



# ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Тамбов  
Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»  
2023

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

**Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Тамбовский государственный технический университет»**

**ИНСТИТУТ ЭНЕРГЕТИКИ, ПРИБОРОСТРОЕНИЯ  
И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ**

# **ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ**

**Выпуск V**

Материалы Пятой Международной научной конференции

(Тамбов, 21 декабря 2023 г.)

*Научное электронное издание*



---

Тамбов  
Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»  
2023

УДК 658.26  
ББК 31.3  
Ц75

*Конференция проводилась в рамках реализации в форме субсидий из федерального бюджета образовательным организациям высшего образования на реализацию мероприятий, направленных на поддержку студенческих научных сообществ (Соглашение № 075-15-2023-564 от 16.06.2023 г.)*

Председатель конференции – Муромцев Дмитрий Юрьевич

Редакционная коллегия:

Т. И. Чернышова – *ответственный редактор*,  
М. А. Каменская – *зам. ответственного редактора*,  
А. Н. Грибков, А. В. Кобелев

Ц75     **Цифровая трансформация** в энергетике. Вып. V [Электронный ресурс]: материалы Пятой Международной научной конференции / отв. ред. Д. Ю. Муромцев; ФГБОУ ВО «ТГТУ». – Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2023. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Системные требования: ПК не ниже класса Pentium II; CD-ROM-дисковод; 5,5 Mb; RAM; Windows 95/98/XP; мышь. – Загл. с экрана.  
ISBN 978-5-8265-2712-2

Представлены тезисы докладов участников Пятой Международной научной конференции «Цифровая трансформация в энергетике», в которых раскрываются вопросы эффективного использования энергоресурсов, построения эффективных систем переработки, передачи и хранения энергии, применения нетрадиционных источников энергии, разработки энергосберегающих и ресурсосберегающих технологий, развития производственных отношений на основе цифровых подходов и средств, отражены правовые аспекты, регулирующие отношения в области энергетики.

Материалы сборника могут быть полезны студентам-исследователям, а также инженерно-техническим работникам различных отраслей промышленности.

УДК 658.26  
ББК 31.3

*Материалы предоставлены в электронном варианте, организаторы конференции и редакция ответственности за содержание предоставленных авторами материалов не несут.*

*Все права на размножение и распространение в любой форме остаются за разработчиком. Нелегальное копирование и использование данного продукта запрещено.*

ISBN 978-5-8265-2712-2

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «ТГТУ»), 2023

## Секция 1

# ЦИФРОВИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ

## СЖИГАНИЕ БИОТОПЛИВА В ЦИКЛОННО-СЛОЕВОЙ ТОПКЕ КОТЛА МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Е. А. Пицуха, Ю. С. Теплицкий

*Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси,  
Минск, Беларусь*

В циклонно-слоевых топках (рис. 1) совмещается слоевое сжигание твердых видов биотоплива с вихревым дожиганием вынесенных мелких фракций и газообразных горючих продуктов в надслоевом пространстве [1].

Основными преимуществами этих топок по сравнению с традиционными прямоточными слоевыми топками является возможность вихревого смешения летучих и продуктов неполного горения с дутьевым воздухом, а также сравнительно небольшой объем топочной камеры.

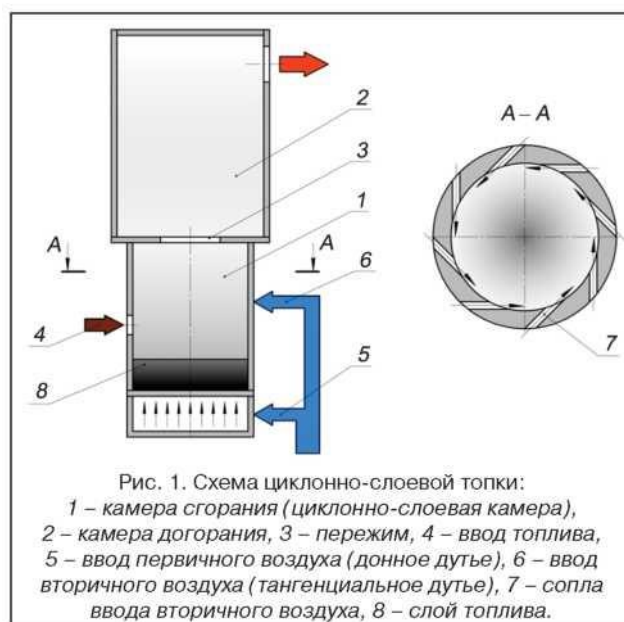


Рис. 1. Схема циклонно-слоевой топки:  
1 – камера сгорания (циклонно-слоевая камера),  
2 – камера догорания, 3 – пережим, 4 – ввод топлива,  
5 – ввод первичного воздуха (донное дутье), 6 – ввод  
вторичного воздуха (тангенциальное дутье), 7 – сопла  
ввода вторичного воздуха, 8 – слой топлива.

Рис. 1

Это позволяет организовать процесс сжигания биотоплива с более высокими тепловыми напряжениями топочного объема при низком коэффициенте избытка воздуха ( $\alpha = 1,15...1,25$ ) и одновременно небольшом химическом

недожоге ( $q_3$ ). В общем случае биотопливо в топочной камере может сжигаться как в неподвижном, так и в кипящем слое.

Единичная мощность циклонно-слоевых топок находится в диапазоне примерно  $0,1 \dots 10$  МВт.

Опыты проводились на водогрейном котле мощностью –  $0,5$  МВт с циклонно-слоевой топкой при сжигании мелкофракционных твердых видов биотоплива (древесные опилки, льнокостра). Топка котла – двухкамерная, включающая камеру сгорания с внутренним диаметром  $D = 700$  мм, высотой  $H_1 = 935$  мм и камеру догорания такого же диаметра высотой  $H_2 = 980$  мм. Камеры разделены пережимом диаметром  $d = 350$  мм. Первичный воздух (донное дутье) подводится под неподвижную газораспределительную решетку (колосник) с живым сечением  $11\%$ . Вторичный воздух вводится в камеру сгорания тангенциально через  $16$  сопел с внутренним диаметром  $d_n = 15$  мм, расположенных в  $4$  ряда, равномерно по поверхности стенки этой камеры. Для повышения температуры топочного пространства цилиндрическая стенка камеры сгорания выполнена футерованной.

Ввод топлива организован с помощью шнекового питателя сверху на колосниковую решетку, реализуя схему сжигания со встречным движением топлива и продуктов горения.

При сжигании льнокостры зафиксировано увеличение концентрации СО. Испытания котла на льнокостре проводились при доле донного дутья примерно  $\varphi = 0,35$ , а также без донного дутья. Было установлено, что наиболее низкие значения СО наблюдаются при отсутствии донного дутья. Однако, даже в этом случае, содержание СО примерно в  $1,7-2,5$  раза выше по сравнению с древесным топливом. Вероятной причиной этого является выгорание большей доли частиц льнокостры в надслоевом пространстве, в то время, как частицы древесного топлива в основном выгорают в слое. Соответственно, время нахождения продуктов неполного горения в объеме топки меньше при сжигании льнокостры.

### **Выводы.**

1. Разработан опытный образец водогрейного котла малой мощности с циклонно-слоевой топкой, обеспечивающей устойчивое горение твердых видов биотоплива различного фракционного состава в диапазоне влажности до  $55\%$  ( $Q_p = 1685 - 4110$  ккал/кг).

2. Установлено, что при мощности котла примерно  $70 \dots 100\%$  от номинальной, соответствие нормативным значениям концентрации СО [2] выполняется при избытке воздуха  $\alpha = 1,15 \dots 1,25$ . При меньшей мощности, примерно

50...60% от номинала, нормативные значения концентрации монооксида углерода (СО) реализуются при избытке  $\alpha = 1,27$  и выше.

3. Режим сжигания льнокостры целесообразно устанавливать без донного дутья. В этом случае содержание СО минимальное, практически отсутствуют агломераты на колоснике. Концентрация монооксида азота (NO) в отходящих газах при сжигании льнокостры в 2–2,5 раза выше, чем при сжигании древесины.

### **Библиографический список**

1. Пицуха, Е. А. Сжигание твердых биотоплив в циклонно-слоевой топочной камере / Е. А. Пицуха, Ю. С. Теплицкий, В. А. Бородуля // Теплоэнергетика. – 2014. – № 7. – С. 18 – 24.

2. Установки котельные. Установки, работающие на биомассе. Нормы выбросов загрязняющих веществ: СТБ 1626.2-2006. Введ. 19.04.2006. – Минск : Госстандарт РБ, 2006. – 3 с.

### **ДЕФЛЮИДИЗАЦИЯ ИНЕРТНОГО МАТЕРИАЛА В КОТЛАХ С КИПЯЩЕМ СЛОЕМ**

**К. И. Милованов, В. С. Кох-Татаренко, С. Н. Кузьмин, Т. А. Листопадская**

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия*

*(e-mail: milovanov-k@mail.ru)*

Для сжигания влажных отходов сельского хозяйства используют котлы с низкотемпературным кипящим слоем (КС), обеспечивающие минимальные выбросы в атмосферу загрязняющих веществ [1].

Топливо из лузги подсолнечника или подстильно-пометной массы птицефабрик (ППМ) рассматриваются в рамках существующего законодательства как возобновляемый источник энергии, позволяющий снизить налоговую нагрузку на предприятие [2].

Высокое содержание лигнина в этих отходах приводит к высокой теплоте сгорания, порядка 16 МДж/кг. Однако содержание легкоплавких щелочных (К, Na) и щелочноземельных (Ca, Mg) металлов в них, а также Si, S, Al, P и Cl (табл. 1) приводит к агломерации инертных частиц кипящего слоя.

## 1. Химический состав отходов сельского хозяйства

Элемент	ППМ, мг/кг	Лузга, мг/кг
Ca	398	3420
Mg	276	1940
Si	28	661
K	237	11300
Na	169	39
S	5	1550
Cl	66	684
P	154	840

Поскольку натрий и калий при высоких температурах вступают в реакцию с частицами кварца в слое, образуя щелочно-силикатные комплексы, происходит увеличение геометрических размеров частиц, прекращение процесса псевдооживления и остановка работы котла. Альтернативой этому может служить замена кварцевого песка на другой материал, не содержащий кварц, но обычно более дорогой.

Одним из вариантов может служить использование в качестве инертного материала кипящего слоя оливинового песка, содержащего менее 40% оксида кремния и 49% оксида магния.

В ходе экспериментов по сжиганию лузги подсолнечника в котле КС мощностью 0,5 МВт, в котором кварцевый песок был заменен на оливиновый, получены следующие результаты. После 72 часов непрерывной работы котла КС с кварцевым песком в слое образуются твердые агломераты из песка и золы в форме сфер диаметром от 2 до 7 мм. Температура в топке при этом поддерживалась на уровне 750 °С. Образование агломератов привело к остановке работы котла. При замене песка в котле на оливиновый, его частицы также накапливают на своей поверхности слой, содержащий калий, но не так быстро, как это делают частицы кварца. При этом отмечено образование рыхлых мини-агломератов диаметром менее 2 мм. Через 27,5 часов работы котла КС с оливиновым песком доля частиц в слое диаметром более 0,4 мм увеличилась в 3,3 раза (рис. 1). Меньшее количество калия, собранного на поверхности частиц оливинового слоя, привело к образованию легкоплавких соединений непосредственно с силикатными частицами в топливной золе, склеивающих частицы друг с другом. Похоже, что на частицах кварца образуется слой по типу твердого «индуцированного покрытия», а на частицах оливина слой –

по типу рыхлой агломерации, вызванной расплавом щелочных металлов. Образование мини-агломератов в кипящем слое оливина не повлияло на стабильную работу котла в ходе проведенных экспериментов.

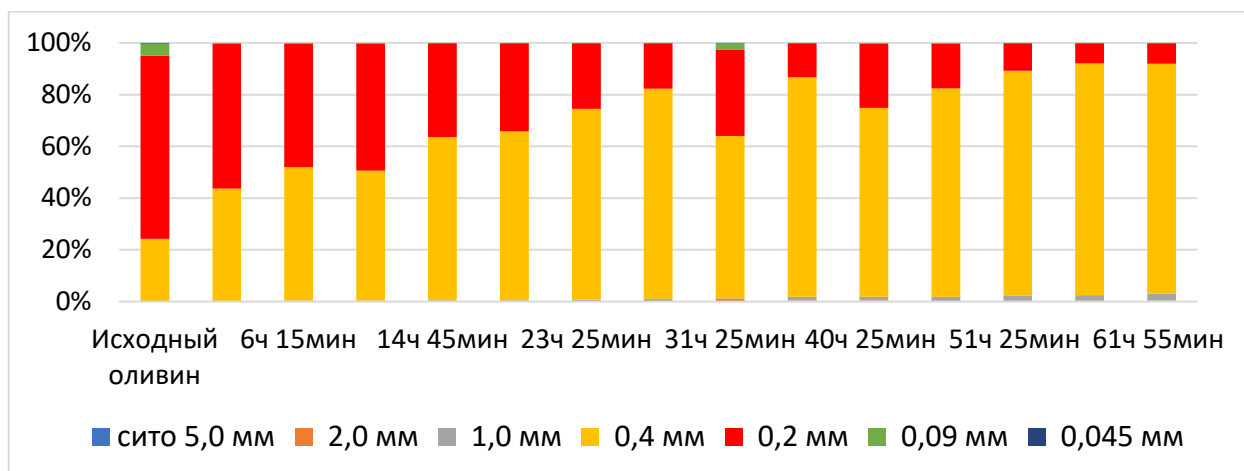


Рис 1. Фракционный состав оливинового песка в процессе горения

### Библиографический список

1. URL : <https://gskb.by> (дата обращения: 17.10.2023).
2. ГОСТ Р 70346–2022 «Зеленые» стандарты. Издание официальное. Разработан Акционерным обществом «ДОМ.РФ» (АО «ДОМ.РФ»): утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 9 сентября 2022 г. № 900-ст.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОЭМИССИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ЧАСТИЧНО ИОНИЗИРОВАННОЙ СРЕДЫ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

Д. С. Баршутина, С. Н. Баршутин, Н. А. Лежнева

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия  
(e-mail: dafge5@yandex.ru)*

В условиях частично ионизированной среды при температуре 1650К с нормальным давлением длина свободного пробега у электрона сотые доли микрометра, если считать до столкновения с нейтральной молекулой. Но в условиях пламени электрон может передать только часть своей кинетической энергии молекуле, при этом оставаясь свободным. Поэтому можно ввести понятие средней длины пробега электрона от момента ионизации до момента рекомбинации  $\lambda_r$ . В этом случае величина  $\lambda_r$  будет сильно зависеть от степени ионизации пламени.



Анализ различных источников [1, 2] показал, что при температуре пламени 1650 К концентрация свободных электронов находится в области  $10^8$  моль<sup>-1</sup>. При такой концентрации свободных электронов будет  $\lambda_r$  настолько высоким, что время жизни ионизированного состояния будет находится в пределах 1 мс. Таким образом, любой источник свободных электронов будет ощутимо повышать общую степень ионизации пламени.

В случае воздействия на пламя электрического поля в него вводятся электроды, которые приобретают температуру, достаточную для возникновения эффекта термоэлектронной эмиссии. В случае если напряженность электрического поля будет достаточной для выхода электронов из катода к эффекту термоэлектронной эмиссии с электродов присоединится эффект электронной эмиссии, который может иметь более высокие плотности тока.

Плотность тока в результате термоэлектронной эмиссии можно представить в виде выражения разработанного на основе уравнений, представленных в источнике [3]:

$$J = 120 \frac{m_{ef}}{m_e} T^2 \exp \left( -e \cdot k_B^{-1} T^{-1} \left( \varphi - \left( \frac{2k_B T N_s \left( \frac{e(\varphi - V)}{k_B T} - 1 \right) \right)^{0.5}}{4\pi \varepsilon_s^{1.5}} \right)^{0.5} \right) \left( \exp \left( \frac{V \cdot e}{k_B T} \right) - 1 \right), \quad (1)$$

где  $m_{ef}$  – эффективная масса электрона;  $m_e$  – масса электрона в свободном состоянии;  $e$  – заряд электрона;  $\varphi$  – работа выхода электрона из металла;  $N_s$  – концентрация электронов в приповерхностной области электрода в условиях  $V = 0$ ;  $V$  – напряжение на электроде;  $\varepsilon_s$  – диэлектрическая постоянная.

Для определения количества электронов, вышедших из электрода в результате термоэлектронной эмиссии, при известной плотности тока можно определить по формуле:

$$n_{ve} = \frac{J \cdot t \cdot S}{e}, \quad (2)$$

где  $n_{ve}$  – количество электронов, покидающих поверхность электрода с площади  $S$  за время  $t$ .

В результате анализа соотношений (1), (2) термоэлектронная эмиссия в межэлектродном пространстве пламени повысит концентрацию электронов примерно в  $10^7$  раз.

## Библиографический список

1. Еремин, В. В. Исследование времени жизни ионизированного состояния атомов в пламени / В. В. Еремин, С. Н. Баршутин // Энергосбережение и эффективность в технических системах : материалы VIII Междунар. науч.-техн. конф. студентов, молодых ученых и специалистов, Тамбов, 16–17 ноября 2021 года. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2021. – С. 101–102.
2. Баршутин, С. Н. Воздействие термоэлектронной эмиссии углеродных частиц на степень ионизации пламени / С. Н. Баршутин, Э. А. Мешкова // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2019. – Т. 25, № 1. – С. 155 – 160.
3. Thermionic field emission at electrodeposited Ni-Si Schottky barriers / M. E. Kiziroglou, X. Li, A. A. Zhukov et al. – 2008. – V. 52, No. 7. – P. 1032 – 1038.

## ИЗМЕНЕНИЕ УРОВНЯ ЖИДКОСТИ В ТЕПЛОВОЙ КАМЕРЕ

**М. С. Мещерякова, А. А. Балашов, А. А. Махоренко**

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия  
(e-mail: teplotehnika@mail.tstu.ru)*

Изменения уровня воды в тепловой камере могут происходить по нескольким причинам, приведенным ниже. В зависимости от температуры воздуха, уровень воды в тепловой камере может подниматься или опускаться. Это связано с тем, что при нагревании вода расширяется, а при охлаждении – сжимается. Изменения атмосферного давления могут также влиять на уровень воды в камере. При повышении давления уровень воды обычно снижается, и наоборот. В тепловой камере постоянно происходит процесс конденсации и испарения воды. Если температура внутри камеры выше, чем снаружи, то вода будет испаряться быстрее, что может привести к снижению уровня. И наоборот, если температура снаружи камеры выше, то вода может конденсироваться на стенках камеры и уровень воды будет повышаться. Если в тепловой камере есть какие-то загрязнения или засорения, это может повлиять на уровень воды. Например, если есть утечка в системе теплоснабжения, то уровень воды в камере может повышаться.

Постановка задачи, при наличии воды в тепловой камере, имеет следующий вид. В цилиндрический сосуд (тепловая камера) с площадью основания  $S$

налита жидкость плотностью  $\rho$ . В сосуд опускают тело произвольной формы (датчик уровня) массой  $m$  (плотность тела  $\rho_0$  меньше плотности жидкости  $\rho$ ) (рис. 1). Определим изменение  $\Delta h$  уровня жидкости в сосуде.

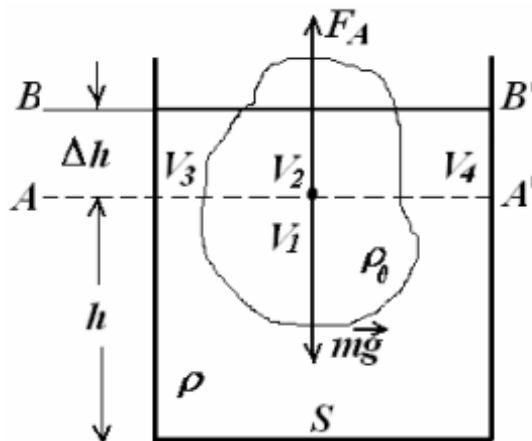


Рис. 1. Физическая модель

Погружение тела произвольной формы в сосуд цилиндрической формы с жидкостью приводит к изменению уровня жидкости на

$$\Delta h = \frac{m}{\rho S}. \quad (1)$$

Далее строим графическую зависимость плотности воды и изменения уровня воды от температуры воды в тепловой сети (рис. 2).

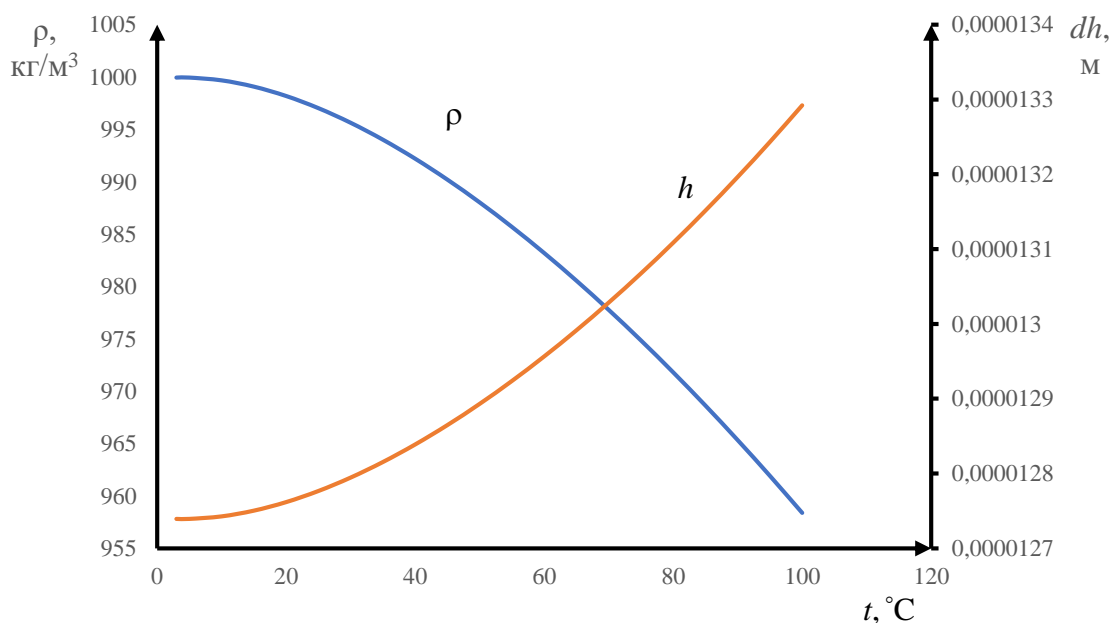


Рис. 2. Графики зависимостей плотности воды и изменения уровня жидкости от температуры



# ОБ УПРАВЛЕНИИ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ИНФОРМАЦИИ В КРИТИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

**Р. А. Хворов**

*Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил  
«Военно-воздушная академия имени профессора  
Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Воронеж, Россия  
(e-mail: kha.vva@yandex.ru)*

Практика управления в различных сферах деятельности человека показала широкое внедрение различных информационных технологий, как фактора повышения ее эффективности. Однако это приводит и к отрицательному эффекту, связанному с наличием множества уязвимостей используемой информации к реализации угроз ее безопасности [1].

Воздействие подобного рода угроз существенно снижает эффективность управленческой деятельности и связано с серьезными последствиями для объекта управления. В связи с чем, возникает противоречие, связанное с построением и развитием информационных систем (ИС), как инструмента информационного обеспечения управленческой деятельности, проходящего в условиях эволюции информационных потребностей должностных лиц, с одной стороны, а с другой стороны появление новых угроз безопасности в информационной сфере, что подтверждается статистикой последних лет не зависимо от возможностей принимаемых мер защиты. Эта проблема характерна для всех критически важных ИС (КИС) начиная с автоматизированных систем управления различного назначения (в том числе автоматизированных систем управления энергообеспечением) до систем поддержки принятия решения органов государственной власти.

Необходимость обеспечить и контролировать состояние безопасности КИС, прогнозировать и выявлять нарушения безопасности приводит к обоснованию нового подхода к обеспечению безопасности как задаче адаптивного управления состояниями ИС, направленного на удержание ее функционирования в допустимых пределах. Актуальность этого подхода обусловлена проблемой обеспечения устойчивого функционирования механизмов защиты информации, с точки зрения своевременного и адекватного реагирования на угрозы.

Одним из путей решения данной проблемы является обоснование нового методологического подхода обеспечению устойчивого функционирования системы обеспечения безопасности информации. Исходя из чего, наиболее обоснованным направлением является разработка технологии управляемой безопас-

ности информации [2], т.е. возможность адекватного изменения состава, структуры и параметров механизмов защиты информации исходя из анализа развития и возможностей угроз безопасности.

Анализ работ [3, 4] в этой области показывает, что решение указанной проблемы невозможно без учета прогноза возможного воздействия нарушителя (модель нарушителя) в каждый момент времени функционирования ИС и своевременной и адекватной реакции механизмов защиты на эти воздействия, т.е. адаптации к нарушениям безопасности.

С учетом анализа недостатков существующих подходов и обоснования практических предложений в рамках решения указанной проблемы, предлагается система управления [5], реализация которой направлена на обеспечение оперативной адаптации параметров механизмов защиты к выявленным угрозам или штатным изменениям в структуре автоматизированных систем и повышение эффективности работы системы в целом за счет оценки и оптимального распределения ее ресурса для применения средств защиты.

Таким образом, предложенная система управления защитой информации характеризуется высокой степенью надежности, позволяет выработать формализованную модель действий нарушителя на основе априорных данных, систематически актуализировать ее на основе текущих данных о выявленных воздействиях и организовывать управление системой защиты информации

### **Библиографический список**

1. The basic model of threats to the security of personal data during their processing in personal data information systems (extract). Approved by the Deputy Director of the FSTEC of Russia on February 15, 2008.
2. Vostretsova, E. V. Fundamentals of information security. Yekaterinburg : Ural Publishing House. unita, 2019. – 204 p.
3. Gerasimenko V. A., Malyuk A. A. Fundamentals of information protection. – М. : МЕРФІ, 1997. – 537 p.
4. Kalini, M. O. Adaptive security management of information systems based on logical modeling: abstract. diss. Doctor of Technical Sciences – St. Petersburg : State Educational Institution of Higher Education «SPbGPU», 2011 – 220 p.
5. Information security management system. RF Patent No. 2757927. Published on 10/25/2021.

## АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

И. Д. Рябов, В. С. Аистов, И. А. Некрылов, Г. Х. Э. Гарридо

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия

(e-mail: 20theilyarid01@gmail.com;

aistov.volk-vovan@mail.ru, nekrylov.ilya@mail.ru)

С каждым годом одновременное нахождение воздушных транспортных средств в небе стремительно увеличивается. Такая тенденция требует высокую точность слежения за положением воздушных судов (ВС), чтобы увеличить уровень безопасности полетов [1, 2]. Обработкой такого большого количества данных и занимается информационно-измерительная система (ИИС). Информационно-измерительные системы это – объединения различных средств измерений и устройств, которые соединены между собой каналами связи. Такие связи предназначены для автоматизирования процесса получения измерительной информации от всевозможных источников.

Таким образом, ИИС представляет собой сложный измерительный комплекс, включающий в свой состав не только измерительные преобразователи, но и средства вычислительной техники – ЭВМ различной мощности.



Рис. 1. Обобщенная структурная схема ИИС

В зависимости от способа организации передачи информации между функциональными блоками (ФБ) различают цепочечную, радиальную и магистральную структуры ИИС (рис. 2).

В дальнейшем информация обрабатывается и передается. Любая радиолокационная система во время своей работы подвергается воздействию различных факторов. Сложность получения информации создают помеховая обстановка, различный рельеф местности, высокоманевренная динамика полетов ВС, а также метеобстановка за бортом ВС.

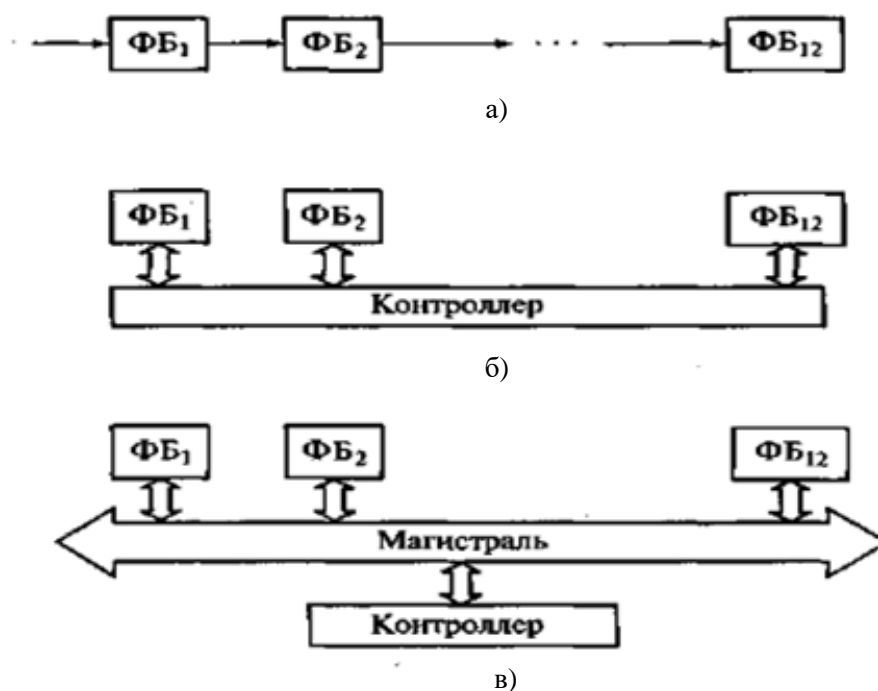


Рис. 2. Структуры информационно-измерительных систем:  
 а – цепочечная; б – радиальная; в – магистральная

### Библиографический список

1. Пудовкин, А. П. Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014.
2. Панасюк, Ю. Н. Обработка радиолокационной информации в радиотехнических системах : учебное пособие / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2016.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДАЛЬНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ РЛС ОТ ЕЕ ПАРАМЕТРОВ

**А. Е. Медведев, Ю. Н. Панасюк, А. К. Бабаев**

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия  
 (e-mail: Medvedevtstu@gmail.com; pyunikol@mail.ru)*

Радиолокационная станция (РЛС) – это система, цель которой обнаружения воздушных, морских и наземных объектов, способная определить их скорость и геометрические параметры. Одним из главных параметров РЛС является его максимальная дальность обнаружения, которую можно найти из следующего выражения [1 – 3]



$$D_{\max} = \sqrt[4]{\frac{P_{\text{и}} G \sigma S_{\text{а}}}{(4\pi)^2 P_{\text{мин}}}}, \quad (1)$$

где  $P_{\text{и}}$  – импульсная мощность;  $G$  – КНД антенны;  $S_{\text{а}}$  – площадь раскрытия антенны;  $\sigma$  – ЭПО цели;  $P_{\text{мин}}$  – чувствительность приемника.

Уравнение (1) является основным уравнением радиолокации и показывает, что максимальная дальность РЛС в свободном пространстве зависит от собственных параметров радиолокационной станции и отражающих свойств цели. Дальность обнаружения будет тем сильнее, чем больше излучаемая мощность передатчика, КНД антенны, ЭПО цели и чем меньше значение чувствительности приемника.

На представленном рис. 1 демонстрируется влияние мощности излучаемой передатчиком на дальность обнаружения.

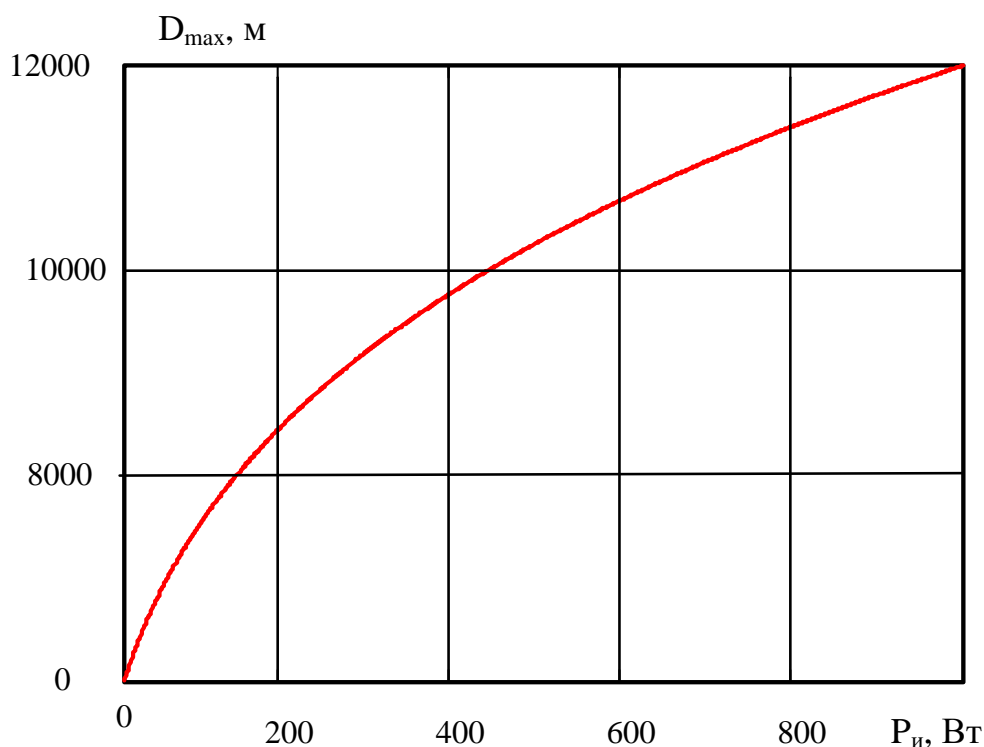
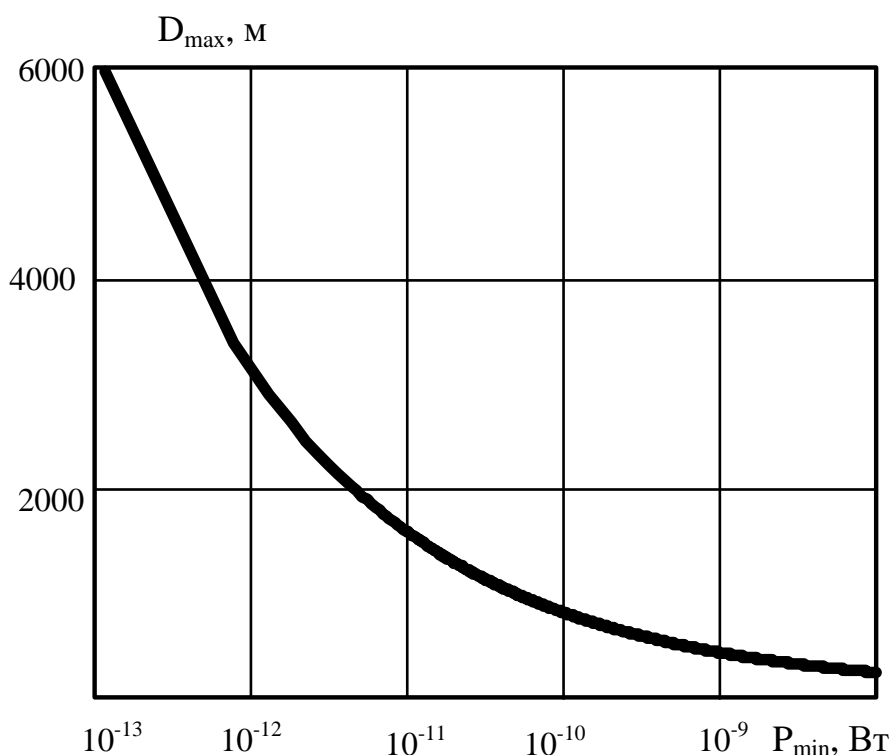


Рис. 1. Зависимость дальности обнаружения от изменения  $P_{\text{и}}$

Из рисунка 1 видно, что повышение мощности увеличивает дальность обнаружения, но так как значения находятся под корнем четвертой степени, это влияние не существенно. Помимо того, исходя из расчетов, увеличение мощности в 2 раза, потребует увеличить массогабаритные характеристики передатчика в 16 раз [1, 4, 5].

