical drive. The principle of operation of the disconnector is that a direct current electromagnet is used to drive the mechanical part, which receives power through the switching unit of the power supply circuit of the electromechanical drive from the battery. The switching unit of the power supply circuit of the electromechanical drive is controlled remotely through the remote control system of the electromechanical drive. Also presented is a method for calculating the power of a photovoltaic power plant and choosing a battery for a remote drive of a disconnector. To provide power supply to the disconnector drive, it is necessary to have a solar module with a power of 25 W and a storage battery with a capacity of 40 Ah. Possible options for choosing the electrical equipment of the disconnector drive power supply system are also considered.

Key words: power supply, 6-10 kV networks, disconnectors, electromechanical drive, control circuit, remote control.

*Trishin Dmitry Nikolaevich, postgraduate student, Belgorod State Agrarian University, [elapk@mail.ru](mailto:elapk@mail.ru) Vendin Sergey Vladimirovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department, Belgorod State Agrarian University, [elapk@mail.ru](mailto:elapk@mail.ru)*

## ВЛИЯНИЕ ТОЛЩИНЫ СТЕНКИ БИОГАЗОВОГО РЕАКТОРА НА ВЕЛИЧИНУ МОЩНОСТИ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ ТЕПЛОТЫ ДЛЯ ПОДОГРЕВА СЫРЬЯ

Мамонтов А.Ю., Андреев А.Е., Вендин С.В.

ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ

***Аннотация:** в статье приведены расчеты по оценке величины мощности дополнительных источников теплоты для подогрева сырья от толщины стенки цилиндрического биогазового реактора. В расчетах были использованы результаты общего решения уравнения теплопроводности Фурье в слоистых средах. При этом использовались свойства кирпичной стенки, обладающей не только хорошей теплоемкостью, но и теплопроводностью. На основе проведенных расчетов можно заключить, что влияние толщины стенки реактора на величину мощности дополнительных источников теплоты незначительно. Однако температура наружной среды вне реактора является значимым фактором. Следовательно при строительстве биогазовых реакторов, в первую очередь, необходимо учитывать среднегодовые температуры в конкретной местности. Игнорирование этого фактора даже при достаточной толщине стенок биореактора будет приводить к увеличению энергозатрат на дополнительный подогрев сырья при сбраживании.*

***Ключевые слова:** биогаз, биореактор, источники теплоты, температурное поле, мощность.*

### **Введение.**

Переработка органических отходов с получением бигаса является актуальной проблемой сельскохозяйственного производства. Реализация данных технологий позволяет провести утилизацию отходов и обеспечить получение ценных продуктов.

На практике для переработки органического сырья используются различные конструкции биогазовых реакторов в зависимости от применяемых технологий переработки [1-9]. Необходимо отметить, что, несмотря на многочисленные положительные результаты исследований в этом направлении, имеется целый ряд нерешенных задач технического и технологического характера. Это особенности перерабатываемого сырья, технологий и методов подготовки его к сбраживанию, а также правильный выбор бактерий с учетом температур их нормального развития. Это правильный выбор конструкции биогазового реактора и учет условий внешней окружающей среды. Кроме того, непосредственно при сбраживании большую роль играют режимы перемешивания сырья отвода биогаза и удаления отработанной фракции сырья. Все эти нюансы технологии должны обеспечиваться системами контроля параметрами и управления работой исполнительных механизмов.

**Материалы и методы исследований.** В основу приведенных исследований положены методы теории теплопередачи в слоистых средах.

### **Основные результаты.**

Как указывалось ранее, обеспечение высокой эффективности производства переработки органических отходов в биогаз напрямую связано с соблюдением температурных режимов и режимов перемешивания сырья. Температурные режимы при сбраживании могут поддерживаться за счет теплоты выделяющейся в результате химических реакций при сбраживании. Однако, если этого количества теплоты недостаточно, то используется дополнительный теплоподвод (дополнительные источники теплоты).

Величина мощности дополнительных источников теплоты, необходимых для поддержания режимов сбраживания зависит от многих факторов. В первую очередь учитываются теплофизические свойства сбраживаемого сырья (субстрата), а также размеры биореактора, толщина и теплофизические свойства стенок конструкции, условия внешней окружающей среды.

Известно, что толщина теплоизоляции стенки сооружения снижает коэффициент теплопередачи и способствует сохранению тепла. В тоже время, интерес представляет влияние толщины стенки биогазового реактора на величину дополнительных источников теплоты.

Ниже приведены результаты расчетов по оценке влияния толщины стенки цилиндрического биогазового реактора и температуры внешней среды на выбор мощности дополнительных источников теплоты. В расчетах были использованы результаты общего решения уравнения теплопроводности Фурье в слоистых средах [10-11].

Физическая и математическая модель биореактора представлялась в форме сплошного цилиндра радиусом  $R_1$  (рабочий объем реактора) и высотой  $H$ , окруженного цилиндрической оболочкой (стенкой) с толщиной  $\Delta$  с наружным радиусом конструкции  $R_2 = R_1 + \Delta$ . При этом допускалось, что источники теплоты распределены по объему реактора равномерно, а также учитывали температуру внешней среды и условия теплообмена на внешней поверхности реактора.

На рисунке 1 представлена расчетная поверхность мощности источников теплоты при изменении наружной температуры воздуха  $T_c$  и толщины кирпичной стенки  $\Delta$ .

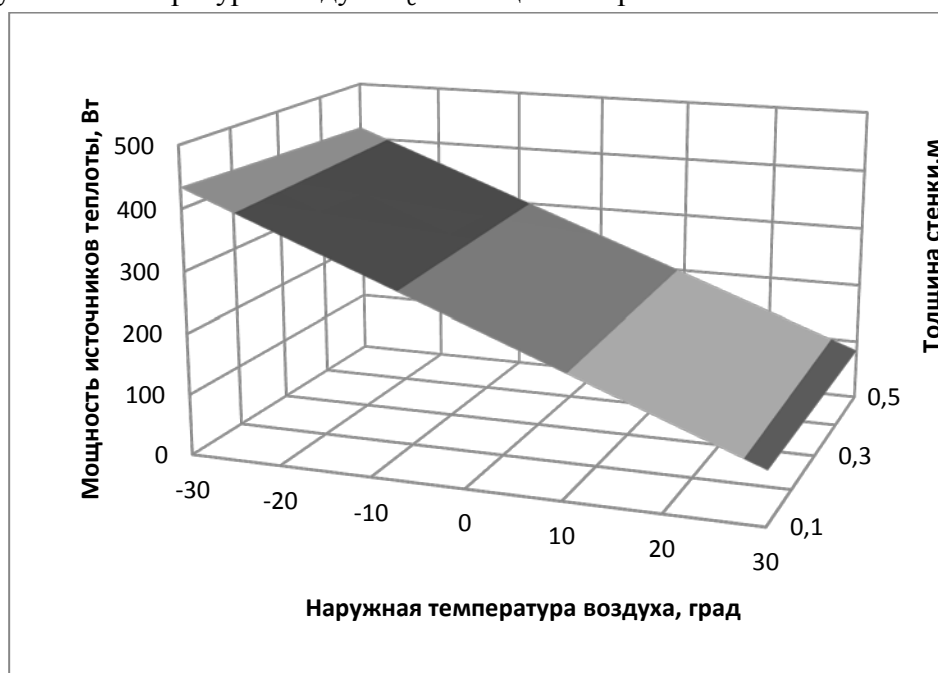


Рисунок 1 – Расчетные значения величины дополнительных (сторонних) источников теплоты при изменении наружной температуры воздуха  $T_c$  и толщины кирпичной стенки  $\Delta$ .

На основе проведенных расчетов можно заключить, что влияние толщины стенки реактора  $\Delta$  на величину мощности дополнительных источников теплоты незначительно. Однако температура наружной среды вне реактора  $T_c$  является значимым фактором. В расчетах использовались свойства кирпичной стенки, обладающей не только хорошей теплоемкостью, но и теплопроводностью. Следовательно при строительстве биогазовых реакторов, в первую очередь, необходимо учитывать среднегодовые температуры в конкретной местности. Игнорирование этого фактора, даже при достаточной толщине стенок биореактора, будет приводить к увеличению энергозатрат на дополнительный подогрев сырья при сбраживании.

#### **Заключение.**

Приведены расчеты по оценке величины мощности дополнительных источников теплоты для подогрева сырья от толщины стенки цилиндрического биогазового реактора. На основе проведенных расчетов можно заключить, что влияние толщины стенки реактора  $\Delta$  на величину мощности дополнительных источников теплоты незначительно. Однако температура наружной среды вне реактора  $T_c$  является значимым фактором. В расчетах использовались свойства кирпичной стенки, обладающей не только хорошей теплоемкостью, но и теплопроводностью. Следовательно при строительстве биогазовых реакторов, в первую очередь, необходимо учитывать среднегодовые температуры в конкретной местности. Игнорирование этого фактора даже при достаточной толщине стенок биореактора будет приводить к увеличению энергозатрат на дополнительный подогрев сырья при сбраживании.

#### **Список использованных источников:**

1. Вендин, С. В. Обоснование параметров терморегуляции и перемешивания при анаэробном сбраживании / С. В. Вендин, А. Ю. Мамонтов // Сельский механизатор. 2016. №7. С. 20-22.
2. Вендин, С. В. К выбору теплоизоляции для корпуса биогазового реактора с учетом дополнительного подогрева сырья / С. В. Вендин, А. Ю. Мамонтов, Ю. Н. Ульянов // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2020. № 2 (26). С. 30 – 36.
3. Вендин, С. В. Анализ свойств теплоизоляционных материалов для условий нестационарной теплопередачи / С. В. Вендин, Ю. Н. Ульянов // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2019. №4 (24). С. 30-36.
4. Голуб, Н. Б. Получение биогаза при очистке концентрированных сточных вод спиртзавода / [Н. Б. Голуб](#), [М. В. Потапова](#), [М. В. Шинкарчук](#), [А. А. Козловец](#) // Альтернативная энергетика и экология. 2018. №25-30. С. 51-59.
5. Зазуля, А. Н. Основные направления использования биогаза в мире / А. Н. Зазуля, Н. А. Хребтов // «Наука в центральной России» Научно-производственный периодический журнал. 2008. № 2. С. 31-35.
6. Ковалёва, М. Ю. Белгородская область: альтернативная энергия – спутник Агропрома / М. Ю. Ковалёва // Альтернативная энергетика и экология. 2012. № 3. С. 112-115.
7. [Салюк](#), А. И. Метановая ферментация куриного помета при пониженной концентрации ингибиторов / [А. И. Салюк](#), [С. А. Жадан](#), [Е. Б. Шаповалов](#), [Р. А. Тарасенко](#) // Альтернативная энергетика и экология. 2017. №4-6. С. 89-98.
8. Трахунова, И. А. Эффективность процесса анаэробного сбраживания при различных режимах гидравлического перемешивания / И. А. Трахунова, Г. Р. Халитова, Ю. В. Карасева // Альтернативная энергетика и экология. 2011. № 10. С. 90-94.

9. Чернова, Н. И. Получение газообразных продуктов при пиролизе биомассы водорослей / [Н. И. Чернова](#), [С. В. Киселева](#), [О. М. Ларина](#), [Г. А. Сычев](#) // Альтернативная энергетика и экология. 2018. №31-36. С. 23-34.

10. Vendin, S. V. On the Solution of Problems of Transient Heat Conduction in Layered Media / S. V. Vendin // [International Journal of Environmental and Science Education](#). 2016. Т. 11. № 18. С. 12253-12258.

11. Vendin, S. V. Calculation of nonstationary heat conduction in multilayer objects with boundary conditions of the third kind / S. V. Vendin // [Journal of Engineering Physics and Thermophysics](#). 1993. Т. 65. № 2. С. 823-825.

*Мамонтов Артем Юрьевич, аспирант, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, [elapk@mail.ru](mailto:elapk@mail.ru)*

*Андреев Артем Евгеньевич, магистрант, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, [elapk@mail.ru](mailto:elapk@mail.ru)*

*Вендин Сергей Владимирович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, [elapk@mail.ru](mailto:elapk@mail.ru)*

#### THE INFLUENCE OF THE WALL THICKNESS OF THE BIOGAS REACTOR ON THE VALUE OF THE CAPACITY OF ADDITIONAL HEAT SOURCES FOR RAW MATERIAL HEATING

Mamontov A.Yu., Andreev A.E., Vendin S.V.

FGBOU VO Belgorod SAU

Annotation: the article presents calculations to estimate the power value of additional heat sources for heating raw materials from the wall thickness of a cylindrical biogas reactor. The calculations used the results of the general solution of the Fourier heat equation in layered media. In this case, the properties of a brick wall were used, which has not only good heat capacity, but also thermal conductivity. Based on the calculations performed, it can be concluded that the effect of the reactor wall thickness on the power of additional heat sources is insignificant. However, the ambient temperature outside the reactor is a significant factor. Therefore, when building biogas reactors, first of all, it is necessary to take into account the average annual temperatures in a particular area. Ignoring this factor even with a sufficient wall thickness of the bioreactor will lead to an increase in energy consumption for additional heating of raw materials during fermentation. Key words: biogas, bioreactor, heat sources, temperature field, power.

*Mamontov Artem Yurievich, postgraduate student, Belgorod State Agrarian University, [elapk@mail.ru](mailto:elapk@mail.ru)*

*Andreev Artem Evgenievich, Master's student, Belgorod State Agrarian University, [elapk@mail.ru](mailto:elapk@mail.ru)*

*Vendin Sergey Vladimirovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department, Belgorod State Agrarian University, [elapk@mail.ru](mailto:elapk@mail.ru)*

## РАЗРАБОТКА СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗАРЯДКОЙ АККУМУЛЯТОРОВ ДЛЯ ВЕТРО-СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Сорокин В.Ю., Вендин С.В.

ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ

***Аннотация:** в статье представлены результаты исследований по разработке схемы зарядного устройства для ветро-солнечной электростанции малой мощности. В состав предлагаемой структурной схемы ветро-солнечной электростанции малой мощности входят: генератор ветроэлектрической установки; фотоэлектрические модули солнечной электростанции; аккумуляторная батарея ветровой электростанции; аккумуляторная батарея солнечной электростанции; контакты управляющих реле устройства управления режимами работы и зарядки аккумуляторов. Особенностью разработанной схемы является то, что устройство управления режимами работы и зарядки аккумуляторов включает традиционные контроллеры зарядки ветровой и солнечной электростанции, а также головной контроллер управления и устройства развязки аккумуляторов для возможности подзарядки аккумуляторов соседней системы при неблагоприятных погодных условиях. Головной контроллер управляет четырьмя управляющими реле. Два коммутирующих реле служат для подключения (отключения) цепи зарядки одной из систем к аккумулятору другой системы. Еще два коммутирующих реле служат для управления работой аккумуляторов ветровой и солнечной электростанций при работе на общую электрическую нагрузку. Режимы работы и алгоритм управления определяются требованиями к заряду и эксплуатации аккумуляторов.*

***Ключевые слова:** электроснабжение, возобновляемые источники энергии, ветро-солнечные электростанции, аккумулятор, зарядка, схема управления.*

### **Введение.**

Важным фактором развития и устойчивого производства сельскохозяйственной продукции является обеспечение надежности электроснабжения и качества электроэнергии [1-4 и др.]. При этом существенным дополнением к существующим системам энергоснабжения является использование возобновляемых и альтернативных источников энергии: солнечного излучения, ветра, потоков воды, геотермальной энергии и энергии биомассы. Эти тенденции отражены и в «Энергетической стратегии России на период до 2030 года».

По существующим оценкам технический ресурс возобновляемых источников энергии (преобладающую долю в котором имеет потенциал использования энергии солнца и энергии ветра) составляет не менее 4,5 млрд.т у.т. в год, что более чем в четыре раза превышает объем потребления всех топливно-энергетических ресурсов России. Экономический потенциал ВИЭ зависит от существующих экономических условий; стоимости, наличия и качества запасов ископаемых топливно-энергетических ресурсов; региональных особенностей и т.д. Указанный потенциал меняется во времени и должен специально оцениваться в ходе подготовки и реализации конкретных программ и проектов по развитию ВИЭ (с учетом комплексной оценки их конкретного вклада в достижение указанных



стратегических целей).

Возобновляемая энергетика способна внести значительный вклад в решение важнейшей проблемы энергообеспечения децентрализованных районов России на долю которых приходится до 70% территории страны с населением до 20 млн. человек.

Наиболее перспективным вариантом построения автономных энергетических комплексов представляется интеграция в дизельную систему электроснабжения ветровых и фотоэлектрических станций.

В тоже время, для автономных электростанций малой мощности, интеграция ВИЭ с дизельными электростанциями удорожает энергетическую систему. Следовательно, необходимо использовать возможности самих ветровых и солнечных электростанций.

Самой главной проблемой при эксплуатации ветровых и солнечных электростанций малой мощности является обеспечение зарядки аккумуляторов этих электростанций, что усложняется при непостоянных и слабых (менее 4 м/с) в данной климатической зоне ветрах и при недостатке солнечного излучения.

В связи с этим возникает острая необходимость в разработке устройства зарядки аккумуляторов для ветро-солнечной электростанции малой мощности, обеспечивающего зарядку двух аккумуляторов при выключении одного из генераторов (ветер или солнце).

**Материалы и методы исследований.** В основу приведенных исследований положены методы патентного поиска и анализа конструкций автономных электростанций, а также методы анализа структурных схем ветро-солнечных электростанций.

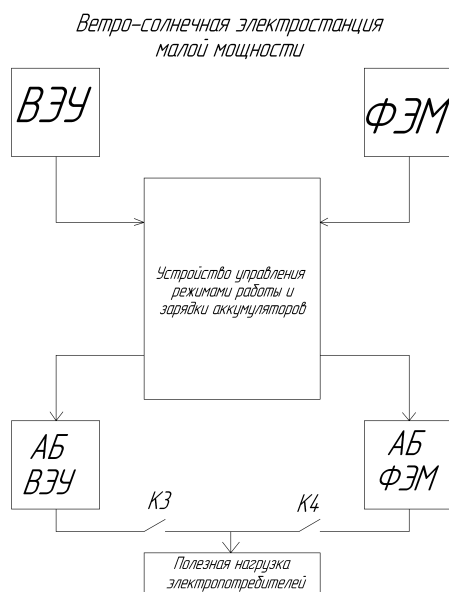
#### **Разработка зарядного устройства для ветро-солнечной электростанции малой мощности.**

Самой главной проблемой при эксплуатации ветровых и солнечных электростанций малой мощности является обеспечение зарядки аккумуляторов этих электростанций, что усложняется при непостоянных и слабых (менее 4 м/с), в данной климатической зоне, ветрах и при недостатке солнечного излучения. В связи с этим возникает острая необходимость в разработке устройства зарядки аккумуляторов для ветро-солнечной электростанции малой мощности, обеспечивающего зарядку двух аккумуляторов при выключении одного из генераторов (ветер или солнце) [5-10].

Основные факторы, влияющие на эффективность зарядки аккумуляторов, определяются не только энергетическим потенциалом ветра и солнечного излучения, но и спецификой самих применяемых аккумуляторов и особенностями их эксплуатации, выбором соответствующего оборудования управления работой электрической станции и процессом зарядки аккумуляторов. Как показывают исследования, ветровые и солнечные электростанции могут с успехом дополнять друг друга, работая на общую электрическую нагрузку. Задача состоит в разработке устройства зарядки аккумуляторов для ветро-солнечной электростанции малой мощности, обеспечивающего зарядку двух аккумуляторов при выключении одного из генераторов (ветер или солнце).

На рисунке 1 предлагается структурная схема ветро-солнечной электростанции малой мощности, которая базируется на проверенных классических схемах комплектации оборудования, но отличается устройством управления режимами работы и зарядки аккумуляторов, как для ветровой так и для солнечной электростанции. Особенностью разработанной схемы является то, что устройство управления режимами работы и зарядки аккумуляторов включает традиционные контроллеры зарядки ветровой и солнечной

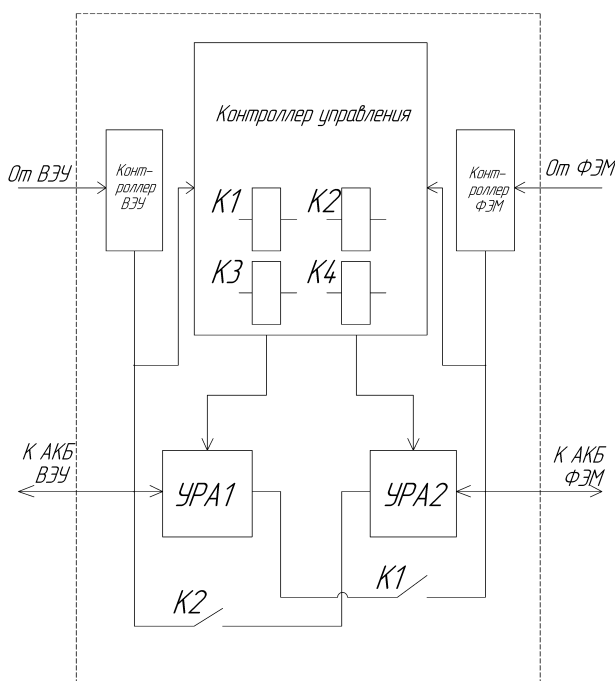
электростанции, а также головной контроллер управления и устройства развязки аккумуляторов для возможности подзарядки аккумуляторов соседней системы при неблагоприятных погодных условиях. Структурная схема устройства управления представлена на рисунке 2.



ВЭУ- генератор ветроэлектрической установки; ФЭМ – фотоэлектрические модули солнечной электростанции; АБ ВЭУ – аккумуляторная батарея ветровой электростанции; АБ ФЭМ – аккумуляторная батарея солнечной электростанции; К3, К4 –контакты управляющих реле

Рисунок 1 - Структурная схема ветро-солнечной электростанции малой мощности

*Устройство управления режимами работы и зарядки аккумуляторов*



К1, К2 – реле управления зарядкой аккумуляторов; К3, К4 – реле управления подключения электропотребителей

Рисунок 2 - Структурная схема устройства управления режимами работы и зарядки аккумуляторов

Головной контроллер управляет четырьмя управляющими реле К1, К2, К3 и К4. Коммутирующие реле К1 и К2 служат для подключения (отключения) цепи зарядки одной из систем к аккумулятору другой системы. Подключение осуществляется, с учетом степени зарядки аккумуляторов, по управляющим сигналам поступающим к устройствам развязки аккумуляторов УРА1 или УРА2 [11]. Коммутирующие реле К3 и К4 служат для управления работой аккумуляторов ветровой и солнечной электростанций при работе на общую электрическую нагрузку.

Режимы работы и алгоритм управления определяются требованиями к заряду и эксплуатации аккумуляторов.

Вариант применяемого оборудования для конкретного исполнения ветро-солнечной электростанции малой мощности представлен в таблице 1

Таблица 1 - Комплект оборудования для ветро-солнечной электростанции

Наименование оборудования	Модель	Количество, шт
<b>Солнечная электростанция в том числе:</b>		
Фотоэлектрический модуль 145Вт12В	CHN145-36P ChinaLand	2
Контроллер заряда	EP Solar Tracer MPPT 3215RN, 30А	1
Выносная панель индикации	EPSolar MT-5	1
Аккумулятор	Leoch LPG 12100	2
Монитор состояния АБ	Studer SBM-02	2
Система крепления солнечных панелей	Для 2-х модулей с регулируемым углом наклона 15- 30град	1
Солнечный кабель	FR-Cable 4 мм <sup>2</sup>	50
Коннектор	МС-4 совместимый	2
Плавкая вставка с держателем 25А	ППН-33-25А габ.О	2
<b>Ветровая электростанция в том числе:</b>		
Ветрогенератор трехлопастной	Sun Force DS-600 Вт 12/24В	1
Мачта	9,1 м трубчатая с растяжками для Sun Force	1
Светодиодный прожектор	FD-20W-12VDC 20Вт	1
Устройство защиты от импульсных помех для СБ	УЭФЭС-Ш 160/Юг	1
Автомат защиты выхода постоянного тока для ВЭУ	DC CBI-Q3 ЮЗА	1
Дополнительные материалы ( <u>боксы, провода, наконечники и пр</u> )		1

Задача состоит в отладке режимов работы комплекта оборудования в единую энергетическую систему, с определением оптимальных параметров устройства зарядки аккумуляторов для ветро-солнечной электростанции малой мощности с учетом выходных характеристик ветрогенератора и солнечных модулей.

Параметры АКБ можно выбирать непосредственно из технических характеристик, не опираясь на нагрузочные характеристики, так как последние ориентированы на активную, а не реактивную нагрузку (любые электронные приборы являются чисто реактивной (в отличие от активной) нагрузкой и потребляют энергию не более половины всего времени).

Основными параметрами АКБ, необходимыми для расчета мощности, являются его емкость  $C$ , и напряжение  $U$ , на его отводах. Емкость аккумулятора  $C$  измеряется в ампер-часах (АЧ), а при маленькой емкости – в миллиампер-часах (мАч) и определяется максимальным током, который он сможет выдавать в течение требуемого времени:

$$C = I \cdot T, \quad (1)$$

где  $I$  - ток разряда аккумулятора, А;  $T$  – время разряда, ч.

Энергия  $W$  накапливаемая в аккумуляторе, зависит как от его емкости  $C$ , так и от напряжения  $U$ :

$$W = C \cdot U, \quad (2)$$

где  $W$ - мощность аккумулятора, Вт·ч;  $U$  – напряжение аккумулятора (или аккумуляторной батареи), В.

Для варьирования параметрами (напряжением или мощностью) АКБ их можно соединять последовательно или параллельно. При последовательном соединении нескольких АКБ напряжение на крайних отводах составной батареи увеличивается пропорционально их количеству, а емкость не меняется. При параллельном соединении нескольких АКБ общая емкость увеличивается, а напряжение остается неизменным (другими словами, при параллельном подключении АКБ суммарная мощность увеличивается за счет увеличения тока, при последовательном соединении, за счет увеличения напряжения). В обоих случаях мощность увеличивается пропорционально количеству АКБ.

#### **Заключение.**

Разработана структурная схема зарядного устройства для ветро-солнечной электростанции малой мощности. Предложен вариант оборудования для конкретного исполнения ветро-солнечной электростанции малой мощности, а также методика выбора параметров аккумуляторной батареи.

Приведенные результаты исследований являются актуальными для повышения эффективности использования ветро-солнечных электростанций.

#### **Список использованных источников:**

1. Вендин, С. В. Оценка эффективности мероприятий по снижению несимметрии и несинусоидальности в распределительных сетях 0,4-10 кВ / С. В. Вендин, С. В. Килин, С. В. Соловьёв // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2018. № 2 (18). С. 3-19.
2. Вендин, С. В. Экспериментальные исследования несинусоидальности и несимметрии напряжений в электрических сетях 10 кВ / С. В. Вендин, С. В. Соловьев, С. В. Килин // Вестник ВИЭСХ. 2018. № 3 (32). С. 18-25.
3. Виноградов, А. В. Анализ основных составляющих эффективности систем электроснабжения сельских потребителей / А. В. Виноградов, А. В. Виноградова // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2019. – №3 (54). – С. 96-102.
4. Виноградов, А. В. Отключения в электрических сетях 0,4 кВ: количество, причины и контрмеры /А. В. Виноградов, В. Е. Большев, А. В. Виноградова // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2020. – №2 (58). – С. 77-81.
5. Елистратов, В. В. Оптимизация фотоэлектрических модулей при проектировании солнечных электростанций / В. В. Елистратов, Е. С. Аронова, М. З. Шварц // Труды Кубанского государственного аграрного университета. - 2012. - № 37. - С.259-263.
6. Калашник, В. И. Регулятор заряда аккумуляторных батарей от солнечных панелей / В. И. Калашник, К. Р. Казаров, В. А. Черников // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 2015. - №1. - С. 20-22.
7. Капустин, Н. С. Ветро-солнечная электростанция: актуальность применения и обоснование практической значимости / Н. С. Капустин. Сборник научных трудов по материалам Всероссийской научно-практической конференции.- Ярославская ГСХА. 2017. С.23-26.
8. Капустин, Н. С. Перспективы применения альтернативных источников энергии и пути их совершенствования / Н.С. Капустин. В сборнике: [Проблемы электрификации](#)

[сельского хозяйства](#) Сборник научных трудов по материалам Всероссийской научно-практической конференции. 2018. С. 10-12.

9. Капустин, Н. С. Вопросы повышения эффективности ветро-солнечных электростанций / Н. С. Капустин. Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные вопросы энергетики», посвящённой 40-летию Белгородского ГАУ. – п. Майский: ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2019.- С.155-159

10. Козюков, Д. А. Контроллеры заряда-разряда аккумуляторных батарей солнечных фотоэлектрических установок / Д. А. Козюков, Б. К. Цыганков // Инновационная наука. - 2015. № - 8-2 (8). - С. 4144.

11. Устройства развязки аккумуляторов. Режим доступа: <https://forum.cxem.net/index.php?/topic/132578>

*Сорокин Василий Юрьевич, аспирант, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, [elapk@mail.ru](mailto:elapk@mail.ru)  
Вендин Сергей Владимирович, доктор технических наук, профессор, заведующий  
кафедрой, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, [elapk@mail.ru](mailto:elapk@mail.ru)*

#### DEVELOPMENT OF A CIRCUIT FOR BATTERY CHARGING CONTROL FOR A WIND-SOLAR POWER PLANT

Sorokin V. Yu., Vendin S. V.  
FGBOU VO Belgorod GAU

**Abstract:** The article presents the results of research on the development of a charger circuit for a low-power wind-solar power plant. The structure of the proposed structural diagram of a low-power solar-wind power plant includes: a wind-power plant generator; photovoltaic modules of a solar power plant; wind farm storage battery; solar power station battery; contacts of the control relays of the device for controlling the operating modes and charging the batteries. A feature of the developed circuit is that the device for controlling the modes of operation and battery charging includes traditional controllers for charging a wind and solar power plant, as well as a head controller and battery decoupling devices for the possibility of recharging the batteries of a neighboring system in adverse weather conditions. The head controller controls four control relays. Two switching relays are used to connect (disconnect) the charging circuit of one of the systems to the battery of the other system. Two more switching relays are used to control the operation of the batteries of the wind and solar power plants when operating on a common electrical load. Operating modes and control algorithm are determined by the requirements for charging and operating batteries.

**Key words:** power supply, renewable energy sources, wind-solar power plants, battery, charging, control scheme.

*Sorokin Vasily Yurievich, postgraduate student, Belgorod State Agrarian University,  
[elapk@mail.ru](mailto:elapk@mail.ru)*

*Vendin Sergey Vladimirovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the  
Department, Belgorod State Agrarian University, [elapk@mail.ru](mailto:elapk@mail.ru)*

## АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ КАК МЕРА ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

А.Е. Кудрявцев, Е.П. Зацепин

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

***Аннотация.** В данной статье рассматриваются различные альтернативные источники энергии и анализируется их эффективность. Подвергается исследованию инновационная разработка компании Wind Catching Systems, которая позволяет генерировать в пять раз больше энергии за счет потоков ветра, чем традиционные ветряные турбины. Также уделяется внимание работе солнечных батарей и гибридной системе WindBox, позволяющей объединить в одном устройстве механизмы, работающие от солнца и ветра. Зеленые источники электричества в большинстве случаев осуществляют экологически чистую генерацию энергии, а также предоставляют возможность интегрировать их в основную сеть и использовать в качестве резервных элементов питания или же аккумуляторов для накопления. Они могут быть достаточно мобильными в своем применении, что является существенным преимуществом относительно других источников.*

***Ключевые слова:** альтернативные источники энергии, возобновляемость, мобильность, отсутствие выбросов*

**Введение.** Зеленая энергетика в настоящее время становится все более и более перспективным направлением. За счет небольшого количества выбросов вредных веществ в атмосферу, а также возможности интеграции с основной сетью использование альтернативных является очень эффективным методом повышения уровня электроснабжения [1].