На рисунке 2 рассмотрено влияние чувствительности РЛС на дальность обнаружения.



**Рис. 2.** Зависимость дальности обнаружения от изменения  $P_{\min}$

Из рисунка 2 видно, что улучшение чувствительности приемника увеличивает дальность РЛС. Для увеличения дальности обнаружения в 2 раза, необходимо улучшить (уменьшить) чувствительность приемника в 16 раз. Чувствительность приемника возможно улучшать благодаря современным методам обработки сигналов [1, 5, 6].

Таким образом, результаты исследования показали, что для увеличения дальности обнаружения РЛС необходимо улучшать параметры всей радиолокационной системы, а не ее отдельные характеристики.

### Библиографический список

1. Пудовкин, А. П. Электромагнитная совместимость и помехозащищенность РЭС [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк, Т. И. Чернышова. – Тамбов : ТГТУ, 2013. – 92 с.
2. Пудовкин, А. П. Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.
3. Pudovkin, A. P., Panasyuk, Yu N., Danilov, S. N., Moskvitin, S. P. Synthesis of Algorithm for Range Measurement Equipment to Track Maneuvering Aircraft Using Data on Its Dynamic and Kinematic Parameters // Journal of Physics : Conference Series. – V. 1015, Is. 3, article id. 032111 (2018).

4. Pudovkin, A. P., Panasyuk, Yu. N., Danilov, S. N., Moskvitin, S. P. Synthesis of channel tracking for random process parameters under discontinuous variation // Journal of Physics: Conference Series. – V. 1015, Is. 3, article id. 032112 (2018).

5. Панасюк, Ю. Н. Устройства сверхвысоких частот : учебное пособие / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин. – Тамбов : ТГТУ, 2015. – 80 с.

6. Панасюк, Ю. Н. Основы автоматизации проектирования устройств СВЧ и антенн [Электронный ресурс, мультимедиа] : учебное пособие / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016. – 270 с.

## **ЗАДАЧИ ПОСТРОЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ ПРИ НЕОПРЕДЕЛЕННЫХ УСЛОВИЯХ**

**К. В. Скоморохов, З. М. Селиванова, В. П. Семичастнов**

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия  
(e-mail: selivanova\_zm@mail.ru)*

На теплоэнергетических комплексах широко используются теплоизоляционные материалы, теплофизические свойства (ТФС) которых необходимо контролировать на промышленном производстве при их изготовлении и на объектах теплоэнергетики, в зданиях и сооружениях. Неразрушающий контроль ТФС исследуемых объектов осуществляется интеллектуальной измерительной системой (ИНИС), которая определяет соответствие параметров ТФС материалов, выпускаемых на предприятиях, соответствующим государственным стандартам [1, 2].

Задачи построения ИНИС неразрушающего контроля ТФС в условиях неопределенности включают следующее:

1. Разработку алгоритмов и методик для выполнения интеллектуальных процедур теплофизических измерений, включающих распознавание образов, идентификацию измерительной ситуации, анализ полученных данных ТФС материалов и статистическую обработку результатов измерения.

2. Создание системы сбора данных с измерительных датчиков для неразрушающего контроля параметров ТФС объектов – коэффициентов тепло- и температуропроводности.

3. Интеграцию применяемых методов измерения с целью получения наиболее полной и достоверной информации о теплофизических свойствах материалов.

4. Разработку базы знаний и данных для хранения априорной информации об объектах исследования, результатов измерений и анализа теплофизических свойств материалов с целью создания репозитория для будущих исследований и сравнений результатов.

5. Использование методов искусственного интеллекта для анализа и интерпретации данных, полученных в процессе измерений – алгоритмы распознавания образов и принятия решений в процессе теплофизических измерений на основе больших объемов априорной и измерительной информации.

6. Разработку процедур для адаптивной коррекции и анализа результатов измерений в условиях неопределенности, таких как изменение климатических параметров окружающей среды (температура, влажность) или неоднородность материалов.

7. Управление ИНИС с использованием интеллектуального пользовательского интерфейса, который позволит операторам проводить теплофизические измерения, анализировать полученные данные и получать точные отчеты с достоверной информацией о ТФС исследуемых объектов.

8. Реконfigurирование структуры ИНИС ТФС материалов в зависимости от результатов идентификации измерительной ситуации.

9. Разработку программного обеспечения, реализующего алгоритм функционирования ИНИС.

Создание интеллектуальной измерительной информационной системы неразрушающего контроля ТФС объектов исследования, функционирующей в условиях неопределенности, требует комплексного подхода, включающего в себя разработку программного обеспечения, датчиков, методов анализа и управления системой.

В результате разработки ИНИС получены следующие преимущества при проведении теплофизических измерений и исследований строительных, теплоизоляционных материалов: увеличение точности измерений, повышение производительности и оперативности неразрушающего контроля, расширение функциональных возможностей ИНИС ТФС материалов, способность анализа результатов измерений ТФС объектов, минимизация влияющих факторов, гибкость архитектуры системы на основе реконfigurирования структуры.

Преимущества ИНИС помогут значительно повысить эффективность проведения исследований теплофизических свойств материалов, улучшить достоверность получаемых данных и осуществить процесс исследований более оперативно и результативно.

### **Библиографический список**

1. Селиванова, З. М. Информационно-измерительная система теплофизических свойств твердых материалов с интеллектуальным датчиком реконфигурируемой структуры / З. М. Селиванова, В. С. Ерышова // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Серия приборостроение. – 2019. – № 5. – С. 4 – 19.

2. Селиванова, З. М. Информационная и математические модели для прогнозирования надежности интеллектуальной информационно-измерительной системы теплофизических свойств материалов / З. М. Селиванова, К. В. Скоморохов // Надежность и качество сложных систем. – 2022. – № 2(38). – С. 61 – 69.

## **ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ**

**А. М. Зарубин**

*Волгоградский государственный технический университет. Волгоград, Россия*

Российский сектор электроэнергетики, основанный преимущественно на инфраструктуре советской эпохи, все еще работает на устаревшем оборудовании. Ведутся постепенные обновления с помощью специализированных программ, таких как PDM и Commodus. Следовательно, неотложной задачей для отрасли является цифровая трансформация с использованием современных технологий для повышения рентабельности [3].

Цифровизация в этом секторе предполагает внедрение цифровых технологий и систем для повышения эффективности, надежности и управляемости электроэнергетических систем. Основная концепция, лежащая в основе цифровизации в электроэнергетике, заключается в замене традиционных аналоговых систем и процессов цифровыми эквивалентами. Эти цифровые альтернативы облегчают сбор, обработку и анализ огромных объемов данных для более точного и эффективного принятия решений [2].

Несмотря на то, что цифровая трансформация в России все еще находится на начальном этапе, она является ключевым фактором развития энергетической

отрасли. Например, Министерство энергетики России инициировало проект «Цифровая энергетика», охватывающий не только электроэнергетику, но и нефтегазовый, а также угольный секторы [3].

Решение проблемы цифровой трансформации в российской электроэнергетике привело к созданию ассоциации «Цифровая энергетика» (АЦЭ). Объединяя «Интер РАО», «Россети», системного оператора Единой энергетической системы (АО «СО ЕЭС»), и «Росатом», АЦЭ вносит свой вклад в разработку отраслевых стандартов, предлагая законодательные изменения, способствуя сотрудничеству между участниками рынка, обеспечивая финансирование новых цифровых технологий и участвуя в исследованиях и разработках [3].

Ключевые стратегические цели АСЕ в области цифровой трансформации включают повышение эффективности текущих активов и затрат, инвестирование в новые классы активов и направления обслуживания, а также расширение возможностей цифровых технологий. Достижение этих целей к 2030 году направлено на формирование высококонкурентного рынка электроэнергии с разнообразными поставщиками, льготным тарифным регулированием и инновационными бизнес-моделями [3].

Также ярким примером, демонстрирующим успех ИИ в энергетическом секторе, является проект Smart Grid, инициированный Enel в Италии. Это начинание привело к созданию цифровой платформы, использующей алгоритмы машинного обучения для управления энергосистемами. Следовательно, время простоя энергосистем сократилось на 20%, а затраты на техническое обслуживание и ремонт снизились на 30% [1].

Таким образом, использование технологий машинного обучения и анализа данных позволяет улучшить работу энергосистемы, повысить уровень производства энергии и сократить расходы, связанные с обслуживанием и ремонтом оборудования.

### **Библиографический список**

1. Актуальные технологии для рынка электроэнергетики // TAdviser – портал выбора технологий и поставщиков. – URL : [https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Актуальные\\_технологии\\_для\\_рынка\\_электроэнергетики](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Актуальные_технологии_для_рынка_электроэнергетики) (дата обращения: 26.11.23).

2. Филатова, Р. В. Тренды внедрения цифровых технологий в энергетической отрасли / Р. В. Филатова, С. В. Пирогова // Крымский научный вестник. – 2020. – № 1(26). – URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/trendy-vnedreniya-tsifrovyyh-tehnologiy-v-energeticheskoy-otrasli> (дата обращения: 26.11.2023).

3. Цифровая трансформация электроэнергетики // CONOMY – умные инвестиции. – URL : <https://conomy.ru/analysis/articles/619> (дата обращения: 26.11.23).

## **ИССЛЕДОВАНИЕ БАЛАНСА ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ АГРЕГАТА НЕПРЕРЫВНОГО ГОРЯЧЕГО ЦИНКОВАНИЯ**

**М. А. Бавыкин, В. Я. Губарев**

*Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия  
(e-mail: bavykin.mikhail@yandex.ru; gv\_lipetsk@rambler.ru)*

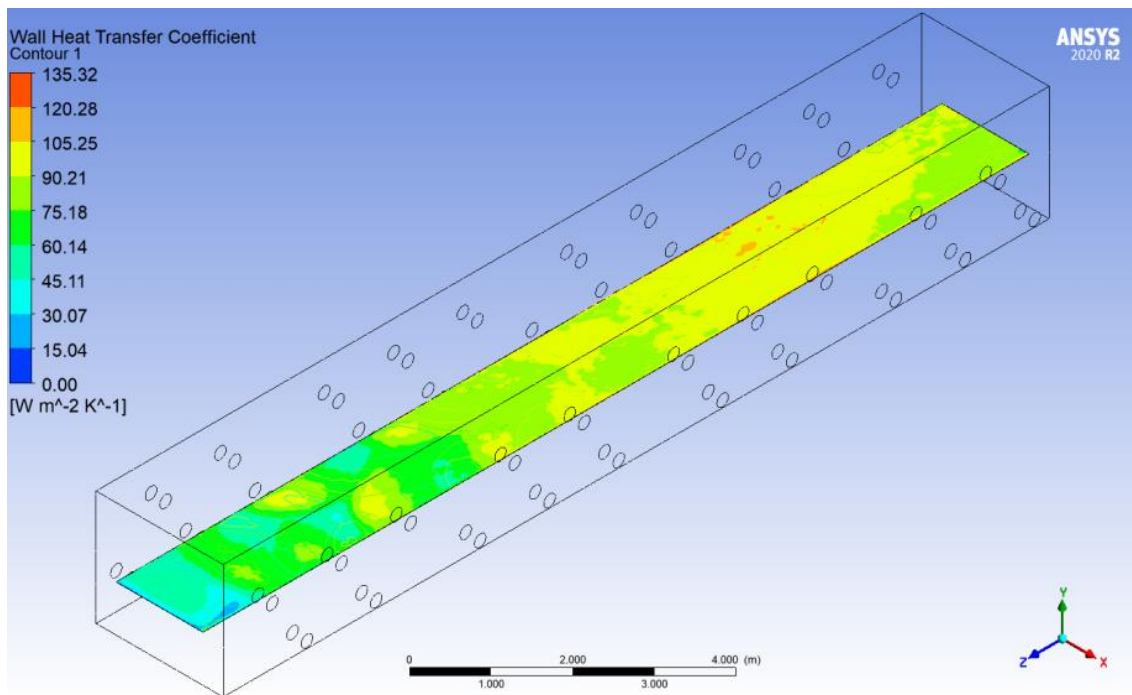
На сегодняшний день одной из основных задач промышленных предприятий является снижение энергозатрат. Большие потери энергии вследствие неэффективного использования выработанной теплоты приводят к перерасходу тепловой энергии на предприятии и росту энергозатрат.

Данная проблема является актуальной для агрегата непрерывного горячего цинкования (АНГЦ), который служит для нагрева полосы от 20 до 750 °С. На сегодняшний день ориентировочное использование полезного тепла на нагрев полосы составляет 30...35%. Исходя из этого, для снижения энергозатрат в секции прямого пламенного нагрева необходимо иметь полное представление о протекающих в ней теплообменных процессах.

Целью данной работы является проведение анализа теплообмена агрегата непрерывного горячего цинкования при нагреве полосы от 20 до 750 °С при различных режимах работы с целью экономии энергоресурсов и создания математической модели агрегата.

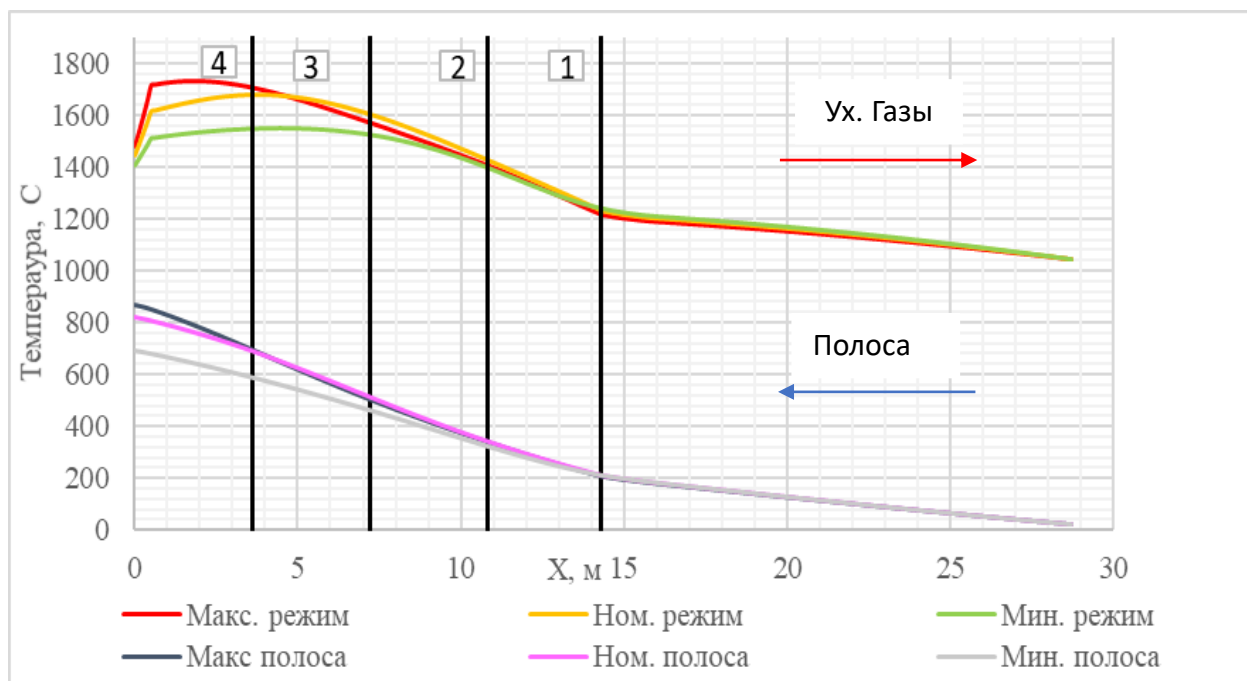
На основании чертежей была создана 3D-модель агрегата и рассчитаны различные режимы работы. В результате моделирования были получены контуры и графики распределения коэффициентов теплоотдачи по верхней и нижней поверхности полосы (рис. 1), с помощью которых были выведены законы распределения коэффициентов теплоотдачи, представленные полиномами пятой степени.

Далее был составлен полный тепловой баланс АНГЦ, на основании которого была создана его математическая модель, описывающая происходящие в нем процессы теплообмена. Полученные в результате расчета математической модели значения температур уходящих газов и прокатной полосы (рис. 2) при минимальном, номинальном и максимальном режиме работы АНГЦ, сопоставимы с реальными значениями, получаемыми при измерениях на агрегате, что свидетельствует о корректности разработанной модели.



**Рис. 1. Контур распределения коэффициентов теплоотдачи**

В результате данной работы был проведен анализ баланса тепловых потоков агрегата непрерывного горячего цинкования. Составлена система уравнений теплового баланса и создана полная математическая модель теплообмена. Полученные результаты будут использоваться в дальнейшем, при уточнении модели теплообмена с целью будущей экономии энергоресурсов без потери качества выпускаемой продукции.



**Рис. 2. График распределения температуры уходящих газов и прокатной полосы при различных режимах работы АНГЦ**



## Библиографический список

1. Зиганшин, А. М. Вычислительная гидродинамика. Постановка и решение задач в процессоре Fluent: методическое пособие для учебной и научной работы студентов направления «Строительство» (квалификация «бакалавр» и «магистр») и аспирантов специальности 05.23.03 / А. М. Зиганшин. – Казань : Изд-во Казанского государственного архитектурно-строительного университета, 2013. – 79 с.
2. Бавыкин, М. А. Исследование конвективного теплообмена в секции прямого пламенного нагрева агрегата непрерывного горячего оцинкования / М. А. Бавыкин, В. Я. Губарев // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика : тез. докл. Двадцать девятой Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов (16 – 18 марта 2023 г., Москва) : – М.: ООО «Центр полиграфических услуг «Радуга», 2023. – С. 958.

## **ТРЕБОВАНИЯ К ПРОГРАММНОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА РАБОТЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ**

**С. Ю. Балясников, Р. В. Казюлин, Н. Г. Чернышов, Р. Д. Карих**

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия  
(e-mail: ah4095@yandex.ru)*

Большинство систем автоматизации функционирует с участием человека. Взаимодействие между человеком и системой автоматизации называют человеко-машинным интерфейсом, а в мире это звучит как – Human Machine Interface, сокращенно HMI.

На сегодняшний день, самым распространенным программным комплексом, реализующим человеко-машинный интерфейс, являются SCADA системы. SCADA – это акроним от выражения Supervisory Control And Data Acquisition, что дословно переводится на русский язык, как: диспетчерское управление и сбор данных. Но стоит отметить, что существующие SCADA системы помимо сбора данных и диспетчерского управления реализуют множество различных функций, далеко выходящих за рамки упомянутого выше определения.

Обычно сбор информации с приборов производится по кабельным линиям, непосредственно подключенным к серверу сбора данных. На сервере сбора данных организуется архивирование информации и одновременно рабочее место диспетчера. Дублирование рабочих мест диспетчеров предполагает установку дополнительного программного обеспечения на рабочее место.

Эти основные принципы построения систем мониторинга на предприятиях являются оптимальными для организации диспетчеризации промышленных объектов.

Но все-таки стоит отметить, что наиболее оптимальными и перспективными являются Интернет-технологии сбора и предоставления информации, которые, благодаря их глобальной распространенности позволяют осуществлять удобный доступ к информации с любого рабочего места, подключенного к сети Интернет.

Программное обеспечение для системы мониторинга разрабатывается рядом российских IT-компаний. Разработчик так же занимается установкой программного обеспечения собственного производства на оборудование и промышленные объекты ряда крупнейших зарубежных фирм.

Практический опыт в решении задач по мониторингу различных объектов обуславливает набор необходимых требований и условий для выполнения качественной работы системы. Система, в свою очередь, должна:

- иметь гибкую структуру с возможностью расширения за счет добавления новых точек сбора информации любого типа (газ, тепловая и электроэнергия, охранные системы и т.д.);
- передавать информацию с объектов на любые расстояния за счет использования глобальной сети Интернет и современных технологий передачи данных;
- иметь возможность сбора информации с любого типа оборудования;
- предоставлять доступ к информации различным категориям пользователей с возможностью разграничения уровня доступа;
- обеспечивать безопасность коммерческой информации, путем программной и аппаратной защиты данных, использованием защищенных протоколов.

Как показывает практика, если вышеупомянутые требования учтены, то конкретные требования к программному обеспечению системы мониторинг конкретного объекта легко выполнимы.

### **Библиографический список**

1. Чернышов, Н. Г. Построение системы телеметрии энергоемкими объектами с использованием промышленных контроллеров ICP DAS / Н. Г. Чернышов, Р. В. Цыганков, К. В. Чикаев // Журнал «Вопросы современной науки и практики Университет имени В. И. Вернадского». – 2014. – Вып. 54. – С. 225 – 230.

2. Чернышов, Н. Г. Особенности создания систем энергосберегающего управления на множестве состояний функционирования / Н. Г. Чернышов, Д. Ю. Муромцев // Автоматика и вычислительная техника. – 2008. – № 3. – С. 74 – 82.

## ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ АЛГОРИТМ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЕМКОСТИ И СОПРОТИВЛЕНИЯ УТЕЧКИ КОНДЕНСАТОРА

И. Н. Воротников, М. И. Плугарев, Л. Н. Нехаева

Ставропольский государственный аграрный университет, Ставрополь, Россия  
(e-mail: vorotn\_in@mail.ru)

Создание новых и совершенствование известных импортонезависимых отечественных разработок в области цифрового мониторинга объектов энергетики и электротехники является весьма актуальной задачей в современных условиях развития экономики и науки России.

Целью настоящей работы является демонстрация создания измерительного алгоритма для определения емкости конденсатора и сопротивления утечки и определения путей его реализации.

Для достижения поставленной цели, в работе рассматривается алгоритм определения емкости конденсатора и сопротивления утечки методом поочередного заряда – разряда конденсатора и предлагается минимальная архитектура микроконтроллера для реализации рассмотренного измерительного алгоритма.

Имитационная модель измерительной цепи в среде SimInTech представлена на рис. 1. Диаграммы входного и выходного напряжений представлены на рис. 2.

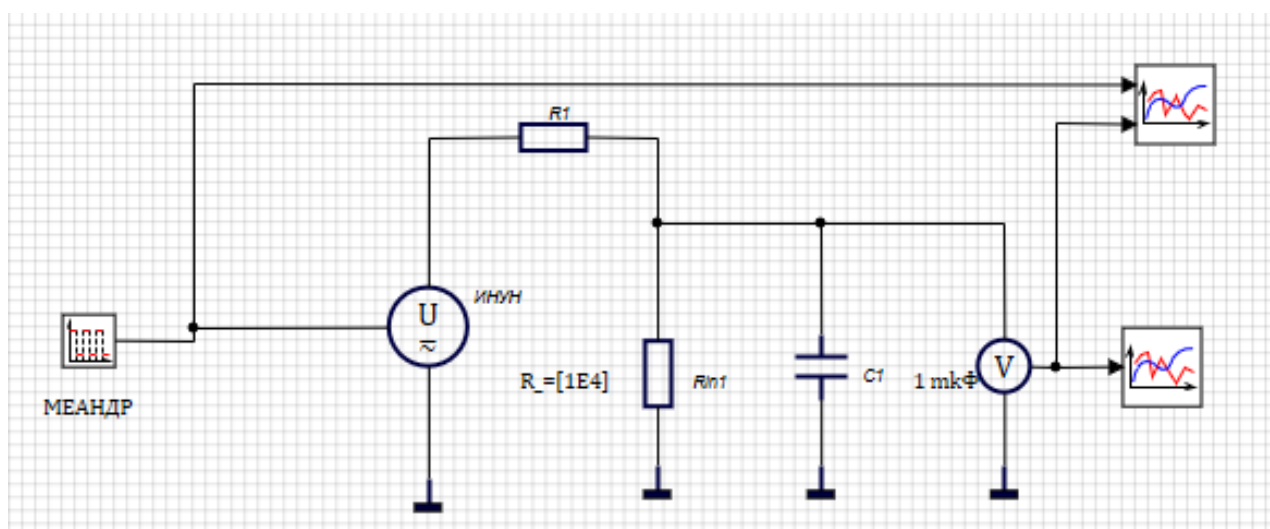
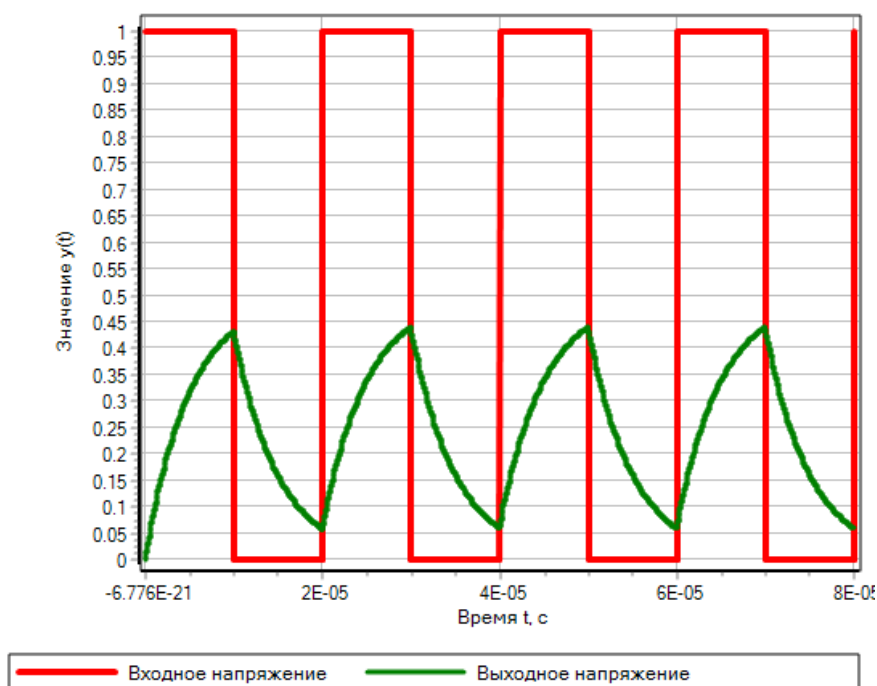


Рис. 1. Имитационная модель измерительной цепи



**Рис. 2. Диаграммы напряжений**

Входное напряжение измерительной цепи представляет собой периодическую последовательность прямоугольных импульсов с неизменными, на время проведения измерений, амплитудой  $U_0$ , периодом повторения  $T$ , скважностью, равной 2, т.е. входной сигнал представляет собой меандр.

Выходное напряжение, в соответствии со схемой замещения измерительной цепи, будет представлять собой периодическую последовательность фрагментов возрастающих и убывающих экспонент с неизменной постоянной времени измерительной цепи  $\tau$ , определяемой по выражению:

$$\tau = R_0 C_X R_X / (R_0 + R_X), \quad (1)$$

где  $R_0$  – известный параметр;  $R_X$ ,  $C_X$  – искомые параметры.

Решение задачи по определению выходного напряжения при заданном входном выполнено классическим методом расчета переходных процессов в электрической цепи с одним накопительным элементом в виде конденсатора [1]. Результат решения для фиксированных моментов времени (отсчетов), равным  $T/2$  и  $T$ , где  $T$  – период меандра, имеет вид:

$$u_{\text{вых}}\left(\frac{T}{2}\right) = U_0 R_X / (R_0 + R_X) + (U_{\text{min}} - U_0 R_X / (R_0 + R_X)) e^{-\frac{T}{2\tau}} = U_{\text{max}}, \quad (2)$$

$$u_{\text{вых}}(T) = U_{\text{max}} e^{-T/(2\tau)} = U_{\text{min}}, \quad (3)$$

где  $U_{\text{min}}$ ,  $U_{\text{max}}$  – минимальное и максимальное значения экспонент соответственно.

Совместное решение уравнений (2) и (3) дает результат:

$$R_X = R_0(U_{\max} + U_{\min}) / (U_0 - U_{\max} - U_{\min}); \tau = -T / (2 \ln(U_{\min} / U_{\max})),$$
$$C_X = \tau(R_0 + R_X) / (R_0 R_X). \quad (4)$$

Из полученных соотношений видно, что измерительный алгоритм для рассматриваемого примера, как и для аналогичных задач [2], математически разрешим.

**Вывод.** Аппаратная реализация рассмотренного измерительного алгоритма возможна с использованием микроконтроллера, имеющего функцию запуска аналого-цифрового преобразования по переднему и заднему фронтам сигнала синхронизации. В качестве примера, можно рекомендовать микроконтроллеры китайского производства Vango8530, Fudan048 с ядром Cortex-M0 и широким выбором по характеристикам объема памяти ОЗУ и памяти программ, взамен микроконтроллеров семейства PIC от Microchip, попавших под антироссийские санкции.

#### Библиографический список

1. Теоретические основы электротехники / К. С. Демирчян, Л. Р. Нейман, Н. В. Коровкин, В. Л. Чечурин. – 4-е изд. – СПб. : Питер, 2006 – 236 с.
2. Патент на изобретение RU 2714954 С1. Способ определения параметров многоэлементных двухполюсников / И. Н. Воротников, М. А. Мастепаненко, Ш. Ж. Габриелян, С. В. Мишуков. – 21.02.2020 ; заявка № 2019118177 от 11.06.2019.

### ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ НА МНОЖЕСТВЕ СОСТОЯНИЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

**А. Н. Грибков, Н. Г. Буранова, К. О. Булекова, Д. И. Стрекалов**

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия*

*(e-mail: GribkovAlexey@yandex.ru)*

В настоящее время активно развиваются процессы цифровизации в сфере теплоэнергетики. Цифровые технологии обеспечивают непрерывный мониторинг и оптимальное управление теплоэнергетическими объектами.

Результатом внедрения цифровых технологий является цифровой двойник, представляющий собой систему, состоящую из цифровой модели объекта и двусторонних информационных связей с объектом и(или) его составными частями [1]. Одной из основных задач цифрового двойника является повышение эффективности и надежности функционирования объекта за счет оптимального управления, основанного на возможности прогнозирования работы его элементов и узлов.

Теплоэнергетические объекты с точки зрения автоматизации относятся к классу многомерных систем, включающих множество взаимосвязанных входных и выходных параметров. Одним из наиболее перспективных подходов к решению задач моделирования и управления такими объектами в рамках цифрового двойника является подход, основанный на представлении модели объекта на множестве состояний функционирования (СФ) [2].

Данный подход включает в себя следующие основные этапы:

- 1) формализация задачи оптимального управления объектом и выявление ключевых факторов, оказывающих влияние на изменение СФ объекта;
- 2) разработка модели объекта на множестве СФ;
- 3) разработка алгоритмов синтеза оптимального управления для наиболее вероятных СФ (с нормальной работоспособностью оборудования) и критических СФ (при возникновении неисправностей).

Структурная схема цифрового двойника теплоэнергетического объекта на множестве СФ показана на рис. 1. Данные с теплоэнергетического объекта (ТЭО) при помощи системы датчиков (СД) поступают в программируемые логические контроллеры (ПЛК), откуда передаются на сервер (С) для обработки и анализа, а далее поступают на автоматизированные рабочие места (АРМ) операторов, осуществляющих мониторинг и управление ТЭО.

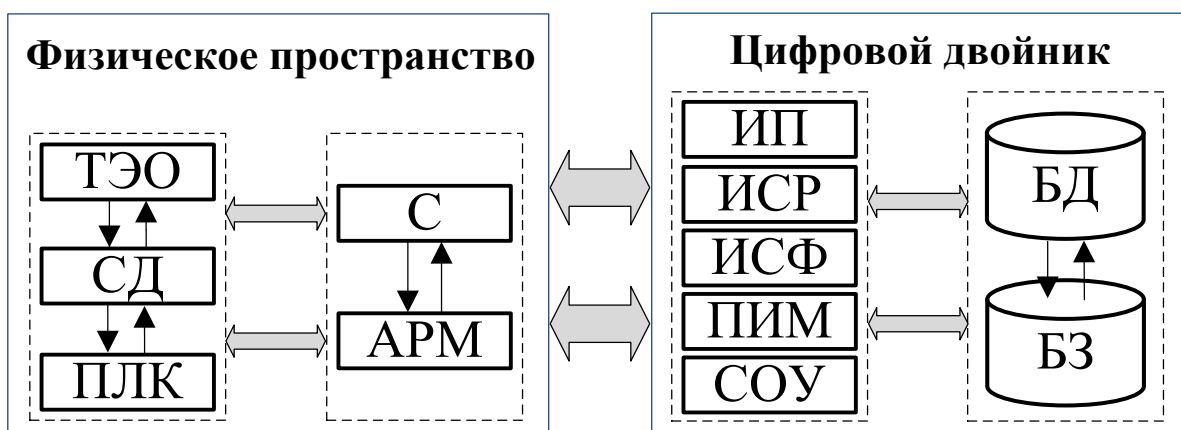


Рис. 1. Структурная схема

Цифровой двойник включает в себя следующие ключевые компоненты:

- базу знаний (БЗ), содержащую алгоритмы синтеза оптимальных управляющих воздействий для различных СФ ТЭО;
- базу данных (БД), в которой хранится архив значений технологических параметров ТЭО;
- интегрированную среду разработки (ИСР), позволяющую вносить изменения в компоненты цифрового двойника;
- интерфейс пользователя (ИП), включающий необходимые элементы для визуализации процесса мониторинга и управления (мнемосхемы, экраны и т.д.);
- модуль идентификации СФ (ИСФ), обеспечивающий идентификацию текущего СФ ТЭО;
- модуль прогнозирования и имитационного моделирования (ПИМ), позволяющий проводить оценку эффективности различных алгоритмов управления с учетом прогнозирования возможных изменений СФ ТЭО;
- модуль синтеза оптимального управления (СОУ), обеспечивающий выбор из БЗ наиболее подходящего алгоритма синтеза управляющих воздействий.