**Основная часть.** Самыми популярными возобновляемыми источниками энергии по праву можно назвать солнце и ветер [2]. В основном меняется лишь масштаб установок. В данном исследовании особое внимание уделяется системе, которая состоит из большого количества турбин, улавливающих ветер, которые позволяют производить энергии больше, чем крупнейшая одиночная ветряная турбина. Разработка принадлежит компании Wind Catching Systems [3]. Особенностью ветроэнергетической системы является ее конструкция. Отличительным моментом от остальных турбин является то, что установка сконструирована как огромная квадратная решетка, высота которой составляет около 300 метров, а внутри решетки располагается достаточно большое количество лопастей маленького размера (рисунок 1). Решетка находится на платформе, которая способна плавать по воде и крепится ко дну. Основным нюансом является то, что существует проблема установки платформ на превышающей 20 м глубине, что означает их использование вблизи берега. По представленной информации инновационная разработка позволяет генерировать около 400 гВт/ч энергии при наиболее благоприятных условиях, а именно при самой высокой скорости ветра. Количество энергии, производимое гибридным устройством в рассматриваемом исследовании в пять раз превышает количество энергии, генерируемое самой мощной ветряной турбиной.

Для объяснения такой эффективной выработки электрической энергии есть несколько моментов. Самым основным пояснением является высота разработки. Она имеет достаточно высокие значения. Благодаря этому турбины попадают в радиус влияния достаточно высокоскоростных ветряных потоков, что существенно ускоряет турбины генератора. Также размер лопастей имеет достаточно высокое значение. По сравнению с традиционными лопастями 10 м, длина рассматриваемых составляет всего 1,8 метра. Это также непосредственным образом сказывается на скорости их вращения и количестве оборотов, что, в свою очередь влияет на масштаб генерируемой электрической энергии. Важным замечанием будет маленький размер лопастей, что значительно облегчает процесс производства, а также последующих этапов от сборки и до эксплуатации. Подобная система еще не имеет широкого повсеместного распространения, но после реализации потенциал ветроэнергетической отрасли заметно увеличится, ведь разработка обладает не только, внушительными размерами, но также и высокой и надежной работоспособностью, ведь срок службы может достигать до 50 лет.



Рисунок 1 – Инновационный ветрогенератор

Солнечная энергия также достаточно эффективная мера повышения электроснабжения. Световой поток можно применять не только для заряда фотоэлектрических установок, но также в теплоэнергетике [4]. Преобразование энергии у фотоэлектрических панелей происходит с эффективностью в 20%, что непосредственно связано с чистотой кремния, а также технологией его производства. Преимуществами солнечных станций по праву можно считать возобновляемость используемой энергии, а также бесшумная генерация. Отрицательным моментом является нестабильность солнечного света в зависимости от времени, а также необходимость больших площадей для увеличения количества самих установок и впоследствии производимой ими энергии. Также существенным недостатком можно назвать применяемые для их создания ядовитые и токсичные вещества, что является сложной проблемой при утилизации [5].

Разработкой с большим потенциалом стал ветрогенератор, используемый совместно с

солнечными панелями WindBox (рисунок 2). Их основное применение на самом краю многоэтажных высоток для более эффективного поглощения турбинами самых скоростных ветров, которые появляются в этих зонах в виде скользящих потоков [6]. Количество энергии, которое можно получить на выходе равно 2800 кВт/ч, а площадь, занимаемая системой 4 м<sup>2</sup>. Важным аспектом является потенциальная возможность работать в режиме аккумулятора, накапливая необходимое количество энергии и отдавая обратно в момент достаточного количества в основной сети [7].

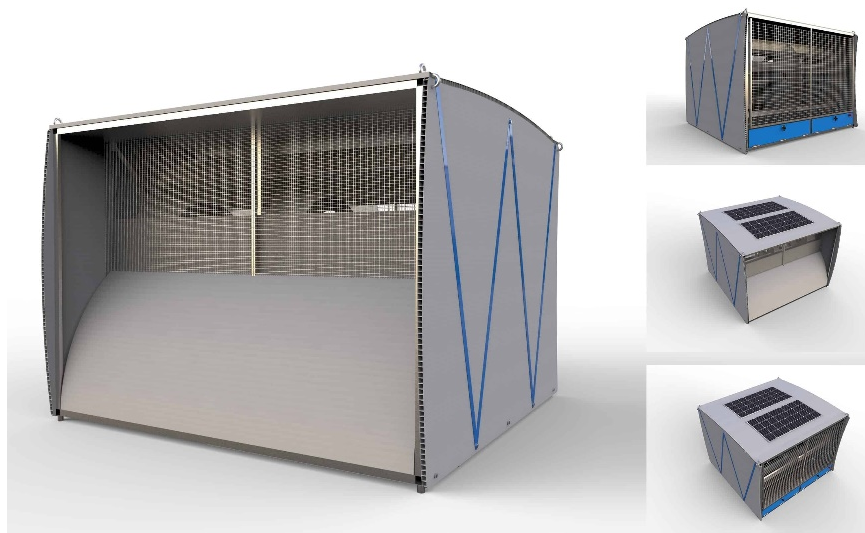


Рисунок 2 – Гибридная установка WindBox

**Выводы.** Таким образом, источники распределенной генерации играют важную роль в системе электроснабжения, позволяя эффективным образом дополнять питающую сеть, являясь в тоже время и производителем электрической энергии и ее накопителем. Конечно, выработка энергии является совершенно нестабильной и зависит от времени суток и погодных условий, но адаптация под существующие условия позволяет грамотно расходовать ресурс применяемых установок.

#### Список используемых источников

1. Истомина В.Ю. Альтернативные источники энергии и их эффективность в строительной сфере [Текст] / В.Ю. Истомина // Инновации, технологии и бизнес – Воронеж, 2019. №1(5) – с. 19 – 23.
2. Алдашева Н.Т. Перспективы перехода к альтернативным источникам энергии с рассмотрением вопросов энергоэффективности и энергосбережения [Текст] / Н.Т. Алдашева, Б.С. Чилдебаев // Бюллетень науки и практики – Ош, 2021. №7 – с. 185 – 189.
3. Плавающий многотурбинный ветрогенератор Wind Catching Systems обеспечит энергией до 100 тыс. домовладений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://3dnews.ru/1048344/plavuchiy-mnogoturbinniy-vetrogenerator-wind-catching-systems-obespechit-energiyu-do-100-tis-domovladieny> (дата обращения: 10.12.2021)
4. Древаль М.А. Альтернативные источники энергии [Текст] / М.А. Древаль // Язык и мировая культура: взгляд молодых исследователей – Томск, 2014. – с. 179 – 182.
5. Каршева К.О. Развитие альтернативных источников энергии [Текст] / К.О.



Каршева, Р.О. Резниченко, В.В. Баранов, А. Жылкыайдарова, М. В. Савельев // Современные проблемы электроэнергетики и пути их решения – Махачкала, 2019. – с. 120 – 123.

6. BuildingTech. Стартап Wind my Roof разработал гибридный ветро-солнечный электрогенератор для установки на крыше [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://building-tech.org/Энергия/startap-wind-my-roof-razrabotal-gybrydnyy-vetro-solnechniy-elektrogenerator-dlya-ustanovky-na-krishe> (дата обращения: 10.12.2021)

7. Адрианова Л. П. Ветродвигатель для построения автономных крышных ветроэлектростанций в изолированных зонах [Текст] / Л.П. Адрианова, З.Х. Павлова, М.И. Хакимьянов, Р.Т. Хазиева / Интеллектуальный и кадровый потенциал современной науки. – Петрозаводск, 2020. – с. 80 – 86.

*А.Е. Кудрявцев, Е.П. Зацепин*

*ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»*

#### ALTERNATIVE ENERGY SOURCES AS A MEASURE TO INCREASE ENERGY EFFICIENCY

Abstract. This article discusses various alternative energy sources and analyzes their efficiency. An innovative development of Wind Catching Systems is being investigated, which allows generating five times more energy due to wind flows than traditional wind turbines. Attention is also paid to the operation of solar panels and the hybrid WindBox system, which allows combining mechanisms powered by the sun and wind in one device. Green electricity sources in most cases carry out environmentally friendly energy generation, and also provide an opportunity to integrate them into the main network and use them as backup batteries or accumulators for accumulation. They can be quite mobile in their application, which is a significant advantage relative to other sources.

Key words: alternative energy sources, renewable, mobility, no emissions.

*Kudryavtsev A.E., master's student, e – mail: [tembich001@mail.ru](mailto:tembich001@mail.ru) ,*

*Zatsepin E.P., Ph.D., e – mail: [ezats@mail.ru](mailto:ezats@mail.ru) ,*

*Lipetsk State Technical University, 39805, Lipetsk, Moskovskaya, 30.*

УДК 519.6:62-135

**ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ КОЛЕБАНИЙ И СТАТИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ РАДИАЛЬНЫХ РАБОЧИХ КОЛЕС ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ТУРБОМАШИН ДЛЯ АПК**

О.В. Репецкий, Хоанг Динь Кыонг

Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского

***Аннотация:** Радиальные рабочие колеса турбомашин – это сложные вращающиеся детали машин, являющиеся критическими важными деталями для определения долговечности и безопасности компонента. Структурные повреждения оказываются конструкцию вибрацией, отрывания одной или нескольких лопастей. Требование структурной целостности часто противоречит облегчению конструкции и высокой аэродинамической эффективности. Так, что в процессе проектирования задача исследования прочности и надежности радиальных рабочих лопаток от напряжений и собственных частот колебаний радиальных рабочих лопаток энергетических турбомашин очень важна. Также при проектировании радиальных лопаточных дисков, применяемых в АПК, проводится множество численных и экспериментальных испытаний. Испытания требуются большие усилия на испытательных стендах и образцах. Таким образом, расчеты на прочность и компьютерное моделирование технических процессов радиальных рабочих колесах, применяемых в АПК, являются актуальными на стадиях проектирования, доводки и практической эксплуатации. Эти расчеты позволяют существенно сократить объем дорогостоящих экспериментальных исследований и уменьшить сроки конструирования новых машин.*

***Ключевые слова:** радиальная лопатка, метод конечных элементов, рабочее колесо, собственная частота, статическое напряжение, турбомашин, форма колебаний.*

**Введение.** Для тестового измерения собственных частот колебаний радиального рабочего колеса, применяемого для вентиляционных процессов в АПК, с учетом вращения был разработан экспериментальный стенд [1] где возбудитель - магнит был установлен в непосредственной близости от опорной плиты. Вибрационный отклик регистрировался тензодатчиком, который был приклеен к опорной пластине в местах сильных радиальных деформаций собственных форм и подавался на быстрый преобразователь Фурье (БПФ) через передаточные контактные кольца. Вся установка для измерения собственных частот радиального рабочего колеса при вращении показана на Рис. 1.

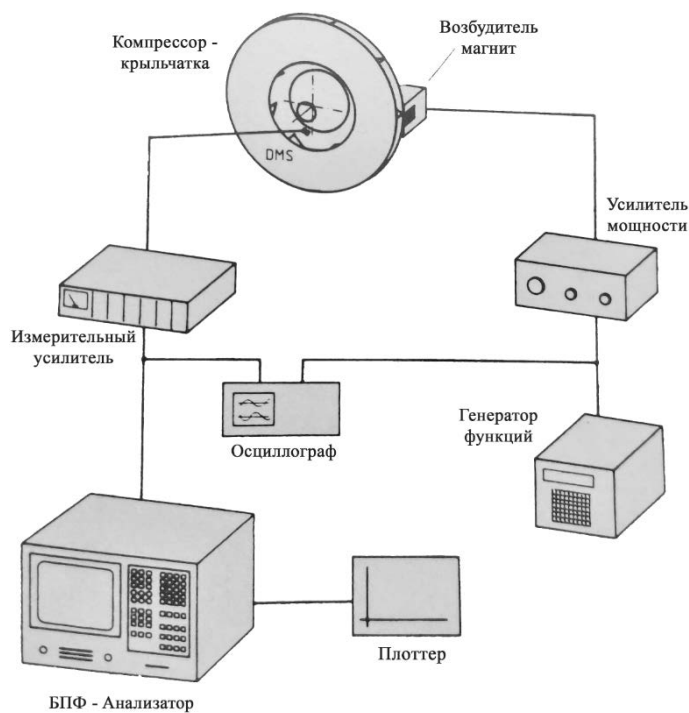
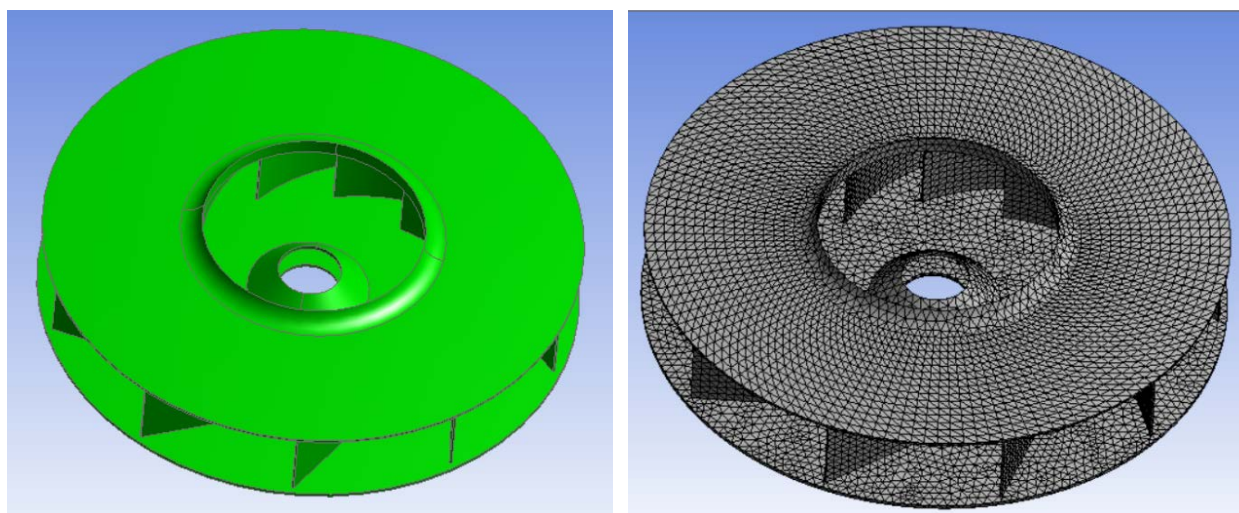


Рисунок 1 – Экспериментальная установка для анализа собственных частот колебаний радиальных рабочих колес энергетических турбомашин с учетом вращения

В спектре отклика может видеть четкие пики, которые можно четко отнести к ранее определенным собственным частотам. Частоты немного сдвинуты по сравнению с частотами при измерении с электродинамическим возбудителем. Так, что можно проследить до его массового влияния, а также многократных реконструкций за это время и связанных с этим незначительных системных изменений. Все результаты эксперимента для измерения собственных частот радиального рабочего колеса с 10-ю лопатками представлены в таблицах [1].

### Материалы и методы исследования

Расчеты на прочность и компьютерное моделирование технических процессов являются актуальными на стадиях проектирования, доводки и эксплуатации энергетических транспортных и других турбомашин. Метод конечных элементов (МКЭ) является актуальным методом, который обычно используется в технических областях в различных вычислительных программных комплексах, например коммерческих системах, таких как ANSYS WORKBENCH, SOLID WORKS или инициативных пакетам программ, например BLADIS+ [2,3,4] для решения задач статики, колебаний и расчета ресурса различных технических систем. МКЭ имеет общий алгоритм, который позволяет быстро выполнить расчеты различных вариантов сложных конструкций [3,4,5]. Для исследования динамических характеристик колебаний и прогнозирования долговечности лопаточных дисков турбомашин МКЭ является самым эффективным инженерным средством и применен во многих научно-практических работах и вопросах цифровизации. Общий вид и математическая модель на основе МКЭ радиального рабочего колеса с покрывным диском фирмы Schiele&Co (Германия) для подачи воздуха представлена на рис. 1а и 1б соответственно.



а б  
Рисунок 2 – Радиальное рабочее колесо с 10-ю лопатками  
(а – общий вид, б – конечноэлементная модель)

Основные механические характеристики имеют вид: материал рабочего колеса – сталь, модуль Юнга –  $2,1 \cdot 10^5$  Мпа, плотность –  $7850 \text{ кг/м}^3$ , коэффициент Пуассона – 0.3. Общий вид рабочего колеса представлен на Рис. 2а, где конструкция объекта была жестко закреплена по ободу диска. В качестве конечноэлементной модели применяется конечный элемент TET10 программы ANSYS WORKBENCH с общим количеством конечных элементов – 58382 и 115590 узловыми точками. Количество степеней свободы составляет – 346770 (Рис. 2б).

Уравнения движения с использованием МКЭ для статики и свободных колебаний могут быть описаны в виде [7,8,9]:

$$([K_E] + [K_G] + [K_R]) \cdot \{\delta\} = \{F_\Omega\} + \{F_T\} + \{F_G\}, \quad (1)$$

а для свободной вибрации:

$$[M] \{\ddot{\delta}\} + [C] \{\dot{\delta}\} + ([K_E] + [K_G] + [K_R]) \{\delta\} = 0, \quad (2)$$

где  $\{\delta\}$  - вектор смещения,  $[K_E]$  и  $[M]$  - матрицы упругой жесткости и массы, соответственно,  $[K_G]$  - матрица геометрической жесткости, зависящая от скорости и температуры,  $[K_R]$  - дополнительная матрица жесткости, возникающая в результате вращения,  $\{F_\Omega\}$ ,  $\{F_T\}$ ,  $\{F_G\}$  - векторы, соответствующие силам я вращения, температурой и давлением газа соответственно,  $[C]$  - матрица Кориолиса.

### Результаты и обсуждение

На Рис.3 представлены 6-ть основных форм колебаний для радиального рабочего колеса с 10-ю лопатками. Каждая форма обладает разнообразной характерной деформацией, по критерию количества узловых диаметров и на числа узловых окружностей ( $n / m$ ), определяющий форму 3 – 0/0, форму 1 – 1/0, форму 14 – 0/1, форму 7 – 1/1, форму 5 – 2/0, форму 10 – 5/0.

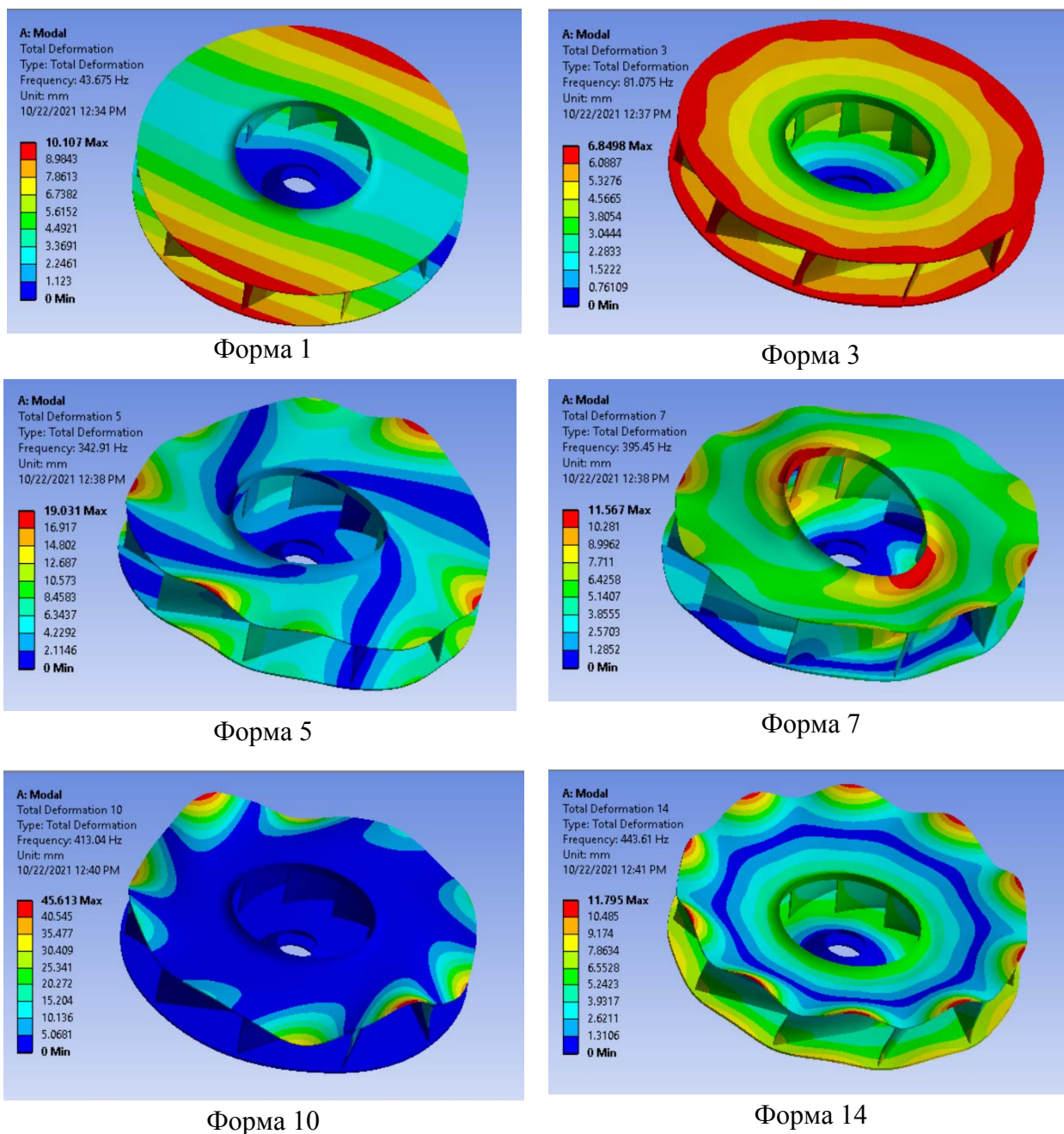


Рисунок 3 – Форма колебаний и собственные частоты колебаний радиальных рабочих колес энергетических турбомашин в программе ANSYS WORKBENCH.

Таблица 1. Значения собственных частот для радиального рабочего колеса в эксперименте и программах ANSYS WORKBENCH и BLADIS + [1].

Форма n / m	Эксперимент, Гц	Собственные частоты без учета вала, Гц (ANSYS- слева и BLADIS + справа).		Отклонение $\Delta f$ , %
0/0	-	81,075	-	-
1/0	44	43,675	-	0,74
0/1	-	443,61	-	-
1/1	-	395,45	-	-
2/0	341	342,91	349,0	0,56
5/0	-	413,04	402,1	-

Анализ таблицы 1 показал что, значения собственных частот колебаний от эксперимента для формы 1 отклоняется на 0,74%, а для формы 5 на 0,56%.

На следующем этапе анализа рассмотрены расчеты статических напряжений с учетом вращения радиального рабочего колеса.

Для анализа прочности и надежности радиального рабочего колеса при проектировании компрессорного колеса, выполнены численные исследования статического напряженно-деформированного состояния (НДС) и собственных частот колебаний при оборотах вращения: 5 (1/s), 10 (1/s), 15 (1/s), 20 (1/s), 30 (1/s), 40 (1/s), 50 (1/s), 60 (1/s).

Рисунок 4 и таблица 2 показывают расчеты статического напряжения  $\sigma_s$  в колесе с учетом вращения.

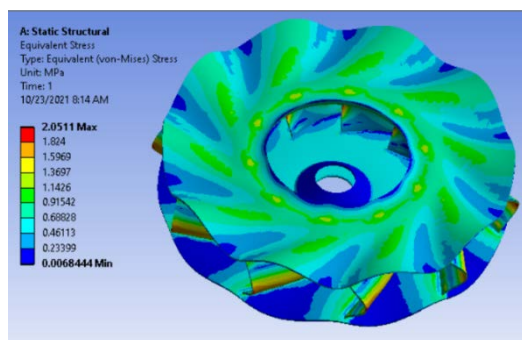
Таблица 2 - Значение статического напряжения  $\sigma_s$  для радиального рабочего колеса с 10-ю лопатками с учетом вращения, МПа

Скорость вращения колеса, 1/s	Experiment, МПа	Максимальные статические напряжения, Мпа	Отклонение $\Delta f$ , %
5	-	2,0511	-
10	-	8,2046	-
15	-	18,460	-
20	32	32,818	2,56
30	-	74,841	-
40	-	131,270	-
50	-	205,11	-
60	-	295,36	-

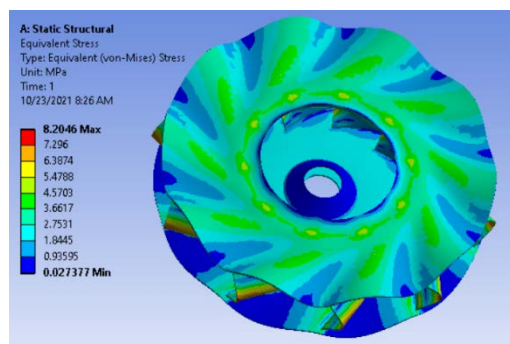
Таблица 3 - Расчеты значения собственных частот колебаний для радиального рабочего колеса 10-и лопаток с учетом вращения, Гц

Форма	Собственные частоты колебаний, Гц								
	0 (1/s)	5 (1/s)	10 (1/s)	15 (1/s)	20 (1/s)	30 (1/s)	40 (1/s)	50 (1/s)	60 (1/s)
1	43,675	43,921	44,644	45,822	47,421	51,711	57,167	63,477	70,399
2	43,682	43,927	44,649	45,827	47,425	51,716	57,171	63,48	70,402
3	81,075	81,157	81,375	81,735	82,237	83,654	85,596	88,025	90,9
4	275,54	275,61	275,86	276,28	276,86	278,48	280,69	283,39	286,53
5	342,91	343,1	343,7	344,69	346,07	349,95	355,25	361,87	369,69
6	343,0	343,25	343,85	344,84	346,22	350,1	355,4	362,02	369,84
7	395,45	395,61	396,06	396,8	397,83	400,76	404,79	409,87	415,93
8	395,62	395,79	396,23	396,98	398,01	400,93	404,96	410,04	416,1
9	406,27	406,73	408,05	410,25	413,31	421,91	433,63	448,22	456,0
10	413,04	413,45	414,77	416,96	420,01	428,59	440,29	452,29	465,36

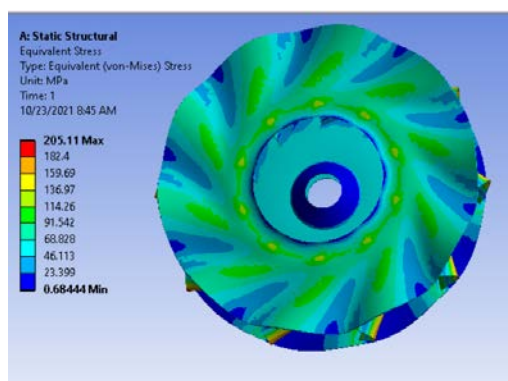
В таблице 3 представлены расчеты значения собственных частот колебаний с соответственным учетом вращения для радиального рабочего колеса 10-и лопаток в программе ANSYS WORKBENCH.



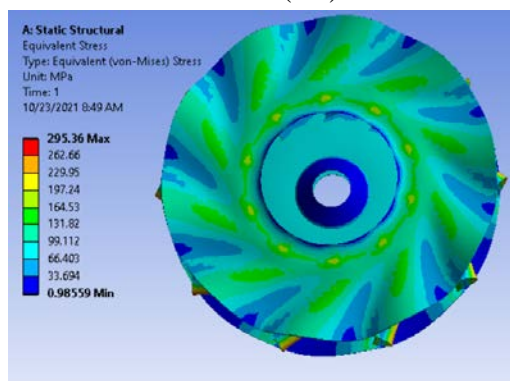
n = 5 (1/s)



n = 10 (1/s)



n = 50 (1/s)



n = 60 (1/s)

Рисунок 4 – Расчеты статического напряжения с учетом вращения радиального рабочего колеса с 10-ю лопатками с помощью программы ANSYS WORKBENCH.

Расчеты собственных частот колебаний для радиального рабочего колеса с 10-ю лопатками представлены в таблице 4 по критерию числа узловых диаметров и узловых окружностей ( $n / m$ ).

Таблица 4 - Значения собственных частот колебаний для радиального рабочего колеса с 10-ю лопатками в комплексной программе ANSYS WORKBENCH по критерию числового узлового диаметра на числовой узловой окружности.

Форма n / m	Значения собственных частот колебаний в программе ANSYS WORKBENCH, Гц								
	0 (1/s)	5 (1/s)	10 (1/s)	15 (1/s)	20 (1/s)	30 (1/s)	40 (1/s)	50 (1/s)	60 (1/s)
0/0	81,07	81,15	81,37	81,73	82,23	83,65	85,59	88,02	90,9
1/0	43,67	43,92	44,64	45,82	47,42	51,71	57,16	63,47	70,39
1/1	395,4	395,6	396,0	396,8	397,8	400,7	404,7	409,8	415,9
2/0	342,9	343,1	343,7	344,6	346,0	349,9	355,2	361,8	369,6
5/0	413,0	413,4	414,7	416,9	420,0	428,5	440,2	452,2	465,3

Значения собственных частот для радиального рабочего колеса с 10-ю лопатками в при эксперименте и различных вычислительных программах NISA, FEARS и ANSYS WORKBENCH представлены в таблице 5.

Таблица 5 - Значения собственных частот для радиального рабочего колеса с 10-ю лопатками в эксперименте и различных комплексных программах NISA, FEARS [1] и ANSYS WORKBENCH.

n / m	Комплексная программа	Значения собственных частот колебаний, Гц от скорости вращения (1/s)								
		0 (1/s)	5 (1/s)	10 (1/s)	15 (1/s)	20 (1/s)	30 (1/s)	40 (1/s)	50 (1/s)	60 (1/s)
0/0	NISA	98	98	98	98	99	100	102	105	108
	FEARS	92	92	93	93	94	-	-	-	-
	ANSYS	81,07	81,15	81,37	81,73	82,23	83,65	85,59	88,02	90,9
	Эксперимент	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1/0	NISA	45	45	46	46	48	51	56	61	67
	FEARS	45	46	47	50	53	-	-	-	-
	ANSYS	43,67	43,92	44,64	45,82	47,42	51,71	57,16	63,47	70,39
	Эксперимент	44	46	47	49	52	-	-	-	-
2/0	NISA	325	325	326	327	328	332	337	343	350
	FEARS	340	340	341	341	342	345	347	354	362
	ANSYS	342,9	343,1	343,7	344,6	346,0	349,9	355,2	361,8	369,6
	Эксперимент	341	341	343	344	345	-	-	-	-

Диаграмма Кэмпбелла показана на рисунке 5, где горизонтальная ось представляет скорость вращения ротора, а вертикальная ось обозначает собственную частоту колебаний. Кривые динамических частот указывают взаимосвязь между собственными частотами и скоростями вращения для каждой формы колебания [10]. В диаграмме анализируются первые 5-ть форм колебаний 1,3,5,7,10.

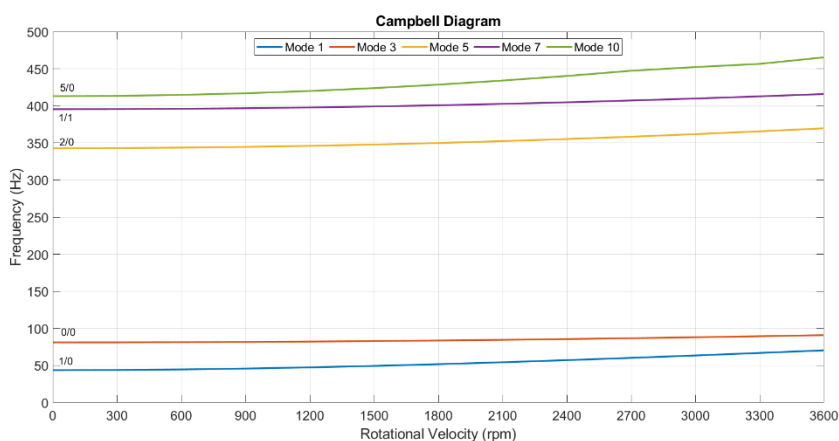


Рисунок 5 – Диаграмма Кэмпбелла для радиальных рабочих колес с 10-ю лопатками

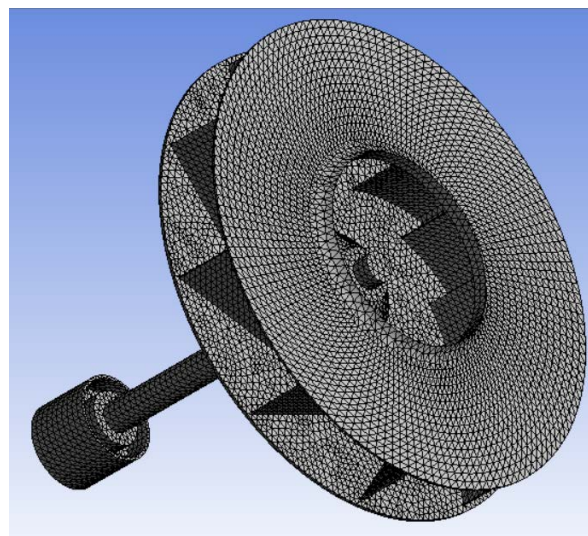
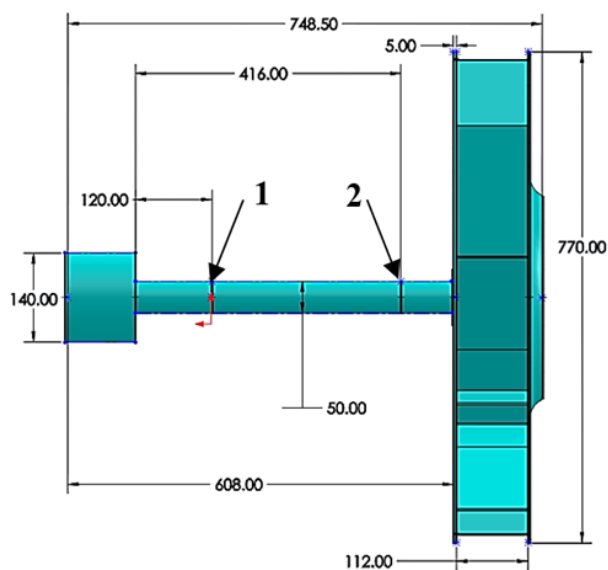
Отмечается, что расчеты собственных частот колебаний для радиального рабочего колеса с 10-ю лопатками в программе ANSYS WORKBENCH дают результаты приближенные к эксперименту для n / m (1/0 и 2/0), которые представлены в таблице 6.