Практическое использование цифрового двойника на этапе эксплуатации ТЭО позволит повысить эффективность и надежность его функционирования.

### **Библиографический список**

1. ГОСТ Р 57700.37–2021. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения. – Введ. 2022–01–01. – М. : Российский институт стандартизации, 2021. – 15 с.
2. Муромцев, Ю. Л. Моделирование и оптимизация сложных систем при изменениях состояния функционирования / Ю. Л. Муромцев, Л. Н. Ляпин, О. В. Попова. – Воронеж : Изд-во ВГУ, 1992. – 164 с.

# ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ СЕТЕЙ КАК ОДИН ИЗ СПОСОБОВ РЕАЛИЗАЦИИ ЦИФРОВИЗАЦИИ

**Ю. Д. Гусева, А. А. Иванов**

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия*

*(e-mail: jul.g1305@yandex.ru)*

Для устойчивого развития энергетики, повышения надежности системы и эффективного управления энергетическими ресурсами целесообразно применять цифровые сети.

Цифровая электрическая сеть – это единая цифровая платформа, которая собирает и обрабатывает данные о технологических процессах распределения электроэнергии. Эта сеть позволяет управлять всем оборудованием, а также принимать решения на основе актуальной и точной информации о его состоянии.

Основные преимущества ее использования:

- удаленный мониторинг за состоянием оборудования, установившимся режимом в реальном времени, который помогает выявлять угрозы и аварийные ситуации;
- оптимизация расходов электроэнергии, путем автоматизированного распределения нагрузки, предотвращая перегрузки, обеспечивая стабильность работы системы.

Центр управления сетями (ЦУС) – элемент системы оперативно-технологического управления, находящийся на уровне региональных сетевых компаний с размещением программно-технического комплекса АСТУ.

Определяющие информационные технологии уровня оперативно-технологического управления:

1. Система сбора и обработки данных (SCADA), которая обеспечивает сбор, верификацию и первичный анализ данных; ведение архива измерений и сигналов; визуализацию оперативных данных; оповещение персонала об обнаруженных аварийных событиях; дистанционное управление (телеуправления) оборудованием сети;
2. Система управления распределительной сетью (DMS) рассчитывает установившийся режим; анализирует потокораспределение мощности; рассчитывает потери и выявляет очаги потерь;
3. Система управления отключениями, включая аварийные ситуации (OMS) локализует места повреждения и ликвидации аварийных событий, автоматически восстанавливает электроснабжение;



4. Система управления мобильными бригадами и ресурсами – цифровое управление оперативными бригадами (WFM);

5. Геоинформационные системы (ГИС);

6. Система оперативного управления энергопотреблением (EMS) обеспечивают управление энергопотреблением на основании анализа профилей и характера нагрузок; управление объектами малой генерации, не отнесенных к объектам диспетчеризации;

7. ОЖУР (организация деятельности оперативно-технологического и ситуационного управления в больших социотехнических системах) обеспечивает фиксацию событий рабочего режима; фиксацию событий внештатных ситуаций.

8. Система интеллектуального учета электроэнергии (AMI).

Полученный с вышеперечисленных систем объем данных обрабатывается в ЦУС.

Перспективным направлением развития информационных систем управления служит создание сетевых онлайн и офлайн систем поддержки принятия решений (включая цифровое проектирование) цифровой сетевой компании, основанных на онтологии бизнес-процессов деятельности и математической модели сети как единой шины данных элементами искусственного интеллекта.

### **Библиографический список**

1. Цифровизация в электроэнергетике: на пути к новой реальности [Электронный ресурс] – URL : <https://marketelectro.ru/content/cifrovizaciya-v-elektroenergetike-na-puti-k-novoy-realnosti?ysclid=lpvjez687d87847117>

2. Концепция. Цифровая трансформация 2030 [Электронный ресурс] – URL : <https://rosseti.ru/sustainable-development/digital-transformation-2030/>

## **ПОЛЬЗОВАТЕЛИ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА РАБОТЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ**

**А. А. Коньшин, Д. П. Полуэктов**

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия  
(e-mail: neo.04@mail.ru)*

Правильно настроенная система мониторинга позволяет совершенствовать или упростить работу всех служб, связанных с производством.

Руководитель и владелец получают информацию в обобщенном виде с возможностью детализации. Акцент на эффективности производства и сравнение текущих показателей с аналогичными показателями прошлых периодов и с плановыми. В случае надлежащей защиты, данные могут выводиться на мобильные устройства или обрабатываться помощником. Руководитель не всегда находится на предприятии и получает мощное средство дистанционного контроля.

Менеджер анализирует фактические показатели производства и обрабатывает отклонения для достижения заданной производительности; может своевременно организовать помощь специалиста (технолога, механика, контролера и т.д.) или ресурсное подкрепление (заготовки, инструмент, оснастка, транспорт, расходники, удаление отходов и т.п.).

Технолог в реальном времени контролирует параметры режимов обработки, критические нагрузки на оборудование и инструмент, фактическое время распределения режимов обработки и состояний станка.

Обычно именно технолог отвечает за подготовку УП, ее тестирование, хранение, передачу в производство и обновление. Технологу доступны коды УП, фактически выполненные на станке. Можно сохранить правки оператора, либо настоять на выполнении программы без вмешательства. Можно вводить значения и переменные в код УП и получать их значения как выходные параметры системы. Технолог может управлять библиотекой УП.

Механик видит наработку оборудования (моточасы) в интересах планово-предупредительных ремонтов; сообщение о критических параметрах; критические и запредельные режимы; информацию с внешних датчиков; реестр и анализ ошибок; анализ вибраций; анализ температуры технологических узлов оборудования и рабочих жидкостей; автоматически формируются регламентные процедуры в случае запроса техпомощи.

Оператор станка получает АРМ, оснащенный приборными панелями, где:

- по каждому станку указывается состояние, режим работы, работающая УП, ее версия и код изделия, данные с устройств ЧПУ совмещаются с данными производственной системы;
- отображаются производственные задания, назначенные на рабочий центр, имеется возможность их своевременного запуска;
- фиксируется факт простоя оборудования и причины простоя;
- инициируется запрос поддержки (помощь мастера, технолога, механика; запуск регламентных процедур; ресурсная поддержка при недостатке материала, инструмента, оснастки, транспорта и т.д.);

– отображается график технологических переходов, что позволяет планировать ближайшие действия, предсказывается потребность в ресурсах и рационально используется время персонала.

Служба персонала учитывает квалификационные уровни работников и имеет данные о реальных трудозатратах в привязке к результатам работы.

Служба безопасности получает сигналы о нарушениях регламентов, входящих в их компетенцию (попытки выполнения незапланированных операций или фальсификации данных).

Сервисная служба оптимизирует обслуживание станка или его восстановление после аварии, при наличии доступа к протоколам (лог-файлам) о значениях параметров перед инцидентом, проводит диагностику станка с применением автоматических процедур.

Поставщик станка сохраняет эталонные параметры, использует накопленные за период эксплуатации данные для улучшения послепродажного обслуживания и совершенствования оборудования.

Служба качества (ОТК) получает уведомление об отклонениях (inspection report), об операциях, произведенных с отступлением от технологии.

Система мониторинга, объединения полученные данные увеличивает эффективность работы оборудования, повышает производительность труда, дает возможность принимать верные управленческие решения и исследовать экономический эффект от их внедрения

### **Библиографический список**

1. Чернышов, Н. Г. Построение системы телеметрии энергоемкими объектами с использованием промышленных контроллеров ICP DAS / Н. Г. Чернышов, Р. В. Цыганков, К. В. Чикаев // Вопросы современной науки и практики Университет имени В. И. Вернадского. – 2014. – Вып. 54. – С. 225 – 230.

2. Алексеев, А. А. Диагностика в технических системах управления: учебное пособие / А. А. Алексеев, А. А. Солодовников ; под ред. В. Б. Яковлева. – СПб. : Изд-во СПбГЭТУ ЛЭТИ, 1997. – 188 с.

## **КОМБИНИРОВАННАЯ МИНИ-ТЭС НА БАЗЕ ГАЗОПОРШНЕВОЙ УСТАНОВКИ И ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ**

**В. В. Рыжов, М. Д. Злобин, В. В. Попов**

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия  
(e-mail: vadimryzhov99@mail.ru)*

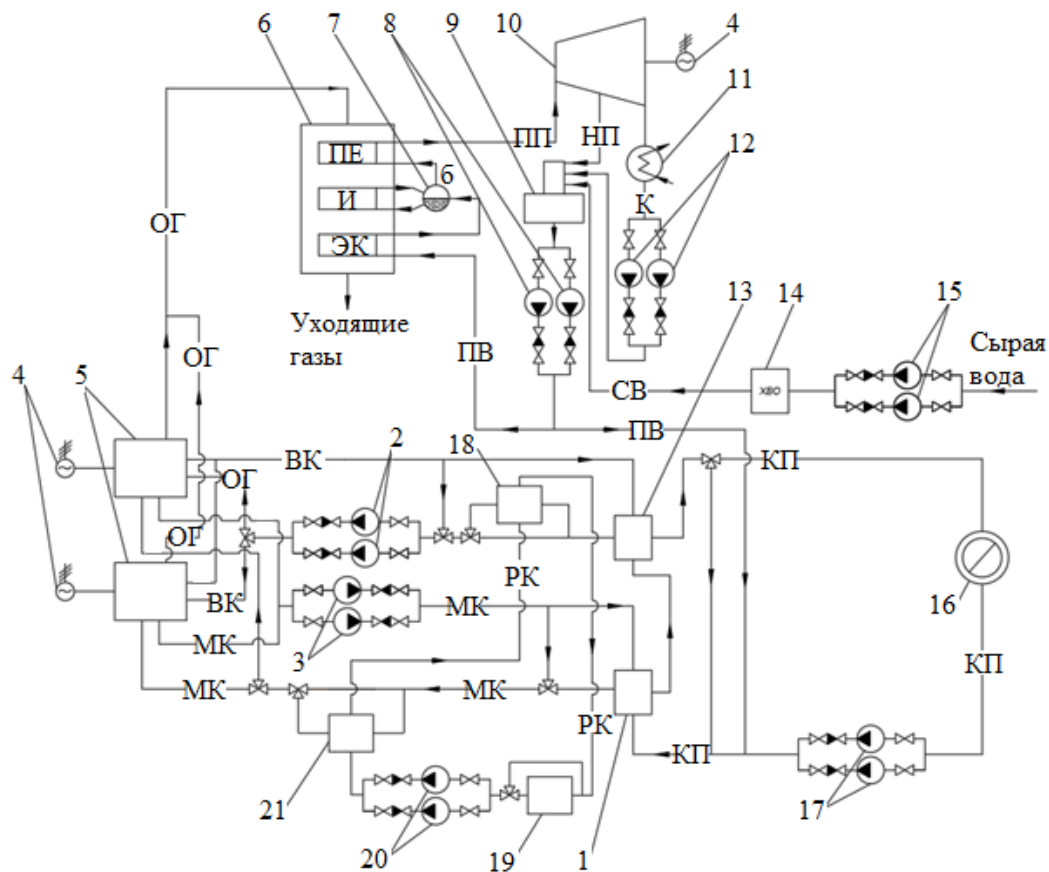
Развитие энергоэффективных технологий с высокими технико-экономическими показателями, с низким уровнем выбросов и с приемлемым уровнем удельных капитальных и эксплуатационных затрат является перспективным направлением развития современной энергетики [1].

Сегодня в местных и распределенных электроэнергетических системах активно применяются двигатели внутреннего сгорания. Часто совершенствование технологических процессов для подобных установок идет по пути создания когенерационных систем [2]. Вместе с тем существует возможность повышения КПД энергоустановки по отпуску электроэнергии на базе двигателя внутреннего сгорания (ДВС) при обеспечении принципа комбинирования, аналогичного парогазовым установкам (рис. 1).

Выхлопные газы газопоршневой установки (ОГ), прежде чем выйти через дымовую трубу, проходят через котел-утилизатор 6, в котором производится перегретый пар (ПП) путем нагрева питательной воды. В процессе расширения ПП в паровой турбине 10 вырабатывается электроэнергия, эта дополнительная электрическая энергия вырабатывается без дополнительного расхода топлива, что существенно повышает электрический КПД электростанции и является главным преимуществом комбинированного цикла.

Далее отработанный пар охлаждается в конденсаторе 11, который является неотъемлемой частью комбинированного цикла. Образовавшийся конденсат с помощью конденсационных насосов 12 поступает в деаэратор 9. Нагрев образовавшейся смеси в деаэраторе осуществляется за счет отбора пара из ступени паровой турбины. Образовавшаяся в деаэраторе 9 питательная вода (ПВ) разделяется на два потока первый из которых направляется на вход экономайзера котла-утилизатора, а второй – в контур потребителя (КП), для восполнения утечек к тепловой сети.

В процессе производства электроэнергии газопоршневыми двигателями образуется отходящее тепло, источниками которого являются, горячий контур, отводящий тепло деталей дизеля и турбокомпрессора и холодный контур – от наддувного воздуха и масла. Жидкости, циркулирующие в горячем и холодном контуре, нагревают обратный теплоноситель КП. Циркуляция в контурах охлаждения осуществляется с помощью насосов 2 и 3.



**Рис. 1. Принципиальная схема комбинированной мини-ТЭЦ:**

- 1, 21 – масляные теплообменные аппараты; 2, 3, 8, 15, 20 – циркуляционные насосы;  
 4 – электрогенератор; 5 – газопоршневой двигатель; 6 – котел-утилизатор; 7 – барабан котла;  
 9 – деаэратор; 10 – паровая турбина; 11 – конденсатор; 12 – конденсатный насос;  
 13, 18 – водяной теплообменный аппарат; 14 – химводоочистка; 16 – потребитель;  
 17 – сетевой насос; 19 – драйкулер; ОГ – отработавшие газы; ВК – водяной контур охлаждения;  
 КП – контур потребителя; К – конденсат; МК – масляный контур охлаждения;  
 РК – резервный контур охлаждения; СВ – сырая вода; ПП – перегретый пар;  
 НП – насыщенный пар; ПВ – питательная вода

Для утилизации избыточного тепла предусмотрен контур резервного охлаждения, включающий в себя два теплообменника 18, 21 и драйкулер 19.

Предложенная технологическая схема комбинированной мини-ТЭС на основе газопоршневой установки и паровой турбины может быть востребована в рамках реализации местных или распределенных систем электроснабжения.

### Библиографический список

1. Повышение эффективности работы тепловой электростанции / О. Н. Попов, П. Н. Никулин, Р. Ю. Чубаров, А. И. Шпаков // Цифровая трансформация в энергетике : материалы Всерос. науч. конф. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2020. – С. 77 – 80.

2. Чубаров, Р. Ю. Перспективы развития когенерации в России / Р. Ю. Чубаров, О. Н. Попов // Энергосбережение и эффективность в технических системах : материалы VII Междунар. науч.-техн. конф. студентов, молодых ученых и специалистов. – Тамбов, 2020. – С. 154–155.

## **ПРИНЦИПЫ УСИЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ**

**А. В. Стариков А. С. Макаров, С. А. Нагих, Д. И. Стрекалов,  
научный руководитель канд. техн. наук, доцент Н. Г. Чернышов**

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия  
(e-mail: andrey2014starikov@yandex.ru)*

Условием для распределения максимальной мощности в нагрузке является согласование относительного сопротивления с выходным сопротивлением источника, в данном случае с выходным сопротивлением UE. Если выходное сопротивление UE велико, то  $R_n$  также должно быть большим сопротивлением. Пусть UE – биполярный транзистор, работающий в активном режиме в схеме с OE (рис. 2). На вход транзистора, т.е. на его эмиттерный переход, включенный в прямом направлении, мы подадим электрический сигнал  $i_{vx}$ . В этом случае небольшие изменения входного напряжения вызовут значительные изменения входного тока. Ток коллектора на выходе получит, благодаря этому, приращение, которое вызовет увеличение напряжения на сопротивлении нагрузки

$$\Delta U_v = \Delta I_k R_n = \Delta I_b h_{21e} R_n$$

Напряжение  $\Delta U_v$  больше, чем напряжение  $\Delta U_v = \Delta I_b R_v$ , поскольку сопротивление и ток  $R_n > R_v$ .

Аналогичным образом можно объяснить принцип усиления с использованием полевого транзистора и электронной лампы. В то же время, в полевых транзисторах и лампах, которые обычно работают без входных токов, управление более эффективно, благодаря тому, что они имеют огромный  $R_{vx}$ , а изменение выходного тока при подаче входного сигнала происходит практически при отсутствии входного тока.

Используя этот пример, мы убедились, что усилительные элементы действительно обладают способностью усиливать электрические сигналы. Однако это еще не полное объяснение. Давайте предположим, что сигнал мощностью

1 Вт подается на вход и усиливается до 20 Вт. Можем ли мы предположить, что потребляемая мощность составляет 1 Вт, а полезная мощность – 20 Вт, а КПД измеряется в тысячах процентов?

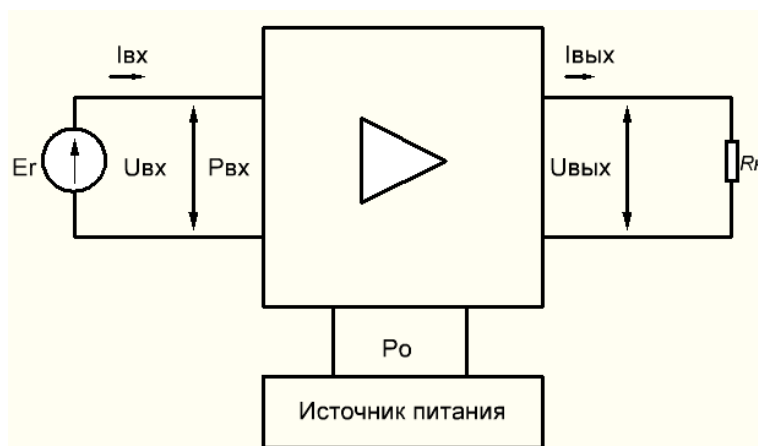


Рис. 1. Структурная схема усилителя

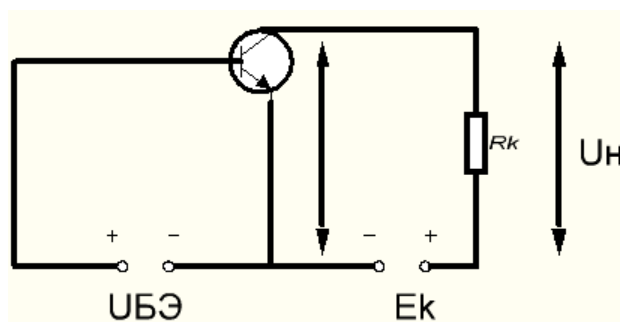


Рис. 2. Схема усилителя на биполярном транзисторе с ОЕ

Это явный абсурд. Дело в том, что низкая мощность электрического сигнала на входе  $R_{vh}$  управляет только изменением тока и мощности на выходе  $R_{vh}$ , а затраченная мощность  $P_0$  создается источником питания постоянного тока, который обязательно включен в эту схему. Для того чтобы получить требуемую полезную мощность на выходе, источник питания должен расходовать больше мощности  $P_0$ , и КПД усилителя наверняка будет меньше 100% [1].

Процесс усиления электрических сигналов по мощности – это процесс преобразования мощности источника постоянного тока в мощность переменного тока, которая изменяется в соответствии с законом изменения напряжения, подаваемого на вход, или тока усиленного электрического сигнала. В то же время, чем меньше мощности требуется для управления изменением тока  $U_E$ , тем больший прирост мощности дает усилитель.

Существуют устройства, которые могут выдавать выходное усиление или по напряжению (например, повышающий трансформатор), или по току (понижающий трансформатор). Но в этих устройствах нет увеличения мощности.

Из-за потерь в трансформаторе мощность на его выходе обязательно меньше, чем на входе.

Характерной особенностью электронных устройств, используемых для усиления, является то, что они всегда обеспечивают усиление входного сигнала по мощности [2].

Простейший анализ процесса усиления позволяет определить ряд требований к усилительным устройствам:

1. Форма усиленного сигнала в цепи нагрузки должна совпадать с формой электрического сигнала, подаваемого на вход. Такое соответствие необходимо в большинстве усилителей. Искажение формы сигнала на выходе усилителя, усиливающего сигналы с микрофона, приведет к появлению искажений звука в громкоговорителе на выходе усилителя, то же самое произойдет, когда усиленные сигналы будут искажены в усилителях междугородной телефонной связи, магнитофонах и т.д.

2. Эффективность должна быть высокой.

Это необходимо для того, чтобы преобразование энергии источника постоянного тока в энергию переменного тока, повторяющее форму переменного сигнала на входе УЕ, происходило при наименьшем допустимом энергопотреблении источника постоянного тока.

### **Библиографический список**

1. Fusco, V. Microwave circuits. Analysis and computer-aided design : trans. from English / V. Fusko. – М. : Radio and Communications, 2014. – 288 p.
2. Design of radio transmitting devices / edited by V. V. Shakhgildyan. – М. : Radio and Communications, 2013. – 512 p.

## **АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ВОДЫ ПОСТУПАЮЩЕЙ В ТЕПЛОВЫЕ ПУНКТЫ**

**М. А. Трушина, А. С. Кутуков, О. Н. Попов, К. П. Яцков**

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия  
(e-mail: trushina.margo@list.ru)*

Тепловой пункт (ТП) является важнейшим элементом систем теплоснабжения, связывающий магистральную тепловую сеть и конечного потребителя. ТП представляет собой совокупность оборудования, устройств, необходимых для качественной подготовки теплоносителя для дальнейшего его использова-



ния потребителем. В качестве теплоносителя в ТП используется вода, от качества которой зависит работоспособность системы теплоснабжения.

Вода с высоким содержанием растворенных в ней солей оказывает негативное влияние на все приборы, контактирующие с ней. В ТП такая вода оставляет осадок на пластинах теплообменника, что приводит к увеличению расхода воды в греющем контуре, выходу из строя насосов, запорной арматуры и компонентов автоматики. Поэтому совершенствование систем подготовки воды в тепловых пунктах является одной из актуальных задач.

В настоящее время существует тенденция на установку индивидуальных тепловых пунктов (ИТП) в жилых домах. Так как присоединение ГВС в них осуществляется по закрытой схеме, встает вопрос о пригодности водопроводной воды для использования на нужды горячего водоснабжения.

В ходе выполнения работы исследовались пробы исходной водопроводной воды, воды после теплообменного аппарата с трех тепловых пунктов, расположенных в разных частях г. Тамбова. В качестве исследуемого параметра воды была выбрана общая жесткость, определение которой осуществлялось титриметрическим методом трилоном Б [1] и прибором *TDS-3*.

Результаты исследования представлены на рис. 1 и в табл. 1 и 2.

Из таблиц видно, что все исследуемые пробы исходной воды имеют общую жесткость, превышающую  $7 \text{ мг-экв/дм}^3$ , часть солей жесткости оседает на внутренних поверхностях водяного тракта теплообменных аппаратов, арматуре, что приводит к увеличению расходов на эксплуатацию данных устройств и снижает срок их службы.

Качество воды должна соответствовать требованиям СанПиН, поэтому не каждую систему подготовки воды можно устанавливать в ТП жилых домов. Для удаления солей жесткости предлагается устанавливать в существующие и проектируемые схемы ТП гидромагнитные системы очистки воды.



**Рис. 1. Изменение окраски исследуемого раствора:**

*а* – пробы воды после добавления индикатора эриохром черный Т;

*б* – пробы воды после титрования трилоном Б

## 1. Результаты определения жесткости методом титрования Трилоном Б

Объект исследования	Жесткость, мг-экв/дм <sup>3</sup>	
	Исходной воды	Воды после ТА
Объект 1	8,9	8,8
Объект 2	7,3	7,2
Объект 3	7,5	6,9

## 2. Результаты определения жесткости TDS-метром

Объект исследования	Жесткость, ppm		Жесткость, мг/дм <sup>3</sup>	
	Исходной воды	Воды после ТА	Исходной воды	Воды после ТА
Объект 1	450	441	8,91	8,81
Объект 2	371	369	7,41	7,37
Объект 3	380	334	7,59	6,67

Магнитная обработка воды является перспективным направлением в водоподготовке, поскольку позволяет сделать процесс умягчения воды простым, надежным, недорогим и экономичным, а также обеспечить практически неограниченный срок службы оборудования и приборов.

### Библиографический список

1. РД 52.24.395–2017. Жесткость воды. Методика измерений титриметрическим методом с трилоном Б. – Введ. 2018-10-01. – Ростов н/Д. : ФГБУ ГХИ, 2018. – 37 с.

## ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК ТЕПЛОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

**О. А. Хвостовец,**

**научный руководитель д-р техн. наук, профессор, доцент Е. И. Грачева**

*Казанский государственный энергетический университет,*

*Казань, Республика Татарстан, Россия*

*(e-mail: epp.kgeu@mail.ru)*

Цифровой двойник – это зеркало или двойник физической системы. Цифровой двойник может быть отделен как трехмерная 3D-модель, математическая модель и модель правил, где 3D-модель выглядит точно так же, как

физическая система с помощью технологий 3D-моделирования, математическая модель связана с механизмами, кинетикой и данными физической системы, а модель правил определяет взаимодействия пользователей и управление движением цифрового двойника и соответствующего физической система [1].

Исследования тепловых электростанций охватывают несколько инженерных областей, таких как разработка систем управления, материаловедение, энергетика и энергомашиностроение [2]. Требования к различным областям техники различны, например, для систем управления, как правило, требуется точное, экономичное и надежное управление; в то время как для энергетики и энергомашиностроения целью является достижение высокой эффективности и экономичности.

Поскольку физическая тепловая электростанция работает при высокой температуре и высоком давлении, неправильные операции могут привести к повреждению дорогостоящего оборудования или оператора. Более того, методы управления на реальной тепловой электростанции не могут быть легко изменены, поскольку тепловые электростанции, как правило, используют традиционные методы управления для обеспечения безопасности и экономии без аварий и инцидентов. Таким образом, тепловая электростанция является идеальным кандидатом для исследования цифрового двойника, который может предоставить больше деталей, которые не могут быть достигнуты физической системой с ограниченными датчиками, предоставляющими ограниченную информацию, а также решить вопросы безопасности. Например, цифровые двойники могут моделировать поведение и использование в режиме реального времени [3]. Аустенитическая сталь, используемая в пароперегревателях и повторных нагревателях, должна быть износостойкой и устойчивой к окислению при высокой температуре в течение длительного срока службы.

Функциональные возможности цифровой двойной теплоэлектростанции можно свести к мониторингу в режиме реального времени, визуализации, взаимодействиям, разработке алгоритмов и т.д. Что касается предоставляемых услуг, моделируемая тепловая электростанция может применяться в различных сценариях, таких как физические электростанции и университеты для обучения, а также диагностики и прогнозирования потенциальных неисправностей [4].

### **Библиографический список**

1. Y. Sun, L. Wang, C. Xu, J. V. herle, F. Marechal, and Y. Yang, "Enhancing the operational flexibility of thermal power plants by coupling high-temperature power-to-gas," Appl. Energy, vol. 263, Apr. 2020, Art. No. 114608.

2. X. Kong, X. Liu, and K. Y. Lee, “An effective nonlinear multivariable NMPC for USC power plant incorporating NFN-based modeling,” IEEE Trans. Ind. Informat., vol. 12, no. 2, pp. 555–566, Apr. 2016.

3. F. Tao, H. Zhang, A. Liu, and A. Y. Nee, “Digital twin in industry: State-of-the-art,” IEEE Trans. Ind. Informat., vol. 15, no. 4, pp. 2405 – 2415, Apr. 2019.

4. Анализ влияния несимметрии на потери в сети 0,4 кВ / К. А. Смагин, Р. А. Галстян, М. А. Антонов, А. В. Арнаутов // Молодой исследователь Дона. – 2019. – № 4. – 8 с.

## **РАСЧЕТ СРОКОВ СЛУЖБЫ ИЗОЛЯЦИИ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 10 кВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

**И. И. Цицонь**

*Казанский государственный энергетический университет,  
Казань, Республика Татарстан, Россия*

При проведении исследования установлено, что распределение тепла от токопроводящей жилы к оболочке происходит быстрее при прокладке кабеля на воздухе, так как в данном случае не нарушен теплообмен с окружающей средой. Исходя из этого расчет скорости старения и срока службы изоляции будем проводить для кабелей АВВГ-3х-70 10кВ с  $k_{31} = 0,82$  и  $k_{32} = 0,88$  при прокладке в земле в трубе.

**Вывод.** Получены оптимальные значения коэффициентов загрузки для кабелей напряжением 10кВ при прокладке в земле в трубе для различных типов изоляции. Практическая значимость полученных результатов заключается в повышении надежности при проектировании кабельных линий.

### **Библиографический список**

1. Грачева, Е. И. Исследование и оценка потерь электроэнергии в системах внутрицехового электроснабжения / Е. И. Грачева, А. Н. Горлов, А. Н. Алимова // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2019. – Т. 11, № 4(44). – С. 22 – 29.

2. Грачева, Е. И. Возможные погрешности расчетов потерь электроэнергии в цеховых промышленных сетях // Е. И. Грачева, А. Н. Алимова // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2018. – Т. 20, № 11-12. – С. 81 – 92.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ В МАГИСТРАЛЬНОМ НЕФТЕПРОВОДЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ ИХ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

**Д. И. Шишлин, Н. П. Улитин, М. В. Ильин**

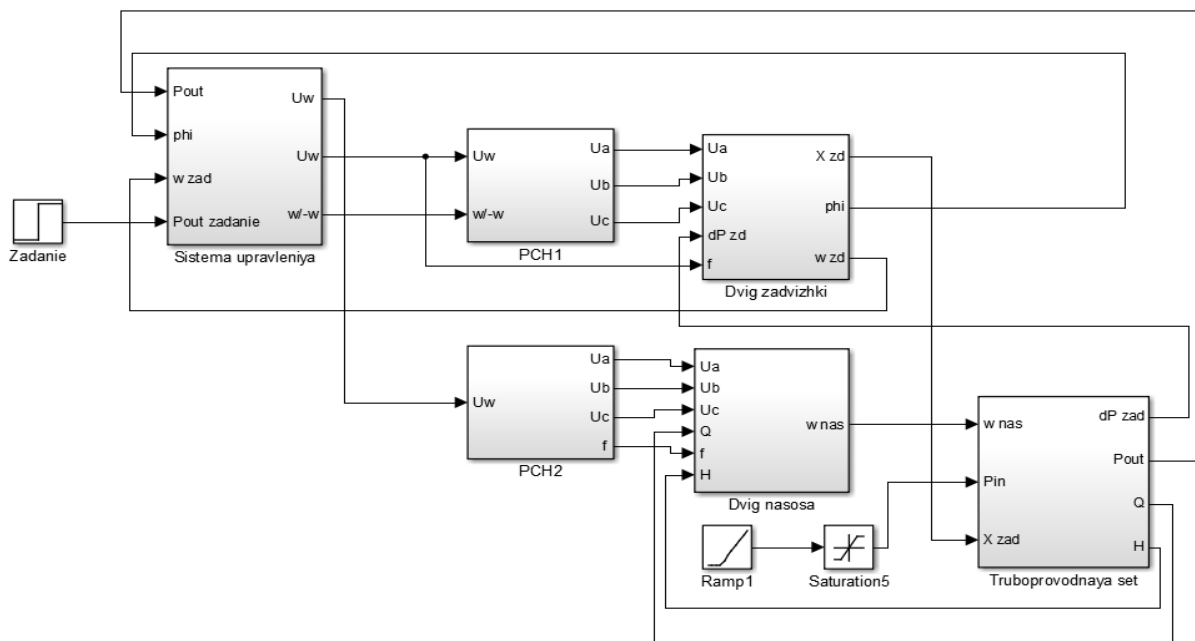
*Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия*

В настоящее время крупные предприятия России, имеющие отношение к топливноэнергетическому комплексу, внедряют методические рекомендации по совершенствованию методов сбережения энергоресурсов. Ведущим направлением считается внедрение и развитие частотно-регулируемых электроприводов [1] на базе асинхронных и синхронных двигателей. Высокие показатели снижения электропотребления при их использовании достигаются в механизмах с вентиляторной нагрузкой, приводимых во вращение высоковольтными электродвигателями большой мощности. Характерным примером таких механизмов являются центробежные магистральные насосы на нефтеперегонных станциях (НПС), чья механическая характеристика описывается уравнением квадратичной параболы, а затрачиваемая мощность пропорциональна кубу скорости вращения. Данные механизмы при незначительном уменьшении скорости вращения могут принести ощутимое уменьшение затрачиваемой мощности. В ходе транспортировки нефти и нефтепродуктов по системе магистральных трубопроводов актуальной проблемой является увеличение энергоэффективности за счет реализации мероприятий по оптимизации энергетических ресурсов. Регулирование давления в магистральных трубопроводах при транспортировке нефти и нефтепродуктов является одним из приоритетных направлений. В тоже время используемые системы автоматизированного управления и контроля режимами работы магистральных трубопроводов (системы автоматизированного регулирования давления) не в полной мере принимают во внимание варьирование различных факторов, возникающих при эксплуатации.

Для исследования эффективности процессов регулирования давления на НПС разработана модель многоконтурного регулирования давления в магистральном нефтепродуктопроводе в программном комплексе Matlab со встроенными библиотеками SimHydraulics и SimPowerSystems (рис. 1).

Модель многоконтурного регулирования давления в магистральном нефтепроводе состоит из шести, соединенных между собой, подсистем: электродвигатель центробежного насоса, электродвигатель регулирующего клапана

преобразователя частоты электродвигателя (закон регулирования напряжения и частоты  $U/f = \text{const}$ ), регулирующего клапана, преобразователя частоты электродвигателя центробежного насоса (закон регулирования напряжения и частоты  $U/f^2 = \text{const}$ ), системы управления электроприводами, трубопроводной сети.



**Рис. 1. Модель многоконтурного регулирования давления в магистральном нефтепродуктопроводе**

Для оценки эффективности способа многоконтурного регулирования давления в магистральном нефтепроводе были проведены следующие эксперименты: моделирование регулирования давления только клапанами; моделирование регулирования давления только насосом; моделирование регулирования давления клапанами и насосом одновременно.

Для достоверности полученных данных время моделирования, начальные условия, время и величина возмущений для всех трех опытов принимаются одинаковыми. По результатам моделирования оценивались параметры качества регулирования и энергоэффективность каждого из способов.

Результаты моделирования показывают, что метод регулирования скорости вращения ротора насоса является самым энергоэффективным, но обладает наименьшим быстродействием. Метод многоконтурного регулирования является самым быстродействующим и имеет приемлемые показатели энергоэффективности [2].

Итоги проведенного исследования можно применять при проектировании или реконструкции НПС для достижения наиболее точных показателей регулирования, уменьшения износа оборудования и увеличения энергоэффективности.

## Библиографический список

1. Браславский, И. Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод / И. Я. Браславский, З. Ш. Ишматов, В. Н. Поляков. – М. : Академия, 2004. – 256 с.
2. Шишлин, Д. И. Оценка энергоэффективности способов регулирования давления в магистральном нефтепроводе на нефтепергонной станции / Д. И. Шишлин, Н. П. Улитин, М. В. Ильин // Булатовские чтения : VII Междунар. науч.-практ. конф. – Краснодар, 2023. – Т. 2. – С. 165 – 168.

## ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ МНОГОКВАРТИРНОГО ДОМА

**Р. А. Щеголихин, С. Д. Лысых, И. С. Простомолотов, С. Р. Ястребов**

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия  
(e-mail: schegolihin.roma@yandex.ru)*

С 2023 года вступили в силу новые правила расчета платы за общедомовые нужды (ОДН). Если до этого момента жильцы оплачивали необходимые общедомовые ресурсы согласно установленным нормативам, то теперь управляющая компания (УК) будет сравнивать показания общедомовых приборов учета с показаниями квартирных счетчиков собственников жилья и разницу распределять на все квартиры [1].

Данное нововведение, прежде всего, учитывает интересы УК, которым теперь не придется оплачивать израсходованные сверх нормативов ресурсы за свой счет. Однако эти правила приведут к увеличению итоговой суммы в квитанции ЖКХ для большинства населения.

Для решения возникшей проблемы предлагается уменьшить потребление электроэнергии на ОДН из общей сети за счет установки микротурбин на горизонтальных участках трубопроводов системы водоотведения, расположенных в подвале. Данные устройства позволят преобразовать энергию потока стоков в электрическую энергию.

Предлагаемая установка должна удовлетворять следующим требованиям:

- учитывать характер загрязнения стоков;
- работать в генераторном режиме;
- удовлетворять требованиям по малому напору стоков для выхода на номинальный КПД;



– обладать достаточной емкостью батареи для обеспечения неравномерной нагрузки потребителей, начиная от обычных ламп накаливания и заканчивая электродвигателем лифта.

Функциональная схема установки приведена на рис. 1. Турбина преобразует энергию водного потока в механическую энергию вращения вала, которая в генераторе преобразуется в электрическую. Контроллер заряда предназначен для отслеживания состояния заряда аккумулятора. Если батареи оказываются полностью заряжены, то контроллер отключает их от генератора. Аккумуляторные батареи служат для накопления электрической энергии от турбин и при необходимости выдаче ее потребителю. Инвертор преобразует постоянный ток в переменный для последующего питания потребителя электроэнергии.

На примере типовой панельной многоэтажки проведена оценка потенциала применения технологии: выполнен расчет величины потребления электроэнергии на содержание общедомового имущества МКД и произведено сравнение с мощностью потока ливневых и хозяйственно-бытовых стоков.

В результате расчетов установлено, что на содержание общедомового имущества МКД в течение года необходимо 1382,1 МВт, а потенциальная мощность водяного потока системы водоотведения составит 1171 МВт. Из полученных данных видно, что полностью покрыть потребность в электроэнергии нельзя, однако, в потоке содержится значительное количество энергии, которой хватит для частичного покрытия потребности для функционирования большинства систем в жилом доме.

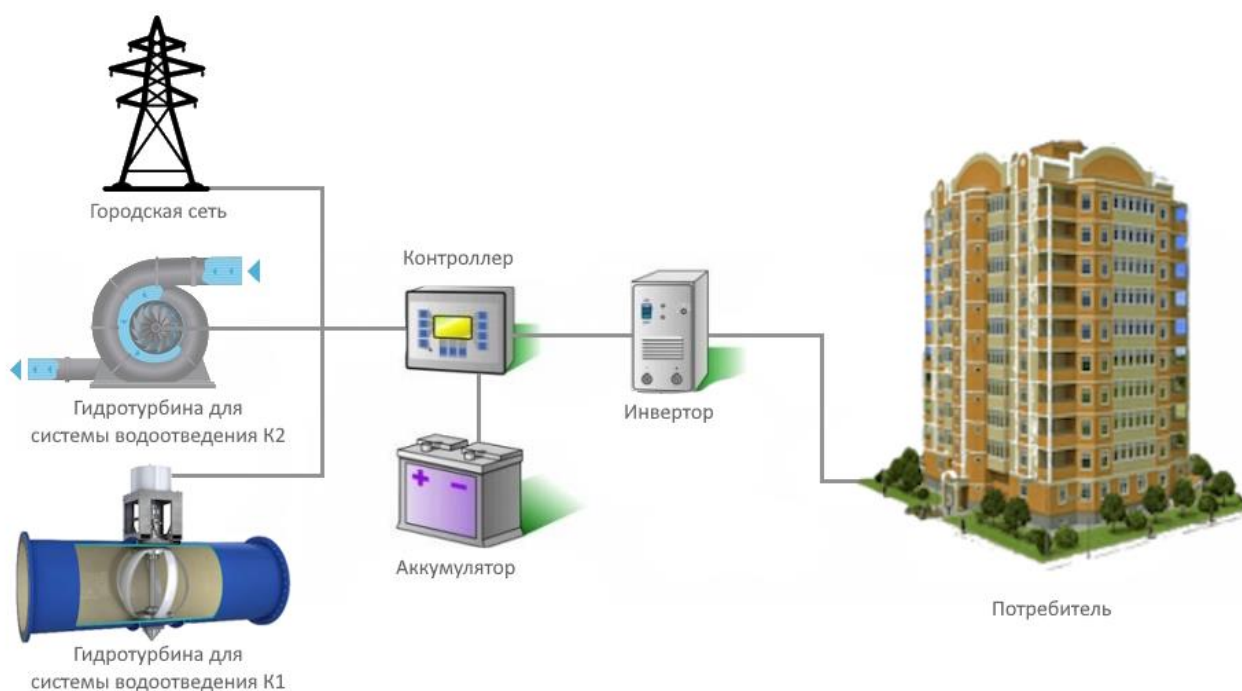


Рис. 1. Схема включения микротурбин в электросеть



## Библиографический список

1. О внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 23 мая 2006 г. № 306 и признании утратившими силу отдельных положений некоторых актов Правительства Российской Федерации : постановление Правительства Российской Федерации от 13.09.2022 № 1598 // КонсультантПлюс : справочная правовая система. – М., 1997.

## ТЕХНОЛОГИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ КАК ОСНОВА ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ

**Р. А. Юшков**

*Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия  
(e-mail: yushkov\_ra@mail.ru)*

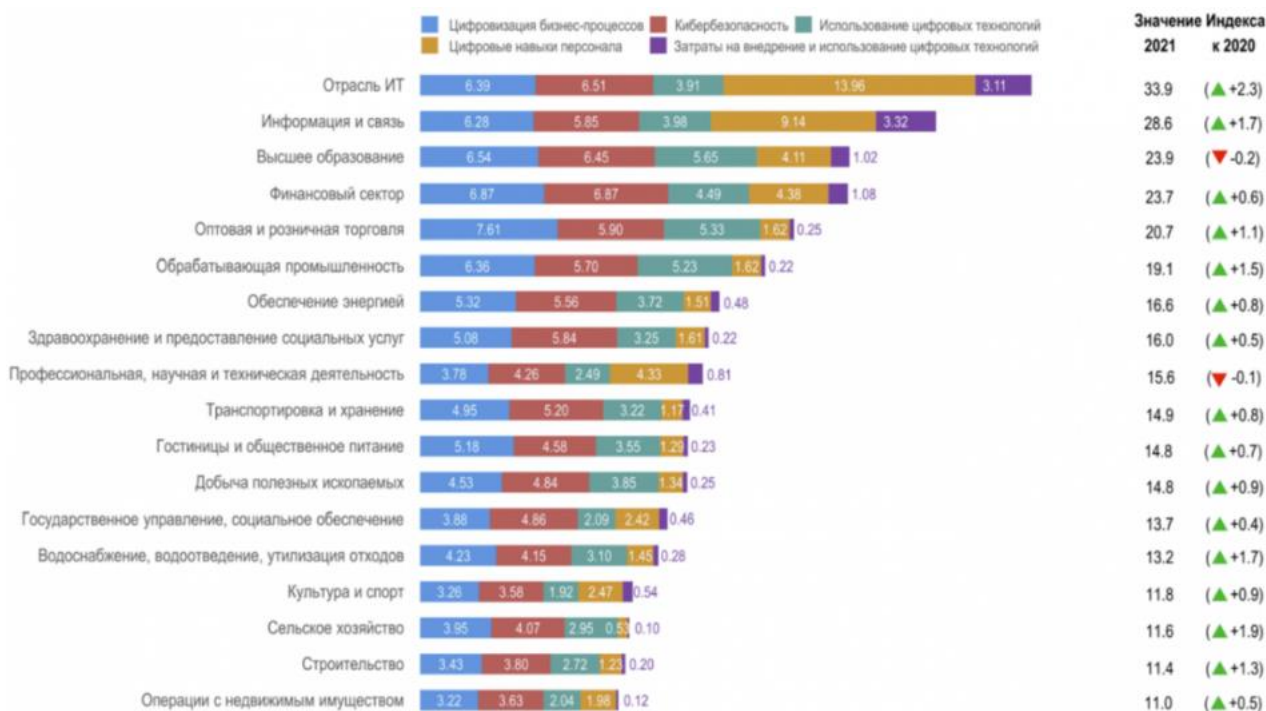
Стремительное развитие и модернизация промышленных предприятий, а также комплексное развитие территорий требует своевременных и точных управленческих решений, направленных на развитие энергетической инфраструктуры страны, сокращение издержек на эксплуатацию и цифровизацию производственных процессов. Гибкость в управлении процессами и проектами за счет сквозного движения данных на всех этапах жизненного цикла обеспечивает технология информационного моделирования (далее BIM). Именно внедрение BIM и использование цифровых информационных моделей по всему жизненному циклу здания или сооружения для выполнения различных видов работ по созданию объектов энергетической инфраструктуры и при их эксплуатации определены сегодня основным стратегическим трендом инновационного развития отрасли до 2030 года [1]. Кроме того, такой подход работы с информацией обеспечивает возможность накопления и обработки данных инструментами в сфере ИИ.

Для определения влияния BIM на оптимизацию процессов и сокращение издержек на строительство и эксплуатацию объектов теплоэнергетического комплекса необходимо определить организационно-технические мероприятия по ключевым вехам процесса и бизнес-ценность технологии на каждом из них.

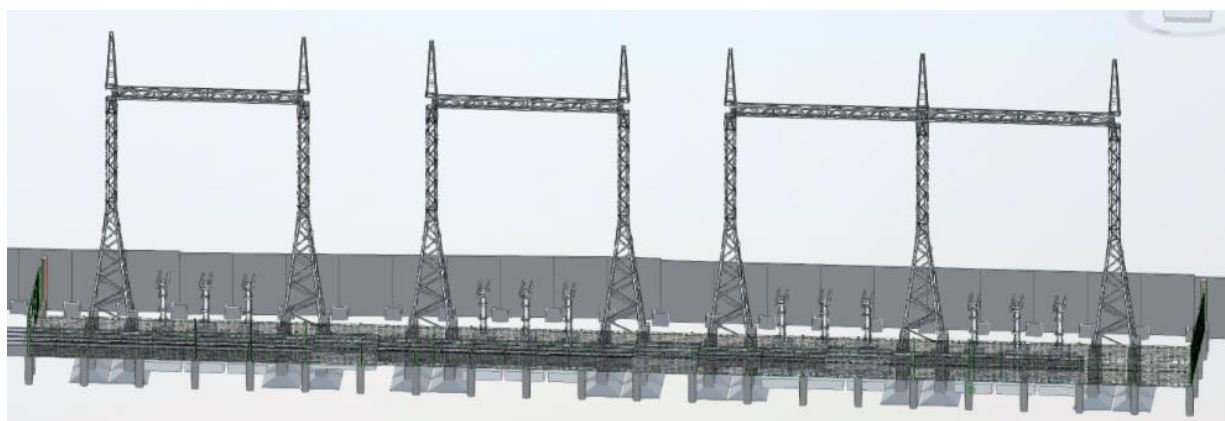
Для решения поставленных задач требуется формирование цифрового двойника и реализация следующих мероприятий:

1. Организация единой цифровой среды, в том числе ТОиР.
2. Отечественные решения для этапов жизненного цикла объектов капитального строительства с применением BIM.

3. Доступность решений и полностью цифровое взаимодействие всех участников отрасли.
4. Типовые информационные решения.
5. Формирование клиентоцентричных сервисов.
6. Системная и оперативная актуализация НПА.
7. Разработка проектной документации в соответствии с принципами технологии BIM. Информационная модель представлена на рис. 2.



**Рис. 1. Концептуальная схема единого информационного пространства участников ИСП (автор: С. И. Бачурина, советник президента НОПРИЗ) [2]**



**Рис. 2. Фрагмент BIM модели ПС 220 КВа**

Для определения дальнейших шагов по использованию технологии BIM необходимо детально исследовать текущие решения, используемые на каждом из этапов жизненного цикла, их уровень зрелости и возможность интеграции

с единой цифровой средой. Реализация комплекса мероприятий позволит сократить сроки строительства на 30%, снизить издержки на 12%, повысить финансовую эффективность.

### Библиографический список

1. Исследование Института статистических исследований и экономики знаний (ИСИЭЗ) НИУ ВШЭ «Индекс цифровизации отраслей экономики и социальной сферы» [Электронный ресурс]. – 2022. – URL: <https://issek.hse.ru/mirror/pubs/share/785333175.pdf>

2. Бачурина, С. С. Информационное моделирование: методология использования цифровых моделей в процессе перехода к цифровому проектированию и строительству. Ч. 1: Цифровой проектный менеджмент полного цикла в градостроительстве. Теория / С. С. Бачурина. – М. : ДМК Пресс Год: 2021. – 112 с.

## ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ 3D-ПРИНТЕРА СО СНИЖЕННЫМИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ЗАТРАТАМИ

**А. Н. Шитов, Е. А. Белан**

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия  
(e-mail: sashashitov70@gmail.com)*

Постоянно растущий расход природных ресурсов требует новых подходов к снижению затрат **электроэнергии, что является** одним из актуальных социально-экономических вопросов на современной стадии развития научно-технического прогресса. В частности, значительное снижение потребления **электроэнергии** могут обеспечить новые образцы бытовой техники. В настоящее время многие бытовые приборы суммарно по стране потребляют слишком большое количество электроэнергии. Один из новых образцов, которому предстоит в ближайшем будущем широкое применение в быту – 3D принтер. Одна из причин пока сдерживающая его повсеместное использование – достаточно высокая цена. Но вполне может **быть разработана бюджетная модель, доступная любому домашнему мастеру.**

**Цель представленной работы** – разработка конструкции работоспособного 3D-принтера, выполняющего заданные функции с достаточно высоким качеством выходного продукта.

В описываемой конструкции используются шаговые двигатели Nema17. А для усовершенствования работы принтера был использован вид 3D-принтеров H-Bot (рис. 1), так как крепление моторов осуществляется к корпусу, что существенно облегчает нагрузку на подвижные части. При разработке был применен экструдер типа Direct (рис. 2), хотя он и имеет массу больше в сравнении с большинством других типов экструдеров, у него нет проблемы при печати эластичными пластиками, и он имеет значительно лучший ретракт. Диаметр сопла экструдера 0,4 мм, потому что такое сопло дает хороший баланс между детализацией и производительностью.

В качестве экрана управления использовано стандартное решение – LCD дисплей. Он отличается дешевизной и практически ничем не уступает сенсорному дисплею.

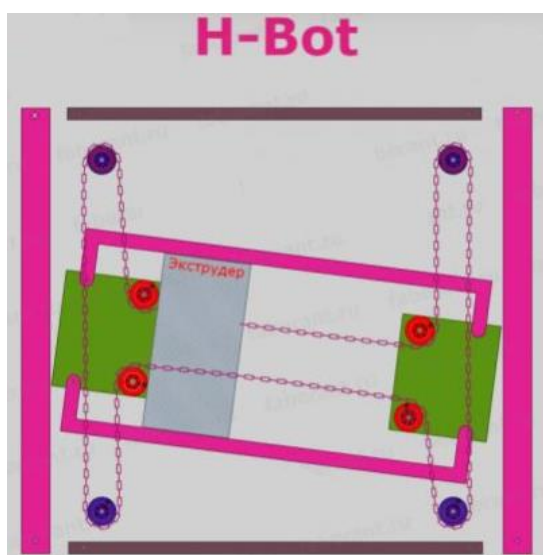


Рис. 1. Кинематика вида H-Bot

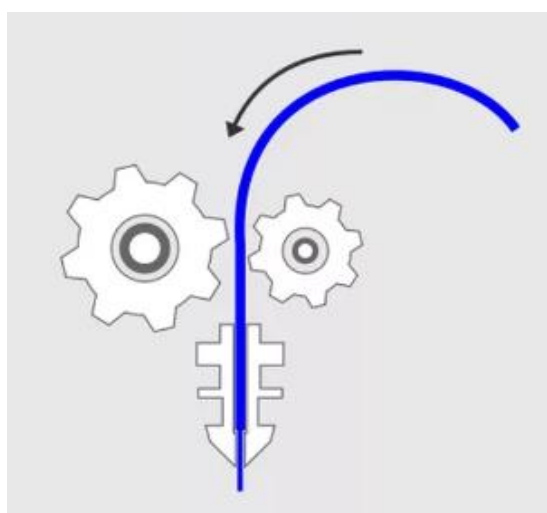


Рис. 2. Экструдер типа Direct

В качестве платы управления использована Arduino Leonardo, потому что она работает на 32 разрядном процессоре. Драйверы применены ТМС2208, так как они обеспечивают тихую работу. Также реализовано «умное» управление кулерами охлаждения электроники, для того чтобы принтер издавал минимальное количество шума находясь в нерабочем состоянии он.

В проекте использованы стандартные размеры стола 120x120мм, потому что этого достаточно для печати обычных, небольших деталей, и к тому же принтер получается довольно компактный и экономичный. Стол выполнен из стекла, так как такой стол обладает хорошей прочностью и дешевизной.

Подключение нагревательного стола реализовано от сети напряжением 220В, для того чтобы не усложнять конструкцию.

Корпус принтера выполнен из фанеры, гетинакса и текстолита, так как эти материалы отличаются дешевизной и прочностью.

Заключение. Предполагаем, что предложенная конструкция с 3D-печатью будет привлекательна для потребителей из-за своей простоты, дешевизны и малого потребления электроэнергии.

### **Библиографический список**

1. Pudovkin, A. P., Panasyuk, Yu. N., Danilov, S. N., Moskvitin, S. P. Synthesis of Algorithm for Range Measurement Equipment to Track Maneuvering Aircraft Using Data on Its Dynamic and Kinematic Parameters // Journal of Physics: Conference Series, Volume 1015, Issue 3, article id. 032111 (2018).

2. Pudovkin, A. P., Panasyuk, Yu. N., Danilov, S. N., Moskvitin, S. P. Synthesis of channel tracking for random process parameters under discontinuous variation. – Journal of Physics: Conference Series, Volume 1015, Issue 3, article id. 032112 (2018).

3. Чернышова, Т. И. Информационная технология оценки метрологической надежности информационно-измерительных систем с учетом влияния внешних факторов / Т. И. Чернышова, М. А. Каменская // материалы VI Междунар. науч.-техн. конф. студентов, молодых ученых и специалистов. – 2019. – С. 172–173.

# ТРАНСФОРМАЦИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРАВОВЫХ ОТНОШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ САНКЦИЙ

**О. А. Пугина, К. С. Колодин**

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия*

*(e-mail: pugina.olga@mail.ru)*

Новая система международных отношений, в основе которых лежат отношения между Россией и США, включает и энергетические правовые отношения. В условиях санкций происходит трансформация приоритетных направлений энергетического взаимодействия от Европы к Азии. Открывается «Окно в Азию» и прикрывается петровское «Окно в Европу». По выражению нашего Президента, когда дует, можно и прикрыть, чтобы не простудиться. И добавил, что имеет квалификацию токаря четвертого разряда и умеет окна строить. Так как запад для нас оказался закрыт, упор мы будем делать на оставшиеся три части света. «Действия некоторых стран и их желание закрыться от России – не Россию закрыть, а именно закрыться от России, даже в ущерб себе – показали, насколько важно в современном мире диверсифицировать потоки». [1]

ЕАЭС – АСЕАН. Россия является крупнейшим среди стран ЕАЭС торгово-экономическим партнером АСЕАН. В то же время потенциал взаимной торговли между ЕАЭС и АСЕАН в целом далек от полной реализации. Одной из причин этого является отсутствие прямого выхода к морю у остальных членов ЕАЭС, в то время как во внешней торговле АСЕАН преобладают морские перевозки. Вместе с тем государства АСЕАН часто сталкиваются с серьезными трудностями из-за отсутствия современных железных дорог как необходимого дополнения к портовой инфраструктуре. В сложившихся условиях для России открываются новые возможности, как на международном рынке транспортных услуг, так и в сфере реализации инфраструктурных проектов.

БРИКС. Роль стран БРИКС в мировой энергетике чрезвычайно важна. Их совместные действия способны повлиять на мировые рыночные механизмы регулирования ТЭК, но есть важные различия между членами группы в положении и интересах. Только Россия – крупный экспортер, заинтересованный в больших устойчивых поставках энергоносителей. Бразилия близка к экспорту нефти (потребуется еще 3 – 5 лет). Китай, Индия и ЮАР зависят от добычи угля, но первые две страны уголь импортируют, а ЮАР экспортирует. Поэтому интересы пяти стран гармонизировать непросто, хотя они сходятся в стабильности поставок и цен. Нефтегазохимическая отрасль как направление создания

более высокой добавленной стоимости обсуждается очень давно, но столь же и запаздывает. В России увеличивается добыча попутного «жирного» газа, который логично не сжигать, а перерабатывать. Но российские проекты в этой сфере нуждаются в финансировании и рынках. Масштабы российской добычи слишком велики для ориентации только на внутренний рынок. В то же время многие регионы мира уже насыщены нефтехимией. Перспективы развития есть только при эффективных технологиях и низких издержках.

СНГ.13 октября 2023 г. в Бишкеке прошло заседание Совета глав государств – участников СНГ. В столицу Кыргызстана для участия в саммите прибыли лидеры семи стран – Азербайджана, Беларуси, Казахстана, России, Таджикистана, Туркменистана и Узбекистана. Президент Туркменистана выразил уверенность в актуальности для государств Содружества инициированных туркменской стороной проектов по диверсификации энергетических, транспортно-коммуникационных составляющих в контексте развития масштабных инфраструктурных коридоров «Север-Юг» и «Восток-Запад». Большое значение уделяется увеличению логистических возможностей с транспортными сообщениями Каспийско-Черноморского и Азиатско-Тихоокеанского регионов, а также со странами Залива и Ближнего Востока.

Правительством РФ был разработан пакет антисанкционных мер, в число которых, в первую очередь, вошел порядок расчета цен на энергоресурсы. В частности, это правило коснулось тех, кто попал в список так называемых «недружественных» стран. Однако отдельное внимание стоит обратить на то, что аспект международного правового регулирования вопроса сотрудничества в энергетической сфере имеет признаки отсутствия категоричных и общепринятых принципов, прежде всего, отражающих аспект национальной безопасности как стран-транзитеров, так и стран-поставщиков энергоресурсов [2].

### **Библиографический список**

1. Путин В.В. XX заседание международного дискуссионного клуба «Валдай». – Сочи. 5 октября 2023 г. [Электронный ресурс]. – URL : [vk.com/wall-75679763\\_6309076](https://vk.com/wall-75679763_6309076); [www.kp.ru](http://www.kp.ru): <https://www.kp.ru/daily/27396/4591862/> (дата обращения 26 ноября 2023 г.)
2. Радостева, Д. Д. Международно-правовое регулирование энергетического сектора в условиях санкций / Д. Д. Радостева // Молодой ученый. – 2023. – № 20(467). – С. 596 – 599. – URL: <https://moluch.ru/archive/467/103006/> (дата обращения: 14.11.2023).



## МОДЕЛИРОВАНИЕ МИКРОКЛИМАТА ОТАПЛИВАЕМОГО ПОМЕЩЕНИЯ

А. С. Назаров, Д. А. Минаев, А. О. Смирнов

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия*

*(e-mail: nazarovtema@list.ru)*

Обеспечение требуемых параметров микроклимата в помещении является важной задачей. От качества решения поставленной задачи зависит самочувствие человека и качество выпускаемой продукции.

На распределение параметров микроклимата в помещении влияет множество факторов: температура наружного воздуха, сопротивление теплопередачи помещения; геометрические размеры помещения; мощность отопительных приборов; система отопления.

Проведем анализ параметров микроклимата путем имитационного моделирования среды внутри помещения. В качестве объекта моделирования была выбрана жилая комната площадью  $15,0 \text{ м}^2$  ( $5,0 \times 3,0 \text{ м}$ ) с высотой потолков  $2,5 \text{ м}$ . Наружные стены выполнены из легкобетонных блоков с пенистой структурой толщиной  $0,4 \text{ м}$ . В конструкции наружной стены установлен оконный проем шириной –  $2,0 \text{ м}$ ; высотой –  $1,4 \text{ м}$ ; площадью  $2,8 \text{ м}^2$  из стеклопакета толщиной  $0,1 \text{ м}$ .

В качестве инструмента исследования применим систему конечно-элементного анализа (МКЭ) *Ansys*, включающего в себя прикладной пакет *Fluent*, предназначенный для решения задач механики жидкостей и газов [1].

На рисунке 1 приведена геометрическая модель помещения, построенная непосредственно в *Ansys* с применением подпрограммы *DesignModeller*. Здесь строятся все необходимые элементы модели: теплозащитные ограждения помещения, нагревательные приборы и т.д. Стоит заметить, что при решении такого типа задач толщина теплозащитных ограждений и их теплофизические свойства задаются непосредственно в решателе *Fluent*, что значительно облегчает процесс построения геометрической модели.

Для решения задачи методом конечных элементов проводится дискретизация расчетной области геометрической модели с помощью подпрограммы *Ansys Meshing*.

При определении теплофизических свойств материалов ограждений и воздушной среды использовались стандартные библиотеки *Ansys*.



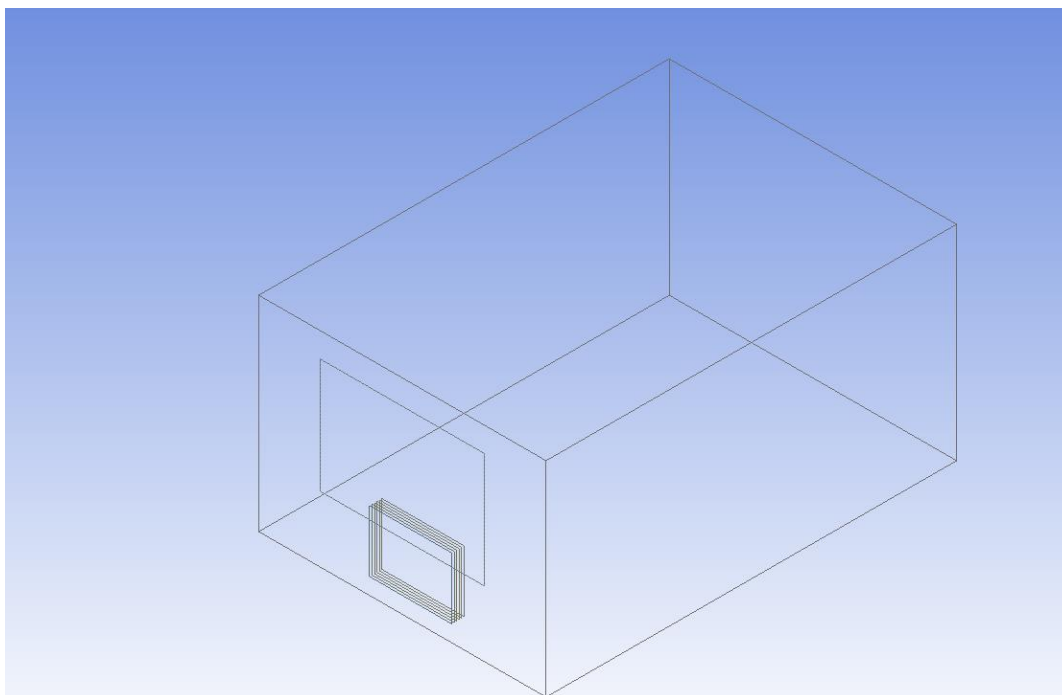


Рис. 1. Геометрическая модель помещения

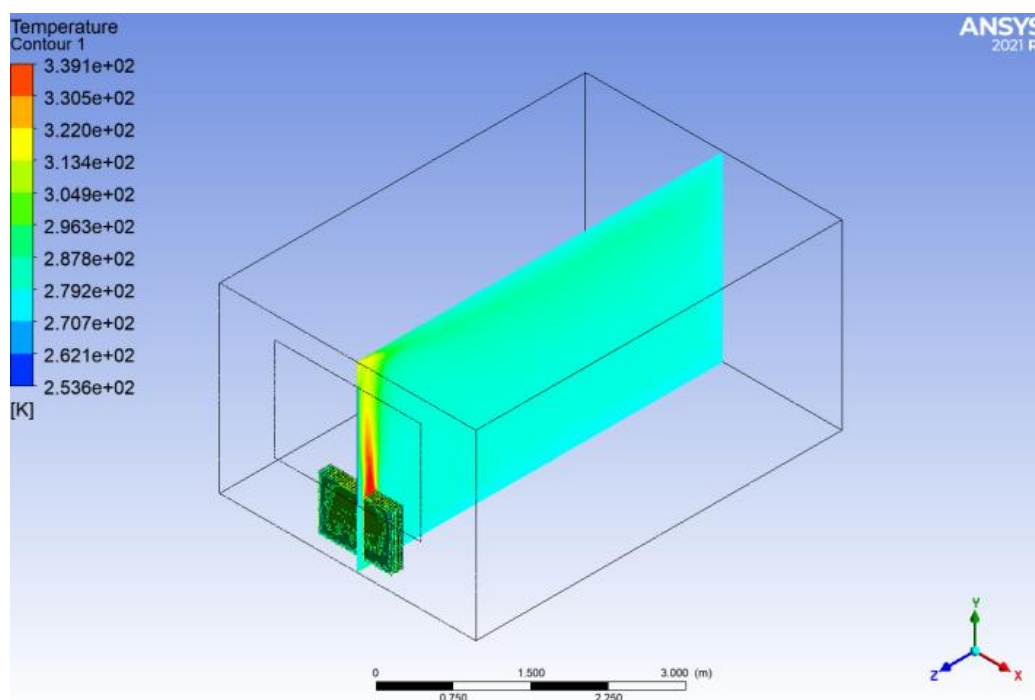


Рис. 2. Температурный контур помещения

Для твердых тел – потолка, пола и боковых стен выбран материал «бетон» с коэффициентом теплопроводности  $0,173 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ ; оконного проема задан материал «стекло» с приведенным коэффициентом теплопроводности  $1 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$  и толщиной  $0,1 \text{ м}$ , что соответствует коэффициенту термического сопротивления окна  $R_0 = 0,42 \text{ Вт /м}^2\cdot\text{К}$ . Для нагревательных элементов задан материал «алюминий» с коэффициентом теплопроводности  $202 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ , толщина стенки  $0,003 \text{ м}$ . Для газообразных/жидких тел – «воздух».

Суммируя основные тепловые потери получим, что для получения необходимой по условию температуры внутри помещения 20 °С необходимо компенсировать 1200 Вт теплоты путем передачи ее конвекционным способом с учетом радиационного обмена между ограничивающими помещением поверхностями. При построении геометрической модели расчетной области прорисован отопительный прибор радиатор *Guardo Retta* высотой – 700 мм; шириной – 1000 мм; глубиной – 57 мм; мощностью – 1443 Вт. Площадь поверхности прибора – 0,9 м<sup>2</sup>. Монтажные расстояния радиатора: 80 мм от верха радиатора до низа подоконника; 70 мм от низа радиатора до верха конструкции пола; 20 мм от радиатора до стены.

Граничные условия:

- температура внутри помещения 293 К и температура снаружи 263 К;
- теплообмен с окружающей средой ограничен наружной стеной и окном;
- тепловые потоки, исходящие с поверхности отопительного прибора, определяются исходя из расчета теплового баланса помещения.

Результаты исследования в пакете *Fluent*, интерпретированные в пост-процессоре *CFD-Post*, представлены на рис. 2. Число итераций численного решения выбиралось по сходимости результатов. В качестве критерия сходимости использовалась средняя объемная температура воздуха помещения. Из полученных результатов (рис. 2) следует, что в данном случае температура воздуха практически равномерно распределена по объему помещения. При этом вблизи ограждений помещения температура несколько ниже за счет отвода теплоты в ограждения. Вблизи поверхности радиатора образовалась устойчивая зона более высокой температуры. Оценивая полученные значения параметров микроклимата данного помещения, можно считать рассмотренный способ обогрева достаточно комфортным.

### Библиографический список

1. Зиганшин, А. М. Вычислительная гидродинамика. Постановка и решение задач в процессоре *Fluent* : методическое пособие для учебной и научной работы студентов направления 270800 – «Строительство» (квалификация «бакалавр» и «магистр») и аспирантов специальности 05.23.03 / А. М. Зиганшин. – Казань : Изд-во Казанск. гос. архитект.-строит. ун-та, 2013. – 79 с.

# ЦИФРОВОЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ АНАЛИЗАТОР ТЕМПЕРАТУРЫ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

**А. П. Королев, Я. А. Королева, Е. А. Курганова**

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия  
(e-mail: korolevanpal@yandex.ru)*

Предлагаемый датчик температуры основан на полевой структуре металл – диэлектрик – полупроводник (МДП), который работает в режиме обогащения основными носителями заряда. Рассматриваемый прибор имеет структуру полевого транзистора, но транзистор работает в режиме инверсии основных носителей заряда, который наступает при подаче на затвор порогового напряжения. Спроектированный термодатчик не требует порогового напряжения для перехода в проводящее состояние и находится в рабочем режиме при любом значении потенциала на затворе. Таким образом, термодатчик является терморезистором, управляемым потенциалом на затворе. Величина электропроводности под затвором в полупроводнике зависит не только от напряжения на затворе, она является и функцией температуры. С ростом температуры идет термогенерация носителей заряда, приводящая к росту концентрации свободных электронов и дырок (положительных зарядов) и удельной электропроводности полупроводника. Удельная электропроводность описывается математическим выражением:

$$\sigma = e(n\mu_n + p\mu_p),$$

где  $e$  – элементарный заряд;  $n, p$  – концентрации электронов и дырок;  $\mu_n, \mu_p$  – подвижности электронов и дырок.