Таблица 6 - Значения собственных частот колебаний с 10-ю лопатками по сравнению к эксперименту в комплексной программе ANSYS WORKBENCH.

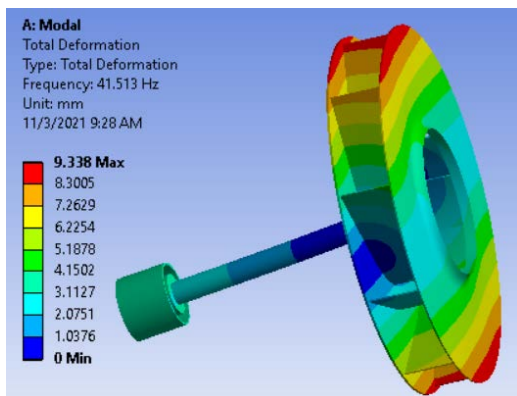
n / m	Форма	Значения собственных частот колебаний, Гц от вращения (1/s)				
		0 (1/s)	5 (1/s)	10 (1/s)	15 (1/s)	20 (1/s)
1/0	№1, расчет	43,67	43,92	44,64	45,82	47,42
	№1, эксперимент	44	46	47	49	52
	Отклонение $\Delta f$ , %	0,74	4,52	5,01	6,49	8,81
2/0	№5, расчет	342,9	343,1	343,7	344,6	346,0
	№5, эксперимент	341	342	343	344	345
	Отклонение $\Delta f$ , %	0,56	0,32	0,2	0,2	0,31

На следующей этапе исследована модель радиального рабочего колеса с валом и 10-ю лопатками Рис. 6. Конструкция модели вала с радиальным рабочим колесом 10-и лопаток была жестко закреплена по кольцу вала (см. «1» на Рис. 6а).

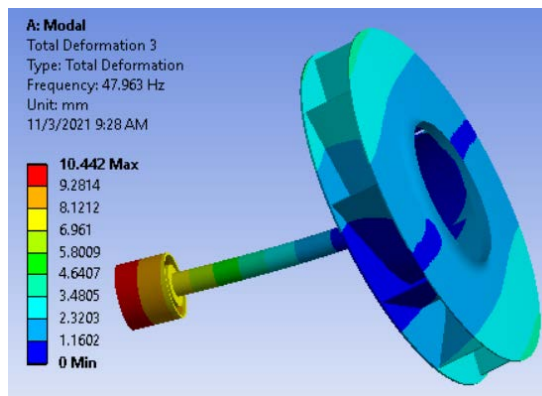


а б  
Рисунок 6 – Модель вала с радиальным рабочим колесом 10-и лопаток (а – общий вид; б – конечноэлементная модель)

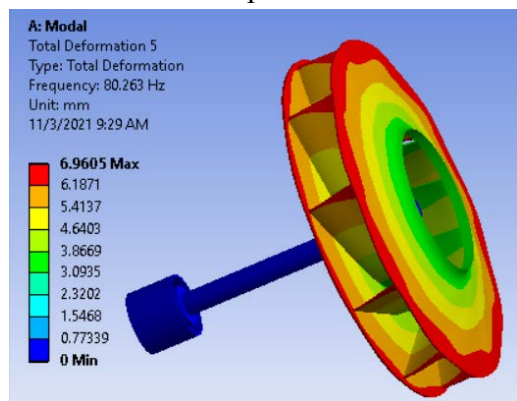
На Рис. 7 представлены восемь основных форм колебаний для модели вала с радиальным рабочим колесом с 10-ю лопатками. Каждая форма обладает разнообразной характерной деформацией.



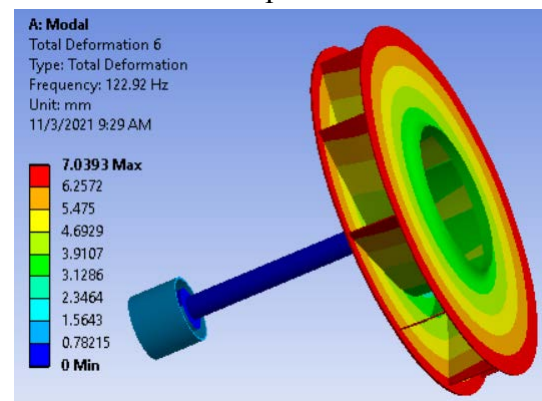
Форма 1



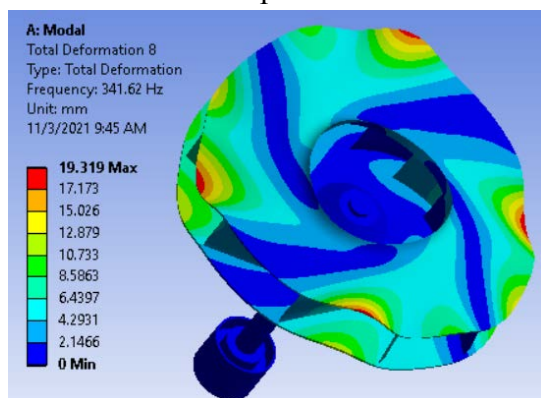
Форма 3



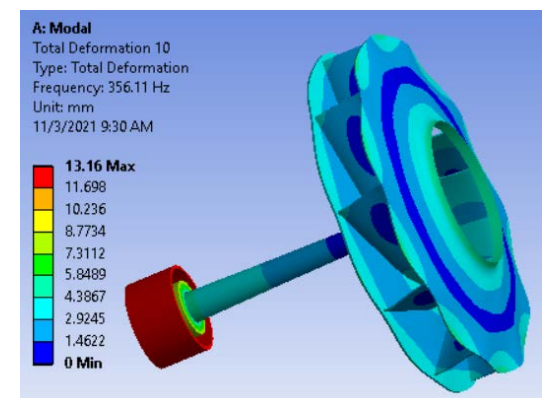
Форма 5



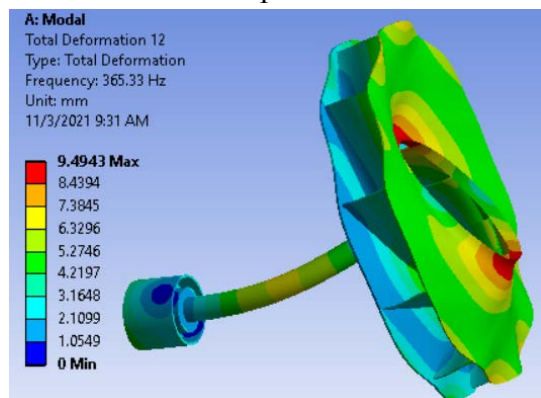
Форма 6



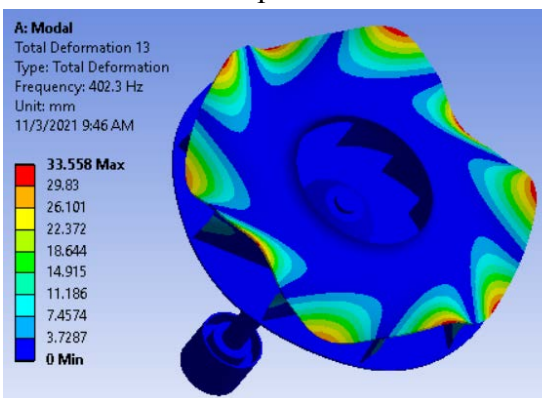
Форма 8



Форма 10



Форма 12



Форма 13

Рисунок 7.- Формы колебаний для модели вала с радиальным рабочим колесом

Все значения собственных частот колебаний модели без учета вала для 8-ми основных формах колебания указаны в таблице 7. Кроме значений собственных частот колебаний на

Рис.7 указаны значения деформацией в миллиметрах для 9-и основных форм колебания. Все максимальные значения деформацией представлены в таблице 8. Анализ таблицы 7 показал что, по сранению значения собственных частот колебаний от эксперимента для формы 1 отклоняется на 5,65%, а для формы 8 на 0,18%.

Таблица 7. Значения собственных частот колебаний для этой модели в программе ANSYS WORKBENCH и BLADIS + .

Номер формы	n / m	Эксперимент, Гц	Собственные частоты модели без учета вала, Гц ANSYS (слева) и BLADIS + (справа).		Максимальные значения деформацией без учета вала, мм
5	0/0	-	80,263	-	6,9605
6		-	122,92	-	7,0393
1	1/0	44	41,513	-	9,338
3		-	47,963	-	10,442
10	0/1	-	356,11	-	13,16
12	1/1	-	365,33	-	9,4943
19		-	425,99	-	11,729
8	2/0	341	341,62	349,0	19,319
13	5/0	-	402,3	402,1	33,558

Для анализа прочности и надежности радиальных рабочих колес от напряжений и собственных частот колебаний для этой модели в проектировании компрессорного колеса, выполнены численные исследования статического напряженно-деформированного состояния (НДС) при оборотах 5 (1/s), 10 (1/s), 15 (1/s), 20 (1/s), 30 (1/s), 40 (1/s), 50 (1/s), 60 (1/s) в таблице 8.

Таблица 8. Значение статического напряжения  $\sigma_s$  с учетом вращения, МПа

Скорость вращения вала, (1/s)	Эксперимент, Мпа	BLADIS+ (с валом), Мпа	Максимальные статические напряжения модели, Мпа
5	-	-	2,0339
10	-	-	8,1356
16	-	-	18,305
20	32	29,94	32,542
30	-	-	73,220
40	-	-	130,17
50	-	-	203,39
60	-	-	292,88

Расчеты собственных частот колебаний для этой модели собраны в таблице 9 по критерию числа узловых диаметров n и узловых окружностей m. В данной таблице представлены значения собственных частот колебаний форм: 1, 6, 8, 10, 12 или (n / m): 1/0, 0/0, 2/0, 0/1, 1/1, 5/0.

Таблица 9. Значения собственных частот колебаний для модели вала с радиальным рабочим колесом и 10-ю лопатками в программе ANSYS WORKBENCH

Форма n / m	Значения собственных частот колебаний в программе ANSYS WORKBENCH, Гц от оборотов вращения (1/s)								
	0 (1/s)	5 (1/s)	10 (1/s)	15 (1/s)	20 (1/s)	30 (1/s)	40 (1/s)	50 (1/s)	60 (1/s)
0/0	123.0	123.2	123.2	123.2	123.2	123.3	123.4	360.7	368.6
1/0	41.51	41.69	42.13	42.42	41.63	36.11	25.07	62.65	69.61
0/1	356.1	356.1	356.3	356.5	356.9	358.2	360.5	371.8	373.9
1/1	365.2	365.6	365.8	366.2	366.7	368.1	369.8	430.6	432.9
2/0	341.6	341.8	342.4	343.4	344.7	348.7	354.0	364.2	369.5
5/0	402.3	402.7	404.1	406.3	409.4	418.1	428.6	444.7	462.0

### Вывод

Таким образом, в данной работе представлены основные формы колебаний и статических напряжений для модели радиального рабочего колеса с 10-ю лопатками и коротким валом турбомашин для перекачки воздуха в АПК. Также проводились и сравнивались результаты расчета с данными эксперимента и с учетом вращения. Представлены значения собственных частот колебаний для этой модели и его радиального рабочего колеса в различных программах NISA, FEARS и BLADIS+. Отмечается, что расчеты собственных частот колебаний для модели вала и его радиального рабочего колеса с 10-ю лопатками в программе ANSYS WORKBENCH дают приличные результаты к сравнению с экспериментом для  $n / m$  равными 1/0 и 2/0. Для модели вала с радиальным рабочим колесом и 10-ю лопатками возникает большой отклик. Собственные частоты резко увеличиваются в диапазоне вращения (45...50) 1/s. В конструкции модели нужно рассматривать различные варианты для жестких закреплений по кольцу вала для получения приемлемых для сравнения с экспериментом решений. Представленные кривые динамических частот показывают взаимосвязь между собственными частотами и скоростями вращения для каждой формы колебания в диаграмме Кэмпбелла и могут быть использованы в отстройке от резонансных режимов реальных конструкций радиальных рабочих колес в АПК.

### Список использованных источников:

1. Irretier H., Repetski O. Vibration and life estimation of rotor structures // The fifth IFToMM. Conference on Rotor Dynamics, Darmstadt. 1998. 7-10 September.
2. Yan Y. J., Cui P. L. and Hao H. N. Vibration mechanism of a mistuned bladed disk // Journal of Sound and Vibration. 2008. Vol 317.P. 294-307.
3. Yang M. T. and Griffin J. H. A reduced-order model of mistuning using a subset of nominal system modes // J Eng Gas Turb Power. 2001. Vol 123. P. 893-900.
4. Repetckii O., Ryzhikov I. and Nguyen T. Q. Dynamics analysis in the design of turbomachinery using sensitivity coefficients // Journal of Physics: Conference Series. 2018. 012096.
5. Repetckii O., Ryzhikov I. and Springer H. Numerical analysis of rotating flexible blade-disk-shaft systems // Proceedings of the ASME Turbo Expo. 1999.
6. До М. Т. Численный анализ влияния расстройки параметров на динамические характеристики рабочих колес турбомашин. - Диссертация кандидата технических наук.

Иркутск. 2014. 197 с.

7. Whitehead D.S. Effect of mistuning on the vibration of turbomachine blades induced by wakes // Journal of mechanical engineering science. 1966. №. 1. P. 15-21.

8. Castanier M. P., Pierre C. Modeling and Analysis of Mistuned Bladed Disk Vibrations: Status and Engineering Directions // Journal of Propulsion and Powers. 2006. №. 2 (122). P. 384-396.

9. Ewins D. J. Vibration characteristics of Bladed disc assemblies // Journal of Mechanical Engineering Science. 1973. №. 5 (12). P. 165-186.

10. Campbell W. The protection of Steam Turbine Disk Wheels from Axial Vibrations // Trans. of the ASME 46. 1924. P. 31-160.

*Репецкий Олег Владимирович - доктор технических наук, профессор, проректор по международным связям. Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского (664038, Россия, г. Иркутск, п. Молодежный, тел. +7 3952 237438, e-mail: [repetckii@igsha.ru](mailto:repetckii@igsha.ru)).*

*Хоанг Динь Кьонг - Аспирант Иркутского государственного аграрного университета имени А.А. Ежевского (664038, Россия, г. Иркутск, п. Молодежный, тел. +7 9996864113, e-mail: [hoangcuonghd95@gmail.com](mailto:hoangcuonghd95@gmail.com)).*

#### NUMERICAL ANALYSIS OF THE EIGENFREQUENCY AND STATIC STRESS RADIAL WHEEL OF POWER TURBOMACHINE

Abstract: Turbomachine radial impellers are complex rotating machine parts that are critical parts for determining component durability and safety. Structural damage is caused by vibration, tearing off one or more blades. The requirement for structural integrity is often at odds with lightweight construction and high aerodynamic efficiency. So, in the design process the problem of study the strength and reliability of radial rotor blades from stresses and eigenfrequency of radial rotor blades of power turbomachines is very important. And when designing a radial blade disk, many numerical and experimental tests are carried out. Testing requires a lot of effort on test benches and samples. That strength calculations and computer modeling of technical processes are relevant at the design and refinement stages. These calculations make it possible to significantly reduce the amount of expensive experimental research and reduce the design time.

Key words: radial blade, finite element method, impeller, natural frequency, static stress, turbomachine, vibration mode.

*Repetckii O.V. - DSc in Engineering, Vice-rector, Professor. Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky (Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia, 664038, tel. +73952237438, e-mail: [repetckii@igsha.ru](mailto:repetckii@igsha.ru)).*

*Hoang Dinh Cuong - Graduate student Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky (Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia, 664038, tel. +7 9996864113, e-mail: [hoangcuonghd95@gmail.com](mailto:hoangcuonghd95@gmail.com)).*

## ОБОСНОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОСТИ АГРЕГАТА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ МАШИН

<sup>1</sup>Ю.Н. Рыжов, <sup>2</sup>С.В. Смыков, <sup>2</sup>С.Л. Никитченко

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина

<sup>2</sup>Азово-Черноморский инженерный институт – филиал ФГБОУ ВО  
«Донской государственный аграрный университет» в г. Зернограде

*Аннотация.* Рассмотрена классификация и функциональное назначение существующих серийных агрегатов технического обслуживания (АТО) машинно-тракторного парка (МТП). Показана низкая оснащённость сельскохозяйственных предприятий данными техническими объектами, в качестве причин которой указаны высокая стоимость и избыточность оснастки серийных АТО. Избыточная функциональность серийных агрегатов ТО приводит к увеличению их габаритов и массы. Это вызывает необходимость использовать более грузоподъемное транспортное средство. Таким образом стоимость серийных АТО увеличивается. Сельхозтоваропроизводители не желают приобретать дорогостоящие мобильные сервисные средства, при том, что не вся их оснастка может быть применима в поле. Наличие больших ёмкостей для воды и моечного насоса, например в конструкциях некоторых АТО-П, производители объясняют возможностью использования их в поле в качестве средств пожаротушения, что не имеет ничего общего с ТО. В представленных материалах исследований изучены направления перспективной функциональности АТО применительно к полевым условиям сельскохозяйственных предприятий. Проведённый анализ производственной ситуации, содержания операций по видам ТО машин и метод экспертных оценок позволили определить функциональное назначение и перечень выполняемых сервисных работ для перспективного мобильного агрегата технического обслуживания в полевых условиях сельскохозяйственных предприятий. Приведены результаты экспертной оценки оптимального набора функций мобильного АТО и предложен вариант его функциональности и оснащения.

*Ключевые слова:* техническое обслуживание, надёжность, агрегат технического обслуживания, машинно-тракторной парк, наработка

**Введение.** Сельскохозяйственной технике на этапе эксплуатации необходимо выполнять виды технических обслуживаний (ТО), представленные в таблице 1 [1]. Технические обслуживания ЕТО и ТО-1 практически всех тракторов и комбайнов известных фирм выполняются силами владельцев. Данные обслуживания дилерские центры не проводят. По истечении гарантии владельцы имеют право самостоятельно выполнять все виды обслуживаний.

Таблица 1 – Виды ТО сельскохозяйственной техники на этапе эксплуатации

Тип машин	Виды ТО
Тракторы	Ежесменное техническое обслуживание (ЕТО); ТО-1; ТО-2; ТО-3; сезонное ТО; ТО в особых условиях эксплуатации; ТО при хранении
Комбайны	ЕТО; ТО-1; ТО-2 (Нива, Дон-1500Б, КСК-100; ПАЛЕССЕ) дополнительно ТО-3 у комбайнов ACROS и TORUM; послесезонное ТО; ТО при хранении
Сельскохозяйственные машины (СХМ) и орудия	ЕТО; ТО-1; ТО при хранении.

**Основная часть.** Указанные в таблице ТО, согласно ГОСТ 20793-2009, могут выполняться на машинном дворе предприятия, в мастерской стационарного пункта ТО или в полевых условиях. Стандарт разрешает выполнять в полевых условиях только ЕТО, ТО-1 и ТО-2. Проведение ТО машин в полевых условиях позволяет существенно снизить непроизводительные затраты времени на холостые переезды к стационарным постам обслуживания, что повышает производительность машин и способствует проведению работ в агросроки.

Для проведения технического обслуживания в поле необходимо использовать специальные агрегаты [2]. Отечественная промышленность выпускает агрегаты технического обслуживания на шасси грузовых автомобилей (АТО-А) и на базе тракторных прицепов (АТО-П) (рис. 1). Агрегаты на самоходном шасси Т-16 (АТО-С) в настоящее время не выпускаются серийно.

Агрегат АТО-9994 изначально комплектуется для выполнения операций ЕТО, ТО-1 и ТО-2 тракторов, комбайнов и СХМ. Агрегаты ПАТОР обоих типов и агрегат ПРОА-1 ВНИПТИМЭСХ в базовой комплектации предназначены для ЕТО, устранения неисправностей техники с использованием электро-газосварочного оборудования, пневматического и электрического инструмента. Оснастку для выполнения номерных технических обслуживаний ТО-1 и ТО-2 потребитель может приобрести отдельно и оснастить ей агрегат по своему усмотрению.

При ЕТО большинству машин необходимо выполнить очистку сжатым воздухом, проверку креплений агрегатов и узлов; их смазывание пластичными материалами.



Рисунок 1 – Агрегаты технического обслуживания машин.

При ТО-1 отечественным тракторам и комбайнам следует помимо операций ЕТО дополнительно выполнить контрольно-диагностические операции по определению степени натяжения приводных ремней и цепных передач. А так же провести обслуживание АКБ, проверить герметичность впускного тракта ДВС и степень засоренности фильтра тонкой очистки топлива, смазывание точек согласно химотологической карте.

При ТО-2 дополнительно к операциям ТО-1 проводят замену масла в картере двигателя и масляного фильтра, проверку форсунок системы питания, смазывание точек согласно химотологической карте.

Анализ производственной ситуации в Ростовской области показывает, что серийные АТО практически отсутствуют на сельскохозяйственных предприятиях. Остатки старых серийных агрегатов и единичные представители новых моделей имеются в отдельных средних и крупных хозяйствах с парком тракторов от 20 и более штук. Мелким КФХ приобрести такое сервисное средство не просто и не рационально из-за малого количества обслуживаемых машин. При этом есть необходимость выполнять в поле ежедневные обслуживания тракторов и комбайнов, работающих в две и более смен в сутки. Нехватка серийных АТО в производстве прежде всего вызвана их относительно высокой стоимостью – от 700 тыс. руб. (АТО-П) до 2 млн. руб. (АТО-А). Оба типа серийных агрегатов имеют оснастку которая либо не востребована в полевых условиях, либо её применение нарушает экологические требования. Первое замечание относится к оснастке для выполнения операций ТО-2, второе – к моечному оборудованию.

Большинство хозяйств самостоятельно изготавливают комплекты средств ЕТО и мелкого ремонта, которые чаще выполнены на одно- или двухосных прицепах. Их оснастка включает воздушный компрессор и электросварочный генератор, привод которых осуществляется от ВОМ трактора. Так же имеется газосварочное оборудование. Данные технические объекты нередко выполнены с нарушением правил охраны труда.



Избыточная функциональность серийных агрегатов ТО приводит к увеличению их габаритов и массы. Это вызывает необходимость использовать более грузоподъемное транспортное средство. Таким образом стоимость серийных АТО увеличивается. Сельхозтоваропроизводители не желают приобретать дорогостоящие мобильные сервисные средства, при том, что не вся их оснастка может быть применима в поле. Наличие больших ёмкостей для воды и моечного насоса, например в конструкциях некоторых АТО-П, производители объясняют возможностью использования их в поле в качестве средств пожаротушения, что не имеет ничего общего с ТО.

В настоящее время следует провести исследование перспективной функциональности АТО применительно к полевым условиям сельскохозяйственных предприятий. Решение данной задачи мы реализовали методом экспертных оценок [3]. В качестве экспертов выступали инженеры и руководители сельхозпредприятий, КФХ, научные работники вузов, НИИ и Северо-Кавказской МИС, общей численностью 30 человек. Экспертам была предложена анкета, в которой предлагалось выбрать наиболее рациональный по их мнению вариант функциональности агрегата технического обслуживания. При этом рассматривались сочетания оснастки для устранения мелких эксплуатационных отказов (УМЭО) с оснасткой для выполнения ЕТО, или ЕТО+ТО-1, либо ЕТО+ТО-1+ТО-2. В таблице 2 показано распределение ответов экспертов на поставленный вопрос. По данным таблицы 2 видно, что 80% экспертов (24 чел.) считают наиболее целесообразным вариант комплектования мобильного АТО оснасткой для ЕТО, ТО-1 и устранения мелких отказов.

Таблица 2 – Результаты обработки предпочтений экспертов

Набор функций АТО	Количество экспертов, выбравших вариант, чел.	Процент предпочтений экспертов, %
ЕТО + УМЭО	7	23,33
ЕТО+ТО-1+ УМЭО	21	70
ЕТО+ТО-1+ТО-2+ УМЭО	2	6,67

Дополнительно к предложенным функциям 56,7% (17 чел.) экспертов считают, что с помощью мобильного агрегата ТО нужно выполнять элементарные операции подготовки техники к длительному хранению и нанесения антикоррозионных составов. В период полевых работ соответствующая оснастка может не присутствовать на агрегате, а монтироваться на него в период подготовки машин к хранению. В данной работе мы не будем рассчитывать коэффициент согласованности мнений экспертов, поскольку имеем вариант с явно доминирующим предпочтением экспертов.

**Выводы.** Проведённый анализ производственной ситуации, содержания операций по видам ТО машин и метод экспертных оценок позволили определить функциональное назначение и перечень выполняемых сервисных работ для перспективного мобильного агрегата технического обслуживания в полевых условиях сельскохозяйственных предприятий (табл. 3). В существующей классификации мобильных агрегатов ТО отсутствуют навесные варианты их исполнения. Представленный в статье агрегат с усечённым набором функций может быть реализован в навесном варианте [4, 5].

Таблица 3 – Функциональное назначение перспективного агрегата ТО

Виды сервисных работ	Содержание операций
ЕТО + ТО-1	очистительные; смазочные; продувка сжатым воздухом; контрольно-диагностические и регулировочные; подкачка шин; проверка креплений узлов; контроль натяжения ремней и цепей; проверка электрооборудования
Устранение мелких эксплуатационных отказов	слесарные, разборочно-сборочные, металлорежущие и сварочные работы
Операции ТО при постановке машин на хранение	очистка, продувка, смазывание узлов трения, антикоррозионная обработка, покраска

**Список использованных источников:**

1. Ананьин А.Д. Диагностика и техническое обслуживание машин: учебник для студентов высших учебных заведений / А.Д. Ананьин, В.М. Михлин, И.И. Габитов и др. – Москва: Издательский центр «Академия», 2008. – 432 с.
2. Пуховицкий Ф.Н. Средства технического обслуживания машинно-тракторного парка / Ф.Н. Пуховицкий, Ю.М. Копылов, А.В. Ленский, В.И. Овчинников – М.: Агропромиздат, 1985. – 248 с.
3. Орлов А.И. Экспертные оценки: учебное пособие / А.И. Орлов. – Москва, 2002. Режим доступа <http://www.aup.ru/books/m154/>
4. Никитченко С.Л. Навесной агрегат для технического обслуживания и ремонта машин / С.Л. Никитченко, С.В. Смыков // Техника в сельском хозяйстве. – 2014. – №4. – С. 21-23.
5. Патент на полезную модель № 145187, Россия. "Навесной агрегат технического обслуживания и ремонта «АТОН»" / Никитченко С.Л. Зарегистрировано в РОСПАТЕНТ 06.08.2014. Заявка №2014107390.
6. Рыжов Ю.Н. [Двухтопливная система тракторного дизеля с многоступенчатым подогревом](#) / Ю.Н. Рыжов., А.П. Иншаков., А.А. Курочкин. [Тракторы и сельхозмашины](#). 2014. [№ 6](#). С. 11-13.
7. Рыжов Ю.Н. [Курс лекций по дисциплине "Альтернативные энергетические ресурсы"](#)/ Рыжов Ю. Н.. Учебно-методическое пособие / Орел, 2016.
8. Рыжов Ю.Н. [Двухтопливная система тракторного дизеля с многоступенчатым подогревом](#) / Ю.Н. Рыжов, А.А. Курочкин Патент на полезную модель RU 152117 U1, 10.05.2015. Заявка № 2013112915/06 от 22.03.2013.
9. Ефимов М.А. [Расчет динамических нагрузок в системе фрикционное сцепление - гидравлический усилитель с применением численных методов](#) / М.А. Ефимов., Ю.Н. Рыжов., Е.П. Долгов. [Тракторы и сельскохозяйственные машины](#). 2007. [№ 9](#). с. 29-30.

*Юрий Николаевич Рыжов, кандидат технических наук, доцент, [ryn1979@inbox.ru](mailto:ryn1979@inbox.ru),  
Россия, Орел, ФГБОУ ВО Орловский государственный аграрный университет имени Н.В.  
Парахина*

*Сергей Владимирович Смыков, кандидат технических наук, [serg-161rus@yandex.ru](mailto:serg-161rus@yandex.ru),  
Азово-Черноморский инженерный институт – филиал ФГБОУ ВО «Донской  
государственный аграрный университет» в г. Зернограде*

*Сергей Леонидович Никитченко, кандидат технических наук, доцент, [serg-161rus@yandex.ru](mailto:serg-161rus@yandex.ru), Азово-Черноморский инженерный институт – филиал ФГБОУ ВО  
«Донской государственный аграрный университет» в г. Зернограде*

## JUSTIFICATION OF THE UNIT FUNCTIONALITY MAINTENANCE MACHINES

Yu.N. Ryzhov, S.V. Smykov, S. L. Nikitchenko

Abstract The classification and functional purpose of the existing serial maintenance units (ATO) of the machine and tractor fleet (MTP) is considered. The low equipment of agricultural enterprises with these technical facilities is shown, the reasons for which are the high cost and redundancy of equipment of serial ATO. Excessive functionality of serial units leads to an increase in their dimensions and weight. This makes it necessary to use a more lifting vehicle. Thus, the cost of serial ATO increases. Agricultural producers do not want to purchase expensive mobile service equipment, despite the fact that not all of their equipment can be used in the field. The presence of large water tanks and a washing pump, for example, in the designs of some ATO-P, manufacturers explain the possibility of using them in the field as fire extinguishing agents, which has nothing to do with the. In the presented research materials, the directions of the prospective functionality of the ATO in relation to the field conditions of agricultural enterprises are studied. The analysis of the production situation, the content of operations by types of maintenance machines and the method of expert assessments made it possible to determine the functional purpose and the list of service works performed for a promising mobile maintenance unit in the field of agricultural enterprises. The results of an expert assessment of the optimal set of functions of the mobile ATO are presented and a variant of its functionality and equipment is proposed.