Для описания выходной характеристики – зависимости выходного тока  $I_D$  от температуры с учетом электрофизических и конструкторско-топологических параметров выведена математическая модель [1]. Используя модель рассчитаны оптимальные электрофизические и конструкторско-топологические параметры, обеспечивающие высокую точность измерения температуры. Выходная характеристика предложенного датчика изображена на рис. 1.

На рисунке 1 показан аналоговый сигнал – изменение выходного тока в зависимости от температуры. Но варьируя характеристики полевого датчика температуры можно на выходе получать только два уровня сигнала – низкий и высокий или ноль и единица. Так датчик можно преобразовать из аналогового в цифровой. Пример цифрового выходного сигнала приведен на рис. 2.

Уровни сигналов следует формировать того или другого значения в зависимости от требуемой величины температуры подбирая необходимые для этого электрофизические и конструкторско-топологические параметры термодатчика.

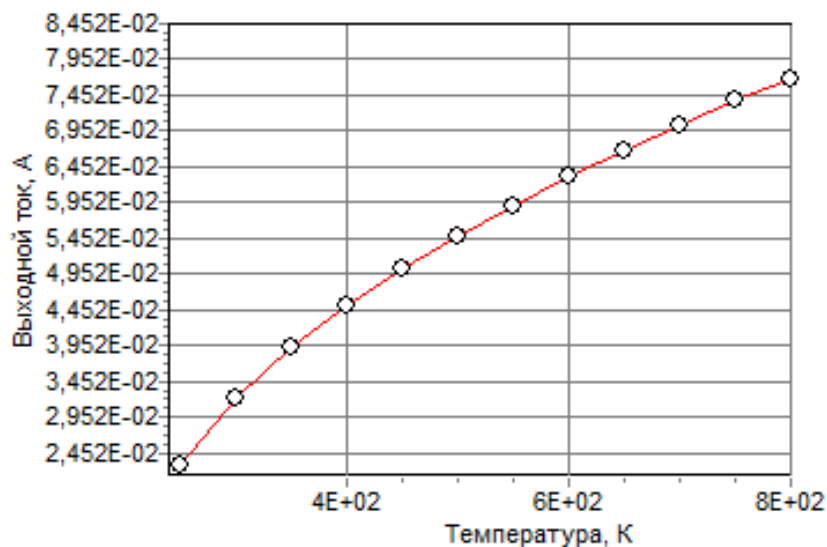


Рис. 1. Усредненная зависимость тока стока  $I_D$  от температуры

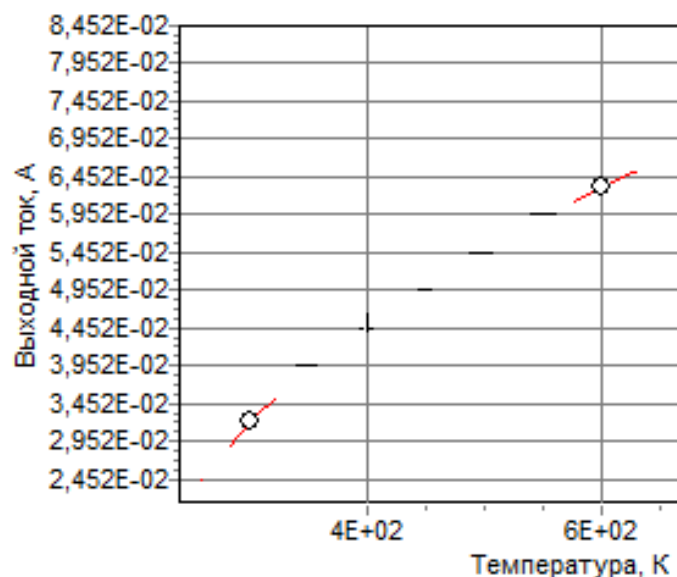


Рис. 2. Зависимость тока стока  $I_D$  от температуры в цифровой форме

### Библиографический список

1. Полупроводниковый первичный измерительный преобразователь тепловых параметров в процессах деформации и разрушения / А. П. Королев, В. П. Шелохвостов, В. Н. Чернышов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2000. – Т. 5, вып. 2-3. – С. 334 – 337.

2. Пат. 2254559 Российская Федерация, МПК G 01 K 3/08, 7/24. Устройство для измерения разности температур / Коробов Р. М., Брусенцов Ю. А., Королев А. П., Фесенко А. И. ; заявитель и патентообладатель Тамб. гос. техн. ун-т. – № 2003136657/28 ; заявл. 17.12.2003 ; опубл. 20.06.2005, Бюл. № 17. – 5 с.

## ОСОБЕННОСТИ ЦИФРОВИЗАЦИИ ОБЪЕКТОВ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

**П. А. Палатов, Д. М. Офицеров**

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия  
(e-mail: palatov.pavel01@gmail.com)*

Цифровизация объектов теплоэнергетического комплекса является весьма актуальным направлением развития энергетики, так как внедрение цифровых технологий обеспечивает решение множества задач, связанных с повышением надежности и эффективности функционирования теплоэнергетических установок за счет применения современных систем мониторинга и управления.

Большинство теплоэнергетических установок с точки зрения автоматизации и управления можно отнести к классу многомерных многосвязных объектов, поэтому при проектировании систем управления такими объектами необходимо учитывать следующие особенности: [1]

- наличие множества контролируемых и регулируемых параметров (температура, давление, расход и т.д.), что значительно усложняет процесс построения информационных, математических и имитационных моделей теплоэнергетических объектов и их отдельных элементов и узлов;
- необходимость учета возмущающих воздействий, оказывающих существенное влияние на функционирование объекта в процессе реальной эксплуатации;
- наличие векторного управления, включающего множество управляющих воздействий, которые могут отличаться типами энергоносителей;
- сложность критерия оптимальности при решении задач оптимального управления;
- высокие требования к точности поддержания технологических режимов, а также возможность изменения основных режимных параметров объекта в процессе его реальной эксплуатации.

Для учета этих особенностей система управления теплоэнергетическим объектом должна вести непрерывный мониторинг текущего состояния объекта по значениям технологических параметров и обеспечивать оперативный синтез оптимальных управляющих воздействий в реальном масштабе времени.

В процессе построения систем управления теплоэнергетическими объектами во многих случаях приходится решать целый комплекс научных и инженерных задач, требующих применения сложного математического аппарата [2]. Одним из наиболее сложных и трудоемких этапов разработки систем управления сложными объектами является создание алгоритмического обеспечения.

В качестве основных подходов, применяемых при разработке алгоритмического обеспечения систем управления можно выделить следующие:

- теория оптимального управления (принцип максимума Л. С. Понтрягина, метод динамического программирования Беллмана);
- многокритериальная оптимизация;
- методы принятия решений в условиях неопределенности;
- методы искусственного интеллекта (нечеткая логика, нейронные сети, мультиагентные системы);
- методы анализа и синтеза систем на множестве состояний функционирования и др.

Программно-техническая реализация разработанного алгоритмического обеспечения систем управления возможна с использованием специализированных инструментальных средств и стандартных программных решений (например, SCADA-систем, CASE- и RAD-технологий и т.д.) на базе простых и недорогих микропроцессорных устройств.

### **Библиографический список**

1. Грибков, А. Н. Информационно-управляющие системы многомерными технологическими объектами: теория и практика : монография / А. Н. Грибков, Д. Ю. Муромцев. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016. – 164 с.
2. Принципы построения интеллектуальных информационно-измерительных и управляющих систем на множестве состояний функционирования / Д. Ю. Муромцев, А. Н. Грибков, Н. Ю. Залукаева, и др. // Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производства : материалы 10 Междунар. науч.-техн. конф. – Омск : Омский государственный технический университет, 2020. – С. 246–247.

## **ГРАФОВАЯ МОДЕЛЬ УСТАНОВКИ ГИДРОТЕРМАЛЬНОЙ КАРБОНИЗАЦИИ БИООТХОДОВ**

**Д. С. Луцков, А. Н. Сергеев**

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия  
(e-mail: dmitrii\_luckov250898@mail.ru)*

Процессы цифровизации и цифровой трансформации в настоящее время активно идут практически во всех отраслях современной промышленности. Разработка и практическое применение цифровых технологий позволяет более

эффективно управлять сложными технологическими объектами и процессами [1]. В частности, к таким объектам относятся различные теплотехнологические аппараты, широко распространенные в промышленном производстве. Например, разработанная в [2] установка для гидротермальной карбонизации биоотходов в кипящем слое в среде перегретого водяного пара.

Одними из начальных этапов разработки системы управления являются формализация задачи и разработка модели объекта. Весьма эффективным подходом к разработке моделей сложных технических объектов является метод декомпозиции, при котором объект разбивается на несколько самостоятельных взаимосвязанных частей. В этом случае, общую модель сложного объекта можно представить в виде совокупности более простых моделей отдельных элементов. Одним из наиболее широко применяемых методов декомпозиции является построение модели объекта в виде графа, наглядно отображающего все связи между отдельными элементами сложного объекта.

В ходе формализации задачи оптимального управления процессом гидротермальной карбонизации биоотходов, была разработана графовая модель установки, показанная на рис. 1.

Вершинам графа соответствуют следующие элементы установки: I – бункер для исходного материала; II – реактор гидротермальной карбонизации; III – пароперегреватель; IV – электрогенератор; V – циклон; VI – бункер биоугля; VII – теплообменник; VIII – баллон с азотом; IX – емкость сбора конденсата.

Ребра графа, соединяющие его вершины, представляют собой следующие потоки: 1, 2, 6, 7 – потоки биоугля; 3, 4, 5, 9 – потоки пара; 8 – поток мелких частиц угля; 10 – поток конденсата; 11 – поток несконденсированных газов; 12 – поток азота для продувки при разогреве системы; 13 – поток азота для охлажденной системы.

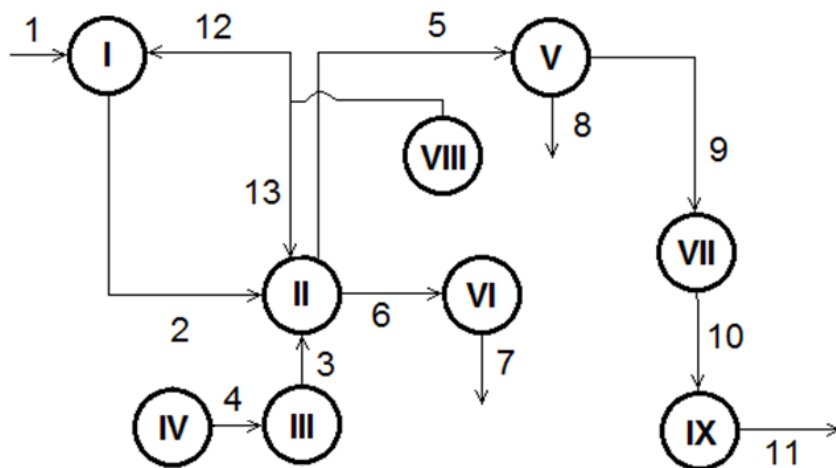


Рис. 1. Графовая модель установки гидротермальной карбонизации биоотходов

Для формализации описания графовой модели объекта была составлена обобщенная матрица (табл. 1), в которой для каждого элемента указаны входящие и выходящие связи символами «+» и «-» соответственно, а также числами в круглых скобках указан вид используемого энергоносителя (1 – исходное сырье; 2 – пар; 3 – готовые биоотходы; 4 – насыщенный пар; 5 – парогазовый поток с мелкими частицами биоугля; 6 – частицы биоугля; 7 – конденсат; 8 – несконденсированные газы; 9 – азот; 10 – чистый парогазовый поток).

### 1. ОБОБЩЕННАЯ МАТРИЦА

№ ребра	Вершины графа (элементы установки)								
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
1	+ (1)								
2	- (1)	+ (1)							
3		+ (2)	- (2)						
4			+ (2)	- (2)					
5		- (5)			+ (5)				
6		- (3)				+ (3)			
7						- (3)			
8					- (6)				
9					- (10)		+ (10)		
10							- (7)		+ (7)
11									- (8)
12	+ (9)							- (9)	
13		+ (9)						- (9)	

### Библиографический список

1. Грибков, А. Н. Информационно-управляющие системы многомерными технологическими объектами: теория и практика : монография / А. Н. Грибков, Д. Ю. Муромцев. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016. – 164 с.
2. Муратова, Н. С. Гидротермальная карбонизация биоотходов в кипящем слое в среде перегретого водяного пара : дис. ... канд. техн. наук: 05.17.08 / Н. С. Муратова. – Тамбов, 2021. – 209 с.



# УСТРОЙСТВА И СПОСОБЫ ДИАГНОСТИКИ ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ СВЯЗИ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОМ ОБОРУДОВАНИИ

А. Н. Нури, А.Ю. Дмитриевцев, Ю. Т. Зырянов, Д. И. Куталев

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия

(e-mail: Dmitrievcev978@gmail.com)

В лазерной дальнометрии обычно уделяется значительное внимание оптимизации аппаратных решений. Тем не менее, не менее важную роль в дистанционных измерениях играют вопросы, связанные с прохождением световых потоков через атмосферу и отражением их от объектов, которые необходимо измерить. Одним из ключевых аспектов успешного использования дальномеров является обеспечение безопасности в использовании лазерного излучения.

На рисунке 1 множество технических состояний объекта диагностики условно ограничено замкнутой кривой, причем исправное состояние обозначим кружком, неисправное – крестиками .

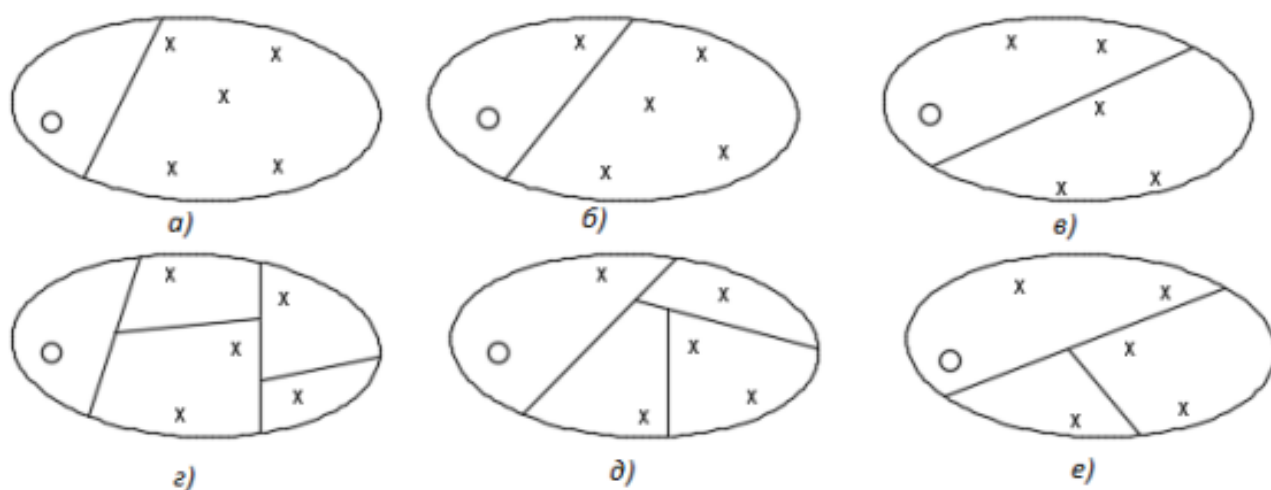


Рис. 1. Представление задач диагноза через разбиение множества технических состояний объекта

Результатами проверки исправности (а) проверки работоспособности (б) и проверки правильности функционирования (в) является получение двух подмножеств технических состояний. Одно из них (левое) содержит только исправное состояние или те неисправные состояния, находясь в которых объект остается работоспособным или правильно функционирующим.

Второе подмножество содержит либо все неисправные состояния (при проверке исправности), либо такие, пребывание в которых делает объект неработоспособным или неправильно функционирующим [1].

Разбиения на классы не различаемых между собой неисправных состояний вторых подмножеств. Число классов и, следовательно, числа входящих в них неисправных состояний определяют достигаемую при поиске степень детализации мест и состава имеющихся (или подозреваемых на наличие) в объекте неисправностей. Эту степень детализации принято называть глубиной поиска или глубиной диагноза.

Приборы для диагностики кабельных линий постоянно улучшаются, но все они используют несколько известных методов, которые можно разделить на две категории: дистанционные и топографические [2].

Портативный цифровой рефлектометр РЕЙС-105Р (рис. 2) предназначен для обследования методом импульсной рефлектометрии (методом отраженных импульсов) электрических воздушных и кабельных линий связи, электропередачи, контроля, управления с целью обнаружения неисправностей, выявления их характера и определения расстояния до места повреждения, для определения длины кабеля (провода) в бухте (на барабане), а также для хранения результатов измерения с целью последующей обработки и документирования. Прибор аналогичен многим отечественным и зарубежным импульсным приборам для определения мест повреждения в кабельных линиях.



**Рис. 2. Портативный рефлектометр РЕЙС-105Р**

В статье изложены ключевые задачи процесса проектирования, включая синтез оптимальной структуры системы, выбор соответствующих технических параметров и выбор оптимальной конфигурации системы из конечного числа вариантов. Процесс проектирования разделен на три этапа: синтез системы, системный анализ и параметрическая оптимизация.

## Библиографический список

1. Ставров, А. А. Импульсные лазерные дальнометры для оптико-локационных систем / А. А. Ставров, М. Г. Поздняков // Доклады БГУИР. – 2003. – № 2(2). – С. 59 – 65.
2. Прокопьев, П. Н. Разработка и исследование методов и устройств на основе применения элементов волоконной оптики, обеспечивающих сокращение времени ремонтно-восстановительных работ линейных сооружений связи / П. Н. Прокопьев. – СПб., 2003.

## СИСТЕМЫ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

С. Э. Эктов

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия  
(e-mail: [ektovsam68@gmail.com](mailto:ektovsam68@gmail.com))*

Энергетическая эффективность играет важную роль в современном промышленном производстве, поскольку энергозатраты составляют значительную часть расходов предприятий. Система оптимального управления производством позволяет оптимизировать процессы и ресурсы, а также минимизировать энергопотребление, что способствует экономии энергии и снижению затрат на энергоносители.

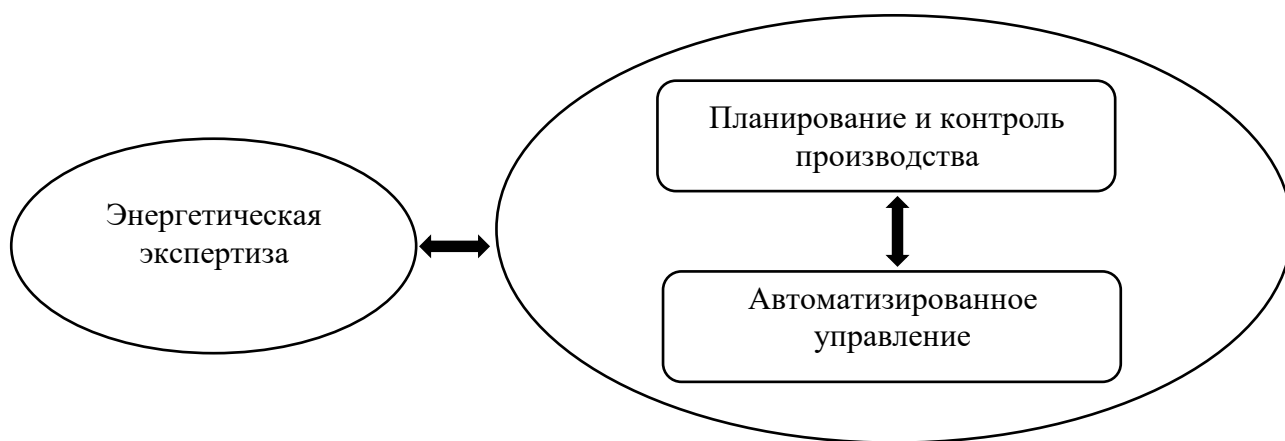
Путем анализа данных и использования современных информационных технологий, системы оптимального управления производством позволяют выявить и устранить энергетические утечки, оптимизировать нагрузку оборудования, внедрить энергосберегающие технологии и процессы. Это способствует улучшению энергетической эффективности предприятий, снижению экологического влияния и увеличению конкурентоспособности на рынке.

Внедрение системы оптимального управления производством требует анализа и оптимизации всех производственных процессов, эффективного использования энергетических ресурсов и внедрения мер по энергосбережению. Также необходимо обеспечить обучение и поддержку сотрудников для эффективного использования системы.

В результате применения системы оптимального управления производством, предприятия могут достичь значительного снижения затрат на энергию, увеличить энергетическую эффективность и сократить негативное влияние на окружающую среду. Это позволяет улучшить экономические показатели предприятия, повысить его устойчивость и улучшить отношение к нему со стороны инвесторов и потребителей [1].

Управление энергетической эффективностью на предприятии требует многоуровневой постановки задачи снижения энергетических издержек. Для этого необходимо использовать современные интеллектуальные технологии и подходы к управлению электропотреблением. Это позволяет достичь оптимального использования электроэнергии и снизить затраты на энергию.

Структурная схема управления энергетической эффективностью производства показана на рис. 1.



**Рис. 1. Структура управления энергетической эффективностью производства**

Управление энергетической эффективностью производства требует проведения систематической энергетической экспертизы технологических и производственных процессов. Эта экспертиза позволяет выявить и анализировать энергетические потери, определить причины их возникновения, и разработать эффективные меры по их устранению.

На основе энергетической экспертизы можно провести оптимизацию рабочих параметров оборудования и процессов, а также внедрить энергосберегающие технологии и решения. Это позволит снизить энергетические потери, повысить энергоэффективность производства и уменьшить затраты на электроэнергию [2].

Кроме того, энергетическая экспертиза позволяет определить перспективы развития производства с учетом энергетических аспектов. Это включает в себя выбор оптимальных технологий и оборудования, прогнозирование энергетического потребления и определение необходимых энергетических ресурсов.

## Библиографический список

1. Разработка программного комплекса системы управления сложными производственными процессами / В. Г. Матвейкин, Б. С. Дмитриевский, А. А. Терехова и др. // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2021. – Т. 27, № 2. – С. 168 – 184.

2. Мельник, А. Н. Концептуальные основы управления энергосбережением и повышением энергоэффективности на промышленном предприятии в условиях его инновационного развития / А. Н. Мельник, К. А. Ермолаев // Экономический анализ: теория и практика. – 2019. – Т. 18, № 1(484). – С. 22 – 39.

## Секция 2

# ЦИФРОВЫЕ МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССАХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

### СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗАТРАТ ВОЗДУШНОГО СУДНА ПУТЕМ КОРРЕКЦИИ ЛАЗЕРНОГО ГИРОСКОПА

А. Е. Хрипченко, С. Н. Данилов, И. В. Хорохорин

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия  
(e-mail: alekc120268@gmail.com; plabz@mail.ru)*

В наши дни все большее распространение получают лазерные гироскопы (ЛГ), активно вытесняющие инерционные гироскопы. Волоконный оптический гироскоп измеряет угловую скорость и углы поворота объекта, на котором он установлен. Принцип работы лазерных гироскопов основан на эффекте Саньяка. Лазерная гироскопия имеет большое распространение в авиации.

Роль, выполняемая оценивающим фильтром в навигационной системе, заключается в том, чтобы по результатам измерения некоторых составляющих вектора  $X$ , содержащим измерительный шум  $N$ , оценить весь вектор  $X$  так, чтобы среднеквадратичная ошибка оценивания была минимальна. Измеренные составляющие вектора ошибок получают как разность полных координат, вырабатываемых лазерной навигационной системой (ЛНС), и этих же координат, поступающих от радиотехнических средств и астроориентатора (РС и А) (рис. 1).

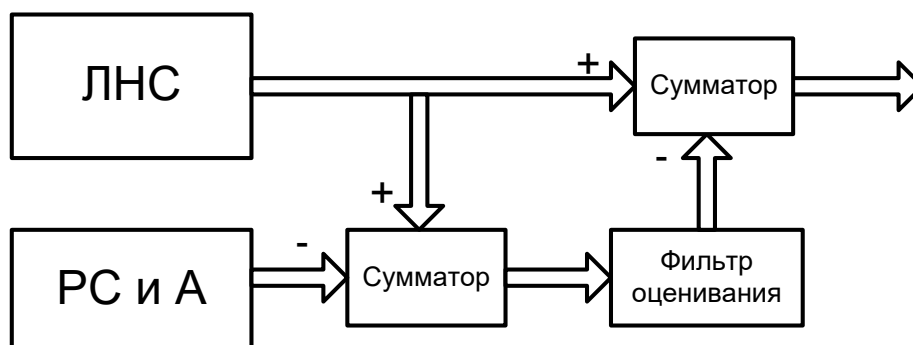


Рис. 1

Фильтр подавляет измерительный шум РС и А и формирует оценку ошибок ЛНС (скорость дрейфа или смещение показаний).

Следовательно, для ЛНС с фильтром оценивания можно предъявлять не очень высокие требования к точности. Однако оценивание указанных вели-

чин возможно лишь в том случае, когда заранее выбрана подходящая математическая модель процесса.

Основной погрешностью лазерного гироскопа, обусловленной принципом его функционирования, является случайный дрейф, проявляющийся, например, вследствие эффекта «захвата» частот встречных волн. Кроме дрейфа присутствует множество других факторов, влияющих на точность лазерного гироскопа и характеристики его выходного сигнала: нестабильность управляющих параметров ЛГ (ток накачки активной среды; оптическая мощность излучения; амплитуда и частота колебаний виброподставки; изменение параметров внешних воздействий (температуры, магнитного поля). Все эти факторы приводят к возникновению погрешностей прибора – случайному и систематическому дрейфу.

Актуальной задачей является разработка новых решений, направленных на улучшение точностных характеристик существующих ЛГ без изменения их конструкции. В качестве примера можно предположить, что скорость дрейфа ЛГ пропорциональна изменению температурного режима. При наличии системы термостатирования изменения температурного режима ЛГ можно рассматривать как независимые случайные события. Тогда плотность вероятности интервалов с длиной  $T$ , на которых изменение температурного режима не происходит, определяется выражением [1]

$$p(T) = \beta e^{-\beta T},$$

где  $\beta$  – средняя частота случайного изменения температурного режима.

Если считать, что изменение скорости дрейфа, наступающее при изменении температурного режима, происходит скачкообразно, то скорость дрейфа представляет собой случайный процесс в виде прямоугольной волны. Можно показать [1], что тогда скорость дрейфа ЛГ является коррелированным процессом. Наибольшее применение в практике синтеза алгоритмов оценивания нашел алгоритм линейной фильтрации. Однако, для систем оценивания, основанных на этом алгоритме, одним из основных источников расходимости является неправильное предположение о характере случайных процессов, особенно в том случае, когда фильтр достиг установившегося режима и усиление его мало. Предлагаемый алгоритм учитывает различные характеры дрейфа ЛГ [2]. Он построен в предположении, что возмущения, которые встречаются при оценке координат можно разделить на две группы: шумоподобные и возмущения волнообразной структуры (квазигармонические), спектр которых имеет вид, сосредоточенный по оси частот в некоторой области.

**Вывод.** Предлагаемый алгоритм, построенный на основе теории систем со сменой структуры в случайные моменты времени, учитывающий различные характеры дрейфа ЛГ превосходит по точности измерения обычные алгоритмы оптимальной линейной фильтрации и может быть с успехом использован как алгоритмическое средство повышения точности навигационной системы.

### **Библиографический список**

1. Кузовков, Н. Т. Непрерывные и дискретные системы управления и методы идентификации / Н. Т. Кузовков, С. В. Карабанов, О. С. Салычев. – М. : «Машиностроение», 1978. – 222 с.
2. Synthesis of channel tracking for random process parameters under discontinuous variation / А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк, С. Н. Данилов, С. П. Москвитин // Journal of Physics : Conference Series. Volume 1015, Issue 3, article id. 032112, pp. 1.
3. Чернышова, Т. И. Информационная технология оценки метрологической надежности информационно-измерительных систем с учетом влияния внешних факторов / Т. И. Чернышова, М. А. Каменская // материалы VI Междунар. науч.-техн. конф. студентов, молодых ученых и специалистов. – 2019. – С. 172–173.

## **БЮДЖЕТНАЯ КОНСТРУКЦИЯ 3D-ПРИНТЕРА СО СНИЖЕННЫМИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ЗАТРАТАМИ**

**Д. П. Шпилев, П. А. Каптилов**

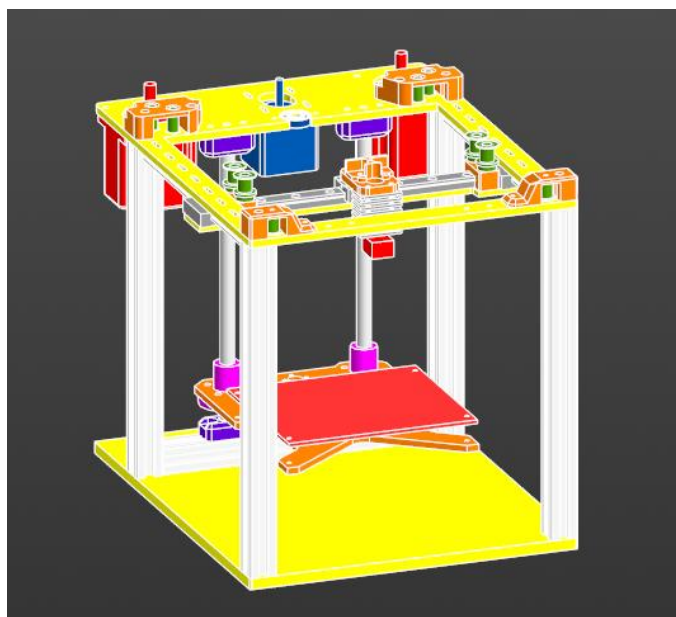
*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия  
(e-mail: dimkashpi1@gmail.com)*

**Экономия электроэнергии** один из актуальных социально-экономических вопросов на современной стадии развития научно-технического прогресса. Существуют два основных ракурса взгляда на эту проблему: экологический и финансовый. Производство электричества требует расхода большого количества природных ресурсов. Многие образцы бытовой техники суммарно по стране потребляют большое количество электроэнергии. Один из новых образцов, который пока еще не применяется в быту широко – 3D принтер. Одна из причин достаточно высокая цена. Но это вопрос времени. Вполне может **быть разработана бюджетная модель, доступная любому домашнему мастеру.**



**Технологии 3D-печати** – это быстрорастущее и перспективное направление во многих отраслях промышленности. Ключевые отрасли для таких технологий может быть и создание товаров народного потребления.

**Цель представленной работы.** Разработка и конструирование работоспособного устройства, адекватно выполняющего заданные функции с достойным качеством выходного продукта. Прототип устройства создан авторами (рис. 1). Он прост в изготовлении, имеет сниженное электропотребление и оптимизирован под бытовое применение.



**Рис. 1. Общий вид конструкции**

Основные принципы, на которых основывается конструкция такого принтера:

1. Стандартная область печати – куб со стороной в 220 мм, что в большинстве случаев избыточно, предлагается уменьшить куба со стороной 120 мм.

2. Питание нагревательных элементов стола и экструдера предполагается сделать не от источника 12 или 24 вольта, а от сети 220 вольт, но при этом не снижая безопасность работы с принтером. Тем самым устраняется промежуточное преобразование, а, следовательно, и дополнительные потери.

3. Использовать управляемые вентиляторы охлаждения, что позволит уменьшить шум, исходящий от принтера во время ожидания.

4. Из-за уменьшения области печати общие габариты установки уменьшатся, а следовательно уменьшится потребляемая для нагрева мощность.

**Вывод.** Существует множество различных бизнес-идей в области 3D-печати, и одна из них – производство продукции для обычного потребителя. В этой области 3D-печати можно создавать продукты для продажи потребителям и в том числе, и сами 3D-принтеры. Предложенная конструкция с 3D-

печатью привлекательна для клиентов из-за своей новизны, но они также может быть полезна для бизнеса, потому что она использует меньше материалов, создает меньше отходов и, как правило, меньше весит (и, следовательно, дешевле при доставке).

### **Библиографический список**

1. Pudovkin, A. P., Panasyuk, Yu. N., Danilov, S. N., Moskvitin, S. P. Synthesis of Algorithm for Range Measurement Equipment to Track Maneuvering Aircraft Using Data on Its Dynamic and Kinematic Parameters // Journal of Physics : Conference Series, Volume 1015, Issue 3, article id. 032111 (2018).

2. Pudovkin, A. P., Panasyuk, Yu. N., Danilov, S. N., Moskvitin, S. P. Synthesis of channel tracking for random process parameters under discontinuous variation. – Journal of Physics: Conference Series, Volume 1015, Issue 3, article id. 032112 (2018).

3. Чернышова, Т. И. Информационная технология оценки метрологической надежности информационно-измерительных систем с учетом влияния внешних факторов / Т. И. Чернышова, М. А. Каменская // материалы VI Международ. науч.-техн. конф. студентов, молодых ученых и специалистов. – 2019. – С. 172–173.

4. Пудовкин, А. П. Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.

## **ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ КРИТИЧНЫХ ГРУПП ОБОРУДОВАНИЯ И КОМПЛЕКТУЮЩИХ БЕЛГОРОДЭНЕРГО**

**Н. П. Моторина<sup>1</sup>, Е. В. Тетеревлева<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Старооскольский технологический институт им. А. А. Угарова (филиал)  
НИТУ «МИСиС», Россия, Старый Оскол, Россия  
(e-mail: motorina\_np@mail.ru)*

*<sup>2</sup>Ухтинский государственный технический университет,  
Ухта, Республика Коми, Россия*

В настоящее время в области повышения надежности, качества и эффективности деятельности предприятий топливно-энергетического комплекса реализовано большое количество интересных решений. ПАО «РОССЕТИ-Центр:

Белгородэнерго» уделяет особое внимание устойчивому электроснабжению промышленных предприятий (ОЭМК, СГОК, ЛГОК, КМА-руда и др.), АПК и интенсивно развивающихся городских агломераций. Еще в 2019 году введена в эксплуатацию первая в Центральном федеральном округе цифровая подстанция 35 кВ «Никольское». В целях по импортозамещению: обеспечить технологическую безопасность объектов и повысить энергетическую безопасность страны; содействие производителям и инвесторам в создании и развитии отечественных производств электротехнического оборудования и комплектующих; стимулирование развития отраслевой инновационной инфраструктуры, содействие инновационному развитию и модернизации предприятий отечественной электротехнической промышленности; повышение уровня локализации производства электротехнической продукции на территории РФ [1].

В непростых современных условиях приграничной области в областном центре создается «Умный квартал» в рамках национальной программы «Цифровая экономика». Все районные электрические сети обеспечены цифровой оперативно-диспетчерской связью и созданы автоматизированные системы диспетчерского управления в распределительных сетях 6...10 кВ трех районов области. Для повышения надежности электроснабжения и поддержания качества электроэнергии в сетях 0,4 кВ установлены пять систем накопления электроэнергии.

Вводится современная подстанция 110 кВ на 10 МВА для электроснабжения Научно-образовательного центра «Бирюч». На подстанции осуществляется передача цифровых сигналов о параметрах и состоянии оборудования в оперативно-информационный комплекс Белгородэнерго. В крупных городах области Белгород и Старый Оскол в рамках проекта по реформированию оперативно-технологического управления открыты современные Городские диспетчерские пункты (рис. 1). В Борисовке реализован крупный проект полной автоматизации распределительных сетей. На городской набережной установлена 26-метровая опора ЛЭП 110 кВ, стилизованная под герб Белгорода [1].

Автоматизированная система учета электроэнергии (АСУЭ), позволяющая удаленно контролировать объем потребления электроэнергии и параметры ее качества установлена на 184 подстанциях 35...110 кВ и на более 3,5 тыс. подстанциях 0,4...10 кВ. Система получает данные от интеллектуальных счетчиков электроэнергии, установленных у потребителей. Прикладные цифровые технологии применяются для автоматизации разных функций отрасли, таких как: прогнозирование, моделирование, учет потребляемых ресурсов, начисление тарифной платы за услуги, прием платежей, управление документооборо-

том и т.д. Все большую популярность набирает разработка цифровых пользовательских сервисов со стороны управляющих компаний, расчетных центров, ресурсоснабжающих организаций, являющихся крупными рыночными игроками, активно внедряющими собственные онлайн-платформы и технологические сервисы: личные мобильные интерактивные кабинеты, программные боты, а также роботы для клиентских коммуникаций, разрабатываемые на основе применения технологий искусственного интеллекта.

Технологии искусственного интеллекта представляют собой новейшие программные разработки в сфере инновационных технологий, нацеленные упростить и автоматизировать деятельность человека в разных областях и сферах. Целями использования технологий ИИ являются: полная автоматизация профессиональной деятельности; создание имитирующих процессы компьютерных моделей; прогнозирование возможных социальных последствий. Интеллектуальные приборы учета основаны на беспроводных технологиях, где контроллер передает данные по одной из перечисленных технологий: GPRS (подключение через сим-карту); LPWAN (похожа на GPRS); Wi-Fi (возможно от батареек) [2].



**Рис. 1. Современный городской диспетчерский пункт**

Таким образом, ведется работа по импортозамещению силового оборудования электрических сетей, программного обеспечения, технологий.

### **Библиографический список**

1. Официальный сайт ПАО РОССЕТИ-Центр: Белгородэнерго [Эл.ресурс] URL: <https://www.mrsk-1.ru/about/branches/belgorodenergo>

# РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ЧАСТОТНОЙ РАЗГРУЗКИ С УЧЕТОМ РАНЖИРОВАНИЯ НЕФТЕПРОМЫСЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИИ SMART GRID

**В. Р. Сушкова**

*Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия*

*(e-mail: vikyantropova@yandex.ru)*

Одной из характерных причин нарушения электроснабжения ответственных потребителей являются аварийные отключения питания. Аварийные отключения питания нагрузки связаны с работой противоаварийной автоматики при возникновении дефицита активной мощности в энергосистеме. Снижение частоты и питающего напряжения приносит значительный экономический ущерб в зависимости от длительности и глубины снижения частоты. Процессы изменения частоты и питающего напряжения характеризуются резким и глубоким снижением частоты и напряжения с нарушением устойчивости системы. Для предотвращения глубоких снижений частоты и напряжения повсеместно используется автоматика ограничения снижения частоты (АОСЧ), состоящая из специальной автоматики ограничения нагрузки (САОН) и автоматической частотной разгрузки (АЧР) [1].

В настоящее время учитываются категории по надежности потребителей, что не позволяет более дифференцировано подходить к отключению нагрузки с точки зрения формирования величины и ступеней отключаемой нагрузки (СОН), которая не гарантирует, что технологический процесс добычи нефти и попутного нефтяного газа не нарушится и величина отключаемой мощности по ступеням будет достаточно эффективна. Данная структура построения частотной разгрузки не учитывает приоритет в отключении потребителей в пределах СОН. В связи с этим обстоятельством необходимо разработать более гибкий подход к определению очередности отключения нефтепромысловых потребителей противоаварийной автоматикой, основанный на вычислении ранга потребителей и питающих их линий электропередачи.

Поэтому актуальной задачей является разработка алгоритма очередности отключения потребителей в соответствии с составом нагрузки, основанного на ранговом подходе. Данный алгоритм создает предпосылку для программируемой АЧР, которая позволит более точно формировать величину отключаемой нагрузки и уменьшить потери активной мощности в технологии добычи нефти и попутного нефтяного газа. Данное обстоятельство обуславливает возмож-

ность использования отдельных функциональных свойств технологии Smart Grid [2], где формируются ступени дозированного отключения нагрузки согласно алгоритму ранжирования нефтепромысловых потребителей.

Далее представлен разработанный алгоритм.

1. Количество и величина отключаемой нагрузки каждой ступени определяется согласно схеме электроснабжения нефтяного месторождения. Величина отключаемой каждой очередью устройств АЧР нагрузки не должна приводить к излишнему отключению нефтепромысловых потребителей и к не восстановлению величины частоты до номинальных значений.

2. Отключение нефтепромысловых потребителей формируется на основании рангов потребителя, которые включают в себя следующие составляющие: надежность воздушных линий электропередачи; устойчивость электродвигательной нагрузки при снижении (увеличении) частоты и напряжения питающей сети; устойчивоспособность технологии; ущерб потребителя по величине упущенной выгоды. Выбор очередности отключения определяется как комбинация рангов при условии, что величина отключаемой нагрузки не превышает величину ступени.

3. Далее проводится расчет установившегося режима энергосистемы для оценки потерь активной мощности в сети.

Таким образом, применение программируемой АЧР как элемента технологии Smart Grid позволит не завышать величину отключаемой нагрузки и снизить потери в технологии добычи на 7...9%.

### **Библиографический список**

1. Павлов, Г. М. Автоматика энергосистем / Г. М. Павлов, Г. В. Меркурьев. – СПб., 2001. – С. 271 – 299.

2. Зайцев, А. И. Развитие электроэнергетических систем на базе концепции SmartGrid / А. И. Зайцев // Электротехнические комплексы и системы управления. – 2013. – № 1. – С. 71 – 76.

## УСТАНОВКА ДГА НА ПОДСТАНЦИИ ГПП-7 ПАО НЛМК

**Р. В. Лаврухин,**

**научный руководитель д-р техн. наук, профессор В. И. Зацепина**

*Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия*

**Введение.** Однофазные КЗ (короткое замыкание) в сети возникают наиболее часто, а в сети с изолированной нейтралью это сети 6, 10 и 35 кВ по однофазном КЗ шунтируется поперечная емкость фазы кабельной линии и весь зарядный ток всех кабельных линий, подключенный к этой секции, шин начинает протекать через место короткого замыкания

**Теория вопроса.** Дугогасящий реактор – электрический аппарат, предназначенный для компенсации емкостных токов в электрических сетях с изолированной нейтралью, возникающих при однофазных замыканиях на землю (ОЗЗ).

Дугогасящие реакторы применяются для заземления нейтрали трехфазных сетей 6, 10, 35 кВ. Из-за распределенной по линии электропередач или кабелю емкости, при ОЗЗ в месте повреждения изоляции возникает емкостной ток.

**Методика проведения исследования.** Выбор мощности и места установки дугогасящих реакторов для компенсации емкостных токов замыканий на землю в сетях с изолированной нейтралью производится с учетом конфигурации сети, возможных делений ее на части, возможных ее аварийных режимов, а также влияний ее линий электропередачи на линии связи

**Описание метода исследования.** Согласно ПУЭ 7-издание пункт 1.2.16 работа электрических сетей напряжением 2...35 кВ может предусматриваться, как с изолированной нейтралью, так и с нейтралью, заземленной через дугогасящий реактор или резистор. Компенсация емкостного тока замыкания на землю должна применяться при значениях этого тока в нормальных режимах: в сетях напряжением 3...20 кВ, имеющих железобетонные и металлические опоры на воздушных линиях электропередачи, и во всех сетях напряжением 35 кВ – более 10 А; в сетях, не имеющих железобетонных и металлических опор на воздушных линиях электропередачи:

более 30 А при напряжении 3...6 кВ;

более 20 А при напряжении 10 кВ;

более 15 А при напряжении 15...20 кВ;

в схемах генераторного напряжения 6...20 кВ блоков генератор-трансформатор – более 5 А. При токах замыкания на землю более 50 А рекомендуется применение не менее двух заземляющих реакторов. Работа электрических сетей напряжением 110 кВ может предусматриваться как с глухозазем-



ленной, так с эффективно заземленной нейтралью. Электрические сети напряжением 220 кВ и выше должны работать только с глухозаземленной нейтралью.

**Заключение.** Постоянное развитие сетей ведет к росту емкостного тока, который может быть компенсирован специальными ДГА. Автоматически настраиваемые ДГА способны обеспечить надежную работу электрических сетей 6...35 кВ как при металлических, так и при дуговых однофазных замыканиях на землю. Одним из важнейших условий является применение устройств селективного определения поврежденных фидеров.

### **Библиографический список**

1. Аполлонский, С. М. Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле / С. М. Аполлонский. – М. : Лань, 2012. – 592 с.
2. Гальперин, М. В. Электротехника и электроника / М. В. Гальперин. – М. : Форум, Инфра-М, 2016. – 480 с.

## **СПОСОБ ОСМОТРА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОДСТАНЦИЙ С ПОМОЩЬЮ РОБОТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ**

**И. В. Артамонов,**

**научный руководитель д-р техн. наук, профессор В. И. Зацепина**

*Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия  
(e-mail: ilya484277@mail.ru)*

С увеличением числа электрических подстанций в России, осмотр и диагностика состояния электрического оборудования с помощью оперативного персонала становится более затруднительным и требует много времени. Процесс осмотра электрического оборудования можно автоматизировать с помощью роботизированной системы. Цель работы: рассмотреть возможность применения роботизированной системы в качестве основного способа осмотра электрических установок. Задачи работы: рассмотреть периодичность осмотра электрических установок на подстанции.

Роботизированная система проводит свою работу с помощью диагностического оборудования, которое установлено непосредственно на корпусе. Для получения информации о состоянии электрических установок подстанции, роботизированная система получит данные о состоянии: внешнего вида электрического оборудования при помощи установленной видеокамеры; звука работающей установки с помощью установленного микрофона; температуре



оборудования в рабочем состоянии при помощи встроенного в роботизированную систему тепловизора. После выполнения полного осмотра всего оборудования на электрической подстанции, роботизированная система сохраняет данные для последующего анализа неисправностей путем сравнения полученных данных. Для полного анализа и понимания состояния оборудования, в роботизированную систему вносятся идеальные значения показателей диагностического оборудования каждой электрической установки подстанции.

Задачи роботизированной системы заключаются в осмотре электрического оборудования в периоды по следующим пунктам:

1) нормированный осмотр – осмотр электрического оборудования подстанции в соответствии с осмотром оперативным персоналом. Такая работа может производиться каждый день, в зависимости от состояния и возраста установок подстанции;

2) осмотр после отключения одного или нескольких потребителей подстанции. В этом случае роботизированная система незамедлительно начинает измерять температуру оборудования подстанций на наличие перегрева оборудования подстанций;

3) осмотр после изменения погодных условий. Такой осмотр роботизированная система проводит для определения возможных повреждений электрических установок после сильного ветра, урагана или других погодных изменений.

Внедрение роботизированной системы позволит сократить время на процедуры осмотра электрического оборудования подстанции в сравнении с оперативным персоналом. С помощью роботизированной системы и ее возможностей, выявление неполадок станет доступно на первоначальных этапах возникновения, что позволит вводить электроустановки в ремонт без серьезных последствий. Кроме того, применение такого способа осмотра позволит снизить вероятность несчастных случаев и увеличить безопасность персонала.

### **Библиографический список**

1. Артамонов, И. В. Роботизированная система как наиболее эффективное средство осмотра электрооборудования на подстанциях / И. В. Артамонов, В. И. Зацепина // Энергетика будущего – цифровая трансформация : сб. тр. III Всерос. науч.-практ. конф. – Липецк : Липецкий государственный технический университет, 2022. – С. 30 – 34.

2. Савченко, С. П. Техническая диагностика электрооборудования / С. П. Савченко // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2022 – С. 132 – 138.

# ПОДАВЛЕНИЕ ГАРМОНИЧЕСКИХ ИСКАЖЕНИЙ НА ПРЕДПРИЯТИИ С ПОМОЩЬЮ АКТИВНЫХ ФИЛЬТРОВ

**М. С. Воронин,**

**научный руководитель д-р техн. наук, профессор В. И. Зацепина**

*Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия*

*(e-mail: m.voron4a@mail.ru)*

**Введение.** На различных предприятиях наблюдаются гармонические искажения в сети электроснабжения, которые обусловлены наличием нелинейных нагрузок.

**Теория вопроса.** Активные фильтры высших гармоник представляют собой устройства, предназначенные для подавления нежелательных высших гармоник в электрических сигналах. Они широко применяются в различных областях, таких как электроэнергетика, промышленность, телекоммуникации [1].

Гармонические искажения – это нежелательные изменения формы сигнала, вызванные наличием гармоник в электрическом сигнале. Гармоники представляют собой кратные частоты основной частоты сигнала, которые могут возникать в результате нелинейных искажений в электрических системах.

**Методика проведения исследования.** Для подавления высших гармоник на предприятиях, необходимо знать какого порядка гармоники присутствуют в сети. Зная параметры электрической сети, можно рассчитать и выбрать необходимый фильтр.

**Описание метода исследования.** При выборе активного фильтра для подавления высших гармоник следует обращать внимание на следующие параметры [2]:

1. Частота среза: выбирается так, чтобы фильтр эффективно подавлял высшие гармоники.

2. Коэффициент усиления: оптимальный коэффициент усиления позволит достичь нужной эффективности фильтрации.

3. Ширина полосы пропускания: необходимо учитывать, чтобы фильтр не подавлял полезные сигналы.

4. Линеиность и искажения: важно выбирать фильтр с минимальными искажениями сигнала.

5. Надежность и долговечность: особенно важно при эксплуатации в условиях переменных нагрузок и внешних воздействий.

6. Стоимость и доступность: также следует учитывать бюджетные ограничения и доступность выбранного типа фильтра.

Для примера расчета параметров, рассчитаем частоту среза по формуле:

$$f_{\text{ср}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C},$$

где  $R$  – сопротивление резистора, Ом;  $C$  – емкость конденсатора, мкФ.

**Вывод.** Использовать активные фильтры можно на различных предприятиях для улучшения качества электрической энергии. Для правильного выбора активного фильтра в работе представлена формула расчета частоты среза.

**Заключение.** Достоинствами активных фильтров является их быстрое срабатывание и высокая точность компенсации. Но также имеются недостатки такие, как дороговизна, сложность в их эксплуатации, так как они могут создавать электромагнитные помехи, что требует постоянного мониторинга и настройки для оптимальной эксплуатации.

### Библиографический список

1. Магеррамов, Р. В. Активные и пассивные электрические фильтры / Р.В. Магеррамов // Молодой ученый. – 2017. – № 2(136). – С. 148 – 152.
2. Лукутин, Б. В. Силовые преобразователи в электроснабжении. Расчет режимов работы выпрямителя: методические указания к выполнению курсовой работы для студентов спец. 140211 «Электроснабжения» ИДО / Б. В. Лукутин, И. О. Муравлев. – Томск : Изд-во ТПУ, 2009. – 28 с.

## ЭФФЕКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ И ДИАГНОСТИКА ДОРОЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ

**Н. В. Ермаков, Д. В. Беспалов, А. И. Псарев**

*Орловский государственный аграрный университет имени Н. В. Парахина,*

*Орел, Россия*

*(e-mail: [ermakovn.14@yandex.ru](mailto:ermakovn.14@yandex.ru))*

В темное время суток, когда видимость на дороге снижается, дорожное освещение становится необходимостью для обеспечения безопасности дорожного движения. Ведь это важнейший фактор, который улучшает видимость и помогает водителям ориентироваться на дороге. Хорошо освещенные дороги создают комфортные условия для вождения в ночное время, уменьшая риск возникновения аварий и повышая уровень безопасности. Дорожное освещение должно не только освещать путь перед автомобилем, но и предупреждать о наличии препятствий, поворотов, развилки и других элементов, что может позволить водителям быть готовыми к ним заранее.

К сожалению в настоящее время, системы дорожного освещения лишены возможностей автоматизации, контроля и управления. Это приводит к необходимости ручного обнаружения проблем и их решения. Неправильная регулировка освещенности и несоответствующее время работы осветительных приборов могут стать результатом несчастных случаев и дополнительных затрат. Решение этих проблем требует большого вложения времени и труда [1].

Обслуживание осветительных систем на дорогах общего пользования, включая выявление неисправного оборудования является основным источником расходов на дорожное освещение. На рисунке 1 показан график, составленный из данных по выездам бригад и показывающий отношение затрат на топливо к пройденному пути. Источником расходов также является технический осмотр, ремонт и замену неисправных ламп, Тем не менее, внедрение автоматических систем контроля и управления освещением может значительно уменьшить эти издержки. Такие системы позволяют быстро выявлять поломки и автоматически корректировать настройки осветительного оборудования, улучшая тем самым его работу и надежность [2].

Очень важно отметить, что на данный момент мы сталкиваемся с отсутствием продвинутых алгоритмов и математических моделей, способных оптимизировать использование электричества в системах уличного освещения. Тем не менее, создание интеллектуальной системы для мониторинга и управления дорожным освещением, которая включает в себя новейшие технологии и инновационные решения, может стать ключом к уменьшению энергозатрат и смягчению их влияния на окружающую среду.

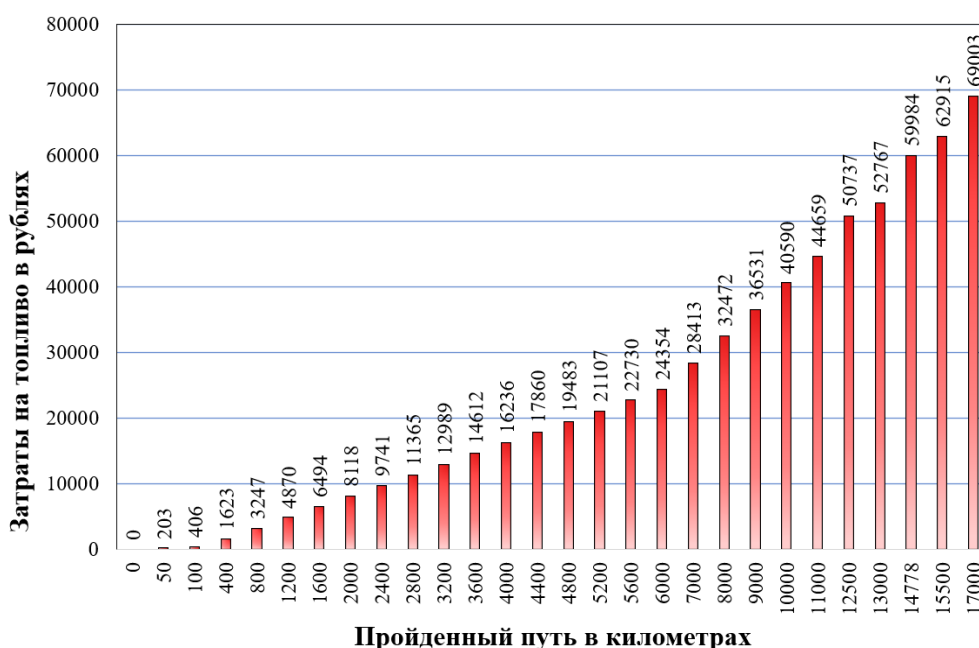


Рис. 1. График зависимости затрат

На сегодняшний день управление дорожным освещением осуществляется с использованием различных видов релейных элементов. Однако эти методы имеют свои недостатки, такие как отсутствие оперативной и диагностической информации о состоянии управляемого объекта и параметрах дорожной сети, невозможность измерения параметров электрической сети дорожного освещения в различных точках, а также высокая стоимость реле времени и астрономического реле времени. Для решения указанных недостатков нам требуется разработать структурную схему, алгоритм работы и протестировать специальное устройство, которое будет способно устранить эти проблемы. Кроме того, необходимо разработать приложение, которое будет получать данные с данного устройства и предоставлять их для анализа и управления [2].

### **Библиографический список**

1. Николаева, Р. В. Автоматизированные системы управления освещением на автомобильных дорогах (на примере дороги федерального значения «Казань–Оренбург») / Р. В. Николаева, Р. Р. Халиуллина // Техника и технология транспорта. – 2020. – № 3(18). – С. 11. – EDN CMXNPJ.

2. Ермаков, Н. В. Автоматизированная система управления и диагностики дорожным освещением / Н. В. Ермаков, Д. В. Беспалов, А. И. Псарев // Энергетика будущего – цифровая трансформация : сб. тр. III Всерос. науч.-практ. конф., Липецк, 14–15 декабря 2022 года. – Липецк : Липецкий государственный технический университет, 2022. – С. 281 – 286. – EDN XJQJHE.

## **МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ МАГНИТОДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ, РАБОТАЮЩИХ В СВЧ-ДИАПАЗОНЕ**

**А. И. Казьмин, П. А. Федюнин**

*Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил  
«Военно-воздушная академия имени профессора  
Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Воронеж, Россия  
(e-mail: alek-kazmin@yandex.ru)*

Во многих наукоемких сферах широкое применение находят многослойные (с числом слоев более одного) магнитодиэлектрические материалы и покрытия (МП), работающие в диапазоне сверхвысоких частот (СВЧ) [1, 2].

Эффективность подобных МП определяется соответствием их электрофизических и геометрических параметров (ЭФГП) заданным значениям.

Основным элементом разработанной методики являются радиоволновые способы оценки ЭФГП и дефектов в РППМ. Геометрия электродинамической модели способов приведена на рис. 1. Представленная модель позволяет составить измерительный алгоритм, как для определения ЭФГП, так и для оценки межслойных дефектов в многослойных МП.

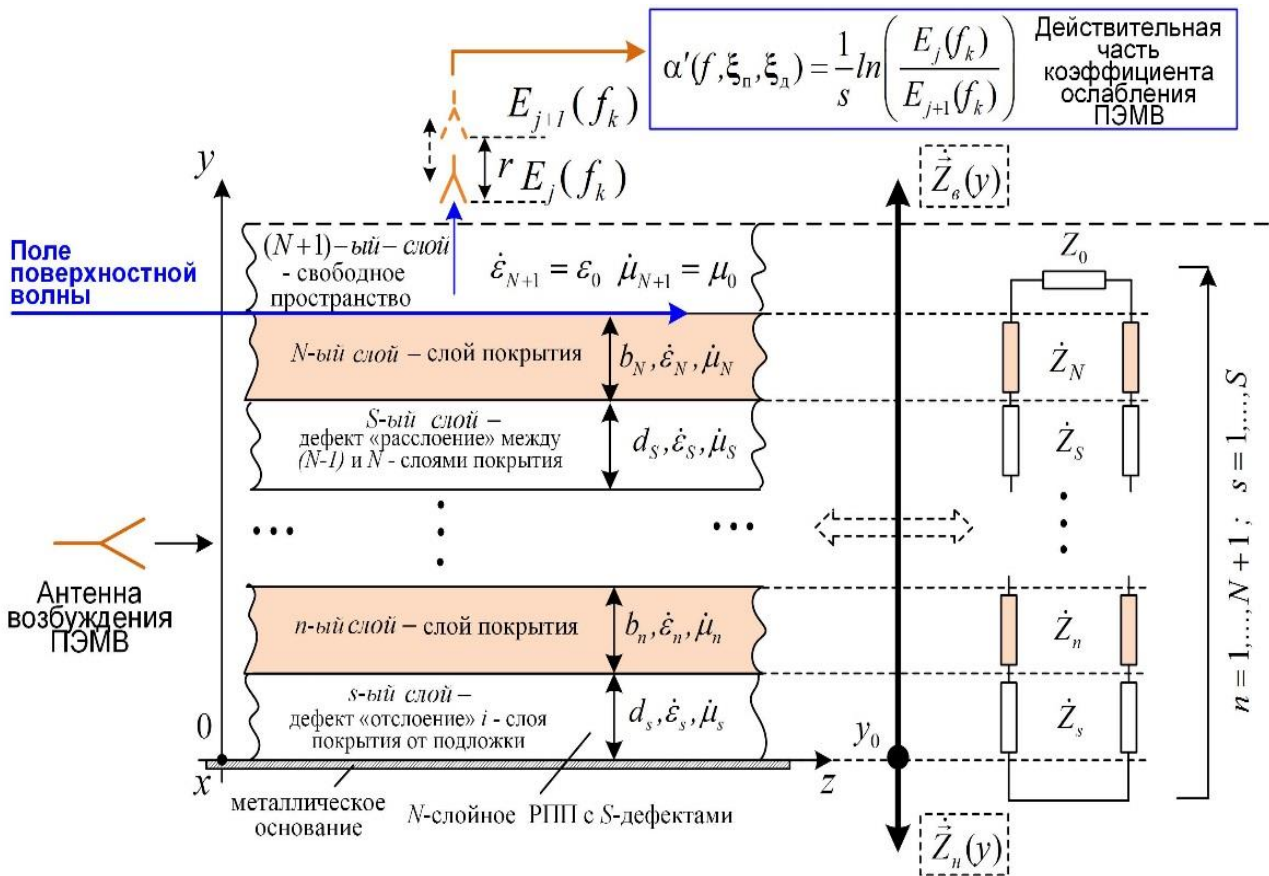


Рис. 1. Электродинамическая модель радиоволновых способов

Суть способов определения ЭФГП и оценки межслойных дефектов многослойных МП основана на минимизации целевой функции, построенной по невязке между экспериментально полученными  $\hat{\alpha}_s(f_k, \hat{\xi}_n, \hat{\xi}_d)$  и вычисленными теоретическими значениями комплексных коэффициентов ослабления  $\hat{\alpha}_T(f, \hat{\xi}_n, \hat{\xi}_d)$  поля поверхностной электромагнитной волны (ПЭМВ) на частотах  $f_k, k = 1, 2, \dots, K$  [2]:

$$\hat{\xi}_n, \hat{\xi}_d = \arg \min_{\xi \in \xi_{\text{дон}}} \rho(\hat{\xi}_n, \hat{\xi}_d) = \frac{1}{K} |A_s - A_T|^2, \quad (1)$$

где  $A_s$  и  $A_T$  – вектор-столбцы с компонентами:

$$A_3 = [\dot{\alpha}_3(f_1, \xi_{\text{п}}, \xi_{\text{д}}), \dot{\alpha}_3(f_2, \xi_{\text{п}}, \xi_{\text{д}}), \dots, \dot{\alpha}_3(f_K, \xi_{\text{п}}, \xi_{\text{д}})]^T, \quad (2)$$

$$A_{\text{T}} = [\dot{\alpha}_{\text{T}}(f_1, \xi_{\text{п}}, \xi_{\text{д}}), \dot{\alpha}_{\text{T}}(f_2, \xi_{\text{п}}, \xi_{\text{д}}), \dots, \dot{\alpha}_{\text{T}}(f_K, \xi_{\text{п}}, \xi_{\text{д}})]^T, \quad (3)$$

где  $\rho(\xi_{\text{п}}, \xi_{\text{д}})$  – расстояние между экспериментально полученными  $A_3$  и вычисленными теоретическими значениями  $A_{\text{T}}$  коэффициентов ослабления поля поверхностной электромагнитной волны в области допустимых значений  $\xi \in \xi_{\text{доп}}$ ;  $f_k$  – частота зондирующего сигнала;  $\xi_{\text{п}} = \{\dot{\epsilon}_n, \dot{\epsilon}_{n+1}, \dots, \dot{\epsilon}_N; \dot{\mu}_n, \dot{\mu}_{n+1}, \dots, \dot{\mu}_N; b_n, b_{n+1}, \dots, b_N\}$   $n = 1, \dots, 3N$  –  $3N$ -мерный вектор описывающий электрофизические и геометрические параметры  $N$ -слойного покрытия,  $\dot{\epsilon}_n, \dots, \dot{\epsilon}_N$ ,  $\dot{\mu}_n, \dots, \dot{\mu}_N$  – комплексные относительные диэлектрические и магнитные проницаемости,  $b_n = (t_n / \lambda)_n, \dots, b_N = (t_N / \lambda)_N$  – относительные толщины слоев  $N$ -слойного материала;  $t_n, \dots, t_N$  – толщины слоев материала;  $\xi_{\text{д}} = \{d_s, d_{s+1}, \dots, d_S\}$  –  $S$ -мерный вектор геометрических параметров дефектов (величин отслоений и расслоений в покрытии).

Далее проверяют соответствие полученных величин векторов  $\xi_{\text{п}}$  и  $\xi_{\text{д}}$  заданным значениям, соответствующих состоянию МП, когда оно работоспособно:

$$\xi_{\text{пmin}} \leq \xi_{\text{п}} \leq \xi_{\text{пmax}}; \xi_{\text{дmin}} \leq \xi_{\text{д}} \leq \xi_{\text{дmax}}, \quad (4)$$

если условия (4) не выполняются, принимается, что МП неработоспособно и требуется его ремонт или замена.

### Библиографический список

1. Радиоволновой контроль параметров образцов многослойных стенок радиопрозрачных укрытий / К. М. Басков, А. А. Политико, В. Н. Семененко и др. // Журнал радиоэлектроники. – 2019. – № 11.
2. Казьмин, А. И. Методологические принципы определения электрофизических параметров материалов и покрытий со сложной внутренней структурой с помощью поверхностных электромагнитных волн / А. И. Казьмин // Дефектоскопия. – 2022. – № 3. – С. 34 – 49.



# ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ БПЛА НА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ 6...35 кВ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

**В. Е. Кожевников, А. В. Егоров,**  
**научный руководитель д-р техн. наук, профессор В. И. Зацепина**

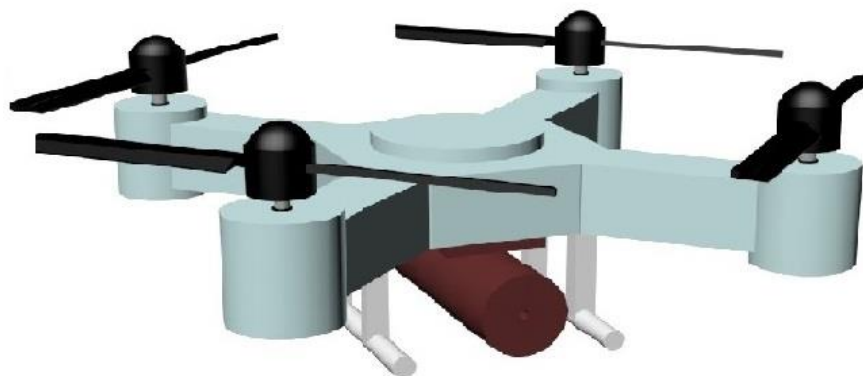
*Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия*  
(e-mail: [vovchik.e.k123@yandex.ru](mailto:vovchik.e.k123@yandex.ru))

**Введение.** В рассматриваемых воздушных линиях электропередачи (ЛЭП) 6...35 кВ нейтраль изолирована. Дистанционными методами осуществить определение места повреждения (ОМП) достаточно сложно [1]. Проще вести осмотр линии для нахождения повреждения, что часто занимает много времени. Поэтому проблема актуальна и необходима оптимизация метода. Необходимо придумать упрощенный автоматический способ поиска повреждений. Применяемые БПЛА для осмотра линий чаще всего позволяют проводить лишь визуальную диагностику [2]. Например, иногда пробой изолятора невозможно определить визуально. Целью статьи является модернизация беспилотного летательного аппарата (БПЛА). Поставлена задача написания программного кода его движения.

**Теория вопроса.** Поиск места повреждения будет осуществляться по токам нулевой последовательности, возникающих в линии при замыкании фазы на землю. Существуют переносные приборы, которые позволяют измерять эти токи, проходя вдоль линии. Например, прибор «Зонд». В них устанавливаются катушки, которые реагируют на токи нулевой последовательности. Можно взять данные катушки с их обвязкой и установить на беспилотный летательный аппарат. Данные с них через аналогово-цифровой преобразователь необходимо подавать в микропроцессор, отвечающий за передвижение беспилотника. Таким образом, можно получить автоматическое устройство, которое будет искать повреждения.

**Методы и материалы.** Предлагается доработка кода навигационной системы беспилотного летательного аппарата. Для каждой из линий проектируется свой путь движения. Но часть кода, отвечающая за поиск места повреждения на ЛЭП будет везде одинаковой. Для написания использован язык C++. В основе программы лежат показания с катушки нулевой последовательности I, R – это датчик ответвления, D – дополнительная катушка. Была создана 3D-модель беспилотника. Устанавливаемые на него катушки закреплены снизу и помещены в ПВХ корпус. Модель и код представлены на рис. 1.





```
1 #include<iostream>
2 int main() {
3 int xy, D, I, R, a, E;
4 a=0;
5 E=0;
6 prov:
7 std::cin >> xy;
8 std::cin >> D;
9 std::cin >> I;
10 std::cin >> R;
11 if (D==1) {
12     a=I;
13     goto ending;
14 }
15 if (R==1){
16     prove:
17     if (E==0){
18         if (I>a) {
19             a=I;
20             goto prov;
21         }
22     } else {
23         E=1;
24         goto prove;
25     }
26 }
27 }
28 ending:
29 std::cout << xy;
30 std::cout << R;
31 std::cout << D;
32 std::cout << E;
33 }
```

Рис. 1. 3D-модель и код для передвижения БПЛА

**Выводы.** Модернизированная версия БПЛА применима только на воздушных ЛЭП с изолированной нейтралью. Эксплуатация линий с глухозаземленной нейтралью не допускается при замыкании на землю, поэтому на них невозможно будет проводить поиски.