Keywords: maintenance, reliability, maintenance unit, machine and tractor fleet, operating time  
Key words: diesel fuel, engine, reliability, quality, indicators, regulatory documents

*Yuri N. Ryzhov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, [ryn1979@inbox.ru](mailto:ryn1979@inbox.ru),  
Russia, Oryol, Oryol State Agrarian University named after N.V. Parakhina*

*Sergey Vladimirovich Smykov, Candidate of Technical Sciences, [serg-161rus@yandex.ru](mailto:serg-161rus@yandex.ru),  
Azov-Black Sea Engineering Institute - a branch of the Don State Agrarian University in Zernograd*

*Sergey Leonidovich Nikitchenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, [serg-161rus@yandex.ru](mailto:serg-161rus@yandex.ru), Azov-Black Sea Engineering Institute - a branch of the Don State Agrarian  
University in Zernograd*

## АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ИЗНОШЕННОГО БЛОКА ПЛУНЖЕРОВ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО НАСОСА

<sup>1</sup>Кузнецов И.С., <sup>2</sup>Прокошина Т.С.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина»

***Аннотация.** В настоящее время в сельскохозяйственной технике устанавливают гидравлическое оборудование различных производителей, таких как Danfoss, Bosch Rexroth, Hydromatik, Eaton, Edbro, Hagglunds, Hitachi, Hydroflex, Hydraulics. Фирма Danfoss выпускает множество устройств, например, гидравлические насосы, гидравлические моторы, кондиционеры, клапаны, распределители, управляющее оборудование, силовые гидравлические цилиндры и т. д. Гидравлические устройства данной компании устанавливаются на тракторы и сельскохозяйственную технику группы компаний «Ростсельмаш» и тракторы группы компаний «Кировский завод».*

*В данной работе представлен анализ технического состояния изношенного блока плунжеров гидравлического насоса Danfoss FR-L-090C. Анализ технического состояния блока плунжеров заключался в проведении микрометрических исследований и оценки состояния рабочих поверхностей. Измерения осуществлялись с помощью индикаторного нутромера НИ 18 – 35 0,002 ЧИЗ. Оценку состояния изношенных рабочих поверхностей проводили с помощью лупы. Каждый цилиндр корпуса плунжеров измерялся по трём поясам. При этом рабочие поверхности корпуса предварительно обезжиривались. По результатам обработки данных износа установлен средний размер отверстий корпуса плунжеров, вычислен средний износ на сторону. Оценкой состояния рабочей поверхности установлено, что отдельные участки имеют следы с фреттинг изнашивания.*

***Ключевые слова:** корпус плунжеров, гидромотор, изнашивание, измерение, средний износ.*

**Введение.** На сельскохозяйственных машинах довольно часто используются гидравлические приводы. Существуют различные гидравлические устройства: такие как мотор, насос, распределители, клапаны и многое другое. В настоящее время в сельскохозяйственной технике устанавливают оборудования различных производителей, таких как: Danfoss; Bosch Rexroth; Hydromatik; EATON; Edbro; Hagglunds; Hitachi; Hydroflex, Hydraulics.

На машинах российского производителя часто устанавливают гидравлические устройства фирмы Danfoss. В частности, гидравлические устройства данной компании, устанавливаются на тракторы и сельскохозяйственную технику группы компаний «Ростсельмаш» и тракторы группы компаний «Кировский завод». Фирма Danfoss выпускает множество устройств, например, гидронасосы, гидромоторы, кондиционеры, клапаны, распределители и т. д. Одним из наиболее дорогих и тяжело нагруженных гидравлических устройств сельскохозяйственной техники и тракторов является гидравлический насос. Принцип работы гидравлических насосов основан на преобразовании механической энергии

в гидравлическую. Главным узлом насоса является плунжерная пара (плунжер-корпус цилиндра). Причинами ускоренного изнашивания плунжерных пар чаще всего являются низкое качество рабочей жидкости, и наличие в ней частицы абразива. Изнашивание корпуса плунжера приводит к снижению ресурса. При изнашивании рабочих поверхностей корпуса происходит снижение рабочего давления и, как следствие, производительности [1-4].

В связи с этим считаем, что исследования износного состояния корпуса плунжеров гидронасосов Danfoss является актуальной насущной научной проблемой.

**Цель исследования** - оценить износное состояния корпуса плунжера гидронасоса Danfoss.

**Методика экспериментальных исследований.** В качестве объекта исследования был взят корпус плунжеров гидронасоса Danfoss FR-L-090C (рисунок 1). Данный насос устанавливался на тракторе К – 744 компании «Кировский завод».



Рисунок 1 – Измерение плунжера насоса Danfoss FR-L-090C

Измерение корпуса плунжеров производили индикаторным нутромером НИ 18 – 35 0,002. В корпусе измерялись 9 цилиндров. Цилиндры измерялись по трём поясам. Предварительно поверхности цилиндров корпуса обезжировались. Рабочую поверхность изучали с помощью лупы ЛИ -3 10 х гост 25706-83.

**Результаты экспериментальных исследований.** Визуальный осмотр рабочей поверхности плунжера показал, что в верхней его части имеются следы местного износа (рисунок 2). Характер следов износа позволяет сделать вывод, что имело место фреттинг-изнашивание. Результаты измерений указаны в таблице 1.

след от фреттинг-изнашивания



Рисунок 2 – Изношенный цилиндр корпуса плунжеров

Проанализировав выборку из 27 числовых значений можно сделать вывод, что средний диаметр отверстий корпуса составляет 22,7576 мм. Нижняя часть некоторых плунжеров более изношена (таблица 1).

Таблица 1 – Экспериментальные данные.

№	Номер измерения	Диаметр плунжера, мм		
		Верхняя часть	Средняя часть	Нижняя часть
1	1 измерение	22,755	22,757	22,757
2	1 измерение	22,758	22,758	22,758
3	1 измерение	22,757	22,759	22,759
4	1 измерение	22,757	22,757	22,758
5	1 измерение	22,757	22,757	22,759
6	1 измерение	22,755	22,757	22,759
7	1 измерение	22,757	22,757	22,759
8	1 измерение	22,757	22,757	22,759
9	1 измерение	22,757	22,759	22,759

В связи с тем, что сложно найти точные номинальные размеры соединения и рабочие чертежи на его изготовление, воспользуемся данными поставщиков запасных частей и примем, что номинальный размер соединения плунжерной пары составляет 22,7 мм. А поле допуска отверстия корпуса примем равным Н6 с верхним отклонением +0,013 мм [5]. Тогда с помощью простых математических операций мы можем вычислить средние износ отверстия на сторону. Средний износ отверстий корпуса на сторону составил 22,3 мкм.

Средний износ отверстий корпуса в 22,3 мкм позволяет предложить для восстановления соединения плунжерной пары следующую технологию. Технология будет заключаться в развёртывании отверстий корпуса в ремонтный размер 22,8 мм, с последующим нанесением комбинации электроискрового [6-13] и полимерного покрытия на плунжер.

**Вывод:** Средний размер отверстий корпуса 22,7576 мм, средний износ отверстий корпуса на сторону составил 22,3 мкм, при этом на отдельных участках рабочей поверхности наблюдаются следы с фреттинг- изнашивания.

### Список использованных источников:

1. Пьянзов С.В., Ионов П.А., Земсков А.М., Столяров А.В. Моделирование связи крутящего момента объемного гидропривода с параметрами гидравлического нагружающего устройства // Технический сервис машин. 2021. № 1 (142). С. 72 – 82.
2. Ионов П.А., Столяров А.В., Земсков А.М. Моделирование напряженно-деформированного состояния в соединениях гидропривода // СТИН. 2020. № 10. С. 7 – 10.
3. Ионов П.А., Земсков А.М., Столяров А.В., Тимохин С.В. Исследование влияния давления в системе управления на работоспособность и долговечность объемного гидропривода sauer danfoss серии 90 // Технический сервис машин. 2020. № 4 (141). С. 54 – 63.
4. Ionov P.A., Stolyarov A.V., Zemskov A.M. Stress–strain state of hydraulic drives // Russian Engineering Research. 2020. Т. 40. № 12. С. 1078-1080.
5. Технология ремонта аксиально-поршневых гидромашин: монография / П. А. Ионов, П. В. Сенин, А. В. Столяров; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва». – Саранск, 2019. – 184 с.
6. Kolomeichenko A.V., Kuznetsov I.S., Izmaylov A.Y., Solovyev R.Y., Sharifullin S.N. Investigation of finemet nanocrystalline alloy coating obtained by the electric spark method // International Journal of Nanotechnology. 2018. Т. 15. № 4-5. С. 380 – 387.
7. Kolomeichenko A.V., Kuznetsov I.S., Izmaylov A.Y., Solovyev R.Y., Sharifullin S.N. Investigations of nanocrystalline alloy electrospark coating made of nanocrystalline alloy based on 5cp ferrum // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017. С. 012047.
8. Кузнецов И.С., Коломейченко А.В., Малинин В.Г. Восстановление посадочных мест под подшипники электроискровой обработкой // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2017. № 8. С. 20 – 22.
9. Kuznetsov I.S., Kolomeichenko A.V., Pavlov V.Z. Process of mass transfer of amorphous alloys under low-voltage electric spark treatment // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. 2017. Т. 53. № 4. С. 333 – 338.
10. Кузнецов И.С., Прокошина Т.С. Анализ состояния изношенных пальцев жаток современных зерноуборочных комбайнов // Агротехника и энергообеспечение. 2017. № 1 - 2 (14). С. 5 – 11.
11. Кузнецов И.С. Расчетная оценка сопротивления искрового канала при электроискровой обработке // Упрочняющие технологии и покрытия. 2016. № 8 (140). С. 26 – 29.
12. Коломейченко А.В., Кузнецов И.С., Кравченко И.Н. Толщина и микротвердость покрытий из аморфных и нанокристаллических сплавов, нанесенных электроискровой обработкой // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2014. № 10. С. 45 – 48.
13. Кузнецов И.С. Электроискровая обработка электродами из аморфных и нанокристаллических сплавов режущих деталей // Труды ГОСНИТИ. 2011. Т. 108. С. 230 – 233.

*Кузнецов Иван Сергеевич, кандидат технических наук, доцент, Ivan-654@yandex.ru. Россия, Орел, ФГБОУ ВО Орловский Государственный Аграрный Университет имени Н.В. Парахина,*  
*Прокошина Татьяна Сергеевна, кандидат технических наук, ФГБОУ ВО Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева.*

## THE ANALYSIS OF THE TECHNICAL CONDITION OF THE WORN-OUT BLOCK OF HYDRAULIC PUMP PLUNGERS

<sup>1</sup>Kuznetsov I. S., <sup>2</sup>Prokoshina T. S.

<sup>1</sup>Oryol State Agrarian University named after N.V. Parakhina

<sup>2</sup>Oryol State University named after I.S.Turgenev

Abstract. Currently, hydraulic equipment from various manufacturers is installed in agricultural machinery, such as Danfoss, Bosch Rexroth, Hydromatik, Eaton, Edbro, Hagglunds, Hitachi, Hydroflex, Hydraulics. Danfoss manufactures many devices, for example, hydraulic pumps, hydraulic motors, air conditioners, valves, distributors, control equipment, hydraulic power cylinders, etc. The hydraulic devices of this company are installed on tractors and agricultural machinery of the Rostselmash group of companies and tractors of the group of companies Kirovsky Zavod. This paper presents an analysis of the technical condition of a worn plunger block of a Danfoss FR-L-090C hydraulic pump.

Analysis of the technical condition of the plunger block has consisted of conducting micrometer studies and assessing the condition of the working surfaces. The measurements have been carried out using an indicator bore gauge NI 18 - 35 0.002 ChIZ. The condition of the worn-out working surfaces has been assessed using a magnifying glass. Each cylinder of the plunger body have been measured along three belts in two mutually perpendicular directions. In this case, the working surfaces of the body have been previously degreased. Based on the results of processing the wear data, the average size of the holes in the plunger body has determined, and the average wear per side was calculated. By assessing the condition of the working surface, it has been found that some areas have traces of fretting wear.

Key words: plunger body, hydraulic motor, wear, measurement, average wear.

*Kuznetsov Ivan Sergeevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor Ivan-654@yandex.ru. Russia, Oryol, Oryol State Agrarian University named after N.V. Parakhina, Prokoshina Tatyana Sergeevna, Candidate of Technical Sciences, Oryol State University named after I.S.Turgenev.*



## К ВОПРОСУ О ВАРИАТИВНОСТИ КАЧЕСТВА ТОПЛИВА ДЛЯ ДИЗЕЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

М.М. Ревякин, А.А. Жосан, С.И. Головин

ФГБОУ ВО Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина

*Аннотация. Качественное топливо является эффективным залогом работы подвижного состава, активно эксплуатируемого в агропромышленном комплексе нашей страны. Внедрение новых производственных технологий при выпуске на рынок инновационной энергонасыщенной техники, совершенствование и модернизация уже имеющегося подвижного состава, требует не только расширения номенклатуры применяемого топлива, смазочных материалов и технических жидкостей, но и ужесточения требований, предъявляемых к их качеству: улучшения физико-химических показателей. Выполнен сравнительный анализ двух образцов топлива марки ДТ-3-К5 разных производителей. В соответствии с данными нормативной документации произведена оценка таких показателей как цетановое число, цетановый индекс, плотность дизельного топлива, кинематическая вязкость, температура помутнения, процентное содержание по массе полициклических ароматических углеводородов, массовая доля серы, температура вспышки в закрытом тигле, коксуемость, зольность, содержание воды и общее загрязнение, окислительная стабильность. Установлено, что испытываемые образцы топлива соответствуют требованиям Технического регламента Таможенного союза и требованиям Государственного стандарта в области качества. Выполнен анализ преимуществ и недостатков в функционировании дизельных двигателей, возникающих при их эксплуатации на испытуемом образце № 1 и №2 с позиции прокачиваемости, чистоты, качества распыла и смесеобразования, склонности к нагарообразованию и коксуемости дизельного топлива.*

*Ключевые слова: дизельное топливо, двигатель, надежность, качество, показатели, нормативные документы*

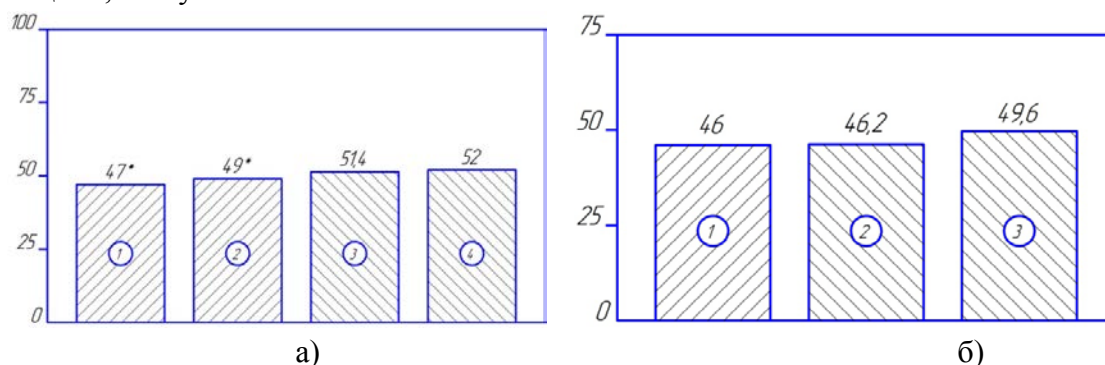
**Введение.** Дизельное топливо является одним из важнейших эксплуатационных материалов, качество которого в значительной степени влияет на надежность, ресурс и характеристики машин. Постоянное совершенствование и усложнение подвижного состава, используемого в сфере агропромышленного комплекса, [7] внедрение современной техники неотвратимо влечет за собой ужесточение требований, предъявляемых к качеству применяемых топливо-смазочных материалов и технических жидкостей. [5]

Реализуемое в настоящее время дизельное топливо далеко не повсеместно соответствует всем предъявляемым нормативной документацией требованиям. Как известно, с целью обеспечения долговечной и экономичной работы дизеля, топливо должно удовлетворять ряду эксплуатационных требований: иметь хорошее смесеобразование и воспламеняемость, обеспечивающие мягкую работу двигателя на различных режимах; обладать соответствующей вязкостью, чтобы выполнять функции смазки трущихся деталей топливopодающей системы; иметь хорошую прокачиваемость при различных температурах окружающей среды; не содержать сернистых соединений, водорастворимых кислот и щелочей, механических примесей и воды, резко ухудшающих работу двигателя и особенно

приборов системы питания, имеющих высокую точность изготовления сопряженных прецизионных деталей.

**Основная часть.** Осуществим сравнительный анализ двух товарных образцов (здесь и далее ТО №1 и ТО №2) разных производителей на предмет их соответствия нормативам [2, 3, 4] и выявления конкурентных преимуществ. В качестве объекта исследования выступает дизельное топливо марки ДТ-З-К5.

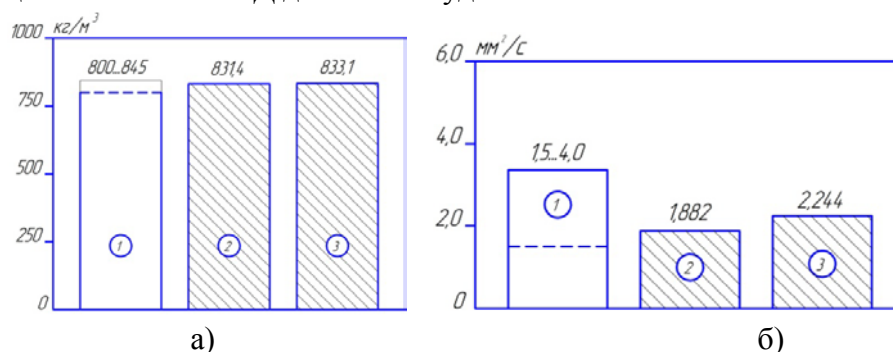
Известно, что топливо, поступающее в цилиндр двигателя воспламеняется не сразу – наблюдается определенный разрыв по времени между его впрыском и воспламенением, что отражается на процессе сгорания топлива. Анализируя данные показатели (рисунок 1) отметим, что они соответствуют значениям, предъявляемым к зимнему дизельному топливу. Но, за счет более высокого значения, у ТО №1 будет равномернее сгорание и эффективнее рабочий цикл, чем у ТО №2.



\* – не менее; 1 – нормативное значение по ТР ТС 013/2011 (приложение 3, класс 5); 2 – нормативное значение по ГОСТ Р 52368-2005 (ЕН 590:2009); 3, 4 – фактические значения образцов топлива (ТО №1 и ТО №2 соответственно)

Рисунок 1 – Цетановое число (а) и цетановый индекс дизельного топлива

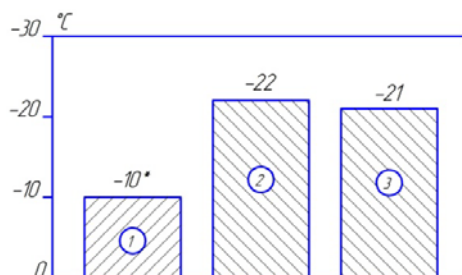
Плотность (рисунок 2а) оказывает прямое влияние на реологические свойства дизельного топлива. Продукция с высоким удельным весом обладает повышенной вязкостью по сравнению с более легкими материалами. Повышение плотности и, как следствие, вязкости (рисунок 2б) приводит к уменьшению просачиваемости топлива через зазоры в сопряжениях топливной аппаратуры, но при этом с понижением температуры приводит к ухудшению прокачиваемости через подающие трубопроводы и фильтры. [6] С другой стороны от плотности зависит теплотворная способность дизельного топлива. Чем она выше, тем больше тепловой энергии высвобождается от сгорания топлива и тем выше КПД двигателя. Таким образом при сравнении двух образцов можно сделать вывод, что ТО №1 по параметру плотности обладает лучшей прокачиваемостью при понижении температур. Об этом также свидетельствует показатель «Температура помутнения» (рисунок 3), но при этом при эксплуатации на ТО №2 КПД двигателя будет выше.



1 – нормативное значение по ГОСТ Р 52368-2005 (ЕН 590:2009); 2, 3 – фактические значения

образцов топлива (ТО №1 и ТО №2 соответственно)

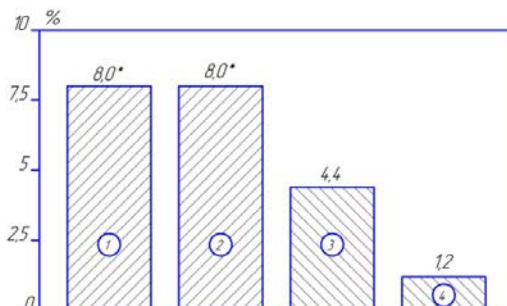
Рисунок 2 – Плотность при 15 °С (а) и кинематическая вязкость при 40 °С (б) дизельного топлива



\* – не выше; 1 – нормативное значение по ГОСТ Р 52368-2005 (ЕН 590:2009); 2, 3 – фактические значения образцов топлива (ТО №1 и ТО №2 соответственно)

Рисунок 3 – Температура помутнения дизельного топлива

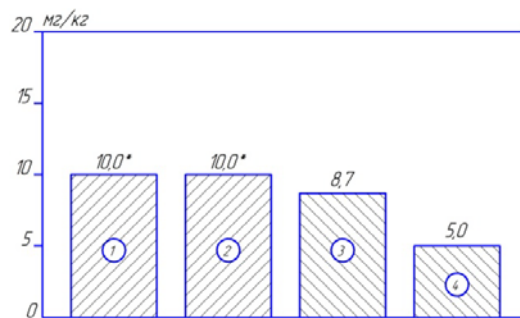
Полициклические ароматические углеводороды – это органические соединения, для которых характерно наличие в химической структуре двух и более конденсированных бензольных колец. Содержание полициклических ароматических углеводородов (рисунок 4) оказывает влияние на токсичность выхлопа отработанных газов и образование канцерогенов, а также для дизельного топлива несколько ухудшаются условия сгорания. Сравнительный анализ двух товарных образцов показывает, что ТО №2 является более экологичным.



\* – не более; 1 – нормативное значение по ТР ТС 013/2011 (приложение 3, класс 5); 2 – нормативное значение по ГОСТ Р 52368-2005 (ЕН 590:2009); 3, 4 – фактические значения образцов топлива (ТО №1 и ТО №2 соответственно)

Рисунок 4 – Полициклические ароматические углеводороды (% по массе)

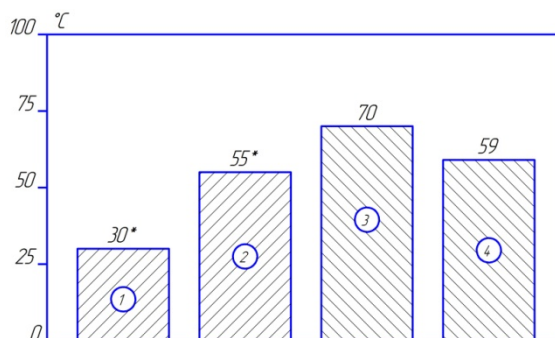
Показатель «Массовая доля серы» (рисунок 5) является одним из важнейших показателей влияющих как на экологичность топлива, так и на ресурс топливной аппаратуры. В условиях работы двигателя сера и все сернистые соединения, содержащиеся в топливе, становятся активными, так как при их сгорании образуются серный и сернистый ангидриды, которые в присутствии паров воды образуют кислоты и вызывают сильную коррозию деталей цилиндропоршневой группы. [1] Чем выше содержание серы в топливе тем больше образуется ангидридов, увеличиваются отложения на масляных фильтрах, нагар на поршнях двигателя и быстрее происходит деградация моторного масла, которое требует более частой замены. В связи с этим эксплуатация транспортного средства на ТО №2 более предпочтительна.



\* – не более; 1 – нормативное значение по ТР ТС 013/2011 (приложение 3, класс 5); 2 – нормативное значение по ГОСТ Р 52368-2005 (ЕН 590:2009); 3, 4 – фактические значения образцов топлива: вид III (ТО №1 и ТО №2 соответственно)

Рисунок 5 – Массовая доля серы

Показатель «Температура вспышки в закрытом тигле» (рисунок 6) в основном характеризует наличие легких фракций в дизельном топливе и большого влияния на эксплуатационные показатели не оказывает. Данный критерий в основном применяется как показатель пожаропасности или для определения наличия посторонних примесей в испытуемом образце топлива. По результатам сравнительных характеристик ТО №2 обладает большей пожаропасностью.

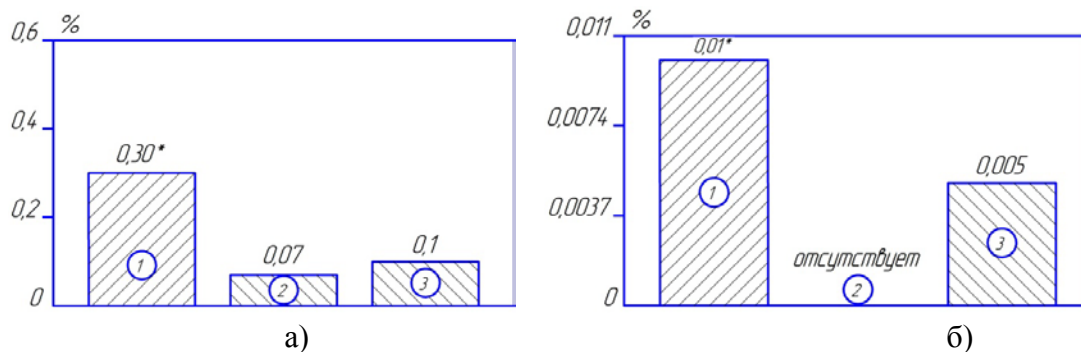


\* – не ниже; 1 – нормативное значение по ТР ТС 013/2011 (приложение 3, класс 5); 2 – нормативное значение по ГОСТ Р 52368-2005 (ЕН 590:2009); 3, 4 – фактические значения образцов топлива (ТО №1 и ТО №2 соответственно)

Рисунок 6 – Температура вспышки в закрытом тигле

Наличие значительного количества смолистых веществ может быть причиной неполного сгорания топлива и образования нагара. Повышенное нагарообразование может вызвать провисание клапанов, пригорание поршневых колец, заклинивание двигателя. Нагары на форсунках способствуют нарушению подачи топлива, вследствие чего снижается мощность двигателя.

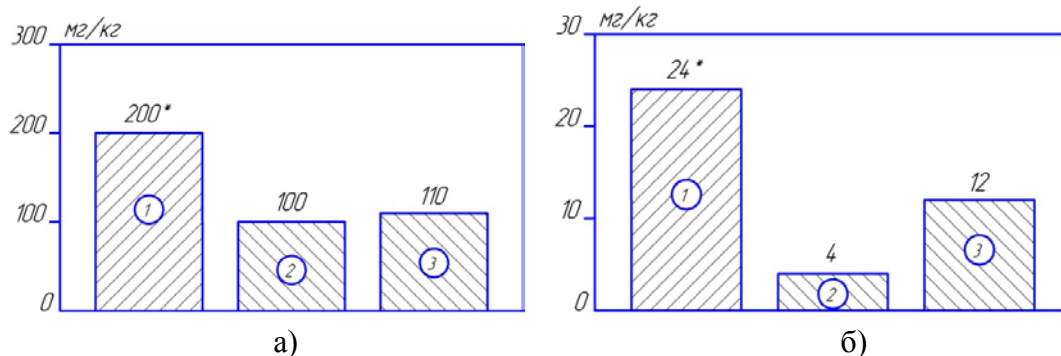
Склонность топлива к нагарообразованию характеризуется коксовым числом, показывающим процент образующегося кокса после испарения топлива и прокаливания его в стандартном приборе в условиях затрудненного соприкосновения с воздухом. Коксуемость (рисунок 7а) дизельного топлива зависит от фракционного состава и степени очистки: большее содержание смолистых соединений и тяжелых углеводородов соответствует большему значению данного показателя. Применение ТО №1 более предпочтительно за счет меньшего накопления углистых высокотемпературных отложений.



\* – не более; 1 – нормативное значение по ГОСТ Р 52368-2005 (ЕН 590:2009); 2, 3 – фактические значения образцов топлива (ТО №1 и ТО №2 соответственно)

Рисунок 7 – Коксуюемость 10 % остатка (а) (по массе) и зольность (б) по массе

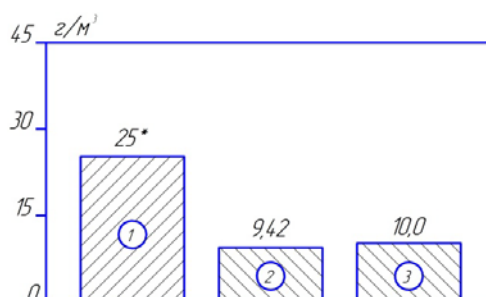
Зола, образующаяся после сжигания топлива, остается в камере сгорания и входит в состав нагаров, а также, попадая в масло, является одной из причин повышенных абразивных износов, поэтому зольность дизельного топлива (рисунок 7б) допускается в крайне малых пределах. Зольность ТО №2 выше, что также связано с показателем «Общее загрязнение» (рисунок 8б).



\* – не более; 1 – нормативное значение по ГОСТ Р 52368-2005 (ЕН 590:2009); 2, 3 – фактические значения образцов топлива (ТО №1 и ТО №2 соответственно)

Рисунок 8 – Содержание воды (а) и показатель общего загрязнения (б) дизельного топлива

При неудовлетворительных условиях хранения и неправильном применении топлива в него попадает пыль, песок и иные примеси из воздуха. Меньшие размеры частиц примесей в сочетании с большей вязкостью топлива способствуют их накоплению во взвешенном состоянии и могут привести к изнашиванию элементов топливной аппаратуры, а мельчайшие частицы воды (рисунок 8а) при их нахождении в топливе к ее коррозии. Образующиеся в холодное время кристаллы льда забивают фильтры и калиброванные отверстия форсунок, нарушая этим подачу топлива.



\* – не более; 1 – нормативное значение по ГОСТ Р 52368-2005 (ЕН 590:2009); 2, 3 – фактические значения образцов топлива (ТО №1 и ТО №2 соответственно)

Рисунок 9 – Окислительная стабильность: общее количество осадка

Окислительная стабильность дизельного топлива (рисунок 9) является мерой его способности образовывать нерастворимые вещества под действием кислорода и определяется с помощью выдерживания при температуре 95 °С в течение 16 часов в токе кислорода при перемешивании в специальном стеклянном контейнере (окислительной камере). ТО №2 по показателю «Окислительная стабильность» будет образовывать больше не растворимых частиц. Таким образом, по данным показателям эксплуатация техники на ТО №1 является более оправданным вариантом.

**Выводы.** Анализ данных двух сравниваемых товарных образцов дизельного топлива марки ДТ-3-К5 свидетельствует о том, что их показатели соответствуют требованиям ГОСТ и отличаются незначительно, при этом в значительной степени по качеству превышают требования нормативной документации. Топливо с обозначением ТО №1 более «легкое», лучше прокачивается при более низких температурах, двигатель запускается легче и на его деталях образуется меньше отложений. Топливо с обозначением ТО №2 более «тяжелое», при эксплуатации на нем двигатель будет иметь незначительно больший КПД и регламенты технического обслуживания могут быть увеличены. В целом по совокупности показателей характеристики топлива нивелируются.

#### **Список использованных источников:**

1. Голубенко Н.В. Эксплуатационные материалы и защита от коррозии транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования: в 3 частях. Ч.1. Топливо для двигателей внутреннего сгорания: учебное пособие / Н.В. Голубенко [и др.]. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ЭБС АСВ, 2018. – 183 с.
2. ГОСТ Р 52368-2005 (ЕН 590:2009) Топливо дизельное ЕВРО. Технические условия.(с Поправками, с Изменениями N 1, 2) – М.: Стандартинформ. – 2009. – 28 с.
3. ГОСТ 32511-2013 (ЕН 590:2009) Топливо дизельное ЕВРО. Технические условия. – М.: Стандартинформ. – 2019. – 34 с.
4. ТР ТС 013/2011 О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и мазуту (с изменениями от 19.12.2019). [Электронный ресурс] – 2011. – 22 с.
5. Жосан А.А. К вопросу об улучшении эксплуатационных свойств моторных масел / А.А. Жосан, М.М. Ревякин, Д.С. Ершов // Агротехника и энергообеспечение. – Орел, 2016. № 2 (11). С. 81-86.
6. Остриков В.В. Топливо, смазочные материалы и технические жидкости: учебное пособие / В.В. Остриков [и др.]. –М., Вологда: Инфра-Инженерия, 2019. – 244 с.
7. Ревякин М.М. Вариативность надежности мобильных энергетических средств предприятий АПК / М.М. Ревякин, А.А. Жосан, А.В. Шуруев // Агротехника и энергообеспечение. – Орел, 2014. № 1 (1). С. 137-140.

*Максим Михайлович Ревякин, кандидат технических наук, доцент, revyakinmt@inbox.ru, Россия, Орел, ФГБОУ ВО Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина*

*Артур Александрович Жосан, кандидат технических наук, доцент, a-josan@yandex.ru, Россия, Орел, ФГБОУ ВО Орловский государственный аграрный*

университет имени Н.В. Парахина

Сергей Иванович Головин, кандидат технических наук, доцент, [golovinsi@yandex.ru](mailto:golovinsi@yandex.ru),  
Россия, Орел, ФГБОУ ВО Орловский государственный аграрный университет имени Н.В.  
Парахина

## TO THE QUESTION OF VARIABILITY OF FUEL QUALITY FOR AGRICULTURAL DIESELS

Revyakin M.M., Josan A.A., Golovin S.I.

Abstract High-quality fuel is the effective key to the operation of rolling stock, which is actively operated in the agro-industrial complex of our country. The introduction of new production technologies when issuing an innovative energy satisfaction to the market, improving and modernizing the existing rolling stock, requires not only the expansion of the range of fuel used, lubricants and technical fluids, but also to tighten the requirements that are presented to their quality: improvement of physicochemical indicators. A comparative analysis of the two samples of the fuel of DT-3-K5 of different manufacturers has been performed. In accordance with the data of the regulatory documentation, such indicators as: cetane number, cetane index, diesel fuel density, kinematic viscosity, turbidity temperature, percentage by weight of polycyclic aromatic hydrocarbons, mass fraction of sulfur, flash point in closed crucible, cokusability, ash, water content and overall pollution, oxidative stability have evaluated. It has been established that the test fuel samples comply with the requirements of the technical regulation of the Customs Union and the requirements of the State Standard in the field of quality. An analysis of the advantages and disadvantages in the functioning of diesel engines, which occur during their operation on the test sample No. 1 and No. 2, from the position of pouring, cleanliness, the quality of spraying and mixing, the inclination to form the formation of inaurus and cumulating diesel fuel.

Key words: diesel fuel, engine, reliability, quality, indicators, regulatory documents

*Revyakin M.M., Candidate of Technical Sciences, [revyakinmm@inbox.ru](mailto:revyakinmm@inbox.ru), Russia, Orel, Federal State Budgetary Educational Establishment of Higher Education "Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin"*

*Josan A.A., Candidate of Technical Sciences, [a-josan@yandex.ru](mailto:a-josan@yandex.ru), Russia, Orel, Federal State Budgetary Educational Establishment of Higher Education "Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin"*

*Golovin S.I., Candidate of Technical Sciences, [golovinsi@yandex.ru](mailto:golovinsi@yandex.ru), Russia, Orel, Federal State Budgetary Educational Establishment of Higher Education "Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin"*

## К ВОПРОСУ О ДИАГНОСТИРОВАНИИ МОБИЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

М.М. Ревякин, А.А. Жосан, С.И. Головин

ФГБОУ ВО Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина

*Аннотация.* Возникновение отказов мобильных энергетических средств сельскохозяйственного назначения, в особенности техники, которая используется сезонно, приводит к увеличению материальных и временных затрат на их устранение и снижает надежность машин. Контроль диагностических параметров целесообразно осуществлять по как можно большему количеству систем, узлов и агрегатов технического объекта. Мониторинг технического состояния также необходимо осуществлять для приводов сельскохозяйственных машин. Представлены факторы, оказывающие влияние на ресурс клиноременной передачи, а также на показатели рабочего процесса ремня. Показано влияние очагового износа боковин и равномерного бокового износа ремня на проскальзывание. Диагностирование внутренних повреждений осуществляется при оценке колебаний ведущей ветви с помощью регистратора и датчика его перемещения. Представлены результаты спектрального анализа при различных величинах бокового износа и дефектных нитях корда ремня, а также схема функционирования системы диагностики с входными, производными и вычисляемыми диагностическими величинами. В качестве номинального значения параметра для системы диагностирования выступают начальные значения частот и амплитуд определенного ремня после завершения процесса обкатки.

*Ключевые слова:* диагностирование, ремень, проскальзывание, техническое состояние, эксплуатация, дефект

**Введение.** Качество и надежность техники, применяемой в сельском хозяйстве, является одним из основных факторов, от которого зависит своевременное и полное выполнение различных агротехнических работ, и, как следствие, повышение продовольственной безопасности страны. [1] Неудовлетворительный уровень надежности машин вынуждает руководителей агропромышленных предприятий тратить значительные средства на приобретение новой техники, формирование значительного фонда запасных частей, а также увеличивает суммарное время нахождения технических объектов в ремонте, что в совокупности увеличивает себестоимость сельскохозяйственной продукции. [4, 5]

Проблема обеспечения надежности и ресурса приводов сельскохозяйственных машин в последнее время приобретает особую остроту в связи с интенсификацией их развития по напряженности рабочего цикла, с целью улучшения характеристик по экономичности и массе. Это приводит к повышению стоимости сельскохозяйственной машины. Тенденции повышения стоимости привода машин во всем мире примерно одинаковы и составляют около 10 % за каждое пятилетие.

**Основная часть.** Основным типом привода сельскохозяйственной машины (зерноуборочного комбайна) является клиноременная передача и вариатор. Надежность передачи потока мощности и крутящего момента в таких механизмах и стабильность их работы напрямую зависят от состояния ремней, на снижение ресурса которых могут



оказывать влияние следующие факторы: аварийные перегрузки, частая эксплуатация при предельных рабочих нагрузках, повышенные внешние температуры, грязь, пыль, малые диаметры шкивов, расположение в ограниченном пространстве и перекрещивающиеся приводы, выполнение функций муфты.

В процессе эксплуатации ремень неизбежно получает различного рода повреждения, сказывающиеся на рабочем процессе, а в отдельных случаях приводящие к внезапному его прекращению и простоя машины в целом, если, например, оборван ремень привода молотильного устройства. Преимущественно диагностирование таких отказов происходит уже по факту обрыва ремня, но в условиях интенсификации производства это недопустимо. Предупреждение внезапного отказа возможно в случае если по некоторым показателям работы ремня непрерывно диагностировать его состояние в процессе работы. [9] При регистрации отклонений показателей рабочего процесса, близких к критическим для данного типа ремня, это позволит заблаговременно произвести его замену при плановом ремонте, а не в полевых условиях.

К показателям рабочего процесса ремня можно отнести следующие факторы: температура ремня, колебания ведущей ветви, колебания холостой ветви ремня, проскальзывание ремня. Оценку его состояния проводят преимущественно визуально, что не всегда возможно из-за наличия закрывающих обзор кожухов и крышек. К тому же не исключается вероятность нахождения дефектного участка ремня в «слепой зоне» (например, в ручье шкива) на момент контроля его технического состояния.

Проведенными исследованиями установлены четкие взаимосвязи между различными повреждениями ремня и изменениями значений указанных выше параметров. Например, величина проскальзывания ремня заметно изменяется при прогрессирующем истирании боковин.

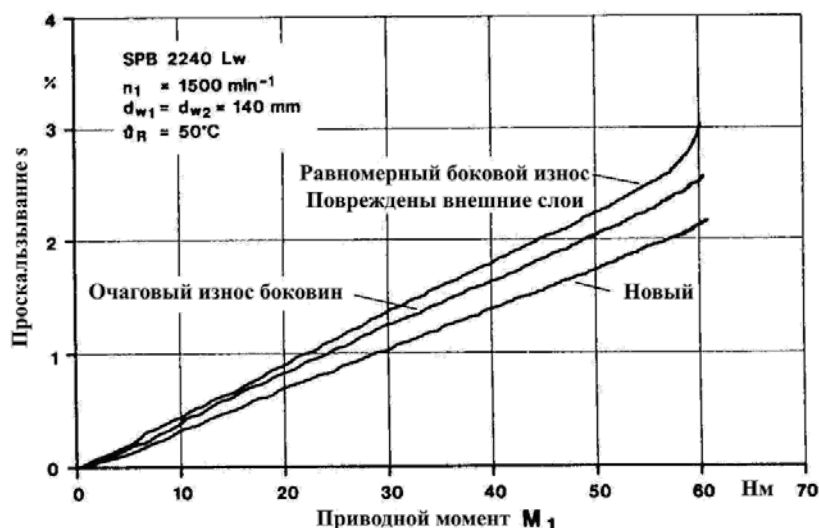


Рисунок 1 – Влияние изнашивания боковин ремня на проскальзывание

Из рисунка 1 виден характер увеличения проскальзывания ремня при постепенном изнашивании его внешней поверхности. Однако, для оценки текущего состояния ремня прежде всего необходимо знать о его внутренних повреждениях, которые неизбежно накапливаются в течение эксплуатации, но не заметны даже при детальном осмотре передачи. Диагностировать такие повреждения можно при оценке колебаний ведущей ветви ремня. Для этого устанавливается регистратор в виде натяжного ролика с датчиком его перемещения. Частота колебаний и амплитуды отклонения ролика регистрируются, делается их спектральный анализ, на основе которого можно получать данные о текущей величине

крутящего момента, а также о наличии повреждений в самом ремне. При местном боковом износе увеличивается амплитуда колебаний натяжного ролика (рисунок 2), что объясняется следующим: боковой износ уменьшает ширину ремня, в результате чего дефектные места сильнее перегибаются через шкив. Эти изменения угла отклонения обуславливают и колебания крутящего момента. При дефекте на рабочей поверхности ремня наступает сбой в круговой развертке, причем повышается амплитуда собственных колебаний.

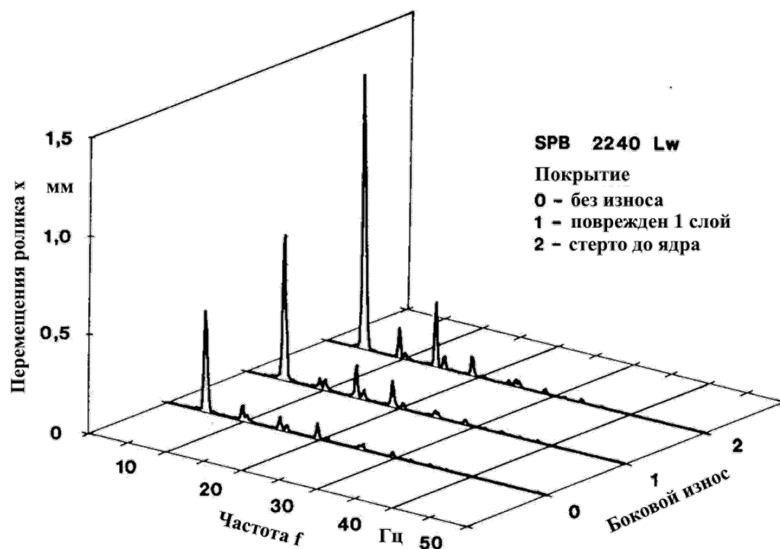


Рисунок 2 – Спектры Фурье колебаний натяжного ролика для различных величин бокового износа

В процессе эксплуатации корд может повреждаться при экстремальных перегрузках, при некачественном монтаже ремня, а также при прогрессирующем процессе бокового истирания и порывов ядра. При повреждении или расслоении корда изменяется жесткость ремня. Колебания жесткости обуславливают колебания частоты вращения, чье влияние на колебания натяжного ролика показано на рисунке 3.

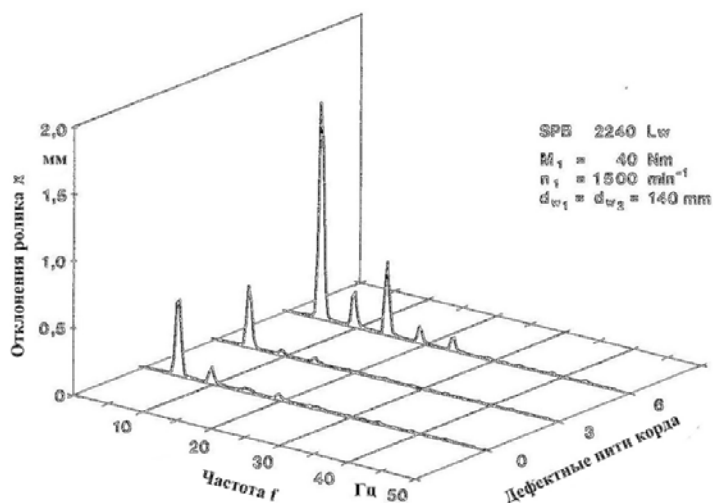


Рисунок 3 – Спектры Фурье колебаний натяжного ролика после повреждения корда ремня

Сравнение спектров свидетельствует о том, что большие изменения жесткости (шесть поврежденных нитей корда) имеют четкое влияние на колебательный процесс натяжного ролика. Три порванных нити корда не оказывают почти никакого влияния на спектр. Таким

образом, дефекты корда становятся очевидными только при их большом количестве.

Помимо этого ремень может иметь также усталостные повреждения в ядре, разрыв внешней оболочки, растяжение и т.п., что в свою очередь вызывает колебания различной частоты и проскальзывание. В качестве номинального значения параметра для систем диагностирования берутся начальные значения частот и амплитуд определенного ремня после завершения процесса обкатки. Учитывая, что объекты диагностирования схожего типа и конструкции имеют относительно близкие по своим значениям критические величины параметров технического состояния, фиксация факта приближения отказа возможна с достаточной точностью. [2]

На рисунке 4 представлена схема функционирования системы диагностики. С точки зрения формирования системы контроля технического состояния для ремней в качестве входных величин выступают: частота вращения  $n_1$ , частота вращения  $n_2$  и отклонения  $x$  натяжного ролика; производные величины – буксование  $s$  и крутящий момент  $M$ ; вычисляемые диагностические величины – проскальзывание при номинальном крутящем моменте  $s_1$ , проскальзывание при 1,5-кратном от номинального крутящем моменте  $s_{1,5}$  и действующее значение перемещений натяжного ролика  $x_{eff}$ .

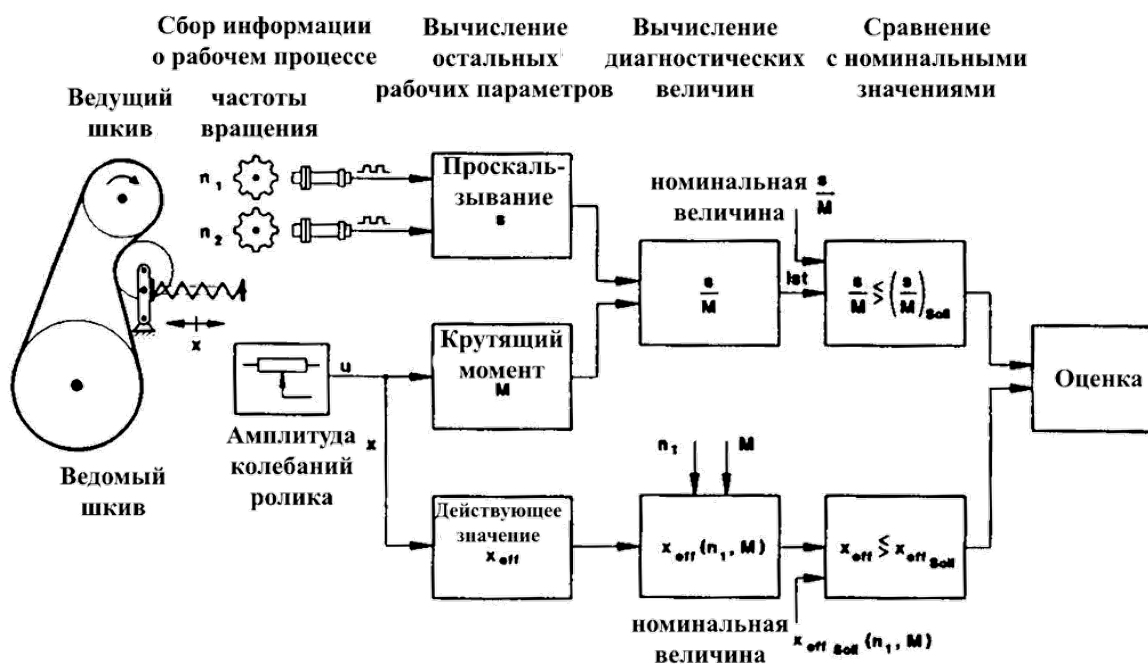


Рисунок 4 – Функционирование системы диагностирования

Для оценки действующих значений колебаний натяжного ролика такие параметры, как частота вращения и крутящий момент, не являются необходимыми, если диагностирование производится или повторяется в стационарных условиях. Если диагностирование производится не при постоянных эксплуатационных условиях, заданные величины необходимо определять в зависимости от частоты вращения и крутящего момента с помощью функций слежения в сравнении с реальными значениями.

Частота диагностических циклов определяется в основном скоростью, с которой происходит изнашивание. [7] Рисунок 5 показывает примеры для повременного проведения диагностических операций.

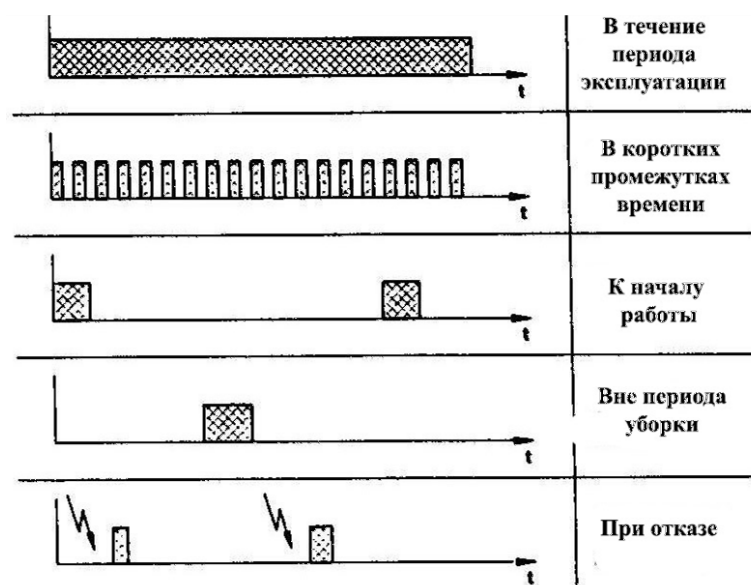


Рисунок 5 – Разграничение по времени диагностических мероприятий

Колебания натяжного ролика при диагностики ремней не должны постоянно анализироваться. Измерительные циклы могут производиться со средними временными промежутками, например, при разворотах комбайна или при разгрузке зернового бункера. Проскальзывание необходимо отслеживать постоянно, так как данный параметр возможно использовать также для слежения за процессом обмолота.

**Выводы.** Для достижения оптимального экономического эффекта и определенного уровня качества диагностирования обособленное существование подобной системы будет не совсем оправдано. Поэтому расширение системных функций, их реализация на основе ряда технических устройств и датчиков как подсистема в непрерывной оценке технического состояния ременных передач сельскохозяйственных машин, а также интеграция в различные системы бортовой самодиагностики [3, 6] обеспечит своевременную фиксацию отклонений контролируемых диагностических параметров, уменьшит вероятность возникновения отказов и положительно скажется на надежности работы машины в процессе эксплуатации.

#### Список использованных источников:

1. Андреев О.П. Научные основы эффективного использования машинно-тракторных агрегатов. - М.: Автограф, 2020. - 115 с.
2. Жосан А.А. К вопросу развития средств диагностирования / А.А. Жосан, С.Н. Куликов, М.М. Ревякин // Труды ГОСНИТИ. – Москва, 2009. Т. 103. № 1. С. 47-48.
3. Жосан А.А. Топология построения систем самодиагностики: вариативность и оптимальность / А.А. Жосан, М.М. Ревякин // Вестник Орловского государственного аграрного университета. – Орел, 2011. Т. 29. № 2. С. 109-111.
4. Королев А.Е. Изменение технической готовности уборочных машин / А.Е. Королев // Наукосфера. – Смоленск, 2021. № 1-2. С. 89-93.
5. Павлюк Р.В. Повышение эффективности использования зерноуборочных комбайнов / Р.В. Павлюк, В.С. Пьянов, А.Т. Лебедев // [Механизация и электрификация сельского хозяйства](#). - 2010. - № 1. - С. 18-19.
6. Ревякин М.М. Применение системы эксплуатационной самодиагностики для обеспечения реализации заявленного ресурса дизелей / М.М. Ревякин // Технология колесных и гусеничных машин. – Москва, 2014. № 3. С. 35-43.
7. Фомичёв Е.В. Диагностирование как способ получения информации о техническом

состоянии сельскохозяйственных машин и повышения их надежности / Е.В. Фомичёв, М.М. Ревякин // Агротехника и энергообеспечение. – Орел, 2014. № 1 (1). С. 356-361.

8. Харахашян С.М. Диагностирование зерноуборочного комбайна по внешним признакам отказов / С.М. Харахашян, В.П. Димитров, К.Л. Хубиян // Вестник Донского государственного технического университета. – Ростов-на-Дону, 2010. № 3(46). С. 355-363.

*Максим Михайлович Ревякин, кандидат технических наук, доцент, revyakinmm@inbox.ru, Россия, Орел, ФГБОУ ВО Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина*

*Артур Александрович Жосан, кандидат технических наук, доцент, a-josan@yandex.ru, Россия, Орел, ФГБОУ ВО Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина*

*Сергей Иванович Головин, кандидат технических наук, доцент, golovinsi@yandex.ru, Россия, Орел, ФГБОУ ВО Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина*

#### TO THE QUESTION OF DIAGNOSING MOBILE ENERGETIC MEANS FOR AGRICULTURAL PURPOSE

*Revyakin M.M., Josan A.A., Golovin S.I.*

**Abstract** *The occurrence of failures of mobile energy facilities for agricultural purposes, especially equipment that is used seasonally, leads to an increase in the material and time costs for their elimination and reduces the reliability of machines. It is advisable to monitor diagnostic parameters for as many systems, units and assemblies of a technical object as possible. Condition monitoring is also necessary for agricultural machinery drives. The factors influencing the resource of the V-belt transmission, as well as the performance of the belt are presented. The influence of focal wear of the sidewalls and uniform lateral wear of the belt on slipping is shown. Diagnosis of internal damage is carried out by assessing the vibrations of the leading branch using a recorder and a sensor of its displacement. The results of spectral analysis at various values of lateral wear and defective cords of a belt, as well as a diagram of the functioning of the diagnostic system with input, derivative and calculated diagnostic values are presented. The initial values of frequencies and amplitudes of a certain belt after the completion of the running process are used as the nominal value of the parameter for the diagnostic system.*

*Key words: diagnosis, belt, slippage, technical condition, operation, defect*

*Revyakin M.M., Candidate of Technical Sciences, revyakinmm@inbox.ru, Russia, Orel, Federal State Budgetary Educational Establishment of Higher Education "Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin"*

*Josan A.A., Candidate of Technical Sciences, a-josan@yandex.ru, Russia, Orel, Federal State Budgetary Educational Establishment of Higher Education "Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin"*

*Golovin S.I., Candidate of Technical Sciences, golovinsi@yandex.ru, Russia, Orel, Federal State Budgetary Educational Establishment of Higher Education "Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin"*

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ МАЛЫХ ФОРМ ХОЗЯЙСТВОВАНИЯ В АПК**

Маринченко Т.Е.

ФГБНУ «Росинформагротех»

***Аннотация.** В основе современного агропроизводства в мире лежит повышение наукоемкости производимой продукции, одним из направлений этого процесса является внедрение цифровых технологий в производство. Цифровизация меняет облик и структуру экономики стран и регионов, при этом конкурентоспособность отраслей отдельных стран на мировых рынках повышается, что способствует росту национальных экономик. Цифровизация агропроизводства характерна для многих стран мира. Новые национальные приоритеты России предполагают использование цифровых технологий для обеспечения вхождения страны в число крупнейших экономик мира, с учетом этого вопрос цифровизации деятельности в хозяйствах среднего и малого предпринимательства является очень актуальным. Целью исследования является анализ опыта цифровизации малыми формами хозяйствования, определение его потенциала и аргументация тиражирования этого опыта с применением монографического, сравнительного, системного анализа и других методов. Распространение сведений о положительном опыте использования цифровых технологий будет способствовать более широкому их распространению среди малых форм хозяйствования.*

***Ключевые слова:** цифровизация, АПК, малые формы хозяйствования, блокчейн, краудфандинг*

**Введение** В основе развития мирового сельского хозяйства лежит повышение наукоемкости производимой продукции, эффективным инструментом достижения этой цели является внедрение цифровых технологий в производство. Цифровизация агропроизводства является мировым трендом. Программы «умного фермерства», «точного фермерства» действуют во многих странах. С внедрением цифровых технологий производство становится более эффективным и природосберегающим, т.е. эффективно используются производственные ресурсы для производства продукции устойчивого высокого качества при снижении неблагоприятного воздействия на окружающую среду. Комплексное и интегрированное применение цифровых технологий позволяет повысить эффективность принятых решений, а также упростить документооборот. Темпы внедрения технологий «искусственного интеллекта» (ИИ) в агрокомплексе растут на 22,5% в год. Согласно данным исследовательской компании «MarketsandMarkets», к 2025 г. объем этого рынка составит 2,6 млрд долл. [2, 10].

Авторитетные международные организации в области продовольственной и пищевой безопасности, такие как например ФАО, Всемирный банк, ОЭСР, в течение многих лет проводят мониторинг уровня цифровизации мирового сельского хозяйства, сообщают о высоком потенциале технологий Agriculture 4.0, одновременно в мире растет. Во всем мире

отмечается большой исследовательский и инвестиционный интерес к этой области. Реализуются крупные исследовательские и инновационные программы по цифровизации, например, Internet of Food and Farming, Digital Innovation Hubs, Smart Agri Hubs в Европейском Союзе, Digi Scare Platform и Food Agility Hub – Австралии, #DigitAg – во Франции [6]. Научно-исследовательские институты активно участвуют исследованиях в области цифровизации агропроизводства, например, Вагенингенский университет в Нидерландах и AgResearch в Новой Зеландии, а также Национальное агентство научных исследований Австралии и глобальная сельскохозяйственная инновационная сеть CGIAR сотрудничают в инициативах по цифровизации [2].

Национальные приоритеты современной России определяют модель технологического развития страны, обозначенную в программных документах социально-экономического развития страны на период до 2030 с акцентом на опережающее развитие и модернизацию российской экономики путем широкого освоения базисных инноваций пятого и ускоренного перехода на шестой технологический уклад, ядро которого составляют нано, био и цифровые технологии. Для ускорения проникновения цифровизации в производство реализуется национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации», которая призвана способствовать преобразованию приоритетных отраслей экономики, включая сельское хозяйство, посредством внедрения цифровых технологий и платформенных решений и ускорить технологическое развитие [2, 7].

Однако цифровые технологии внедряются в основном крупными производителями, сектор среднего и малого сельскохозяйственного производства вовлечен в процессы цифровизации производства в меньшей степени в связи с отсутствием свободных средств для инвестиций в модернизацию производства. Поэтому анализ практики внедрения цифровых технологий малыми формами хозяйствования (МФХ), в частности фермерами, и определение их потенциала является актуальным.

**Материалы и методы** Материалом для исследования послужили: ведомственная программа «Цифровое сельское хозяйство», научные публикации по проблемам цифровизации АПК, данные о российских разработках в области цифровизации и опыте применения технологий блокчейн МФХ. Применялись методы: монографический, сравнительного и системного анализа, идеализации и мысленного моделирования, а также логический подход.

### **Результаты исследования и их анализ**

Эффективность сельскохозяйственного производства в России не достигает уровня развитых стран. Россия занимает 15-е место в мире по общему уровню цифровизации и 45 место в мире по уровню цифровизации АПК. По оценкам, только 13-15% производителей могут внедрять цифровые технологии и коммерциализировать научно-технические разработки. Но при этом рынок информационных технологий в АПК оценивается в более чем 360 млрд руб., и уровень цифровизации, по прогнозам, должен достигнуть к 2026 г. увеличение в пять раз, в том числе за счет стартапов. Конечной целью программы «Цифровое сельское хозяйство» является разработка и запуск тиражируемых комплексных инновационных проектов сквозных интеллектуальных систем «Страна», «Регион», «Сельхозпредприятие», «Поле (Ферма)», основанных на отечественных методах, алгоритмах, цифровых технологиях и образцах систем и устройств [2, 13].

Суммарный экономический эффект от перехода сельских хозяйств на бизнес-модели, базирующиеся на цифровизации, может составить более 4,8 трлн руб. в годовом выражении, рост производительности труда в три-пять раз, а рост потребления информационных

технологий за счет цифровизации АПК – 22% [4, 8, 11].

Как и во всем мире [9], так и в России активно развиваются технологии блокчейн, обеспечивающие прозрачный и защищенный обмен информацией, включая деньги и интеллектуальную собственность с эффективной защитой данных. Отличительной особенностью является отсутствие риска искажения информации и децентрализованное хранение, что в комплексе делает технологию блокчейн лучшим на сегодня инструментом передачи защищенной от подделки информации.

Наиболее известным использованием блокчейн-технологии стало создание криптовалют в качестве платежного средства, в том числе в сельскохозяйственном производстве.

Традиционно компании преимущественно используют три основных механизма инвестирования: банковское кредитование, акционерное финансирование, а также путем применения структурированных финансовых продуктов, таких как мезонинное финансирование (способ финансирования проектов, при котором инвестор предоставляет средства в виде долгового финансирования с возможностью получения акций или долей в компании заемщика в будущем).

В АПК существуют успешные примеры привлечения финансирования с помощью ICO – привлечения инвестиций в виде продажи инвесторам фиксированного количества новых единиц криптовалют, полученных разовой или ускоренной эмиссией. Для привлечения инвесторов необходимо подготовить некое небольшое представление видения развития проекта и официальное сообщение, называемое «White paper», являющиеся атрибутом первичного размещения токенов, эквивалентом которых может быть, например, доля урожая. Компания проекта продает цифровые токены, которые на платформе проекта можно использовать в качестве внутренней валюты или торговать ими на биржах. Такое размещение позволяет найти финансирование даже для рискованных проектов.

Российские компании, которые пытаются совершить ICO-сделки, по мнению экспертов, могут привлечь сравнительно небольшие суммы, около 200-300 тыс. долл. США, что, является одним из недостатков криптовалюты. Второй важный недостаток проявляется в нестабильности курса из-за юридической неопределенности статуса данной валюты.

Тем не менее, известны примеры, удачные и не очень. Фермерский кооператив «LavkaLavka» стал одним из первых, кто решил осваивать цифровые валюты. ICO компании стартовало 1 ноября 2017 г. По итогам первого дня на собственной платформе biosoin.bio было привлечено около 500 тыс. долл. США.

На 6 февраля 2018 г. компания получила более 11,8 млн долл. США. Первичная эмиссия составляла 1 млрд монет, из них в свободной продаже – 800 млн. Приобретенные инвесторами токены предполагались к обмену на фермерскую продукцию.

ICO завершилось в 2018 г и удалось привлечь эквивалент 16 млн. долл. США. Фактически же эта сумма была сильно завышена. Как оказалось, 90% от собранных средств были зарезервированы в виде опционов, которыми так никто и не воспользовался. То есть компании удалось привлечь эквивалент 80 млн рублей – в рублях и криптовалютах «Сибирский червонец», Ethereum и биткоин. При этом доля криптовалют составляла 60%, и после падения их курса, компания потеряла деньги. По итогам ICO LavkaLavka удалось привлечь сумму «примерно равную» 50-60 млн рублей.



Таким образом, собранных на ICO средств хватило только на реализацию части проекта [5, 7].

В последние годы объем средств, привлеченных посредством ICO в мире снижался [1]. Одновременно растет интерес к ИЕО, который, является разновидностью краудфандинга, позволяющей обращаться к глобальному пулу инвесторов с очень низким входным барьером. Основное преимущество ИЕО выражается в том, что криптовалютная биржа облегчает предложение токенов на своей платформе и впоследствии проводит листинг данного проекта, в то время как в рамках ICO команда управления проектом самостоятельно отвечает за маркетинг, платежи и т. д. [10].

В мае 2019 г. средства, собранные в рамках ИЕО-проектов, превысили отметку в 1 млрд долл. США, при этом общий объем средств, привлеченных в рамках такого рода проектов во всем мире, достиг более 1,6 млрд. Большинство из этих средств – примерно 1,4 млрд долл. – было собрано в 2019 г. [12].

Развитие технологий обмена информацией привело к проявлению новых форм взаимодействия производителей и потребителей с использованием элементов совместного использования и краудсорсинга, которые позволяют оптимизировать логистику минимизацией отходов:

«crowdfarming» — это модель аутсорсинга, в которой потребитель инвестирует в конкретное плодородное дерево, участок поля или животное, а фермер обеспечивает производство персонализированной продукции по индивидуальному заказу потребителя. Потребителю при этом предоставляется возможность удаленного наблюдения за производственными процессами, что играет роль и при обеспечении безопасности продукции;

«foodsharing» — социальная платформа, основанная на экологическом движении, которое помогает организациям экологично и с высоким социальным эффектом освободиться от непроданной вовремя, но пригодной для потребления, пищевой продукции путем ее безвозмездной передачи нуждающимся. Направление активно развивается во многих странах, с 2015 г. существует в Москве и Санкт-Петербурге.