**Заключение.** Созданный вариант беспилотного летательного аппарата позволяет искать любые хорошо видные и незаметные места с повреждениями на воздушных ЛЭП с изолированной нейтралью. Поиск происходит полностью автоматически. Недостатками является влияние помех, создаваемых двигателями беспилотника, на точность определения места повреждения. Также нельзя применять БПЛА во время плохих погодных условий.

### Библиографический список

1. Козлов, В. К. Исследование влияния переходного сопротивления на определение места однофазного замыкания на землю в распределительных сетях с изолированной нейтралью / В. К. Козлов, Е. Р. Киржацких, Р. А. Гиниятуллин // Вестник Чувашского университета. – 2019. – № 1. – С. 39 – 46.

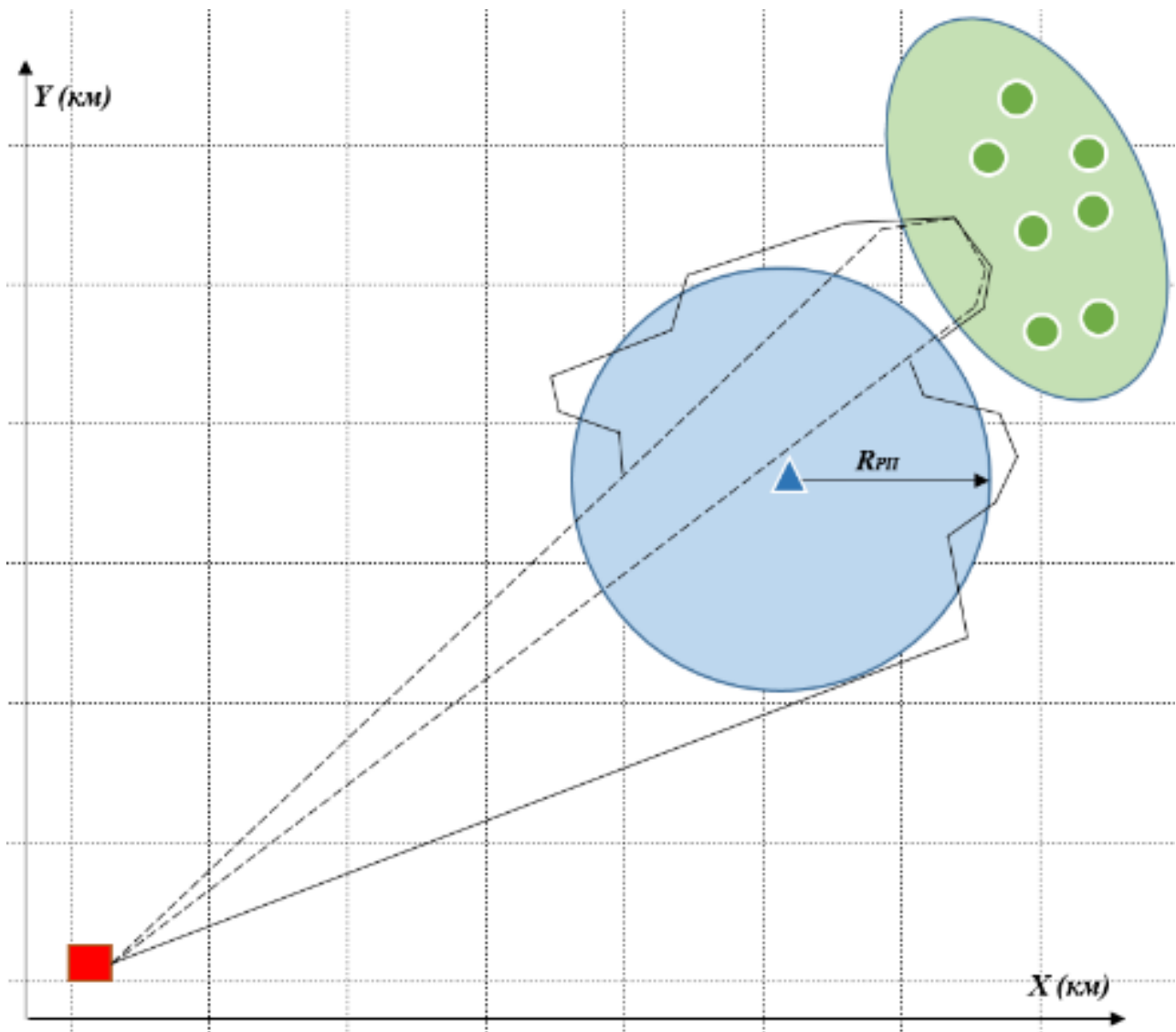
2. Пугачева, Е. А. Разработка методики использования летательного аппарата для диагностики объектов энергетики / Е. А. Пугачева, Д. А. Рогозина // Ученые Омска – Региону. – Омск, 2018. – С. 38 – 42.

## **ДАЛЬНОСТЬ ПОЛЕТА ЭЛЕКТРОМОТОРНОГО БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ПРИ ОБЛЕТЕ ЗОНЫ РАДИОПОМЕХ**

**Р. Ю. Колмыков, А. С. Колмыкова**

*Военный учебно-научный центр военно-воздушных сил  
«Военно-воздушная академия» имени профессора  
Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина, Воронеж, Россия  
(e-mail: romankolmykov@gmail.com)*

Одной из задач разведывательных беспилотных летательных аппаратов гражданского или двойного назначения (БПЛА) является обнаружение целей в заданном районе поиска. Такие аппараты могут выполнять функции радиотехнической, инфракрасной, оптической, акустической, магнитометрической или радиационной разведки. После выполнения задачи по разведке БПЛА необходимо вернуться и приземлится близи наземного пункта управления (НПУ). При построении маршрута полета промежуточные точки маршрута (ПТМ) строятся так, чтобы время полета до района поиска целей было минимальное. Чаще всего расчетное время продолжительности полета не превышает 85% от общей продолжительности полета. Также ПТМ ставятся оператором БПЛА с учетом возможного непреднамеренного воздействия на аппаратуру передачи данных и телеметрии источников различных радиопомех. Однако координаты расположения таких средств заранее неизвестны и при попадании в зону радиопомех БПЛА начинает постепенно терять управление, что замечает оператор и пытается вывести БПЛА из ее действия. В случае успешного вывода из зоны радиопомех он пытается снова направить аппарат на оптимальный маршрут к району поиска целей. При возврате БПЛА к НПУ возможна аналогичная ситуация. Таким образом, данные обстоятельства приводят к увеличению общего времени полета для выполнения задачи по разведке, что снижает его дальность полета, так как количество затрачиваемой энергии от аккумуляторной батареи увеличивается. На рисунке 1 представлен вариант описанной ситуации.



**Рис. 1. Вариант маршрута полета БПЛА:**

квадрат – НПУ; треугольник – источник радиопомех;  
 окружность – зона действия радиопомех; круги – цели разведки в районе  
 их возможного размещения; пунктирная линия – заданная оптимальная траектория полета  
 БПЛА; сплошная линия – вынужденная траектория полета БПЛА для выхода  
 из зоны воздействия радиопомех

Для определения дальности полета электромоторного БПЛА при облете зоны радиопомех предлагается алгоритм ее расчета, содержащий следующие процедуры:

1. Дальность полета БПЛА ( $D_{\text{ПОЛ}}$ ) – максимальное расстояние, пройденное БПЛА от НПУ до района возможного размещения целей и обратно:

$$D_{\text{ПОЛ}} = V_{\text{БПЛА}} (0.85 \cdot t_{\text{ПОЛ}}), \quad (1)$$

где  $V_{\text{БПЛА}}$  – средняя скорость полета БПЛА на протяжении всего полета [км/ч];  
 $t_{\text{ПОЛ}}$  – максимальная продолжительность полета БПЛА [ч].

2. Продолжительность полета ( $t_{\text{ПОЛ}}$ ) определяется отношением емкости аккумуляторной батареи к сумме силы токов потребителей [1]:

$$t_{\text{ПОЛ}} = \frac{Q_{\text{АК}}}{I_{\text{НАГР}}^k}, \quad (2)$$

$$I_{\text{НАГР}} = I_{\text{ДВ}} + I_{\text{УПР}} + I_{\text{РАЗВ}} + I_{\text{НАВ}}, \quad (3)$$

где  $Q_{\text{АК}}$  – емкость аккумуляторной батареи, измеренная при токе разряда в 1 А [А·ч];  $I_{\text{НАГР}}$  – ток, отдаваемый аккумуляторной батареей для питания электродвигателя ( $I_{\text{ДВ}}$ ) и других потребителей (система управления и передачи данных ( $I_{\text{УПР}}$ ), средство разведки ( $I_{\text{РАЗВ}}$ ), навигационное оборудование ( $I_{\text{НАВ}}$ )) [А];  $k$  – экспонента Пакерта, лежит в пределах 1,10...1,35 [безразмерная].

3. Дальность полета БПЛА с учетом попадания в зону радиопомех ( $D_{\text{РП}}$ ) – расстояние, пройденное БПЛА при возврате к НПУ:

$$D_{\text{РП}} = D_{\text{ПОЛ}} - V_{\text{БПЛА}} t_{\text{ЗРП}}, \quad (4)$$

$$t_{\text{ЗРП}} = t_{\text{ВЫХ}} + t_{\text{ВОЗВ}}, \quad (5)$$

где  $t_{\text{ЗРП}}$  – время полета БПЛА, необходимое на выход из зоны радиопомех ( $t_{\text{ВЫХ}}$ ) и возврат на оптимальную траекторию ( $t_{\text{ВОЗВ}}$ ) [ч].

По предлагаемому алгоритму проведены расчеты для БПЛА (при 4 попаданиях в зону радиопомех) со следующими характеристиками [2]:

$$\begin{aligned} I_{\text{ДВ}} &= 40 \text{ А}; I_{\text{УПР}} = 0,72 \text{ А}; I_{\text{РАЗВ}} = 2,6 \text{ А}; I_{\text{НАВ}} = 1,96 \text{ А}; I_{\text{НАГР}} = 45,28 \text{ А}; \\ k &= 1,1; Q_{\text{АК}} = 10 \dots 20 \text{ А ч}; t_{\text{ПОЛ}} = 0,241 \text{ ч}; t_{\text{ВЫХ}} = 0,033 \text{ ч}; t_{\text{ВОЗВ}} = 0,025 \text{ ч}; \\ t_{\text{ЗРП}} &= 0,058 \text{ ч}; V_{\text{БПЛА}} = 50 \text{ км/ч}; D_{\text{ПОЛ}} = 6,41 \dots 12,82 \text{ км}; D_{\text{РП}} = 3,49 \dots 9,90 \text{ км}; \end{aligned}$$

Например, для подлета к цели, располагающейся на дальности 10 км, с учетом возможных радиопомех необходимо устанавливать на БПЛА батарею с емкостью не менее 20000 мА·ч.

### Библиографический список

1. Химические источники тока : справочник / под ред. Н. В. Коровина и А. М. Скундина. – М. : МЭИ, 2003.
2. Андреев, П. С. К вопросу выбора аккумуляторных батарей БПЛА при условии групповой работы / П. С. Андреев, А. И. Селин // Universum: технические науки. – 2023. – № 6(111).

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ГРУЗА С ПОДАВЛЕНИЕМ КОЛЕБАНИЙ

**И. В. Косарев, А. В. Молодых**

*Старооскольский технологический институт им. А. А. Угарова (филиал)  
Национального исследовательского технологического университета  
«МИСИС», Старый Оскол, Россия*

В грузоподъемной технике является актуальной проблема гашения маятниковых колебаний груза при перемещении его промышленным краном. При приложении силы к механизму передвижения крана возникают колебания подвешенного груза, амплитуда которых пропорциональна ускорению тележки и длине подвеса каната. Для уменьшения амплитуды колебаний ускорение механизма должно быть ограничено, что приводит к увеличению времени переходных процессов и снижению производительности работы крана.

Представим модель тележки в математическом виде. Воспользуемся уравнением Лагранжа второго рода [1], оно имеет вид:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} \frac{dL}{dx_C} - \frac{dL}{dx_C} = f_T \\ \frac{d}{dt} \frac{dL}{d\dot{\alpha}} - \frac{dL}{d\alpha} = 0 \end{cases}, \quad (1)$$

где  $x_C$  – позиция тележки;  $\alpha$  – угол поворота маятника;  $\dot{x}_C$  – скорость тележки;  $\dot{\alpha}$  – угловая скорость маятника;  $f_T$  – сила которая воздействует на тележку;

$L$  (функция Лагранжа) – разность кинетической и потенциальной энергии;

Матрицы пространства состояния.

$$\begin{aligned} A &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & \frac{gm}{M} & -\frac{K_1}{M} & 0 \\ 0 & -\frac{g(M+m)}{Ml} & -\frac{K_1}{Ml} & 0 \end{bmatrix}; & B &= \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{K_1}{M} \\ \frac{K_1}{Ml} \end{bmatrix}; \\ C &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; & D &= \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \end{aligned} \quad (2)$$

Чтобы влиять на все состояния по отдельности, воспользуемся модальным регулятором, так как с его помощью есть возможность обеспечивать устойчивый процесс управления.

Ввод регулятора  $K$  в систему преобразует управляющее воздействие к виду:  $u = -Kx$ . Подставив управляющее воздействие в уравнение состояния получим:  $\dot{x}_C = (A - BK)x$ . Таким образом регулятор  $K$  будет напрямую влиять на расположение полюсов матрицы состояния и тем самым влиять на поведение системы.

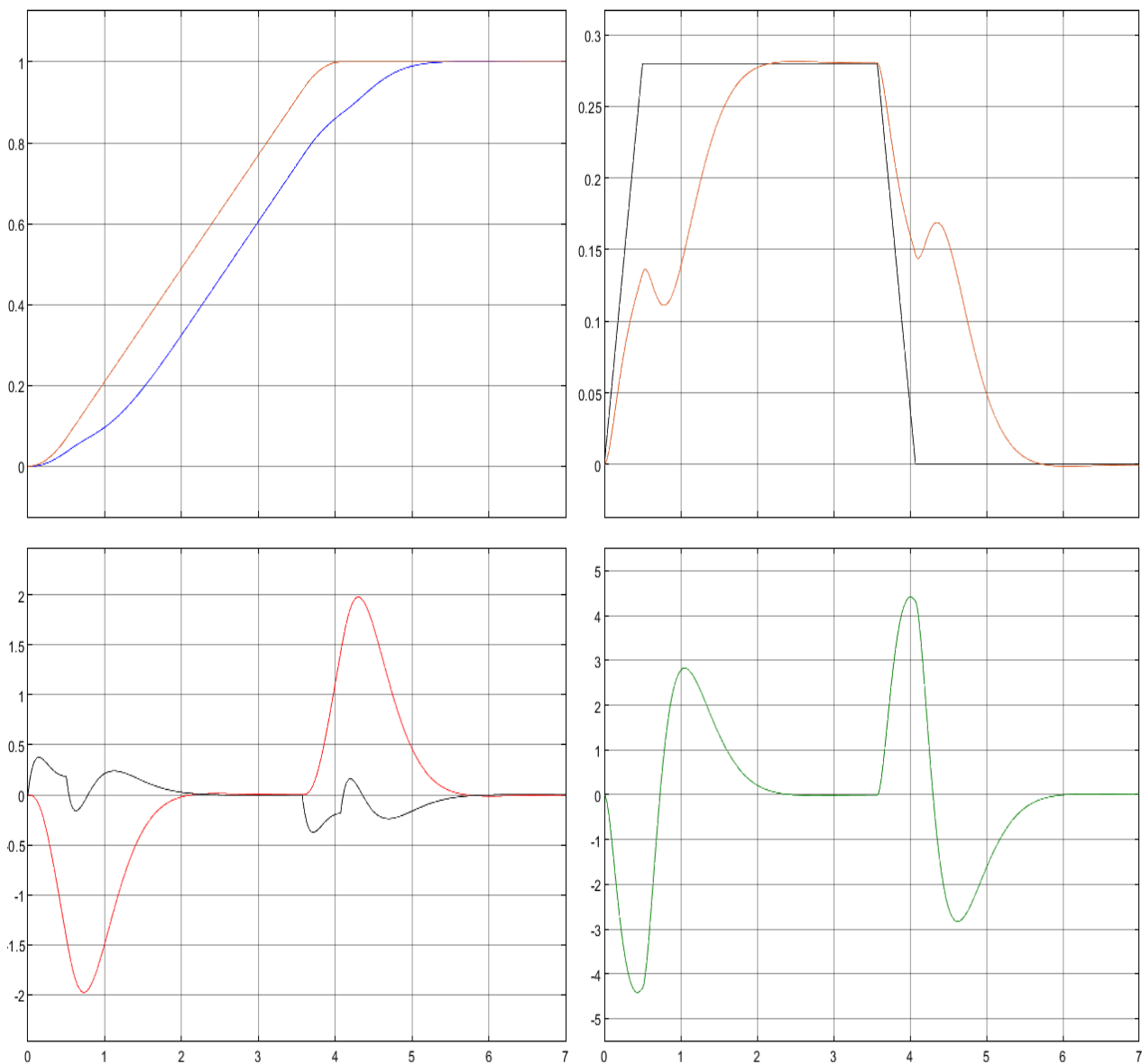


Рис. 1. Результаты моделирования системы

Результаты моделирования (рис. 1), показали, что использование модального регулятора в системе тележка – маятник позволяет устранить колебания груза. На результатах моделирования изображены графики: положения тележки (заданное значение – красным и текущее значение – синим); линейной скорости

тележки (черным – заданное значение скорости, красным – текущее); угол отклонения (красным – угол отклонения, черным – ускорение тележки); угловое ускорение (зеленым).

### Библиографический список

1. Бутенин, Н. В. Введение в аналитическую механику / Н. В. Бутенин. – М. : Наука, 1971.
2. Richard C. Dorf, Robert H. Bishop. Modern Control Systems (13th Edition) – Pearson education international, 2008.

## ШИМ-МОДУЛЬ ДЛЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НА БАЗЕ VectorCARD

**Т. А. Кривеньков,**  
**научный руководитель В. Н. Мещеряков**

*Липецкий государственный технический университет», Липецк, Россия;  
Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия  
(e-mail: drake9100@mail.ru)*

VectorCARD – российский аналог популярного микроконтроллера Texas Instruments. Архитектура процессора почти что повторяет зарубежный микроконтроллер.

Инициализируем ШИМ на ножках, которые управляют светодиодами. Для этого выберем нужную альт. функцию и активируем ее для каждой ножки.

```
void PWM_init (void)
{
    NT_COMMON_REG->GPIOPCTLB_bit.PIN5 = 2;           //альт. функция - PWM_A7
    NT_GPIOB->ALTFUNCSET_bit.ALTFUNCSET |= (1 << 5);

    NT_COMMON_REG->GPIOPCTLB_bit.PIN6 = 2;           //альт. функция - PWM_B7
    NT_GPIOB->ALTFUNCSET_bit.ALTFUNCSET |= (1 << 6);

    NT_COMMON_REG->GPIOPCTLB_bit.PIN7 = 2;           //альт. функция - PWM_A8
    NT_GPIOB->ALTFUNCSET_bit.ALTFUNCSET |= (1 << 7);

    NT_COMMON_REG->GPIOPCTLB_bit.PIN8 = 2;           //альт. функция - PWM_B8
    NT_GPIOB->ALTFUNCSET_bit.ALTFUNCSET |= (1 << 8);

    //Настроим модули ШИМ
    //сбрасываем все флаги аварий TZ и их прерываний
    NT_PWM7->TZCLR = 0x7;
    NT_PWM7->TZINTCLR_bit.TZINT = 1;
    NT_PWM8->TZCLR = 0x7;
    NT_PWM8->TZINTCLR_bit.TZINT = 1;
}
```

Рис. 1. Перевод ножек управления светодиодов в режим ШИМ

При настройке модуля ШИМ стоит особого внимания некоторые настройки:

- TBPRD – период счета таймера. В режиме счете вверх-вниз значение 10000 соответствует частоте ШИМ 5 кГц,
- TBPHS – фазовый сдвиг. Установлен в 0, если не исследуем трехфазовый ШИМ,
- STRMODE – режим счета таймер. Выставляется значением регистра
- CMPA – уставка сравнения. Фактически, является значением скважности ШИМ. Это то значение, при достижении которого счетчик будет обнуляться.

```
//Модуль PWM7 - диоды 3 и 4
NT_PWM7->TBPRD = 10000; //Период счета таймера - 10000, что соответствует частоте ШИМ 5 кГц при счете вверх-вниз
NT_PWM7->TBPHS_bit.TBPHS = 0x0000; //Фазовый сдвиг - 0
NT_PWM7->TBCTR = 0x0000; //Очищаем счетчик таймера

NT_PWM7->TBCTL_bit.PRDL = TB_SHADOW; //Загрузка периода в TBPRD при TBCTR = 0
NT_PWM7->TBCTL_bit.CTRMODE = TB_COUNT_UPDOWN; //Режим счета - вверх-вниз
NT_PWM7->TBCTL_bit.PHSEN = TB_DISABLE; //Запрещена загрузка счетчика TBCTR значением регистра фазы TBPHS при получении события синхронизации
NT_PWM7->TBCTL_bit.HSPCLKDIV = 100; //Второй делитель тактовой частоты - 1
NT_PWM7->TBCTL_bit.CLKDIV = 100; //Первый делитель тактовой частоты - 1
NT_PWM7->TBCTL_bit.SYNCOSEL = TB_CTR_ZERO; //Выдаём синхро-сигнал при TBCTR = 0

NT_PWM7->CMPCTL_bit.SHADOWMODE = CC_SHADOW; //Включить SHADOW для сравнения (загрузка уставки сравнения через теневого регистра)
NT_PWM7->CMPCTL_bit.LOADAMODE = CC_CTR_ZERO; //Загрузка уставки сравнения по нулю счетчика
NT_PWM7->CMPCTL_bit.SHADOWMODE = CC_SHADOW; //Включить SHADOW для сравнения (загрузка уставки сравнения через теневого регистра)
NT_PWM7->CMPCTL_bit.LOADAMODE = CC_CTR_ZERO; //Загрузка уставки сравнения по нулю счетчика

NT_PWM7->CMPA_bit.CMPA = 5000; //Уставка сравнения

NT_PWM7->AQCTLA = 0; //Для начала события для PWMA запрещены
NT_PWM7->AQCTLA_bit.ZRO = 1; //Обнуляем выход при нуле счетчика
NT_PWM7->AQCTLA_bit.CAU = 2; //Включаем выход при сравнении на возрастающей ветви счета (когда счетчик считает вверх)
NT_PWM7->AQCTLA_bit.CAD = 1; //Обнуляем выход при сравнении на спадающей ветви счета

//Для PWMB тоже самое, что для PWMА. Без инверсии. Инверсия далее в модуле MB
NT_PWM7->AQCTLB = NT_PWM7->AQCTLA; //Тоже самое
NT_PWM7->AQSFRC_bit.RLDCSF = 3; //Реагировать на программную привязку ног без теневого регистра
```

Рис. 2. Настройки модуля ШИМ

В результате работы ШИМ-модуля был получен график осциллографа открытия и закрытия транзисторов, приведенный на рис. 3. Он полностью соответствует эталонному виду рабочего процесса двигателя.

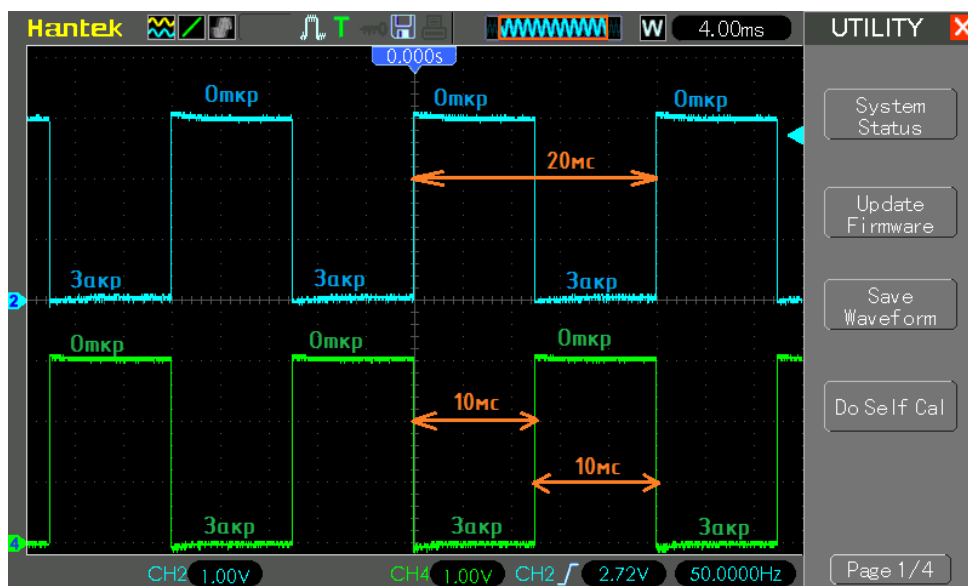


Рис. 3. Осциллограмма открытия и закрытия транзисторов



**Выводы.** Данная программа соответствует заявленным требованиям по рабочему процессу и позволяет воспроизвести его на отечественном оборудовании без потерь.

### **Библиографический список**

1. Ключев, В. И. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов / В. И. Ключев, В. М. Терехов. – М. : Энергия, 1980. – 144 с.
2. Шубенко, В. А. Асинхронный электропривод с тиристорным управлением / В. А. Шубенко, И. Я. Браславский, Р. Т. Шрейнер. – М. : Энергия, 1967. – 200 с.

## **ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАБОЧЕГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ**

**А. Ю. Кудинов, Р. В. Горшков, М. М. Левенцев**

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия  
(e-mail: kudinov2.000@list.ru)*

Одним из основных процессов по восстановлению работоспособности асинхронных и синхронных двигателей является восстановление первоначального состояния сердечника, а также обмотки статора.

Использование интеллектуального анализа данных при проведении операции по перемотке двигателей представляет собой ключевой этап извлечения информации из имеющихся источников. Эти наборы данных играют определяющую роль в методах оптимизации, что влияет на процесс повторной сборки для последующего анализа. Интеллектуальный анализ, осуществляемый в ходе перемотки двигателей, включает в себя контролируемое обучение, позволяющее искусственному интеллекту изучать разнообразные конструкции путем их классификации и распознавания образов. Этот процесс обеспечивает эффективное восстановление и оптимизацию работы двигателей в соответствии с различными циклами их эксплуатации.

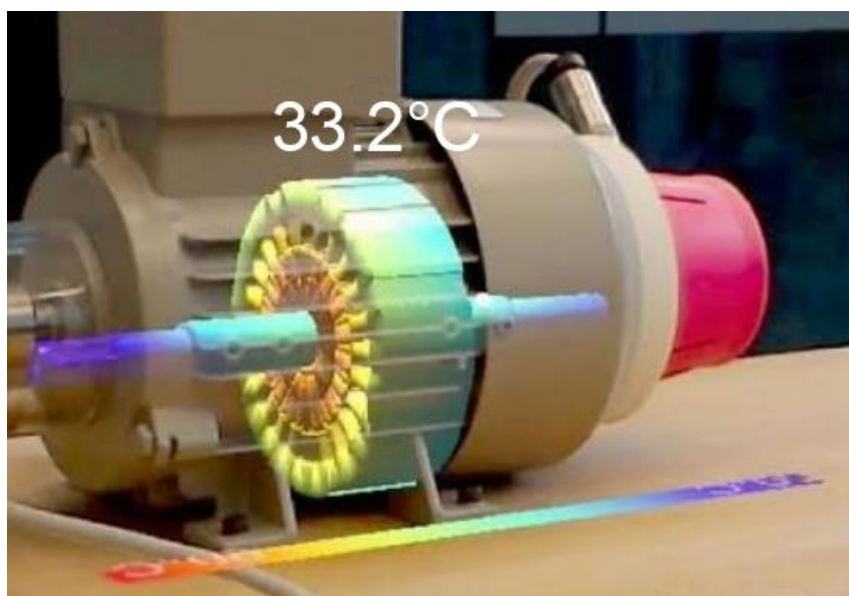
В связи с периодическим использованием двигателей, поток данных является циклическим, а не линейным. Для определения воздушного зазора в полости цилиндрической структуре сердечника статора предпочтительны бесконтактные методы сбора данных. Лазерный 3D-сканер выделяется эффективным инструментом, способным за короткое время обрабатывать обширные объемы

данных. Лазерные линейные сканеры, преобразуя данные в цифровую форму, обеспечивают контроль в высоком разрешении, особенно в идентификации характеристик сердечников, таких как измерение профиля воздушного зазора, выявление вмятин при ламинировании сердечника и других аспектов.

Просканировав и собрав все характеристики о состоянии двигателя, с использованием дополненной реальности появляется возможность воссоздать модель двигателя с доступом к ее осмотру в реальном времени как в режиме простоя, так и в рабочем режиме (рис. 1).

Цифровая модель может быть адаптирована следующими способами для повторной сборки, а именно:

- для получения ответа к вопросу о том, следует ли восстанавливать изделие или утилизировать его, предоставив новое на замену. В мастерской по ремонту электрооборудования это достигается путем проверки повреждения слоистости сердечника статора; влияния перегорания и т.д.
- оптимизация параметров цикла для дальнейшего использования двигателя.



**Рис. 1. Модель двигателя в дополненной реальности**

Таким образом, применение интеллектуального анализа данных и 3D-моделирования в процессе восстановления электрических двигателей представляет собой перспективную альтернативу, которая способствует оптимизации и повышению эффективности данной процедуры. Данные методы не только обеспечивают точность восстановления, но и позволяют адаптироваться к разнообразным условиям эксплуатации, что является важным аспектом в современной электроэнергетике.

## Библиографический список

1. Зарандия, Ж. А., Электрические машины [Электронный ресурс] : учебное пособие / Ж. А. Зарандия, А. В. Кобелев. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2020.
2. Perez L., Rodriguez I., Usamentiaga R., Garcia D. F. Robot Guidance Using Machine Vision Techniques in Industrial Environments: A Comparative Study, Sensors, vol. 16, no. 3, pp. 1 – 26, 2016.

## ФАЗОСДВИГАЮЩИЙ ТРАНСФОРМАТОР КАК УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ ПОТОКАМИ АКТИВНОЙ И РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТЕЙ

**А. А. Лавров,**

**научный руководитель д-р техн. наук, профессор В. И. Зацепина**

*Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия*

*(e-mail: alavrov1404@gmail.com)*

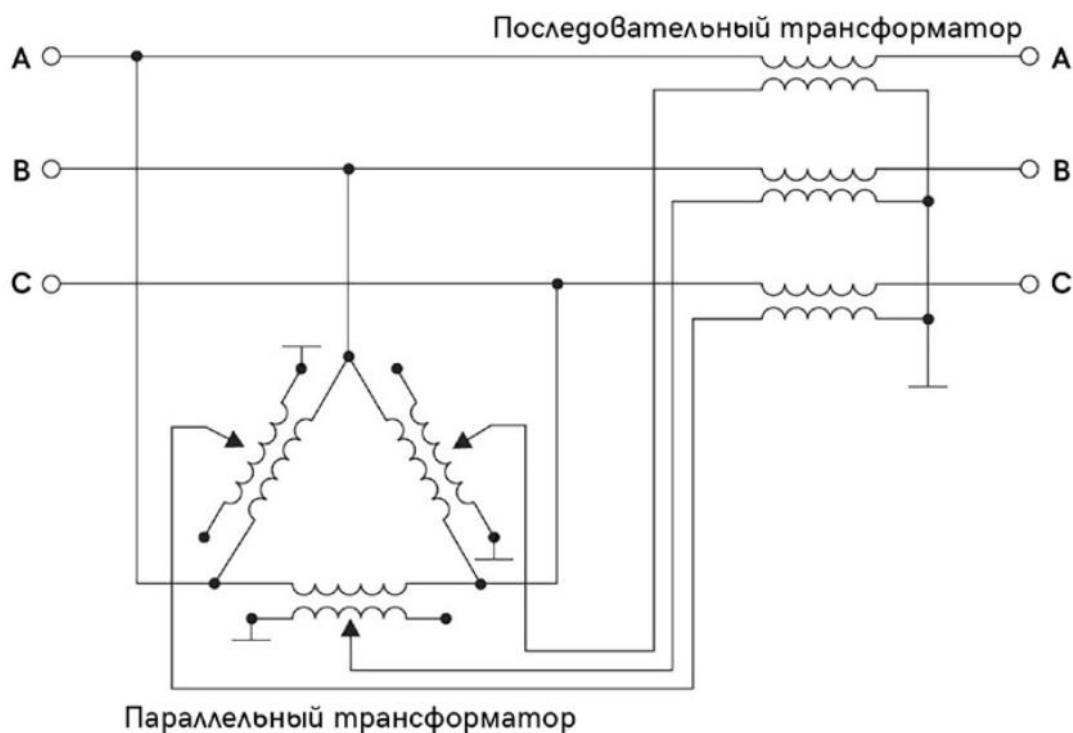
При естественном распределении потоков активной и реактивной мощностей в энергосистеме часто возникают потери, связанные с перегрузом маломощных линий электропередачи, и недогрузкой (ограничением пропускной способности) мощных линий. Потокораспределение мощностей в системе электроснабжения практически неконтролируемо, что потенциально может приводить к негативным последствиям. Для разгрузки маломощных линий электропередачи традиционно строятся новые параллельные линии. Однако, такой способ сложен с точки зрения необходимости проектирования новых трасс ЛЭП. Альтернативным способом управления потоками мощностей в энергосистеме является использование фазоповоротного трансформатора (ФПТ).

Потокораспределение мощности в цепях переменного тока напрямую зависит от угла фазового сдвига между векторами напряжения в начале и конце линии электропередачи. Устройство фазосдвигающего трансформатора позволяет использовать эту особенность, принудительно изменяя величину фазового угла в линии электропередачи, что позволяет перераспределить потоки мощность в энергосистеме более рационально.

Фазоповоротный трансформатор представляет собой параллельный и последовательный трансформаторы; первичные обмотки первого соединяются по схеме «треугольник», и напряжения во вторичных обмотках сдвинуты относительно фазных на 90 градусов. Каждая вторичная обмотка соединена в блок

и заземлена. На последовательном трансформаторе, первичные обмотки которого включены «звездой» с заземленной нейтралью, вторичные обмотки включаются в разрыв фазных проводов линии электропередачи, что в итоге сдвигает вектор напряжения на 90 градусов. Величину угла между векторами напряжения на входе и на выходе трансформатора можно менять, манипулируя положением переключателя отпаяк.