Многие фермеры, нуждающиеся в финансировании, но не желающие заниматься оформлением большого количества документации, видят выход в краудфандинге. Он имеет ряд существенных преимуществ: необязательность регистрации (запустить проект можно как физическое лицо), отсутствие необходимости сбора большого количества документов и бюрократического влияния на результат, тест на интерес общественности к продукту, а также есть вероятность собрать больше, чем было заявлено при запуске. При этом, запуская кампанию по сбору средств через краудфандинговую платформу, возможно привлечь потенциальных покупателей продукции.

Среди успешных примеров краудфандинга можно выделить такие проекты как «Долина коз», собравший необходимые 352 300 руб. на организацию производства козьего сыра сортов шевре и камамбер, «Строим кроликоферму в Ростовской области», получивший 585 500 руб., а также проекты Boomstarter.ru «Восстанавливаем крестьянское хозяйство «Белые росы»» (455 450 руб.) и «Развиваем крестьянское хозяйство «Белые росы» (915 690 руб.).

Проекты развития небольших хозяйств и деревень зачастую привлекают крупных спонсоров, например, «Возрождаем деревни – укрепляем Россию!», собравший 481 300 руб. на расширение и создание рабочих мест для женщин.

Но главным потенциалом технологий блокчейн является возможность быстрого

подтверждения проведения любых сделок. Банки сравнительно недавно начали активно внедрять блокчейн-технологии, показавшие высокую эффективность за счет значительного ускорения и упрощения принятия решений о финансировании и государственном субсидировании.

Производство и реализации продукции АПК на современном этапе нуждается в организации эффективной логистики и финансирования закупок, а также контроля качества продовольствия, обеспеченного достоверностью происхождения. Применение технологий блокчейн позволяет обеспечить в едином прозрачном для всех пространстве обмен данными для организации цепочек поставок путем установки контактов между поставщиками, перевозчиками, покупателями, операторами складских услуг. Для пищевых продуктов с их небольшим сроком хранения это особенно актуально. Как показывает мировой опыт, внедрение блокчейн-технологий в АПК решает важную проблему фермеров по сбыту продукции, исключая из цепочки посредников.

Внедрение блокчейн-технологии в процесс сертификации производства и переработки позволяет эффективно защитить добросовестного поставщика, при этом проще, дешевле и надежнее традиционных систем сертификации. Особенно актуально это для органических продуктов, а также продуктов, контролируемых по происхождению. После внесения фермером информации о продукции изменение ее другими лицами невозможно.

Технологию блокчейн можно представить в виде системы накопления и хранения данных обо всех операциях, осуществленных в течение жизненного цикла продукта. Технология блокчейна может быть применена и к любым другим видам транзакций, в том числе и в АПК. Она позволяет обеспечить прозрачность цепочки товародвижения на всем пути «от фермы до тарелки», предоставляя возможность эффективной борьбы с фальсификатом и контрафактом, быстрого выявления некачественной продукции, моделирования эффективных цепочек поставок и оптимизации логистики, и соответственно, сокращения объема потерь.

**Выводы.** В основе развития мирового сельского хозяйства лежит повышение наукоемкости производимой продукции, эффективным инструментом этого процесса является внедрение цифровых технологий в производство.

Национальные приоритеты современной России, определяемые программными документами социально-экономического развития страны на период до 2030 прогнозируют большой эффект от внедрения моделей, базирующихся на цифровизации – суммарный экономический более 4,8 трлн руб. в год повышение производительности труда в три-пять раз. Однако возможность производителей коммерциализировать научно-технические разработки оценивается на уровне 3-15%, в основном крупных предприятий, имеющих возможность инвестировать в модернизацию и цифровизацию.

Обеспечение продовольствием растущего населения требует решения проблем организации эффективной логистики, финансирования закупок, контроля качества продовольствия и предотвращения фальсификации продукции. Широкое внедрение технологий блокчейн позволяет решить эти проблемы. Единое прозрачное для всех пространство обмена данными позволяет эффективно организовывать цепочку поставок, что особенно важно для пищевых продуктов с небольшим сроком хранения, защитить добросовестного поставщика при внедрении в сертификацию производства и переработки пищевой продукции. Актуальное это и для органических продуктов и продуктов, контролируемых по происхождению. Внесенная в систему информация не может быть

искажена, поэтому технологию блокчейн считают лучшим на сегодня инструментом для передачи защищенной от подделки информации.

Для фермеров внедрение блокчейн-технологий может максимально упростить сбыт продукции и исключить из цепочки лишних посредников. Вопрос финансирования фермеров, в том числе в части инвестирования в цифровизацию процессов производства, внедрения технологий блокчейн в сертификацию и логистику может быть решен посредством краудфандинга. ICO и краудфандинг могут стать отправной точкой для развития и модернизации фермерских хозяйств, запуск крауд-проекта может собрать начальную сумму для старта и привлечет внимание широкой аудитории.

Проекты, направленные на развитие сельского хозяйства, особенно в сфере малого предпринимательства, решают большое количество локальных проблем, требующих инвестиций: развитие сельских территорий и инфраструктуры, развитие и модернизация фермерских хозяйств, трудоустройство, закрепление молодежи, производство продукции по классической рецептуре, развитие логистических цепочек. и т.д. Поэтому информацию об успешных практиках применения информационных технологий необходимо популяризовать среди фермеров популяризовать для более широкого распространения среди фермеров.

#### Список использованных источников

1. ИЕО собрали 1,4 млрд долларов в 2019-м. Заменят ли они ICO? [Электронный ресурс] URL:<https://bitnewstoday.ru/news/ieo-sobrali-1-4-mlrd-dollarov-v-2019-m-zamenyat-li-oni-ico>.
2. Ведомственный проект «Цифровое сельское хозяйство»: официальное издание [Текст]. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. – 48 с.
3. Трошин А.С. Цифровая трансформация сельского хозяйства как основа инновационного развития [Текст]/ Трошин А.С., Божков Ю.Н., Санду И.С. // Экономика, труд, управление в сел. хоз-ве. – 2018. – № 12 (45). – С. 3-8.
4. Труфляк Е.В. Результаты анкетирования по направлению «Цифровая трансформация сельского хозяйства» [Текст]/ Труфляк Е.В., Креймер А С., Курченко Н.Ю./– Краснодар: КубГАУ, 2020. – 21 с.
5. In Wara Reports [Электронный ресурс] URL: <https://www.inwara.com/report/>.
6. Laurens Klerkx Dealing with the game-changing technologies of Agriculture 4.0: How do we manage diversity and responsibility in food system transition pathways? [Текст]/ Laurens Klerkx, David Rose // Global Food Security Volume 24, March 2020, 100347 March 2020, 100347 <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.100347>.
7. Marinchenko T E, Digital Technology in Agricultural Sector [Текст]/ Marinchenko T.E. /// IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2021. 666 032024 DOI: [10.1088/1755-1315/666/3/032024](https://doi.org/10.1088/1755-1315/666/3/032024).
8. Marinchenko T.E. Digital transformations in agriculture [Текст]/ Marinchenko T.E. // Studies in Systems, Decision and Control. 2021. Т. 283. С. 409-418. DOI: 10.1007/978-3-030-58823-6\_45.
9. Marinchenko T.E. Digitalization of agricultural sector: outlook in Russia [Текст]/ Marinchenko T.E. // European Proceedings of Social and Behavioural Sciences EpSBS. 2020. – С. 1140-1148. URL: DOI: [10.15405/EPSSBS.2020.10.03.131](https://doi.org/10.15405/EPSSBS.2020.10.03.131).
10. Marinchenko T.E .Scientific and educational institutions as a basic element of the innovative environment in the agricultural sector [Текст]/ Marinchenko T.E. // IOP Conference

Series: Earth and Environmental Science. 2021. 699.p. 012039. DOI: 10.1088/1755-1315/699/1/012039.

11. Mario Lezoche Agri-food 4.0: A survey of the supply chains and technologies for the future agriculture [Текст]/ Mario Lezoche, Jorge E. Hernandez, Maria del Mar Eva Alemany Díaz, Hervé Panetto, Janusz Kacprzyk// Computers in Industry. Vol. 117, May 2020, 103187 <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103187>.

12. Ognivtsev S. Digitalization of the economy and the economy of agribusiness [Текст]/ Ognivtsev S. // International Agricultural Journal. 2019. No 2 (368). pp 77-80. DOI: 10.24411/2587-6740-2019-12034/.

13. The Agriculture and Food Sector in Russia: Global Opportunities for Growth [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rbcc.com/resources/bulletin-online/the-agriculture-and-food-sector-in-russia-global-opportunities-for-growth>.

### References

1. “Digital Agriculture” departmental project: official publication [Text] Moscow: Rosinformagrotekh, 2019 – 48 p.

2. Laurens Klerkx Dealing with the game-changing technologies of Agriculture 4.0: How do we manage diversity and responsibility in food system transition pathways? [text]/ Laurens Klerkx, David Rose // Global Food Security Volume 24, March 2020, 100347 March 2020, 100347 <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.100347>

3. Marinchenko T.E. Digitalization of agricultural sector: outlook in Russia [text]/ Marinchenko T.E. // European Proceedings of Social and Behavioural Sciences EpSBS. 2020. – pp. 1140-1148 Retrieved from: <http://iopsciens.iop.org/article/10.1088/1757-899x/873/1/012004> (accessed on 16.02.2021).

4. The Agriculture and Food Sector in Russia: Global Opportunities for Growth. Retrieved from: <https://www.rbcc.com/resources/bulletin-online/the-agriculture-and-food-sector-in-russia-global-opportunities-for-growth>.

5. Marinchenko T.E. Digital transformations in agriculture [text]/ Marinchenko T.E. // Studies in Systems, Decision and Control. 2021. Vol. 283. pp. 409-418.

6. Truflyak E.V. Results of the questionnaire survey in the area of “Digital transformation of agriculture” [text] / Truflyak E.V., Kreimer AS, Kurchenko N.Yu./– Krasnodar: KubSAU, 2020. – 21 p.

7. Mario Lezoche Agri-food 4.0: A survey of the supply chains and technologies for the future agriculture [text]/ Mario Lezoche, Jorge E. Hernandez, Maria del Mar Eva Alemany Díaz, Hervé Panetto, Janusz Kacprzyk// Computers in Industry Volume 117, May 2020, 103187 <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103187>

8. Troshin A.S. Digital transformation of agriculture as the basis for innovative development [Text] / Troshin A.S., Bozhkov Yu.N., Sandu I.S. // Economy, labor, management in agriculture. – 2018. – No. 12 (45). – pp. 3-8.

9. Marinchenko T E, Digital Technology in Agricultural Sector [text]/ Marinchenko T.E. // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2021. 666 032024

10. *Marinchenko T.E* .Scientific and educational institutions as a basic element of the innovative environment in the agricultural sector [text]/ Marinchenko T.E/ // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. 699.p. 012039. DOI: [10.1088/1755-1315/699/1/012039](https://doi.org/10.1088/1755-1315/699/1/012039)

11. In Wara Reports. Retrieved from: <https://www.inwara.com/report/>

12. IEOs raised \$ 1.4 billion in 2019. Will they replace ICO? Retrieved from: <https://bitnewstoday.ru/news/ieo-sobrali-1-4-mlrd-dollarov-v-2019-m-zamenyat-li-oni-ico>

13. Ognivtsev S. Digitalization of the economy and the economy of agribusiness [text]/ Ognivtsev S. // (International Agricultural Journal) 2019. No 2 (368).—pp. 77-80 DOI:

*Маринченко Т.Е., научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса», 141261, Московская область, Пушкинский р-н, р.п. Правдинский, ул. Лесная д. 60*

## INFORMATION TECHNOLOGY FOR SMALL BUSINESSES IN THE AGRICULTURAL SECTOR

Marinchenko T. E.

Rosinformagrotekh FSBSI

Abstract. At the heart of modern agricultural production in the world is an increase in the science intensity of manufactured products. One of the areas of this process is the introduction of digital technology into production. Digitalization is changing the appearance and structure of the economies of countries and regions, while the competitiveness of industries of individual countries in world markets is increasing, which contributes to the growth of national economies. The digitalization of agricultural production is typical for many countries of the world. The new national priorities of Russia imply the use of digital technology to ensure the country's entry into the number of the largest economies in the world. With this in mind, the issue of digitalization of activities in small and medium-sized businesses is very relevant. The purpose of the study is to analyze the experience of digitalization by small forms of business, determine its potential and justify replicating this experience using monographic, comparative and systemic analysis, as well as other methods. Dissemination of information on positive experiences of using digital technology will contribute to their wider dissemination among small businesses.

Keywords: digitalization, agricultural sector, small forms of business, blockchain, crowdfunding

*Marinchenko T.E., Researcher, Federal State Budgetary Scientific Institution "Russian Research Institute of Information and Technical and Economic Research on Engineering and Technical Support of the Agro-Industrial Complex", 141261, Moscow Region, Pushkinsky District, settlement Pravdinsky, st. Lesnaya, 60*

## ОЦЕНКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ АВТОРЕГРЕССИОННЫХ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОЛНЕЧНЫХ ЭНЕРГОУСТАНОВОК

Н. С. Филиппченкова

Акционерное общество Объединенная энергетическая компания,

***Аннотация.** В настоящее время в области электроснабжения сельскохозяйственных объектов растет интерес к разработке инженерных систем с использованием возобновляемых источников энергии, в особенности, фотоэлектрических систем. В виду того, что связи между технико-экономическими показателями фотоэлектрических систем имеют сложно идентифицируемый характер, нелинейные авторегрессионные нейросетевые модели могут найти успешное применение в области прогнозирования и представить более достоверные результаты, чем линейные модели. В работе представлены результаты разработки математических моделей для прогнозирования суточного хода электрической мощности и полной приведенной стоимости электроэнергии (levelized cost of energy - LCOE) для солнечных фотоэлектрических систем на основе нелинейной авторегрессионной нейронной сети с экзогеном (neural autoregressive network with exogenous - NARX).*

***Ключевые слова:** солнечная энергоустановка, фотоэлектрическая система, электрическая мощность, полная приведенная стоимость, нелинейная авторегрессионная нейронная сеть с экзогеном.*

### Введение

В настоящее время для фотоэлектрических систем (ФЭС) оценка технико-экономических показателей (ТЭП) является актуальной задачей, поскольку, несмотря на непрерывный рост объемов ввода генерации, ФЭС относятся к категории инновационных проектов, имеющих повышенную степень рисков и неопределенности.

Для прогнозирования ТЭП разработаны и активно используются модели ARIMA и GARCH [1-3]. Несмотря на простоту и высокую точность данных моделей, основным недостатком является их линейность, отсутствие возможности учета нелинейного характера отношений между ТЭП. В [4] показано превосходство нелинейных авторегрессионных нейронных сетей с экзогенными входами NARX (neural autoregressive network with exogenous) над обобщающими моделями авторегрессионной условной гетероскедастичности GARCH.

В работе [5] показано повышение точности прогноза электрической мощности ФЭС за счет использования модели экзогенных факторов - значение годовой нормированной среднеквадратичной ошибки (RMSE) уменьшилось на 1%.

Целью работы является оценка разработанных моделей на основе нелинейных авторегрессионных нейронных сетей с экзогенными входами NARX для прогнозирования электрической мощности и полной приведенной стоимости энергии (LCOE), производимой ФЭС. Результаты прогнозов оценивались по среднеквадратической ошибке (MSE) и по коэффициенту корреляции между результатами и целями (R).

## Методы и материалы

Нелинейная авторегрессионная модель с экзогеном NARX описывается следующим уравнением:

$$y(t) = f(u(t - D_u), \dots, u(t - 1), u(t), y(t - D_y), \dots, y(t - 1)), \quad (1)$$

где:  $u(t)$  и  $y(t)$  – вход и выход сети в момент времени  $t$ ;  $D_u$  и  $D_y$  – порядок ввода и вывода;  $f$  – нелинейная функция.

Для прогнозирования электрической мощности  $P$  (Вт), ФЭС, разработана двухслойная сеть NARX со скрытыми сигмовидными нейронами и линейными выходными нейронами. Первым шагом в моделировании является создание базы данных (климатические условия Москвы). На вход сети подаются следующие переменные:

- Ток короткого замыкания ( $I_{sc}$ , А);
- Температура окружающей среды ( $t_{am}$ , °С);
- Суммарная инсоляция ( $E$ , Вт/м<sup>2</sup>).

Указанные выше входные переменные и значения электрической мощности, генерируемой ФЭС, составляют базу данных разработанной сети NARX.

Полная приведенная стоимость электроэнергии LCOE (levelized cost of energy) – отношение полных приведенных капитальных и эксплуатационных затрат к объему выработанной энергии за весь период реализации проекта. Основная расчетная формула LCOE имеет вид [6]:

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{C_t + C_{et}}{(1+d)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{W_t}{(1+d)^t}}, \quad (2)$$

где:  $C_t$  – капитальные затраты в год  $t$ , \$;  $C_{et}$  – операционные затраты в год  $t$ , \$;  $W_t$  – производство электроэнергии в год  $t$ , кВт·ч;  $d$  – ставка дисконтирования, %;  $n$  – жизненный цикл системы.

На вход NARX-сети подаются следующие переменные [7-8]:

- объем ввода генерации ФЭС (ГВт),
- мировое энергопотребление (ТВт·ч),
- потребление нефтепродуктов (млн. т),
- потребление природного газа (млрд. м<sup>3</sup>),
- потребление угля (млн. т),
- потребление электроэнергии (ТВт·ч),
- доля всех возобновляемых источников энергии в мировом производстве электроэнергии (%),
- доля ветровой и солнечной энергии в мировом производстве электроэнергии (%),
- выбросы CO<sub>2</sub> (млн. т CO<sub>2</sub>),
- цена на нефть Brent к доллару США (\$/bbl),
- средняя стоимость природного газа (\$/BTU).

Разработка прогнозной математической модели базы данных была разделена на два процесса: основной процесс (70% данных) предназначен для обучения сети NARX, процесс тестирования и проверки (30% данных) используется для проверки правильности результаты, чтобы получить представление о распределении данных.

На рис. 1 представлена архитектура разработанных сетей NARX для прогнозирования электрической мощности (а) и LCOE (б) ФЭС.

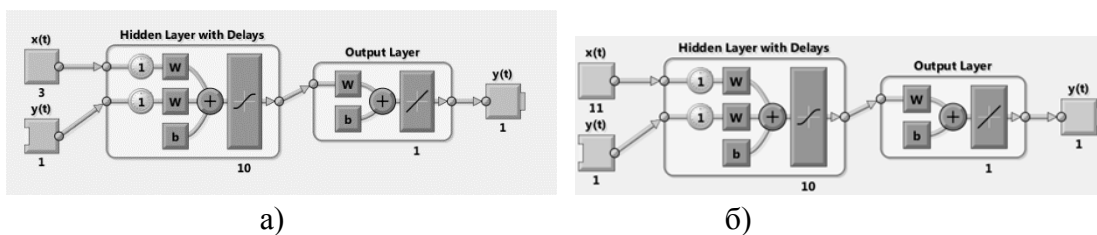


Рисунок 1 - Архитектура NARX-сети для прогнозирования электрической мощности (а) и LCOE (б) ФЭС

Обучение разработанной сети NARX проводилось на основе суточных данных за август для прогнозирования суточного хода электрической мощности и на основе ретроспективных данных за 2005-2010 годы для LCOE. Степень соответствия разработанной NARX данным из обучающего множества определяется интегральным функционалом качества обучения:

$$E(w) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^k (y_i(w) - \tilde{y}_i)^2, \quad (3)$$

где:  $k$  – количество выходов ИНС ПР;  $N$  – количество вход – выходных обучающих примеров;  $(y_i(w) - \tilde{y}_i)$  – вектор отклонения выходов сети от указаний учителя.

### Результаты и обсуждение

С помощью разработанных NARX-сетей получен суточный ход электрической мощности, вырабатываемой ФЭС. На рис. 2 показаны результаты прогнозирования электрической мощности ФЭС с использованием разработанной сети NARX для характерного дня августа.

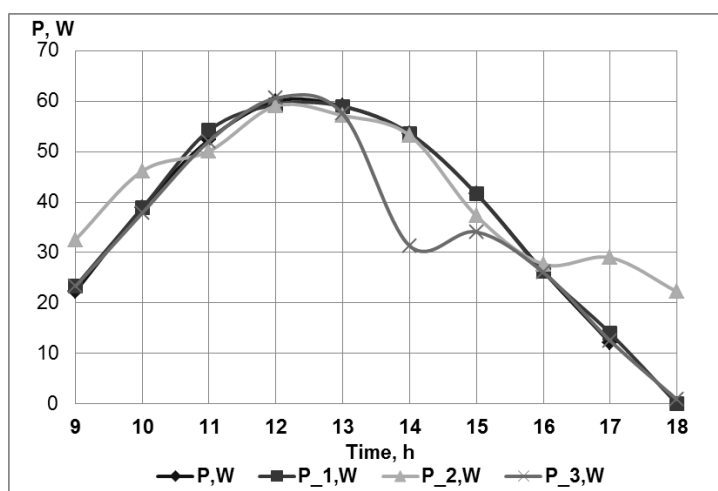


Рисунок 2 - Результаты прогноза электрической мощности ФЭС разработанной NARX-сетью (август): 1 - включены все переменные; 2 - ток короткого замыкания исключен (I sc); 3 - температура окружающей среды исключена (tam)

Как видно из рис.2, сеть NARX со всеми включенными экзогенными параметрами имеет наивысшую эффективность. При этом коэффициент корреляции равен  $R = 0,999$ ,  $MSE = 0,681$ , время обучения  $T = 120$  с.

На рис. 3 для сравнения спрогнозированных и фактических данных представлены результаты прогнозирования LCOE ФЭС с помощью разработанной NARX-сети.



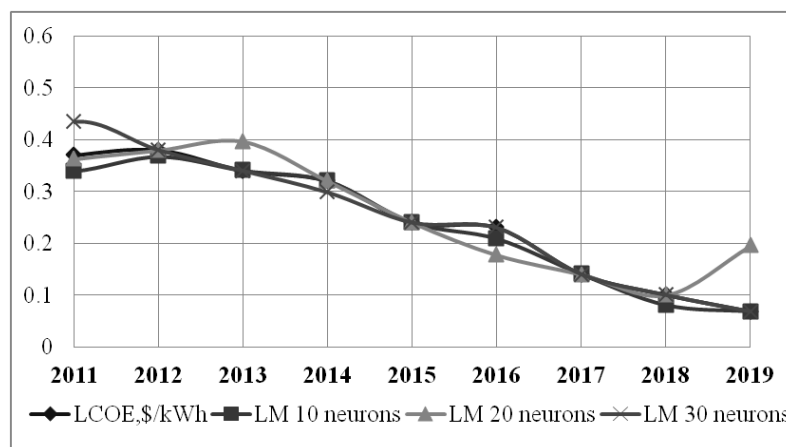


Рисунок 3 - Результаты прогноза LCOE ФЭС с помощью разработанной NARX-сети

Для разработанной NARX-сети для прогнозирования LCOE ФЭС достигнут коэффициент корреляции между результатами и целями  $R = 0.99904$ , среднеквадратичная ошибка  $MSE=0.0042$ .

Анализ относительной погрешности показал высокую сходимость фактических данных с данными прогноза по электрической мощности и LCOE ФЭС - относительная погрешность составляет не более  $\pm 10\%$ .

### Выводы

Таким образом, разработаны математические модели на основе сети NARX для прогнозирования электрической мощности и LCOE ФЭС со значительным приближением ( $R = 0,999$ ). Разработанные модели могут использоваться при принятии инвестиционных решений при разработке проектов ФЭС для электроснабжения потребителей в агропромышленном комплексе и открывают возможности для эффективной реализации нейросетевого подхода к прогнозированию ТЭП ФЭС.

### Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке ФГБУ «Фонд содействия малым инновационным предприятиям в науке и технологиях» (Фонд содействия инновациям) по договору № 15711ГУ / 2020 (от 11 июля 2020 г.).

### Список использованных источников:

1. D.S. Kambouroudis, D.G. McMillan, K. Tsakou. Forecasting Stock Return Volatility: A Comparison of GARCH, Implied Volatility, and Realized Volatility Models. *Journal of Futures Markets*. 2016. V. 36(12). Pp. 1127–1163.
2. J.M. Corrêa, A.C. Neto, L.T. Júnior, E.M.C. Franco, A.E. Faria. Time series forecasting with the WARIMAX-GARCH method. *Neurocomputing*. 2016. P. 805–815.
3. X. Zhang, R. Frey. Improving ARMA-GARCH forecasts for high frequency data with regime-switching ARMA-GARCH. *Journal of Computational Analysis and Applications*. 2015. V. 18(4). Pp. 727-751.
4. T.D. Chaudhuri, I. Ghosh. Artificial Neural Network and Time Series Modeling Based Approach to Forecasting the Exchange Rate in a Multivariate Framework. *ArXiv preprint*. 2016. V. 1607. Pp. 92-93.
5. E.K. Kardakos at all. “Application of Time Series and Artificial Neural Network Models in Short-term Forecasting of PV Power Generation”, *Proceedings of 49th international universities power engineering conference (UPEC)*. 2014. Pp. 1–6.

6. Д. С. Стребков, А.Е. Иродионов, Н.С. Филиппченкова, Солнечные концентраторные модули с жалюзийными гелиостатами / Д. С. Стребков, А.Е. Иродионов, Н.С. Филиппченкова; под редакцией академика РАН Д. С. Стребкова. – М.: ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, ООО «САМ Полиграфист», 2019. – 144 с. ISBN 978-5-00077-843-2.

7. REN21 – Building the sustainable energy future with renewable energy [Официальный сайт]. <https://www.ren21.net>. (дата обращения 06.11.2020).

8. Executive Summary - Projected Costs of Generating Electricity – 2015 Edition [Электронный ресурс]. <http://www.iea.org/textbase/npsum>. (дата обращения 08.11.2021).

*Н. С. Филиппченкова, к.т.н.*

*Акционерное общество Объединенная энергетическая компания, Россия, 115035,*

*Москва, Раушская набережная, д.8*

*тел.: +7(495)657-91-01, e-mail: natalja.filippchenkowa@yandex.ru*

## ASSESSMENT OF THE USE OF NONLINEAR AUTOREGRESSIVE NEURAL NETWORK MODELS FOR PREDICTING TECHNICAL AND ECONOMIC INDICATORS OF SOLAR POWER PLANTS

N. S. Filippchenkova

**Abstract.** Currently, in the field of power supply for agricultural facilities, there is a growing interest in the development of engineering systems using renewable energy sources, in particular, photovoltaic systems. In view of the fact that the relationships between the technical and economic indicators of photovoltaic systems are difficult to identify, nonlinear autoregressive neural network models can be successfully applied in the field of forecasting and provide more reliable results than linear models. The paper presents the results of the development of mathematical models for predicting the daily variation of electrical power and the levelized cost of energy (LCOE) for solar photovoltaic systems based on a nonlinear autoregressive network with exogenous (NARX) neural network.

**Keywords:** solar power plant, photovoltaic system, electric power, levelized cost of energy, nonlinear autoregressive neural network with exogen.

*N. S. Filippchenkova, PhD*

*Joint stock company United Energy Company,*

*8, Raushskaya embankment, 115035, Moscow, Russia*

*tel.: +7(495)657-91-01, e-mail: natalja.filippchenkowa@yandex.ru*

## ЦИФРОВОЙ АНАЛИЗ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РАДИАЛЬНЫХ РАБОЧИХ КОЛЕС ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ТУРБОМАШИН ДЛЯ АПК С УЧЕТОМ УПРУГОСТИ ВАЛА

О.В. Репецкий, Хоанг Динь Кыонг

Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского

**Аннотация:** Радиальные рабочие колеса турбомашин – это сложные вращающиеся детали. Вычислительные модели вала с радиальным рабочим колесом и 10-ю лопатками были построены с использованием параметрических моделей уменьшенного порядка. Цифровые модели учитывают влияние различных вариантов для жестких закреплений по кольцу вала и скорость вращения для исследования изменения собственных частот и напряжений турбомашин. В дальнейшем можно с уверенностью предположить, что исследование изменения собственных частот и напряжения турбомашин от скорости вращения и различных вариантов закрепления по кольцу вала являются актуальными на стадиях проектирования и доводки. Эти расчеты позволят существенно сократить объем дорогостоящих экспериментальных исследований, уменьшить сроки конструирования и значительно снизить требуемые компьютерные ресурсы при проектировании новых конструкций турбомашин для АПК.

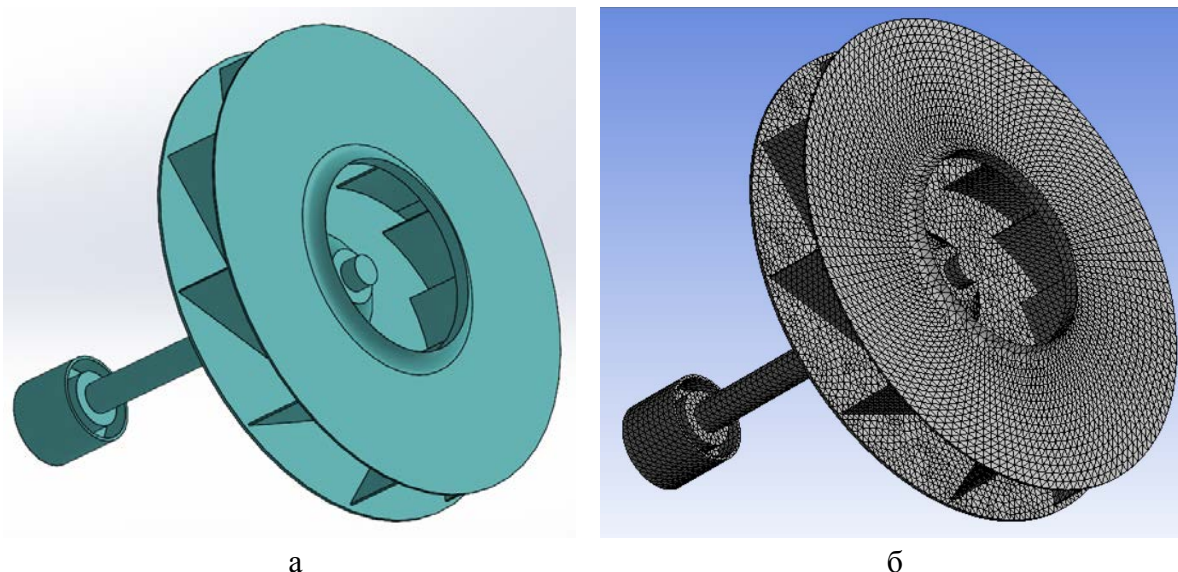
**Ключевые слова:** радиальная лопатка, метод конечных элементов, рабочее колесо, собственная частота, статическое напряжение, турбомашин, форма колебаний.

**Введение.** Для модели вала с радиальным рабочим колесом и 10-ю лопатками (Рис. 1) возникает большой динамический отклик. Собственные частоты резко увеличиваются в эксплуатационном диапазоне вращения. Также отмечается, что в конструкции возникает большая деформация вала. В этой связи, в конструкции модели нужно рассматривать различные варианты для жестких закреплений по кольцу вала. По этому критерию, конструкция модели вала с радиальным рабочим колесом с 10-ю лопатками имела два варианта закрепления по диаметру вала в соответствующих узловых точках конечных элементов [1]. Первый вариант предусматривал что, в кольце 1 применялось жесткое закрепление, а в кольце 2 сохранена свобода перемещений в осевом направлении и оставлено закрепление в остальных осях. А второй вариант – в кольце 1 и 2 применялось жесткое закрепление [2]. Полученные результаты позволяют значительно снизить требуемые компьютерные ресурсы при проектировании новых турбомашин в АПК.

### Материалы и методы исследования

Расчеты на прочность и компьютерное моделирование модели радиального рабочего колеса с валом и 10-ю лопатками энергетических турбомашин показана на Рис. 1. Основные механические характеристики имеют вид: материал рабочего колеса – сталь, модуль Юнга –  $2,1 \cdot 10^5$  Мпа, плотность –  $7850 \text{ кг/м}^3$ , коэффициент Пуассона – 0.3. Общий вид модели вала с радиальным рабочим колесом представлен на рисунке 1а. В качестве конечноэлементной модели применяется конечный элемент TET10 комплексной программы ANSYS WORKBENCH с общим количеством конечных элементов – 72712 и 138379 узловыми

точками. Количество степеней свободы составляет – 415137 (Рис. 16).



а б  
Рисунок 1 – Модель вала с радиальным рабочим колесом с 10-ю лопатками  
(а– общий вид; б – конечноэлементная модель)

Расчеты на прочность и компьютерное моделирование технических процессов являются актуальными на стадиях проектирования, доводки и эксплуатации. Метод конечных элементов (МКЭ) является актуальным методом, который обычно используется в технических областях в различных вычислительных программных комплексах, например коммерческих системах, таких как ANSYS WORKBENCH, SOLIDWORKS или инициативных пакетах программ, например BLADIS+ [2,3,4] для решения задач статики, колебаний и расчета ресурса различных технических систем. МКЭ имеет общий алгоритм, который позволяет быстро выполнить расчеты различных вариантов сложных конструкций [3,4,5].

Уравнения движения с использованием МКЭ для анализа прочностных характеристик имеют вид [6,7,8]:

$$([K_E] + [K_G] + [K_R]) \cdot \{\delta\} = \{F_\Omega\} + \{F_T\} + \{F_G\}, \quad (1)$$

и для проблемы свободной вибрации:

$$[M] \{\ddot{\delta}\} + [C] \{\dot{\delta}\} + ([K_E] + [K_G] + [K_R]) \{\delta\} = 0, \quad (2)$$

где  $\{\delta\}$  - вектор смещения,  $[K_E]$  и  $[M]$  - матрицы упругой жесткости и массы, соответственно,  $[K_G]$  - матрица геометрической жесткости, зависящая от скорости вращения и температуры,  $[K_R]$  - дополнительная матрица жесткости (псевдомасс), возникающая в результате вращения,  $\{F_\Omega\}$ ,  $\{F_T\}$ ,  $\{F_G\}$  - векторы, соответствующие силам создается вращением, температурой и давлением газа соответственно.  $[C]$  - матрица Кориолиса.

### Результаты и обсуждение

Первый вариант представлен на Рис. 2. Конструкция модели вала с радиальным рабочим колесом с 10-ю лопатками была закреплена по диаметру вала в соответствующих узловых точках конечных элементов. В кольце 1 применялось жесткое закрепление, а в кольце 2 сохранена свобода перемещений в осевом направлении и оставлено закрепление в

ОСТАЛЬНЫХ ОСЯХ.

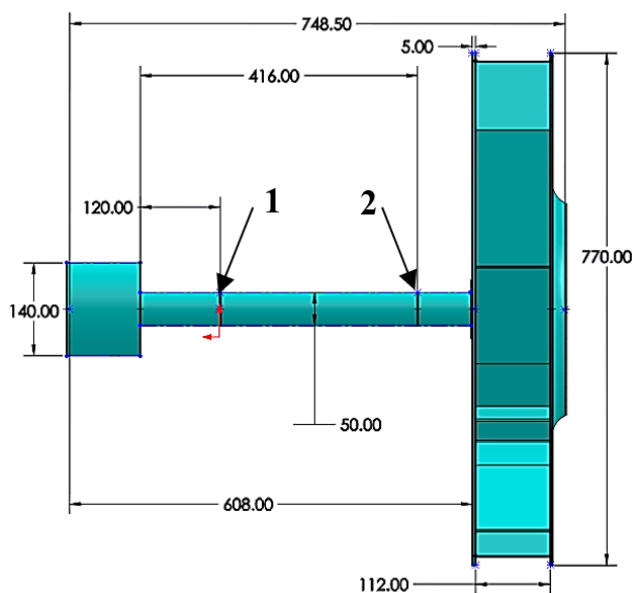
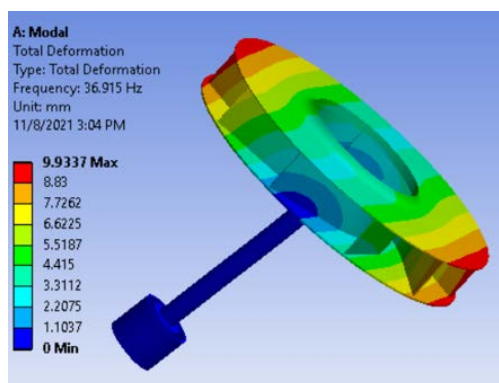
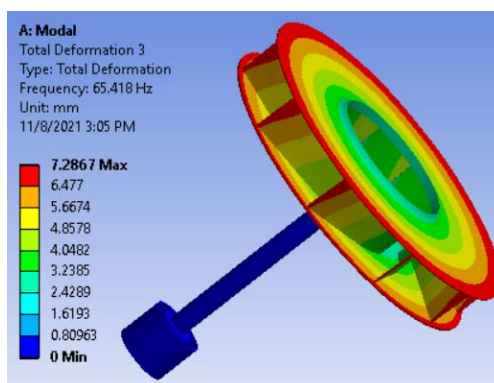


Рисунок 2 – Вид закрепления вала по ограниченным условиям

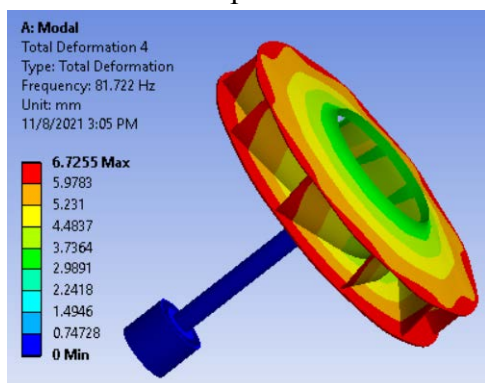
На Рис. 3 представлены шесть основных форм колебаний для модели вала с радиальным рабочим колесом. Каждая форма колебаний обладает характерной деформацией, по критерию количества узловых диаметров и числа узловых окружностей ( $n / m$ ), определяющих форму 3 и 4 – 0/0, форму 1 – 1/0, форму 5 – 0/1, форму 18 – 1/1, форму 10 – 2/0.



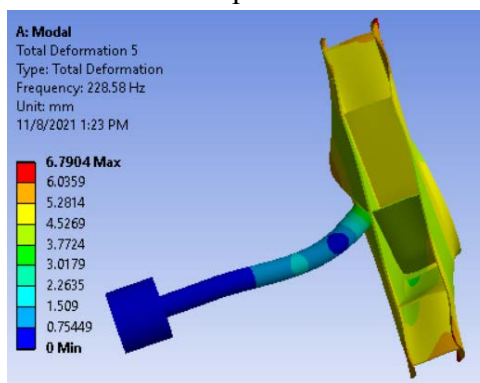
Форма 1



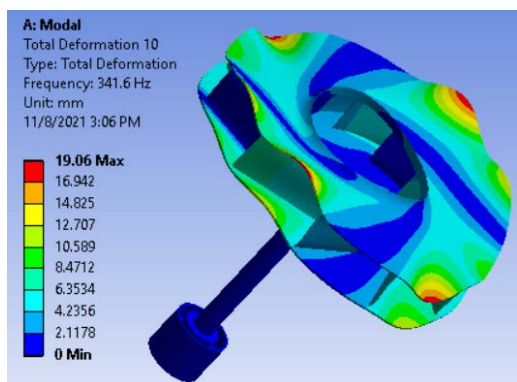
Форма 3



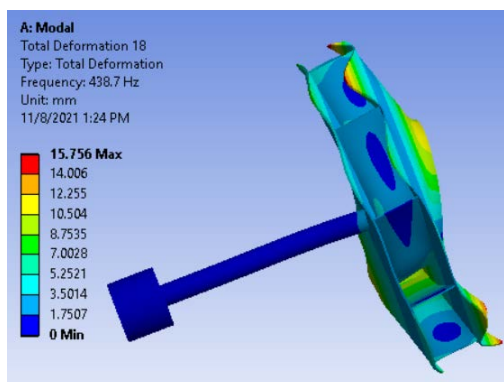
Форма 4



Форма 5



Форма 10



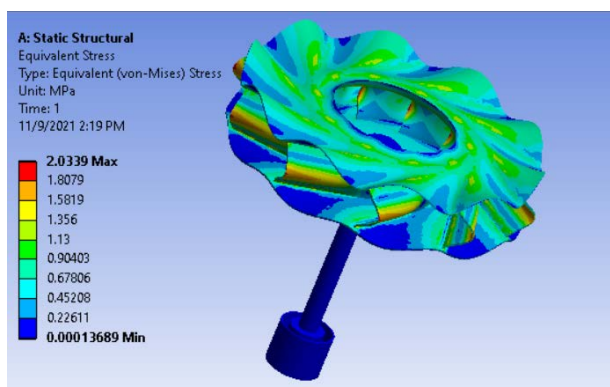
Форма 18

Рисунок 3 – Форма колебаний и собственные частоты модели с учетом вала с радиальным рабочим колесом 10-и лопаток энергетических турбомашин в программе ANSYS WORKBENCH.

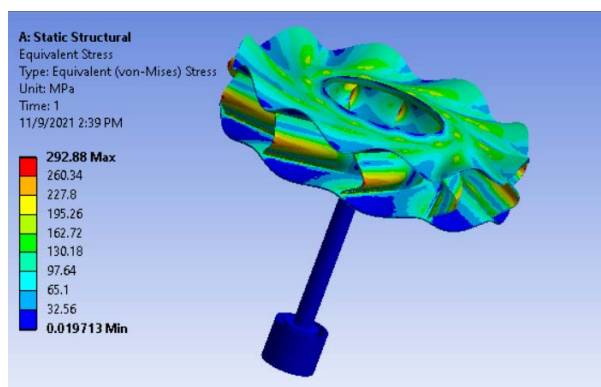
Таблица 1. Значения собственных частот колебаний для модели с учетом вала в комплексной программе ANSYS WORKBENCH.

Форма n / m	Эксперимент, Гц	Собственные частоты с учетом вала, Гц	Отклонение $\Delta f$ , %	Максимальные значения деформаций, мм
0/0	-	65,418	-	7,2867
	-	81,722	-	6,7255
1/0	44	36,915	16,1	9,9337
0/1	-	228,58	-	6,7904
1/1	-	438,7	-	15,756
2/0	341	341,6	0,17	19,06
5/0	-	402,36	-	33,694

Анализ таблицы 1 показал что, значения собственных частот колебаний от эксперимента для формы 1 отклоняется на величину около 16,1%, а для формы 10 на 0,17%.



n = 5 (1/s)



n = 60 (1/s)

Рисунок 4 – Расчеты статического напряжения с учетом вращения вала модели в комплексной программе ANSYS WORKBENCH.

Для анализа прочности и надежности радиальных рабочих колес от напряжений и

собственных частот колебаний для этой модели с валом в проектировании компрессорного колеса, выполнены численные исследования статического напряженно-деформированного состояния (НДС) при оборотах 5 (1/s), 10 (1/s), 15 (1/s), 20 (1/s), 30 (1/s), 40 (1/s), 50 (1/s), 60 (1/s).

На Рис. 4 и в таблице 2 показываны расчеты статического напряжения  $\sigma_s$  для этой модели с учетом вращения.

Таблица 2. Значение статического напряжения  $\sigma_s$  для этой модели с учетом вращения, МПа

Скорость вращения колеса, 1/s	Эксперимент, Мпа	BLADIS+ (с валом), Мпа	Максимальные статические напряжения модели, Мпа
5	-	-	2,0339
10	-	-	8,1356
15	-	-	18,305
20	32	29,94	32,542
30	-	-	73,220
40	-	-	130,17
50	-	-	203,39
60	-	-	292,88

Расчеты значения собственных частот колебаний для этой модели с учетом вращения представлены в таблице 3.

Таблица 3. Расчеты значения собственных частот колебаний для этой модели с учетом вращения, Гц

Форма	Собственные частоты колебаний, Гц								
	0 (1/s)	5 (1/s)	10 (1/s)	15 (1/s)	20 (1/s)	30 (1/s)	40 (1/s)	50 (1/s)	60 (1/s)
1	36,915	37,162	37,887	39,061	40,641	44,809	49,969	55,76	61,901
2	36,924	37,168	37,893	39,068	40,648	44,815	49,975	55,766	61,906
3	65,418	65,432	65,444	65,462	65,487	65,551	65,625	65,702	65,777
4	81,722	81,789	81,99	82,324	82,79	84,112	85,935	88,229	90,959
5	228,58	228,58	228,6	228,62	228,66	228,77	228,92	229,1	229,33
6	228,62	228,61	228,63	228,66	228,7	228,81	228,96	229,14	229,37
7	289,09	288,7	288,59	288,4	288,13	287,37	286,29	284,91	283,21
8	289,38	288,97	288,85	288,66	288,4	287,63	286,56	285,18	283,48
9	339,82	339,98	340,45	341,23	342,31	345,38	349,62	354,98	361,38
10	341,6	341,79	342,39	343,39	344,79	348,71	354,06	360,74	368,63
11	341,64	341,84	342,44	343,44	344,84	348,76	354,12	360,8	368,69
12	402,36	402,77	404,11	406,34	409,43	418,13	429,99	444,73	461,04

Расчеты собственных частот колебаний для модели вала с радиальным рабочим колесом с 10-ю лопатками подобраны в таблице 4 по критерию числа узловых диаметров и

узловых окружностей ( $n / m$ ).

Таблица 4. Значения собственных частот колебаний для модели вала в комплексной программе ANSYS WORKBENCH по критерию числового узлового диаметра на числовой узловой окружности.

Форма $n / m$	Значения собственных частот колебаний в ANSYS WORKBENCH, Гц								
	0 (1/s)	5 (1/s)	10 (1/s)	15 (1/s)	20 (1/s)	30 (1/s)	40 (1/s)	50 (1/s)	60 (1/s)
0/0	81,72	81,78	81,99	82,32	82,79	84,11	85,93	88,22	90,95
1/0	36,91	37,16	37,88	39,06	40,64	44,80	49,96	55,76	61,90
0/1	228,5	228,5	228,6	228,6	228,6	228,7	228,9	229,1	229,3
2/0	341,6	341,7	342,3	343,3	344,7	348,7	354,0	360,7	368,6
5/0	402,3	402,7	404,1	406,3	409,4	418,1	429,9	444,7	461,0

Диаграмма Кэмпбелла показана на рисунке 5, где горизонтальная ось представляет скорость вращения ротора и вертикальная ось обозначает собственную частоту колебаний. Кривые динамические частоты указывают взаимосвязь между собственными частотами и скоростями вращения для каждой формы колебания [9]. В диаграмме анализируется 5-ть значений форм колебаний 1, 4, 5, 10, 12.

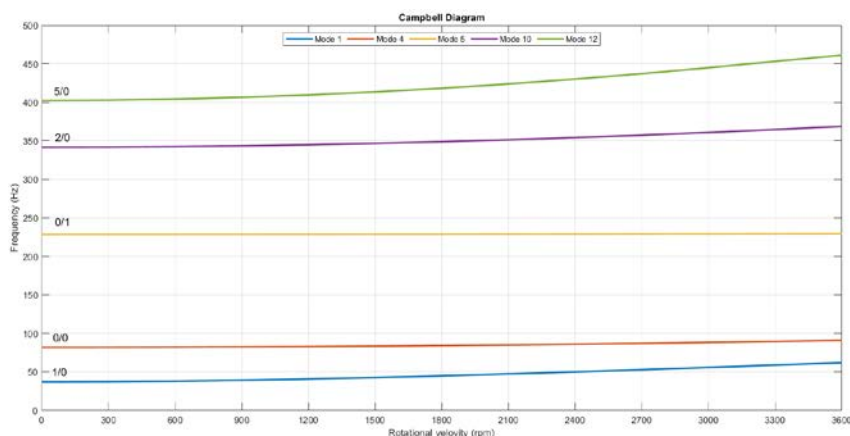
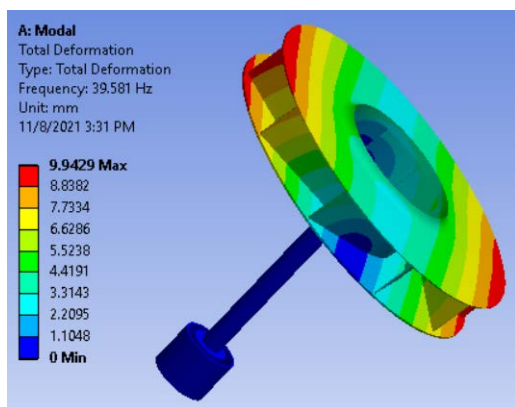


Рисунок 5 – Диаграмма Кэмпбелла для модели вала с радиальным рабочим колесом с 10-ю лопатками.

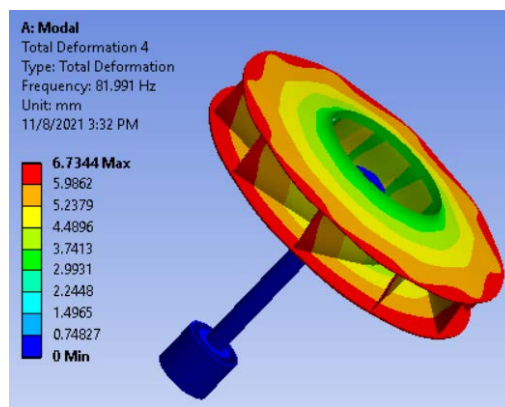
Второй вариант представлен на Рис. 2. Конструкция модели вала с радиальным рабочим колесом с 10-ю лопатками была закреплена по диаметру вала в соответствующих узловых точках конечных элементов. В зонах на кольцах 1 и 2 применялось жесткое закрепление.

На Рис. 7 представлены 6-ть основных форм колебаний для модели вала с радиальным рабочим колесом. Каждая форма обладает разнообразной характерной деформацией, по критерию количества узловых диаметров и числа узловых окружностей ( $n/m$ ), определяющий форму 4 – 0/0, форму 1 – 1/0, форму 7 – 0/1, форму 18 – 1/1, форму 10 – 2/0 и форму 12 – 5/0.

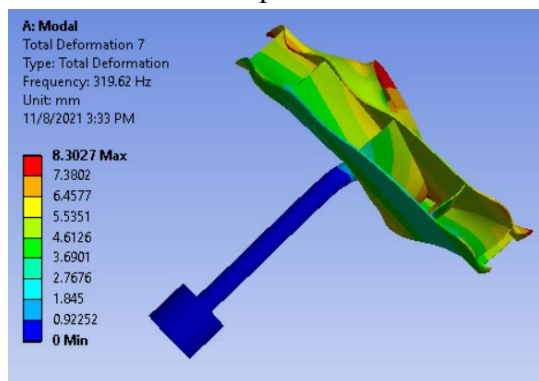




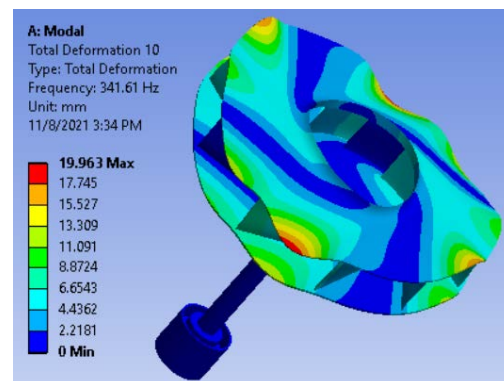
Форма 1



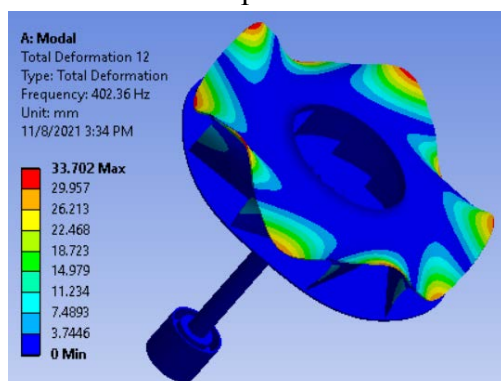
Форма 4



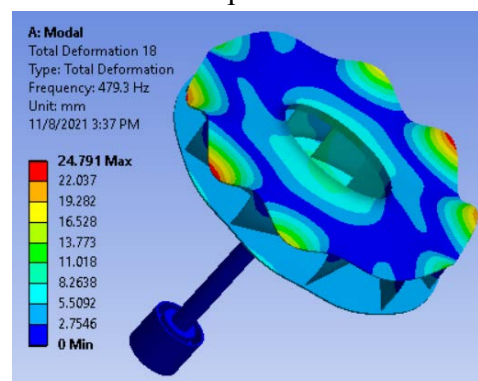
Форма 7



Форма 10



Форма 12



Форма 18

Рисунок 6 – Формы колебаний и собственные частоты модели с учетом вала с радиальным рабочим колесом с 10-ю лопатками энергетических турбомашин АПК.

Таблица 5. Значения собственных частот колебаний для модели с учетом вала в комплексной программе ANSYS WORKBENCH.

Форма n / m	Эксперимент, Гц	Собственные частоты с учетом вала, Гц	Отклонение $\Delta f$ , %	Максимальные значения деформацией, мм
0/0	-	81,991	-	6,7344
1/0	44	39,581	10,04	9,9429
0/1	-	319,62	-	8,3027
1/1	-	479,3	-	24,791
2/0	341	341,61	0,18	19,963
5/0	-	402,36	-	33,702

Таблица 6. Расчеты значения собственных частот колебаний для этой модели с учетом вращения, Гц

Форма	Собственные частоты колебаний, Гц								
	0 (1/s)	5 (1/s)	10 (1/s)	15 (1/s)	20 (1/s)	30 (1/s)	40 (1/s)	50 (1/s)	60 (1/s)
1	39,581	39,838	40,574	41,769	43,384	47,678	53,068	59,217	65,779
2	39,596	39,845	40,58	41,775	43,39	47,684	53,073	59,223	65,871
3	65,424	65,438	65,449	65,467	65,492	65,555	65,628	65,705	65,877
4	81,991	82,06	82,263	82,601	83,073	84,41	86,254	88,577	91,342
5	289,03	288,64	288,52	288,33	288,06	287,3	286,22	284,83	283,12
6	289,32	288,91	288,79	288,6	288,34	287,57	286,49	285,11	283,4
7	319,62	319,98	320,13	320,39	320,74	321,73	323,04	324,64	326,44
8	320,06	320,09	320,24	320,5	320,85	321,84	323,17	324,77	326,58
9	341,0	341,16	341,64	342,42	343,52	346,63	350,91	356,32	362,79
10	341,61	341,8	342,4	343,4	344,79	348,71	354,06	360,74	368,63
11	341,64	341,84	342,44	343,45	344,84	348,76	354,12	360,8	368,69
12	402,36	402,77	404,11	406,34	409,43	418,13	429,99	444,73	462,05

Таблица 7. Общие значения собственных частот колебаний для каждого варианта модели в комплексной программе ANSYS WORKBENCH и BLADIS+ [1].

n / m	Эксперимент, Гц	BLADIS+	Собственные частоты модели без учета вала, Гц	Собственные частоты модели с учетом вала (1-й вариант), Гц	Собственные частоты модели с учетом вала (2-й вариант), Гц
0/0	–	–	80,263	65,418	–
	–	–	122,92	81,722	81,991
1/0	41	–	41,513	36,915	39,581
	–	–	47,963	–	–
0/1	–	–	356,11	228,58	319,62
1/1	–	–	365,33	–	–
	–	–	425,99	438,7	479,3
2/0	341	349,0	341,62	341,6	341,61
5/0	–	402,1	402,3	402,36	402,36

## Вывод

Таким образом, в данной работе представлены основные формы колебаний и значения статических напряжений для модели вала радиального рабочего колеса с 10-ю лопатками энергетических турбомашин для перекачки воздуха в АПК. Также проводились экспериментальные исследования и сравнивались расчеты с данными эксперимента. Отмечается, что для двух вариантах модели с учетом вала собственные частоты

уменьшаются по сравнению к моделью без учета вала для соотношения  $(n/m)$  и  $0/0$ ,  $1/0$ ,  $0/1$ ,  $1/1$ . По каждому варианту наблюдаются уменьшение степени деформации вала в конструкции и отсутствие значительного отклика собственных частот при вращении модели в диапазоне  $(45...50)$  1/с. В этой связи можно предположить, что учет вала при численном анализе подобных конструкций не дает существенного эффекта и им можно пренебречь. Представленные кривые динамических частот показывают взаимосвязь между собственными частотами и скоростями вращения для каждой формы колебания в диаграмме Кэмпбелла и могут быть использованы в отстройке от резонансных режимов реальных конструкций радиальных рабочих колес в АПК.

#### Список использованных источников:

1. Irretier H., Repetskiy O. Analyse der Eigenschwingungen rotierender axialer und radialer Laufräder und Schaufelpakete von Turbomaschinen mittels Hyperelemente, Kondensation und der Methode zyklischer Symmetrie. Kassel: GH Kassel Universität, Institut für Mechanik, 121 S.
2. Yan Y. J., Cui P. L. and Hao H. N. Vibration mechanism of a mistuned bladed disk // Journal of Sound and Vibration. 2008. Vol 317.P. 294-307.
3. Yang M. T. and Griffin J. H. A reduced-order model of mistuning using a subset of nominal system modes // J Eng Gas Turb Power. 2001. Vol 123. P. 893-900.
4. Repetckii O., Ryzhikov I. and Nguyen T. Q. Dynamics analysis in the design of turbomachinery using sensitivity coefficients // Journal of Physics: Conference Series. 2018. 012096.
5. Repetckii O., Ryzhikov I. and Springer H. Numerical analysis of rotating flexible blade-disk-shaft systems // Proceedings of the ASME Turbo Expo. 1999.
6. Whitehead D.S. Effect of mistuning on the vibration of turbomachine blades induced by wakes // Journal of mechanical engineering science. 1966. №. 1. P. 15-21.
7. Castanier M. P., Pierre C. Modeling and Analysis of Mistuned Bladed Disk Vibrations: Status and Engineering Directions // Journal of Propulsion and Powers. 2006. №. 2 (122). P. 384-396.
8. Ewins D. J. Vibration characteristics of Bladed disc assemblies // Journal of Mechanical Engineering Science. 1973. №. 5 (12). P. 165-186.
9. Campbell W. The protection of Steam Turbine Disk Wheels from Axial Vibrations // Trans. of the ASME 46. 1924. P. 31-160.

*Репецкий Олег Владимирович - доктор технических наук, профессор, проректор по международным связям. Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежовского (664038, Россия, г. Иркутск, п. Молодежный, тел. +7 3952 237438, e-mail: [repetckii@igsha.ru](mailto:repetckii@igsha.ru)).*

*Хоанг Динь Кыонг - Аспирант Иркутского государственного аграрного университета имени А.А. Ежовского (664038, Россия, г. Иркутск, п. Молодежный, тел. +7 9996864113, e-mail: [hoangcuonghd95@gmail.com](mailto:hoangcuonghd95@gmail.com)).*

DIGITAL ANALYSIS OF STRENGTH CHARACTERISTICS OF RADIAL IMPELLERS  
OF POWER TURBOMACHINE TAKING  
INTO ACCOUNT SHAFT ELASTICITY

Abstract: Turbomachine radial impellers are complex rotating machine details. Computational models of a shaft with a radial impeller and 10 blades have been constructed using parametric models of reduced order. The models take into account the effect of different options for rigid fastening along the shaft ring and rotation speed to study changes in eigenfrequency and static stress of turbomachines. In the future, it can be assumed with confidence that the study of changes in eigenfrequency and static stress of turbomachines on the rotation speed and different options for rigid fastening along the shaft ring are relevant at the design and refinement stages. These calculations make it possible to significantly reduce the amount of expensive experimental research and reduce the design time. And they also make it possible to significantly reduce the required computer resources when designing new turbomachines.

Key words: radial blade, finite element method, impeller, eigenfrequency, static stress, turbomachine, vibration mode.

*Repetckii O.V. - DSc in Engineering, Vice-rector, Professor. Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky (Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia, 664038, tel. +73952237438, e-mail: [repetckii@igsha.ru](mailto:repetckii@igsha.ru)).*

*Hoang Dinh Cuong - Graduate student Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky (Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia, 664038, tel. +7 9996864113, e-mail: [hoangcuonghd95@gmail.com](mailto:hoangcuonghd95@gmail.com)).*

## ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИТ-ТЕХНОЛОГИЙ В ОТРАСЛИ АПК

Т.Г. Павленко

ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В.  
Парахина», Орел, Россия

***Аннотация.** В рамках данной статьи автором дана оценка текущей ситуации с внедрением ИТ-технологий в производственные процессы всех отраслей сельскохозяйственного сектора экономики. Рассмотрены проблемы и перспективы цифровизации аграрного сектора современной России. Приведено краткое описание проекта «Цифровое сельское хозяйство». Описаны необходимые направления для реализации проекта, а также приведен поэтапный план внедрения ИТ-технологий на предприятиях сельскохозяйственной отрасли. Приведен краткий обзор Федерального ИТ-форума «Smart Agro: Цифровая трансформация в сельском хозяйстве» в 2021 году. Обозначены значимые причины, которые, по оценкам экспертов, сдерживают темпы цифровизации предприятий сельского хозяйства в данный момент и, тем самым, являются перспективами и векторами развития. Совместная и слаженная работа государства, предприятий и образовательных учреждений позволит ускорить цифровизацию и повысить качество ИТ-технологий в аграрном секторе.*

***Ключевые слова:** сельское хозяйство, цифровизация, АПК, конкурентоспособность, ИТ-технологии.*

**Введение.** Сельское хозяйство является важнейшей отраслью экономики. Предприятия агропромышленного комплекса (АПК) производят продовольствие для населения и сырье для некоторых других производственных отраслей. Конкурентоспособность аграрного сектора во многом зависит от технического оснащения предприятий отрасли и внедрения инновационных технологий в производственные процессы. Цифровые технологии в экономике играют определяющую роль в вопросе конкурентоспособности страны и способствуют более интенсивному ее росту. Наша страна перенимает опыт других развитых стран, а также активно создает и внедряет собственные цифровые проекты во все отрасли экономики, в том числе и в сельское хозяйство.

**Основная часть.** По уровню цифровизации сельского хозяйства Россия занимает 15 место в мире. [4] Для решения задач по преобразованию экономики нашей страны, в том числе предприятий АПК и широкому внедрению цифровых технологий, 7 мая 2018 года Указом Президента РФ был утвержден национальный проект «Цифровая экономика». [3] Далее Министерством сельского хозяйства России в 2019 году был принят ведомственный проект «Цифровое сельское хозяйство», в котором предусмотрены шаги для внедрения ИТ-технологий и платформенных решений в АПК. Проект рассчитан на период до 2024 года. [1]

Предпосылками для масштабного внедрения ИТ-технологий являются:

- растущее население планеты. Так как земельный ресурс ограничен, то увеличить производство сельскохозяйственной продукции можно только за счет внедрения новых технологий, при этом повысив эффективность производства и урожайность культур;

- технологическое многообразие сельскохозяйственных культур и производств, сложность отдельных производственных процессов;

- снижение затрат и повышение рентабельности производства возможно только за счет использования инновационных технологий;

- растет поддержка цифровизации сельского хозяйства со стороны государства.

Внедрение IT-технологий в АПК России зависит от ряда факторов: природно-климатических, биологических, территориальных, экономических, социальных и других. Опыт российских предприятий в настоящее время включает в себя гибридное разведение, селекцию, агробиологию. Также предприятиями востребованы технологии спутникового позиционирования, системы контроля и мониторинга техники, а также качества выполняемых ею работ. [5]

Проект «Цифровое сельское хозяйство» предполагает, что цифровизация затронет все отрасли аграрного сектора и будет проходить по следующим направлениям:

- управление производственными процессами с применением IT-технологий, создание и внедрение баз данных для аппаратного, программного и информационного обеспечения управления АПК;

- «умное землепользование», учитывающее ограниченность земельного ресурса с возможностью интеллектуального планирования и использования земель сельхозназначения;

- «умное поле», позволяющее учитывать в комплексе состояние почвы, окружающей среды и растений, а также внедрять цифровые технологии сбора урожая;

- «умный сад», подразумевает создание системы контроля за выращиванием и осуществление ухода, а также сбора плодов с применением робототехники и беспилотных агрегатов;

- «умная теплица», комплекс технологий для выращивания качественной продукции в закрытом грунте;

- «умная ферма», направление включает цифровые технологии выращивания безопасных и качественных продуктов питания. [6]

Мероприятия по каждому из направлений проходят в несколько этапов:

1. Получение государственной поддержки через единую IT-платформу.

2. Создание и внедрение комплекса технологических решений для повышения производительности труда и сокращения затрат агропредприятиями.

3. Подготовка высококвалифицированных кадров для обновленного цифрового агропромышленного комплекса.

Ежегодно в рамках Федерального IT-форума агропромышленного комплекса России «Smart Agro: Цифровая трансформация в сельском хозяйстве» подводят промежуточные итоги реализации проекта «Цифровое сельское хозяйство», обсуждают сложности с реализацией поставленных задач и меры по их решению. В 2021 году форум прошел во второй половине октября. Спикерами выступили представители крупных аграрных предприятий нашей страны, корпораций пищевой промышленности, крестьянских (фермерских) хозяйств, органов исполнительной власти, отечественных разработчиков IT-решений, операторов связи, разработчиков приложений, системных интеграторов, а также аналитики и эксперты отрасли. Были озвучены следующие причины, которые мешают цифровой трансформации в сельском хозяйстве:

1. Недостаточный уровень финансирования, а также нецелевое использование денежных средств.

2. Недостаточный уровень компетенции сотрудников внутри предприятия и

привлекаемых IT-корпораций.

3. Низкое развитие инфраструктуры. Здесь подразумевают низкую доступность цифровых каналов, низкие показатели внедрения существующих проектов и отсутствие поощрения за развитие инноваций внутри бизнеса.

4. Нехватка мотивации, неверная постановка целей. Целью должна являться не сама цифровизация как процесс, а снижение затрат, рост выручки, повышение качества продукции. [2]

**Выводы.** Проработка вышерассмотренных причин позволит достичь показателей, предусмотренных национальным проектом «Цифровое сельское хозяйство». IT-технологии стали частью современных производств, но их использование в настоящее время ограничено. Руководители организаций АПК должны работать совместно с образовательными организациями отрасли при поддержке государства для большего охвата производственных процессов IT-технологиями.

#### Список используемых источников:

1. Ведомственный проект «Цифровое сельское хозяйство» [Электронный ресурс] / URL:<https://mcx.gov.ru/upload/iblock/900/900863fae06c026826a9ee43e124d058.pdf>
2. О мероприятии Smart Agro. Цифровое поле возможностей [Электронный ресурс] / URL: <https://www.comnews-conferences.ru/ru/conference/smartagro2021>
3. Указ Президента РФ от 7 мая 2018 г. №204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года». [Электронный ресурс] / URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/43027>
4. Россия вошла в топ-15 стран по уровню развития технологий в сельском хозяйстве [Электронный ресурс] / URL: <https://tass.ru/ekonomika/4979176>
5. Ниточкин М. Цифровизация АПК. Модный «хайп» или реальный бизнес-инструмент для отрасли [Электронный ресурс] / URL:<https://news.myseldon.com/ru/news/index/229059266>
6. Цифровизация сельскохозяйственного производства России на период 2018-2025гг. [Электронный ресурс] / URL: [https://agrardialog.ru/files/prints/apd\\_studie\\_2018\\_russisch\\_fertig\\_formatiert.pdf](https://agrardialog.ru/files/prints/apd_studie_2018_russisch_fertig_formatiert.pdf)
7. Южанинова Л. «Цифровизация российского АПК» [Электронный ресурс] / URL: <https://www.agroxxi.ru/gazeta-zaschita-rastenii/zrast/cifrovizacija-rossiiskogo-apk.html>

*Павленко Татьяна Григорьевна, старший преподаватель кафедры Эксплуатации машинно-тракторного парка и тракторы, ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина, Орел, Россия, pavtat@mail.ru*

#### PROBLEMS AND PROSPECTS OF IT-TECHNOLOGIES APPLICATION IN THE AIC INDUSTRY

T.G. Pavlenko

Abstract. Within the framework of this article, the author assesses the current situation with the implementation of IT technologies in the production processes of all branches of the agricultural sector of the economy. The problems and prospects of digitalization of the agrarian sector of modern Russia are considered. A brief description of the Digital Agriculture project is provided. The necessary directions for the implementation of the project are described, as well as a step-by-step plan for the implementation of IT-technologies at the enterprises of the agricultural industry. A brief overview of the Federal IT Forum "Smart Agro: Digital Transformation in Agriculture" in 2021 is given. Significant reasons are identified that, according to experts, are holding back the pace of digitalization of agricultural enterprises at the moment and, thereby, are the prospects and vectors of development. Joint and well-coordinated work of the state, enterprises and educational institutions will accelerate digitalization and improve the quality of IT technologies in the agricultural sector.

Keywords: agriculture, digitalization, agro-industrial complex, competitiveness, IT technologies.

*Pavlenko Tatiana Grigorievna, senior lecturer, Department of Operation of Machine and Tractor Park and Tractors, FSBEI HE «Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhina», Orel, Russia, pavtat@mail.ru*



## ОБОСНОВАНИЕ СХЕМЫ И ПАРАМЕТРОВ ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ БАЗЫ.

А.Н. Токарева<sup>1</sup>, С.В. Панченко<sup>1</sup>, М.М. Украинцев<sup>1</sup>, С.А.Роговой<sup>2</sup>, Н.А.Польшин<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ

<sup>2</sup> Филиал ПАО «Газпром Газораспределение Ростов-на-Дону» в г.Зернограде

<sup>3</sup> ООО «Газпром трансгаз Краснодар»

***Аннотация.** Наиболее эффективным мероприятием по повышению эффективности газораспределительной сети низкого давления является разработка оптимальной схемы расположения газопроводов. Для предприятия, где в качестве энергоносителя используется несколько видов голубого топлива с различной теплотой сгорания, методом последовательного исключения была определена рациональная схема сети и параметров газопроводов. При использовании данной схемы потери давления при работе газораспределительной сети в аварийном режиме не превышают предельно допустимые значения. В результате корреляционного анализа получены зависимости изменения давления от теплоты сгорания и контура движения газов. Данные математические модели позволяют спрогнозировать величину потерь давления при использовании газообразного топлива с любой температурой сгорания.*

***Ключевые слова:** газ, потери давления, диаметр, газораспределительная сеть, теплота сгорания, гидравлический расчет.*

**Введение** Газовая отрасль включает в себя процессы и оборудования для добычи, очистки и транспортировки газа. Все технологические процессы постоянно совершенствуются на основе многочисленных научных разработок.

Большинство исследований по разработке моделей прогнозирования аварий, моделей по оптимизации работы газораспределительных станций проводятся применительно к магистральным газопроводам. Эти исследования носят фундаментальный и прикладной характеры.

Также проводится много экспериментальных исследований по совершенствованию работы бурового оборудования, оборудования газокompрессорных станций, газотранспортного оборудования для сетей среднего и высокого давлений.

Однако существует и последнее звено в системе транспортирования газа. Это подача его к потребителю. Данный процесс осуществляется при помощи газораспределительных систем низкого давления. В данном звене имеется множество проблем. Это и коррозионная неустойчивость трубопроводов, завышенное или заниженное давление газа у потребителя, повышенные материальные затраты на строительство и эксплуатацию газовых сетей.

Исследования по газораспределительным сетям низкого давления носят либо прикладной, либо экспериментальный характер. В большинстве случаев рассматривается какой-то определенный объект для газификации. Применительно к этому объекту и проводятся исследования по определению оптимальной конфигурации газораспределительной сети. Критерием оптимизации преимущественно являются приведенные затраты и материальные характеристики [5,6]. Основными факторами,

влияющими на эти критерии, являются диаметры трубопроводов, их протяженность [4] и потери давления по длине транспортирования [3].

В данной работе объектом газификации является предприятие, переходящее на систему децентрализованного теплоснабжения

**Основная часть.** Рассматриваемое предприятие является производственной базой филиала ООО «Газпром трансгаз Краснодар». На предприятии планируется внедрение энергосберегающей системы отопления на основе инфракрасных излучателей в цехах. Там же будут располагаться газовые накопительные бойлеры, посредством которых будет обеспечена подача воды для нужд горячего водоснабжения. Обеспечение параметров микроклимата в административном корпусе будет осуществляться с помощью низкотемпературного водогрейного котла, установленного в этом же здании. Для проведения данных мероприятий требуется строительство новой газораспределительной сети и замена оборудования в существующем газораспределительном пункте (ГРП).

Особенностью системы газоснабжения предприятия является то, что поступающий из магистральных трубопроводов через сеть газораспределительных станций (ГРС) энергоноситель может иметь различную теплоту сгорания. Характеристика газов, поступающих в систему газоснабжения производственной базы, приведена в таблице 1.

Таблица 1. Характеристика используемых энергоносителей

Месторождение газа	Теплота сгорания, $\frac{кДж}{м^3}$	Плотность газа, $\rho$ , $\frac{кг}{м^3}$
Газовые месторождения		
Ставропольское	35740,7	0,724
Деминское (Тюменская область)	34148,5	0,763
Уренгойское(Ямало-Ненецкий АО)	35196	0,724
Газоконденсатные месторождения		
Усть -Вилройское (Республика Саха-Якутия))	37919,5	0,815
Оренбургское	39553,6	0,815
Нефтегазовые месторождения		
Бованенское (Ямало-Ненецкий АО)	58618,1	1,358
Ромашкинское (республика Татарстан)	59958,9	1,409
Туймазинское (республика Башкортостан)	59791,3	1,396

Таким образом, надо подобрать такую схему и параметры газораспределительной сети, для которых критерий оптимизации был минимальным при использовании газа из любого месторождения. За критерий оптимизации приняты потери давления. Выбор обоснован тем, что коэффициент полезного действия газоиспользующего оборудования существенно зависит от величины давления газа. Обеспечение номинального рабочего давления приводит к максимальному коэффициенту полезного действия, что позволяет снизить затраты природных энергетических ресурсов и обеспечить экономический эффект[3].

Используя данные предприятия по потреблению тепловой энергии на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение был проведен расчет расхода газа по формуле

$$Q = \frac{3,6\Phi}{q \cdot \eta} \quad (1)$$

где –  $Q$ –расход газа,  $\frac{м^3}{ч}$ ;

$\Phi$ – тепловая нагрузка объекта газоснабжения,  $Вт$ ;

$q$ –удельная теплота сгорания газа,  $\frac{кДж}{м^3}$ ;

$\eta$  –коэффициент газоиспользующего оборудования.

По результатам расчетов получилось, что расход газа на предприятии колеблется от  $89 \frac{м^3}{ч}$  до  $156 \frac{м^3}{ч}$ .

На основе существующей классификации газораспределительных сетей и требований к ним [7,8] была выбрана надземная кольцевая прокладка газопроводов из стальных труб (рис.1).

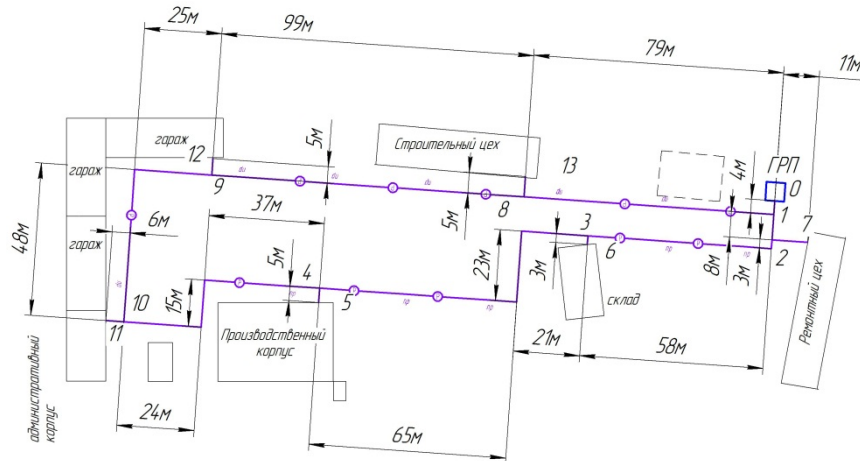


Рисунок 1– Схема А газораспределительной сети.

Для схемы А проведен выбор диаметров газопроводов при помощи специальных номограмм [2] . Получены два варианта исполнения по типоразмерному ряду труб [1]. Первый вариант получился при использовании топлива из газовых и газоконденсатных месторождений, второй–при использовании попутного нефтяного газа (табл.2).

По расходу газа на участках и выбранному стандартному диаметру газопровода определены фактические потери давления. Величины потерь определялись при помощи тех же номограмм [2]. Номограммы для определения потерь давления в газопроводах низкого давления разработана для двух видов природных газов. Первая номограмма позволяет рассчитывать параметры при использовании для газа с плотностью  $\rho = 0,73 \frac{кг}{м^3}$  . Вторая номограмма разработана для газа с плотностью  $\rho = 2 \frac{кг}{м^3}$  . Поэтому при нахождении фактических потерь давления величину, получившуюся на номограмме, умножали на поправочный коэффициент

$$\Delta P_{y\partial\phi} = \Delta P_{y\partial m} \cdot \frac{\rho}{\rho_m} \quad (2)$$

где  $\Delta P_{y\partial\phi}$  – фактические удельные потери,  $\frac{\text{Па}}{\text{м}}$ ;

$\Delta P_{y\partial m}$  – удельные потери давления, определенные по номограмме по рассчитанному расходу и принятому диаметру трубопровода,  $\frac{\text{Па}}{\text{м}}$ ;

$\rho$  – плотность выбранного газа,  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ . Принимается по данным табл. 1;

$\rho_m$  – плотность газа, для которого разработана номограмма,  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ .

Таблица 2. Результаты выбора диаметров газопроводов

Участок (рис. 1)	Вариант исполнения 1 Трубы ГОСТ 3262-75	Вариант исполнения 2 Трубы ГОСТ 3262-75
	Газовые и газоконденсатные месторождения	Нефтегазовые месторождения
11-10	32x3,2	25x3,2
10-9	80x4	65x4
12-9	65x4	50x3,5
9-8	80x4	65x4
13-8	50x3,5	40x3,5
8-1	80x4	65x4
4-10	80x4	65x4
4-5	65x4	50x3,5
4-3	80x4	65x4
3-6	25x3,2	20x2,8
3-2	80x4	65x4
2-7	50x3,5	50x3,5
2-1	80x4	65x4
0-1	80x4	65x4

Рассмотрены два режима работы: проектный и аварийный. При проектном режиме газ движется по контурам 0-1-2-3-4 и 0-1- 8-9-10-11. В аварийном режиме газ вынужден двигаться по контуру 0-1-2-3-4-10-9-8-13 или по контуру 0-1-8-9-10-4-3-2-7. Когда газ движется по основным контурам 0-1-2-3-4 и 0-1-8-9-10 потери давления в сети (табл.3) не превышают допустимого значения в 1200 Па [8].

В случае возникновения аварийных ситуаций, когда газ вынужден двигаться практически по всему кольцу (контур 0-1-2-3-4-10-9-8-13 или 0-1-8-9-10-4-3-2-7), суммарные потери давления по магистральному контуру значительно больше величины 1200Па для газа из газовых и газоконденсатных месторождений. Аналогичная ситуация наблюдается и при использовании газа из нефтегазовых месторождений (табл.3). Это говорит о том, что схема А не является рациональной, и необходимо рассмотреть другие варианты трассировки газораспределительной сети.



Таблица 4. Результаты расчетов по определению фактических потерь давления в трубопроводах газораспределительной сети, выполненной по схеме Б

Месторождение	Потери давления, $\Delta P$ , Па	
	Контуры 0-1-8-9-10-11 и 8-14-3-7-2 и 14-4	Контуры 0-1-2-3-14-4-5 и 14-8-9-10-11
Вариант исполнения 1 по типоразмерному ряду труб		
Деминское	1154,92	913,99
Уренгойское	1117,17	869,82
Старопольское	1107,35	860,00
Усть-Вилуйское	1127,69	837,47
Оренбургское	999,49	771,49
Вариант исполнения 2 по типоразмерному ряду труб		
Бованенское	1685,40	1319,40
Туймазинское	1625,29	1249,42
Ромашкинское	1640,42	1368,95

Поэтому был рассмотрен вопрос об использовании варианта исполнения 1 по типоразмерному ряду диаметров для газораспределительной сети при работе на газах Бованенского, Туймазинского и Ромашкинского месторождений. Расчет был проведен также при помощи номограмм [2] для диаметров, принятых для первого варианта исполнения. Результаты расчета представлены в виде гистограммы на рисунке 3.

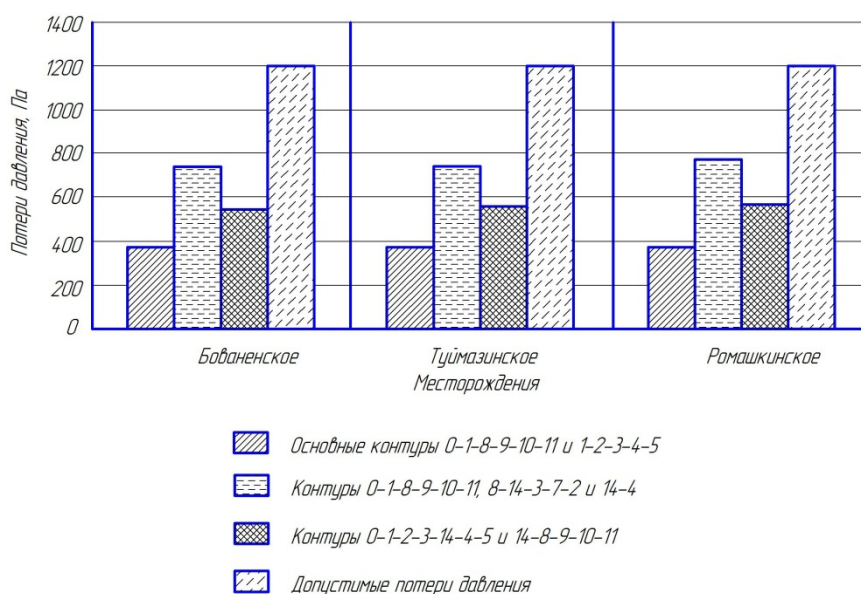


Рисунок 3– Изменение потерь давления в контурах схемы Б при варианте исполнения 1 по типоразмерному ряду труб и использовании попутных нефтяных газов

Таким образом, при увеличении диаметров трубопроводов, потери давления при транспортировании газа через добавленный участок 8-14 не превышают проектные значения. Следовательно, рациональной схемой трассировки газораспределительной сети на предприятии является схема 2 с размерами диаметров по варианту 1.

Полученные при данном сочетании схемы и варианта исполнения величины позволили установить зависимости потерь давления от теплоты сгорания используемого топлива (рис.4) при помощи корреляционно-регрессионного анализа.

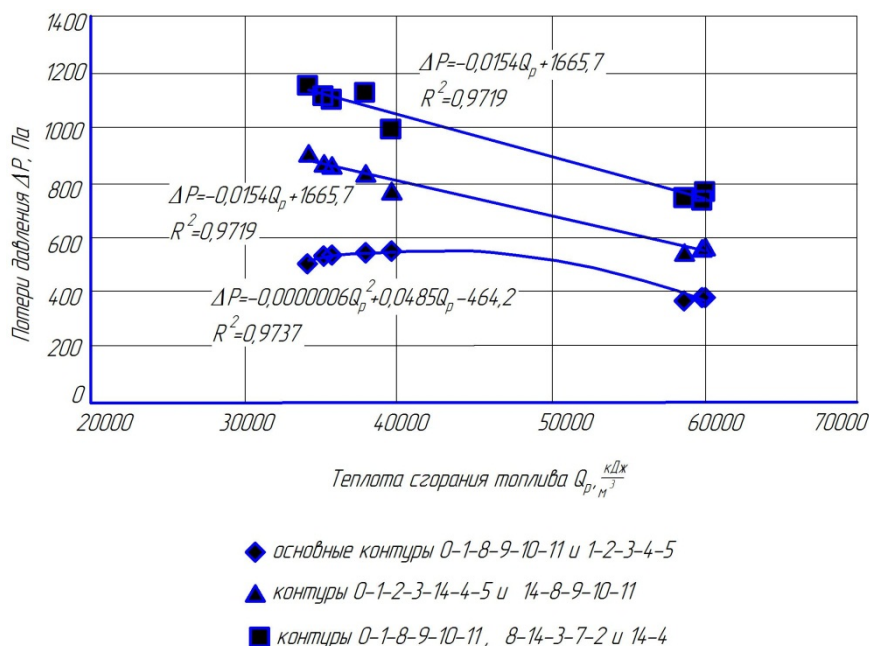


Рисунок 4–Изменение потерь давления в контурах схемы Б в зависимости от теплоты сгорания топлива

Для всех трех математических выражений коэффициент аппроксимации практически равен единице. Поэтому для данной трассировки сети с достаточно высокой степенью вероятности можно спрогнозировать потери давления при использовании газа с различной температурой сгорания.

**Выводы.** Используя метод последовательных исключений была получена схема и выбраны параметры газораспределительной сети, при которых потери давления в газопроводах будут минимальными. Полученные числовые массивы позволили установить зависимости изменения потерь давления от теплоты сгорания топлива. Используя полученные выражения можно спрогнозировать величину изменения давления при обеспечении предприятия голубым топливом с различной теплотой сгорания.

#### Список использованных источников

- ГОСТ 3262-75 Трубы стальные водогазопроводные. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200001411> (Дата обращения 10.11.2021)
- Ионин, А.А. Газоснабжение / А.А. Ионин [и др.] М.:Изд-во АСВ, 2011. – 471 с
- Курицын, Б.Н. Оптимизация режимов давления газа в системах газоснабжения со шкафными газорегуляторными пунктами/ Б.Н. Курицын, А.А. Иванов//Научно-технические проблемы совершенствования и развития систем газоэнергоснабжения. –2009.– № 1.– С. 58-64.
- Медведева, О.Н. Выбор трассировки газопровода на плане газоснабжаемой территории/О.Н. Медведева//Научный вестник Воронежского государственного

архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. –2010. –№ 3 (19).– С. 60-67

5. Медведева, О.Н. Моделирование и оптимизация распределительных систем газоснабжения сетевым природным газом/ О.Н. Медведева//Архитектура и строительство России.– 2009. –№ 12.– С. 18-25

6. Нелюбина, А.И. Современные схемы реконструкции газораспределительных сетей микрорайонов жилой застройки/А.И. Нелюбина//Современные технологии в строительстве. Теория и практика. 2019.– Т. 1.– С. 401-405.

7. СП 62.13330.2011\* Актуализированная редакция СНиП 42-01-2002 «Газораспределительные системы» [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200084535> (Дата обращения 10.11.2021)

8.. СП 42-101-2003 «Общие положения по проектированию и строительству газораспределительных систем из металлических и полиэтиленовых труб» [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200032042> (Дата обращения 10.11.2021).

*Токарева Анна Николаевна - кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплоэнергетика и техносферная безопасность» Азово – Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ, г. Зерноград, Российская Федерация. E-mail: [tanna\\_ing@mail.ru](mailto:tanna_ing@mail.ru)*

*Панченко Сергей Викторович - кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплоэнергетика и техносферная безопасность» Азово – Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ, г. Зерноград, Российская Федерация. E-mail: [panchenkosergey@mail.ru](mailto:panchenkosergey@mail.ru)*

*Украинцев Максим Михайлович - кандидат технических наук, доцент кафедры «Эксплуатация энергетического оборудования и электрических машин» Азово – Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ, г. Зерноград, Российская Федерация E-mail: [rostmax@rambler.ru](mailto:rostmax@rambler.ru)*

*Роговой Сергей Анатольевич главный инженер-заместитель директора филиала ПАО «Газпром Газораспределение Ростов-на-Дону» в г. Зернограде, г. Зерноград. Российская Федерация. E-mail: [apstar65@mail.ru](mailto:apstar65@mail.ru)*

*Польшин Никита Александровича – инженер ООО «Газпром Трансгаз Краснодар», г. Краснодар, Российская Федерация. E-mail: [polshin1998@mail.ru](mailto:polshin1998@mail.ru)*

#### USTIFICATION OF THE SCHEME AND PARAMETERS OF THE GAS DISTRIBUTION NETWORK OF THE PRODUCTION BASE.

A.N. Tokareva<sup>1</sup>, S.V. Panchenko<sup>1</sup>, M.M. Ukrainsev<sup>1</sup>, S.A. Rogovoy<sup>2</sup>, N.A. Polshin<sup>3</sup>  
<sup>1</sup>Azov-Black Sea Engineering Institute, Donskoy State Agrarian University, Zernograd, Russian Federation  
<sup>2</sup>PJSC Gazprom Gas Distribution Rostov-on-Don in Zernograd  
<sup>3</sup>Gazprom Transgaz Krasnodar LLC



Abstract. The most effective measure to improve the efficiency of the low-pressure gas distribution network is the development of an optimal layout of gas pipelines. For an enterprise where several types of blue fuel with different calorific values are used as an energy carrier, a rational scheme of the network and parameters of gas pipelines was determined by the method of sequential exclusion. When using this scheme, pressure losses during operation of the gas distribution network in emergency mode do not exceed the maximum permissible values. As a result of the correlation analysis, the dependences of pressure changes on the heat of combustion and the gas flow contour are obtained. These mathematical models make it possible to predict the magnitude of pressure losses when using gaseous fuels with any combustion temperature.

Keywords: gas, pressure loss, diameter, gas distribution network, heat of combustion, hydraulic calculation.

*Tokareva Anna Nikolaevna – candidate of engineering sciences, Associate Professor, Chair “Thermal Power Engineering and Technosphere Safety” Azov-Black Sea Engineering Institute, Donskoy State Agrarian University, Zernograd, Russian Federation, E-mail: [tanna\\_ing@mail.ru](mailto:tanna_ing@mail.ru)*

*Panchenko Sergey Viktorovich – candidate of engineering sciences, Associate Professor, Chair “Thermal Power Engineering and Technosphere Safety” Azov-Black Sea Engineering Institute, Donskoy State Agrarian University, Zernograd, Russian Federation, E-mail: [panchenkosergey@mail.ru](mailto:panchenkosergey@mail.ru)*

*Ukrainians Maxim Mikhailovic – candidate of engineering sciences, Associate Professor, Chair “Operation of power equipment and electrical machinery” Azov-Black Sea Engineering Institute, Donskoy State Agrarian University, Zernograd, Russian Federation, E-mail: [rostmax@rambler.ru](mailto:rostmax@rambler.ru)*

*Rogovoy Sergey Anatolyevich – Chief Engineer-Deputy Director of the branch of PJSC Gazprom Gas Distribution Rostov-on-Don in Zernograd, Zernograd, Russian Federation, E-mail: [apstar65@mail.ru](mailto:apstar65@mail.ru)*

*Polshin Nikita Alexandrovich - Engineer of Gazprom Transgaz Krasnodar LLC, Krasnodar, Russian Federation, E-mail: [polshin1998@mail.ru](mailto:polshin1998@mail.ru)*

## **Реклама в нашем журнале**

### **ВНИМАНИЕ!**

Редакция **ЖУРНАЛА «АГРОТЕХНИКА И ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ»** приглашает Вас к сотрудничеству.

Мы предлагаем разместить Вашу рекламу на страницах нашего журнала. Наши читатели (Россия и зарубежье) — учебные и научные учреждения, предприятия следующих отраслей деятельности:

- сельскохозяйственные предприятия;
- предприятия тяжелой и легкой, перерабатывающей промышленности;
- энергокомпании;
- отраслевые НИИ;
- научно-производственные объединения;
- учебные заведения;
- библиотеки.

 **Каждый из номеров журнала распространяется более чем 500 адресатам.**

**Информацию о возможности размещения рекламной продукции и ценах Вы можете узнать в редакции журналов, а также у главного редактора.**

**Телефоны: 8202879024; 8(4862) 76-44-69.**

**Тел. (факс): 8(4862) 76-11-07**

**ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР** – кандидат технических наук, доцент

**Александр Владимирович Виноградов**

**E-mail: [winaleksandr@yandex.ru](mailto:winaleksandr@yandex.ru)**

**Адрес:** 302019, г. Орел, ул. Ген. Родина, 69, Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина, факультет агротехники и энергообеспечения, ауд. 2-211.



**ПЕРЕДВИЖНАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКАЯ ЛАБОРАТОРИЯ  
ФГБОУ ВО «ОРЛОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ Н.В. ПАРАХИНА»**

**при кафедре «Электроснабжение» Орловского ГАУ**  
г. Орёл, ул. Генерала Родина, д. 69, Орел ГАУ, ауд. 2-411

---

Передвижная электротехническая лаборатория ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина» **проводит измерения и испытания в электроустановках до 1000В:**

1. Измерение сопротивления изоляции электрооборудования, проводов и кабелей;
2. Измерение сопротивления заземляющих устройств;
3. Измерения сопротивления цепи между заземлителями и заземляемыми элементами;
4. Измерение сопротивления петли «фаза-нуль»;
5. Проверка срабатывания устройств защитного отключения (УЗО);
6. Проверка срабатывания автоматических выключателей до 1000В.

Электротехническая лаборатория ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина» зарегистрирована в Приокском управлении Ростехнадзора за №А10-14-888 от 20.10.2014г.

**Также предлагаем услуги:**

1. Проведение измерений качества электрической энергии.
2. Выполнение, редакция программ по энергосбережению, энергоаудит.
3. Монтаж электрооборудования.
4. Обслуживание электрохозяйства, подготовка документации по электрохозяйству.
5. Проведение курсов повышения квалификации по энергосбережению, электробезопасности, обучение по рабочей профессии «Электромонтер»
6. Выполнение проектов по электроснабжению.
7. Выполнение обследования состояния электропроводок.
8. Электротехнические расчеты.

**Наши контакты:**

**Руководитель:** Виноградов Александр Владимирович (к.т.н.)

тел: 89202879024, E-mail: [winaleksandr@rambler.ru](mailto:winaleksandr@rambler.ru)

**инженер – метролог:** Бородин Максим Владимирович (к.т.н.)

тел: 89208014190, E-mail: [maksimka-borodin@yandex.ru](mailto:maksimka-borodin@yandex.ru)

**инженер – метролог:** Семенов Александр Евгеньевич

тел: 89536130445, E-mail: [semenow.ae@yandex.ru](mailto:semenow.ae@yandex.ru)

**ФГБОУ ВО «ОРЛОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.В. ПАРАХИНА»**

Отдел сельскохозяйственного консультирования и развития сельских территорий ВНИИ социального развития села ФГБОУ ВО Орловский ГАУ принимает заявки на оказание консультационных услуг по следующим направлениям:

- в области агробизнеса и экологии;
- в области биотехнологий и ветеринарной медицины;
- в области экономики;
- в сфере социального и экономического развития сельских территорий;
- в области агротехники и энергообеспечения;
- в сфере строительства, эксплуатации и управления недвижимостью, ландшафтного дизайна;
- в сфере охраны труда и пожарной безопасности и др.

Более подробная информация об оказываемых услугах размещена на странице отдела по адресу:

<http://www.orelsau.ru/science/institute-of-social-development-of-the-village/>

Телефон: 8 (4862) 43-30-81

E-mail: [yniisrs.orelsau@mail.ru](mailto:yniisrs.orelsau@mail.ru)

**ФГБНУ ФНАЦ ВИМ совместно с ФГБОУ ВО Орловским ГАУ  
организуют проведение  
постоянного научно-практического семинара «Энергообеспечение АПК»**

**Формат проведения:** видеосвязь.

**Периодичность:** по мере поступления заявок на проведение, не реже 1 раза в 2 месяца.

**Темы:**

- всё, что связано с вопросами энергообеспечения АПК, электротехнологиями и электрооборудованием в АПК;

- вопросы цифровизации и роботизации в АПК и системах его энергообеспечения;

- современное сельскохозяйственное производство, проблемы и пути их решения, новые технологии;

- предварительное обсуждение кандидатских и докторских диссертаций;

- обсуждение совместных проектов, грантов;

- другие тематики.

**Для участия, предложения тематики обсуждения:**

написать письмо на электронную почту (в названии указать «семинар Энергообеспечение АПК»)

**Почта:** [winaleksandr@gmail.com](mailto:winaleksandr@gmail.com)

**Телефон:** 89202879024 – Виноградов Александр Владимирович

При поступлении заявки на участие, адрес обратившегося вносится в рассылку и он уведомляется о теме и сроках проведения семинара.