Принципиальная схема устройства фазоповоротного трансформатора представлена на рис. 1.



**Рис. 1. Устройство фазоповоротного трансформатора**

Фазоповоротные трансформаторы предназначены для широкого диапазона решений в энергосистеме: разгрузка маломощных линий электропередачи, повышение пропускной способности ЛЭП большой мощности, и, как следствие, повышение надежности системы электроснабжения. ФПТ способен компенсировать сдвиг фаз, который возникает на токоограничивающих реакторах при их срабатывании при коротких замыканиях.

Использование ФПТ позволяет разгрузить высоконагруженные участки энергосистемы, а так осуществлять контроль и регулировку распределения потоков активной и реактивной мощностей без необходимости перепроектирования значительного участка энергосистемы. В конечном итоге, использование ФПТ благоприятно влияет на создание и поддержание надежного и устойчивого режима работы энергосистемы.

## Библиографический список

1. Добрусин, Л. Тенденции применения фазоповоротных трансформаторов в электроэнергетике / Л. Добрусин // Силовая электроника. – 2012. – Т. 4, № 37. – С. 60 – 66. – EDN RBMEHJ.
2. Применение фазоповоротного трансформатора в схеме выдачи мощности Волжской ГЭС / В. А. Крицкий, Г. А. Евдокунин, А. С. Брилинский, Л. С. Смирнова // Электрические станции. – 2018. – № 12(1049). – С. 26 – 30. – EDN VRUTZW.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕИ

**Д. И. Лагутин, Г. П. Ильин**

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия  
(e-mail: dima.lagutin.2006@mail.ru)*

Солнечные батареи – неотъемлемая часть современного мира, используемые для получения экологически чистой энергии из солнечного света. Они имеют широкий спектр применений в различных отраслях, включая промышленность, транспорт и бытовую сферу.

Солнечная батарея состоит из множества соединенных определенным образом друг с другом фотоэлементов. Основой фотоэлемента является кристалл кремния. Кремний в различных формах очень распространен в природе.

Полученные пластины кремния нанесены с одной стороны слой бора, а с другой – фосфора. В местах контакта кремниевой пластины с бором имеется избыток электронов. На другой стороне по границе кремниевой пластины с фосфором недостает электронов. Там образуются «дырки». Такую стыковку границ с избыточным количеством электроном и их недостатком называют *n-p* переходом (рис. 1).

Солнечная энергия является восстанавливаемым источником энергии. Сейчас ученые по всему миру занимаются разработкой систем, которые изменяют возможности использования солнечной энергии. Тем не менее использование солнечных батарей имеет некоторые особенности:

– пониженная эффективность в пасмурную или облачную погоду. Солнечные батареи не могут генерировать достаточное количество энергии при недостатке солнечного света. Решением данной проблемы является установка и хранение энергии, таких как аккумуляторы. Они будут функционировать и запасать энергию в периоды низкой солнечной активности, чтобы использовать ее в дальнейшем;

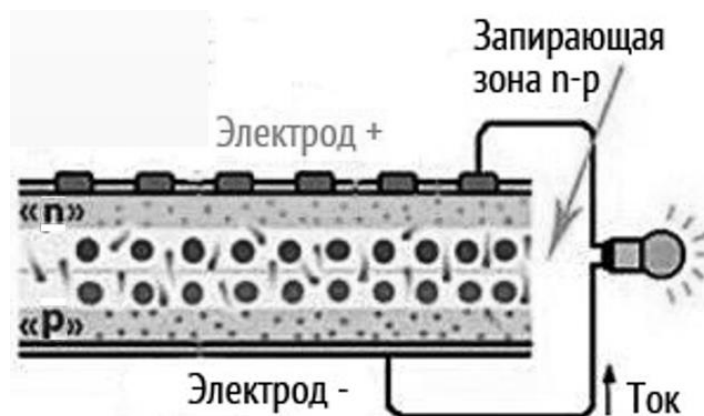


Рис. 1. Схема строения солнечной батареи

- ограниченный временной период работы. Как правило, солнечные батареи работают только в светлое время суток. Для этого сохраняют излишки энергии. Если солнечная батарея производит больше энергии, чем необходимо, ее можно сохранить для использования в ночное время или в периоды недостатка солнечного света;

- высокие затраты на установку. Начальные расходы на покупку и установку солнечных батарей могут быть значительными для отдельных потребителей. Поэтому государство предлагает льготы и поощрения. Многие страны предоставляют налоговые и финансовые стимулы для установки солнечных батарей, что делает их доступными для большего количества людей;

- значительный размер и ограничения установки. Солнечные панели занимают много места на крыше или участке, а также требуют определенных условий для монтажа. Для того, чтобы у каждого была солнечная панель, устанавливают гибридные солнечные системы. Вместо фиксированных панелей, гибридные системы используют солнечное отражение, которое повышает эффективность панелей и позволяет экономить место;

- техническое обслуживание и ремонт. Солнечные батареи могут иметь поломки или требовать регулярного обслуживания. Лучше всего обращаться к проверенным компаниям. Они смогут предложить коммерческую поддержку, техническое обслуживание и долгосрочные гарантийные услуги для вашей солнечной батареи.

Таким образом, солнечные панели максимально используют бесконечное количество энергии от Солнца. Это означает, что производство электричества из солнечных панелей не требует использования ограниченных природных ресурсов, таких как нефть или газ. А значит, солнечная энергия помогает снизить зависимость от традиционных источников энергии, которые оказывают негативное влияние на нашу Землю.

В целом, солнечные панели – это более экологически чистый, устойчивый и стабильный способ получения энергии. Внедрение солнечных панелей в нашу жизнь поможет уменьшить негативное воздействие на окружающую среду, сэкономить конечные природные ресурсы и обеспечить доступ к безопасной и дешевой энергии.

Солнечная энергия также является хорошим решением для отдаленных и недоступных районов, где подключение к энергетическим сетям является проблемой.

Стоимость электроэнергии вместе с использованием панелей почти в 2 раза меньше. По окупаемости оборудование займет несколько лет. Тем не менее, применение солнечных батарей способствует повышению экологической безопасности окружающей среды.

### **Библиографический список**

1. Применение бионического подхода при синтезе систем управления многомерными объектами высокой размерности / С. В. Фролов, А. А. Коробов, А. Ю. Потлов, Т. А. Фролова // Математические методы в технологиях и технике. – 2021. – № 6. – С. 67 – 70.

2. Градиентный метод нейросетевого управления многосвязными нелинейными нестационарными стохастическими системами / С. В. Фролов, А. Ю. Потлов, А. А. Коробов, К. С. Савинова // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2021. – № 5. – С. 41 – 48.

## **АНАЛИЗ ПРИБОРОВ УЧЕТА, ПРЕДСТАВЛЕННЫХ НА РЫНКЕ ОРЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

**С. Ю. Лобанов, Р. П. Беликов, А. И. Псарев**

*Орловский государственный аграрный университет  
имени Н. В. Парахина, Орел, Россия  
(e-mail: Lob4now.sergey@yandex.ru)*

На рынке России представлены различные приборы учета электроэнергии, которые могут применяться при учете электроэнергии в многоквартирных домах. Произведем анализ счетчиков электроэнергии, представленных на рынке Орловской области. Цены и технические параметры приборов учета электроэнергии принимались согласно [1 – 3].

Основные технические и экономические характеристики счетчиков электроэнергии представлены в табл. 1.

## 1. Технические и экономические характеристики счетчиков электроэнергии

Название прибора учета	Ном/макс ток, А	Класс точности	Номинальное напряжение В	Место установки	Степень защиты	Кол-во тарифов	Способ крепления	Работа прибора учета в системе АИИСКУЭ	Возможность учета эл. энергии за разными потребителями	Интервал поверки / ср. срок службы	Цена, р.
Однофазные											
Ртуть 201.5	5/60	1.0	220...230	В шкафах / в щитках	IP51	Однотарифный	Din-рейка	Да	Нет	16 год / 30 лет	2830
Энергомера CE101 R5.1 145 M6	5/60	1.0	220...230	В шкафах / в щитках	IP51	Однотарифный	Din-рейка	Нет	Нет	16 год / 30 лет	1615
Тайпит НЕВА 101 1S0 230V	5/60	1.0	220...230	В шкафах / в щитках	IP 51	Однотарифный	Винты	Да	Нет	16 год / 30 лет	1220
ТАЙПИТ НЕВА МТ	5/60	1.0	220...230	В шкафах / в щитках	IP 51	Четырехтарифный	Din-рейка	Да	Нет	16 год / 30 лет	2135
ФОБОС 1	5/60	05...1.0	220...230	В шкафах	IP54	Четырехтарифный	Din-рейка	Да	Нет	16 год / 30 лет	5500
INCOTEX Меркурий 201.7	5/60	1.0	220...230	В шкафах / в щитках	IP 51	Однотарифный	Din-рейка	Нет	Нет	16 год / 30 лет	2560
Трехфазные											
Ртуть 234 ART-01 PR	5/100A	05...1.0	220...230	В шкафах / в щитках	IP 51	Четырехтарифный	Din-рейка	Да	Нет	16 год / 30 лет	12 500
Ртуть 231 ART-01ш	5/60 А	1.0...2.0	230...400	Помещение / в шкафу / в щитке	IP 51	Четырехтарифный	Din-рейка	Да	Нет	16 год / 30 лет	5727
Энергомера CE 301 R33 146-JAZ	5/100A	1.0	230-380	В шкафах / в щитках	IP 50	Четырехтарифный	Панель Din-рейка; Винты	Да	Нет	10 год / 30 лет	10 533
INCOTEX Меркурий 230 AM-02	10/100A	1.0	230	В шкафах / в щитках	IP20	Однотарифный	Винты	Нет	Нет	10 год / 30 лет	5189
INCOTEX Меркурий 230 ART-02 PQRSIN	10/100A	1.0	230...400	В шкафах / в щитках	IP 51	Четырехтарифный	На рейку TH-35; На винты	Да	Нет	10 год / 30 лет	11 298

По результатам данных, представленных в табл. 1, можно сделать вывод, что наименьшую стоимость среди однофазных прибор учета имеет НЕВА 101 1S0, наибольшую стоимость ФОБОС 1, так как он многотарифный, имеет высокую степень защищенности, с дистанционной передачей сигнала о нарушениях в работе, низкую погрешность измерения и продолжительный меж-



поверочный интервал. При этом не все однофазные приборы учета, представленные в табл. 1, могут быть интегрированы в систему АИИ СКУЭ.

Среди трехфазных счетчиков электроэнергии наименьшую стоимость прибора учета имеет INCOTEX Меркурий 230 АМ-02, наибольшую стоимость Меркурий 234 ART-01 PR. Он имеет наибольший интервал поверки, высокую степень защищенности, разработан для одно-, двунаправленного учета различных параметров электроэнергии, функцию замены встроенного питания без дополнительной поверки, отличается функциональными возможностями, в модификациях отличающихся корпусами (без сменных модулей, с одним сменным модулем, с двумя сменными модулями), способом включения (непосредственного или трансформаторного), номинальным напряжением, базовым (номинальным) и максимальным током, а также функциональными возможностями, связанными с метрологически незначимым (прикладным) программным обеспечением.

Также стоит отметить, что не один из приборов учета представленный в вышеуказанной таблице не может учитывать электроэнергию за разными потребителями.

По результатам анализа можно отметить, что не один из приборов учета не имеет возможности учета электроэнергии за общедомовые нужды многоквартирного дома с расчетом на индивидуальное потребление, т.е. в современных приборах учета не реализован механизм «сколько потребил – столько заплатил».

### **Библиографический список**

1. Автоматизированная система учета и контроля электроэнергии / Л. П. Величко, Л. П. Качура, Ю. Н. Метлицкий, В. О. Чернышев // Известия ТРТУ. – 2003. – № 3(32). – С. 150 – 155.
2. Гришагина, Н. М. Автоматизированная система коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ) / Н. М. Гришагина, Э. Г. Гарайшина // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – Т. 16, № 12. – С. 297 – 299.
3. Дягилев, А. А. Автоматизированная система коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ) / А. А. Дягилев, П. П. Новиков, В. В. Бутушин // Молодой ученый. – 2018. – № 7(193). – С. 33 – 36.

# ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЙРОСЕТЕВЫХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ РАННЕГО ОБНАРУЖЕНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

**М. А. Мастепаненко, А. С. Шалагинов, И. Н. Воротников**

*Ставропольский государственный аграрный университет»,*

*Ставрополь, Россия*

*(e-mail: shalaginov.andrey@gmail.com)*

Одним из показателей эффективности агропромышленного комплекса (АПК) является энергоэффективность отраслей и производств, его составляющих. К числу способов повышения энергоэффективности предприятия относятся оптимизация режимов эксплуатации электрооборудования. Важную роль в этом играет раннее обнаружение, до фактического отказа, неисправностей электрооборудования, находящегося в эксплуатации предприятия. Раннее обнаружение неисправностей позволяет спрогнозировать остаточный ресурс электрооборудования, выполнить коррекцию программы технического обслуживания и ремонта, своевременно вводить в эксплуатацию резерв и, тем самым, избегать аварийных ситуаций, простоя оборудования и, связанных с этим, экономических потерь. Кроме того, работа электрооборудования в длительных доаварийных режимах, зачастую связана с повышенным энергопотреблением, что приводит к дополнительным финансовым потерям. Так, в [1] приводится расчет, в соответствии с которым количество потерянной электроэнергии в денежном эквиваленте за год эксплуатации асинхронного двигателя с поврежденным подшипником сопоставимо со стоимостью самого двигателя.

Алгоритм обнаружения неисправностей и их типа в общем случае сводится к поиску аномалий в массиве данных, полученных от датчиков, установленных на оборудовании. Для электрооборудования предпочтительным является применение цифровых датчиков напряжения и потребляемого тока, так как их наличие позволяет организовать удаленный мониторинг без непосредственного доступа к электрооборудованию. Для обнаружения аномалий используются различные методы. Выбор того или иного метода зависит от задачи, характера аномалии и других факторов. Не существует идеального метода, применение которого решает все задачи. С развитием цифровых сигнальных процессоров (DSP), распространение получили классические алгоритмы, основанные на спектральном анализе сигналов тока и напряжения. Общая идея метода заключается в построении спектральной модели на основе быстрого преобразования Фурье, которая описывает данные. Далее выполняется поиск точек, которые

сильно отклоняются от модели, т.е. аномалий. Данный подход эффективен, если анализ выполняется на основе размеченных данных, т.е. известен характер отклонений для конкретных неисправностей. Однако для него существует проблема получения достаточного количества данных для разметки и, как следствие, ограниченное количество обнаруживаемых аномалий. Если же разметка данных отсутствует, применяют скрытые марковские модели (НММ). Проблемой в данном случае являются большие временные затраты, из-за использования трудоемких методов оптимизации.

В настоящее время, все большее развитие получают нейросетевые алгоритмы. Среди них особое место занимают алгоритмы обучения без учителя (unsupervised learning) [2]. Алгоритмы обучения нейронных сетей без учителя используют данные без классификации или разметки. Особенностью нейронных сетей данного класса является то, что для корректного обучения должны использоваться только «нормальные» данные без аномалий. Для ряда задач получить такие данные сложно. Однако, в этом случае, наличие «нормальных» данных не является проблемой, так как они могут быть получены с датчиков заведомо исправного оборудования. При этом использование нейросетевых алгоритмов позволяет выявлять аномалии при неизвестных закономерностях, повышает устойчивость к шумам во входных данных, снимает временные ограничения классических алгоритмов. Из недостатков следует отметить недостаточность объяснительной компоненты, т.е. для пользователя нейросеть представляет собой «черный ящик» с данными на входе и выходе. В ряде источников сообщается об успешном внедрении нейронных сетей с обучением без учителя, в целях выявления аномалий в работе оборудования, в том числе, в объектах ядерной энергетики.

**Вывод.** Снижение стоимости внедрения нейросетевых алгоритмов делает их перспективными и для широкого использования в диагностике оборудования агропромышленного комплекса.

### Библиографический список

1. Диагностика неисправностей асинхронных двигателей на основе спектрального анализа токов статора / Н. Р. Сафин, В. А. Прахт, В. А. Дмитриевский, В. М. Казакбаев // Энергобезопасность и энергосбережение: диагностика и надежность оборудования. – 2014. – № 3(57).
2. Николенко, С. Глубокое обучение / С. Николенко, А. Кадури, Е. Архангельская. – СПб. : Питер, 2023. – 408 с.

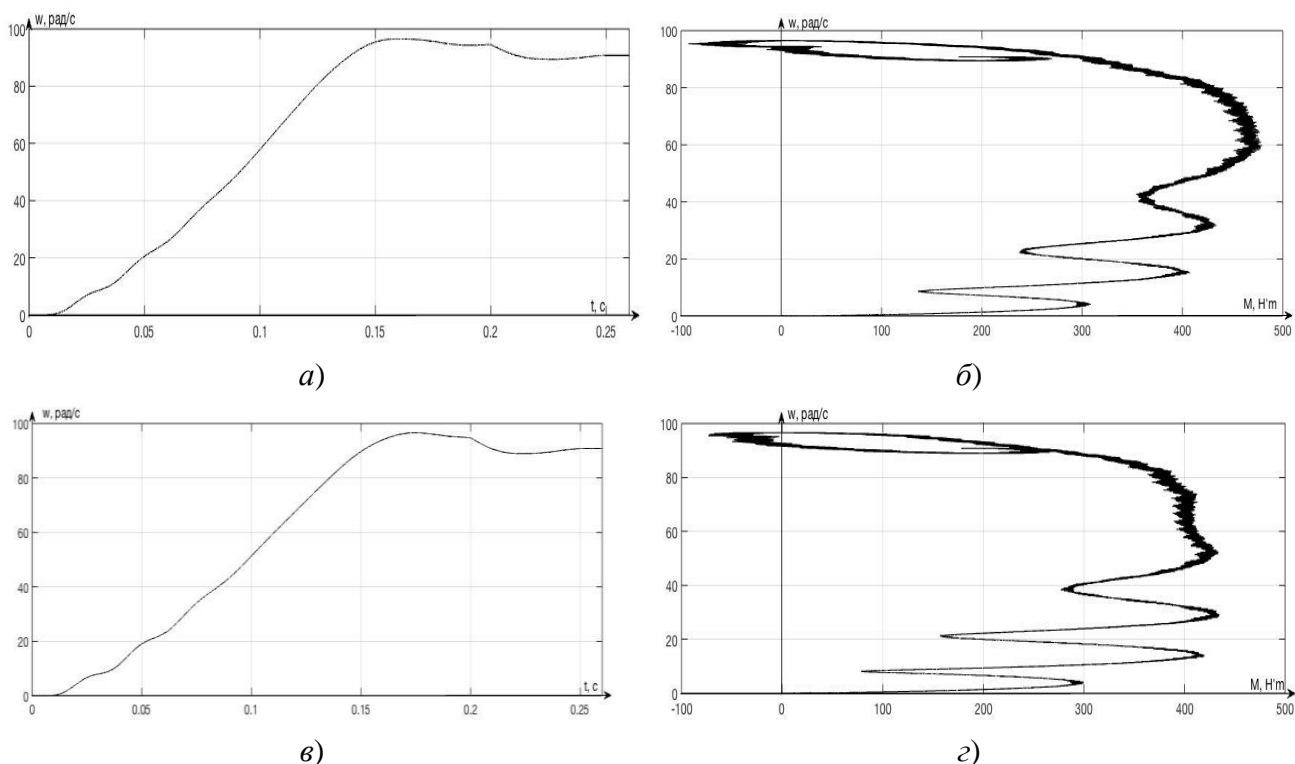
# ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

В. Н. Мещеряков, А. С. Марков

*Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия*

*(e-mail: malex0796@gmail.com)*

Системы электродвигателей переменного тока могут быть усовершенствованы за счет реализации системы коррекции мгновенных значений частоты тока статора с использованием наблюдателя ускорения [1]. Исследование переходных процессов разработанного электропривода проводилось с помощью компьютерного моделирования в среде Simulink (Matlab) для системы электропривода. В цепь автономного инвертора напряжения (АИН) преобразователя частоты был добавлен силовой ключ с управляемым сигналом от внешнего наблюдателя по ускорению. Расчеты выполнены, согласно [2]. Действие системы коррекции позволяет поддерживать требуемое значение исследуемых характеристик с отклонениями только в моменты переключений.



**Рис. 1. Результаты моделирования переходных характеристик в среде Matlab Simulink:**

*а, б – частота вращения и механическая характеристика без коррекции в цепи АИН;*

*в, г – частота вращения и механическая характеристика*

*с добавлением коррекции в цепь АИН*

Таким образом, система коррекции АД в случае ее построения на основе обратной связи по ускорению позволяет улучшить динамические и энергетические характеристики электропривода, стабилизируя пуск вала двигателя по заданному моменту. Эффективность корректирующего воздействия достигается за счет точного определения необходимого корректирующего сигнала, влияющего на установку мгновенных значений открытия силового ключа в цепи АИН.

### **Библиографический список**

1. Индуктивный электропривод с частотно-токовым регулированием и системой коррекции сигналов задания амплитуды и частоты тока статора / В. Н. Мещеряков, А. А. Шпиганович, О. В. Мещерякова, В. В. Данилов // Известия вузов Черноземья. – 2018. – № 1. – С. 21 – 26

2. Пономарев, Ю. Г. Повышение эффективности систем частотно-индуктивного электропривода транспортных механизмов «Разработка и исследование энергоэффективных электроприводов средств малой механизации» : дис. ... канд. техн. наук: 05.09.03 / Ю. Г. Пономарев. – Вятский государственный университет. – Киров, 2018 – 187 с.

## **ФОРМИРОВАНИЕ ПРИНЦИПОВ ОБУЧЕНИЯ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ПРОВАЛОВ НАПРЯЖЕНИЯ**

**В. Н. Минина,**

**научный руководитель д-р техн. наук, профессор В. И. Зацепина**

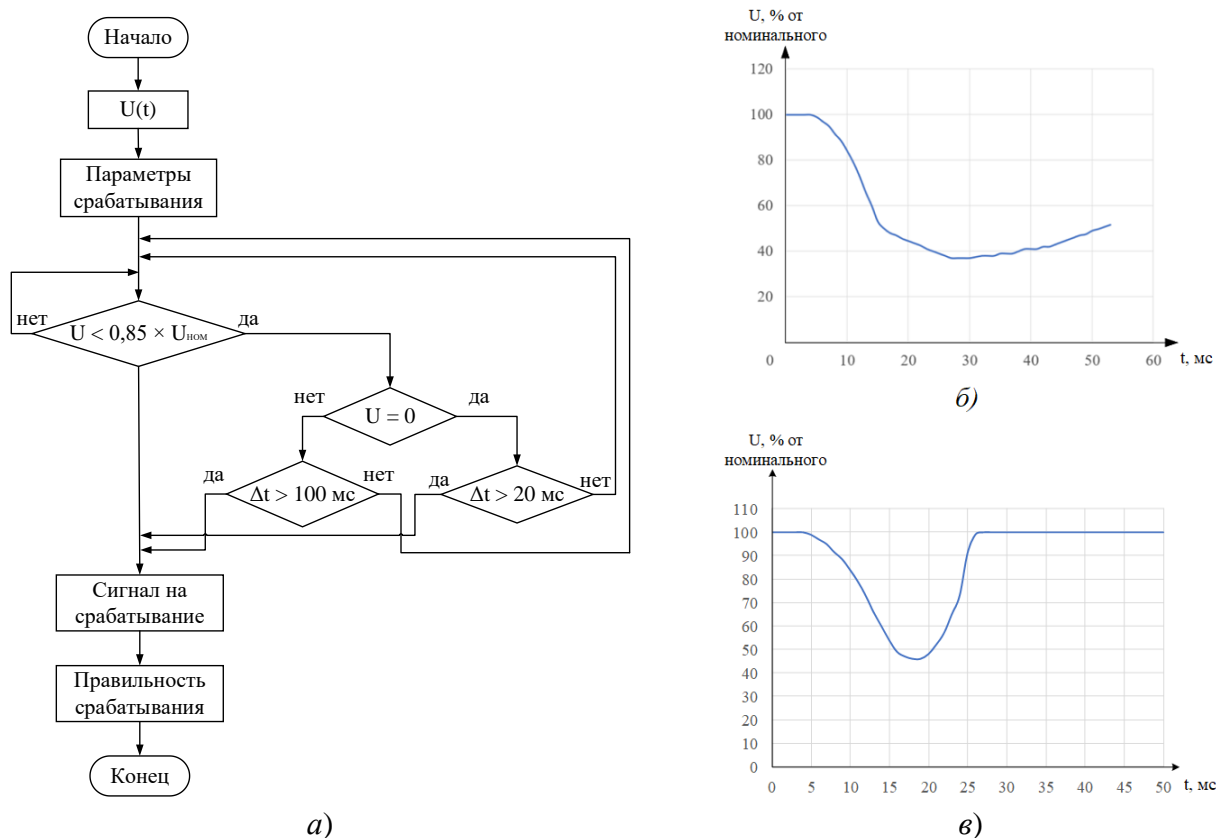
*Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия*

*(e-mail: victoria.nya31@yandex.ru)*

**Введение.** Для обеспечения надежной работы электроприемников с высокими требованиями к качеству электроэнергии используют устройства, работа которых направлена на минимизацию последствий отклонения параметров энергосистемы от нормальных [1]. В процессе цифровизации энергетического комплекса возникает вопрос о повышении эффективности работы энергосистемы с помощью современных интеллектуальных технологий. *Цель работы* – повысить качество электроэнергии с использованием нейронной сети. *Задачи:* сформулировать принципы обучения нейронной сети, имитирующей срабаты-

вание быстродействующего автоматического ввода резерва (БАВР) при кратковременных нарушениях электроснабжения.

**Основная часть.** При провале напряжения, нарушающем работу оборудования, возможно использование БАВР для повышения напряжения. Для срабатывания БАВР необходима подача сигнала на тиристорный коммутатор после обнаружения снижения параметров энергосистемы ниже определенных значений. Коммутатору требуется время на синхронизацию, после чего осуществляется срабатывание БАВР. Данные операции увеличивают длительность провала напряжения, притом достижение меньшего времени срабатывания возможно. Для глубокого обучения нейросети с подкреплением необходима информация с измерительных органов защит [2]. При обработке входных данных нейросеть должна установить наличие необходимых для срабатывания условий или же их отсутствие и выполнить действие подачи сигнала на срабатывание. Для устранения провала напряжения достаточно ввода характеристики напряжения от времени (рис. 1). Проблему улавливания синхронизма коммутатора можно решить, осуществив предиктивный анализ состояний энергосистемы, вызывающих отклонение ее параметров.



**Рис. 1. Построение нейросети:**

*а* – упрощенный алгоритм работы нейросети; *б* – характеристика провала напряжения; *в* – характеристика провала напряжения при срабатывании защит

**Заключение.** Использование имитационной модели БАРВ позволяет достигнуть полного цикла времени срабатывания 17 мс. Метод глубокого обучения нейронной сети с подкреплением дает возможность коррекции ошибок и повышает точность срабатывания БАРВ, благодаря чему качество электроэнергии остается высоким. Применение машинного обучения в релейной защите и автоматике и создание сложных нейросетей – важный шаг на пути цифровизации в электроэнергетике.

### **Библиографический список**

1. Вагин, Г. Я. О необходимости учета провалов и кратковременных прерываний напряжения при проектировании и эксплуатации систем электроснабжения / Г. Я. Вагин, А. А. Севостьянов, С. Н. Юртаев // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2021. – № 2. – С. 12 – 20.
2. Дементий, Ю. А. Обучение многомерных органов релейной защиты / Ю. А. Дементий // Релейная защита и автоматизация. – 2021. – № 2(43). – С. 16 – 21.

## **ЦИФРОВАЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА НЕПРЕРЫВНОГО МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ МАСЛОНАПОЛНЕННОГО ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

**С. В. Мишуков, Н. А. Ставицкая,  
научный руководитель канд. техн. наук, доцент И. Н. Воротников**

*Ставропольский государственный аграрный университет,  
Ставрополь, Россия  
(e-mail: stas.mishukov.92@mail.ru)*

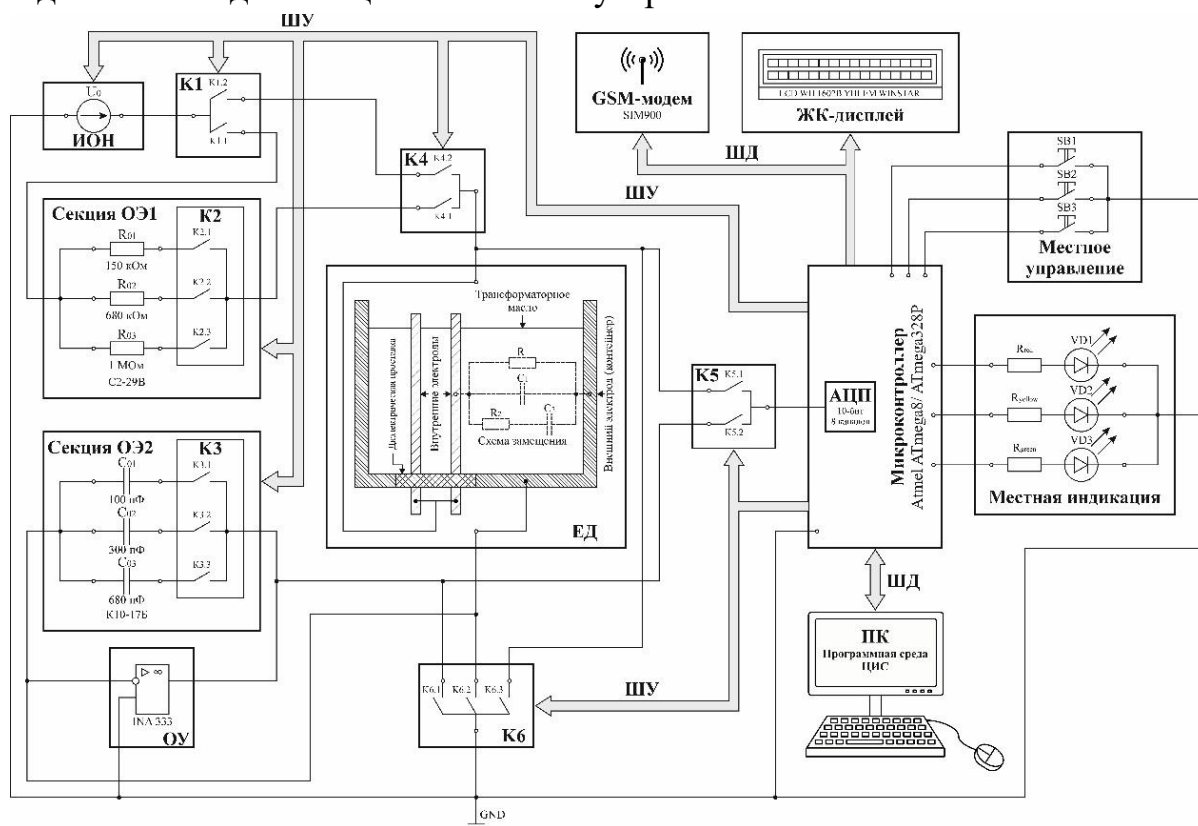
Вопрос энергосбережения и повышения энергоэффективности является одним из важнейших для страны, что закреплено на законодательном уровне в рамках Федерального закона «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23.11.2009 № 261-ФЗ. В силу его реализации предусматривается проведение мер по модернизации маслonaполненного электроэнергетического оборудования, в частности, применения современных систем мониторинга и контроля его состояния.

Проведенные исследования сотрудников ФГБОУ ВО «Ставропольский ГАУ» в работах [1] показали, что наиболее приемлемой диагностической средой для определения технического состояния электрооборудования является

трансформаторное масло, идентификация электрофизических свойств которого позволяет выявить до 70% возможных дефектов, связанных со старением, выделением газов, увлажнением, окислением, загрязнением и др. При этом контроль свойств трансформаторного масла осуществляется неэффективными методами с необходимостью отбора проб и проведения исследований в лабораторных условиях, что требует значительных затрат времени и трудовых ресурсов энергоснабжающих предприятий.

Решение указанной проблемы возможно с помощью предлагаемой цифровой измерительной системы (ЦИС), выполняющей контроль электрофизических свойств трансформаторного масла в режиме реального времени без необходимости отбора проб, что позволит предупредить непредвиденные отказы и сократить дополнительные затраты на их аварийное устранение.

Принцип работы ЦИС заключается в применении встраиваемых емкостных датчиков, позволяющих по заданному алгоритму с помощью отдельного вторичного измерительного блока (рис. 1) определить электрофизические свойства трансформаторного масла для каждой единицы электроэнергетического оборудования. При этом основными свойствами для системы являются влагосодержание и наличие примесей в процентном соотношении, которые позволяют сделать вывод об общем состоянии устройства.



**Рис. 1. Функциональная схема вторичного измерительного блока ЦИС:**

ИОН – источник опорного напряжения; ОУ – операционный усилитель;  
 ЕД – емкостной датчик; К1-К6 – группы контактов; ШУ – шина управления;  
 АЦП – аналого-цифровой преобразователь; ШД – шина данных



Исследования опытного образца вторичного измерительного блока показали снижение результирующей погрешности измерения влагосодержания до  $\pm 0,35\%$ , что свидетельствует о высокой точности системы и ее конкурентоспособности в сравнении с известными техническими решениями [2]. При этом внедрение указанной системы позволит повысить эффективность систем диспетчеризации энергоснабжающих предприятий, а также реализовать основные задачи по совершенствованию электрических сетей и цифровизации энергетического сектора промышленности.

### **Библиографический список**

1. Оценка влагосодержания в диэлектриках с использованием четырехэлементной модели емкостных датчиков / И. Н. Воротников, М. А. Мастепаненко, Ш. Ж. Габриелян, С. В. Мишуков // Электротехника. – 2020. – № 7. – С. 17 – 20.
2. Разработка и исследование опытного образца испытательной установки для оценки качества электроизоляционных материалов / И. Н. Воротников, М. А. Мастепаненко, Ш. Ж. Габриелян, С. В. Мишуков // Электротехника. – 2022. – № 7. – С. 14 – 18.

## **СРЕДНЕСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ г. АЛМАТЫ**

**М. Е. Морозов, М. И. Пшиков**

*Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, Алматы, Казахстан  
(e-mail: mx.morozov00@gmail.com)*

Прогнозирование потребления электроэнергии является важнейшей задачей энергогенерирующих компаний и потребителей с целью предотвращения потерь и повышения эффективности энергосистемы. Однако это сложная задача из-за различных факторов, влияющих на потребление энергии. Разработка методики прогнозирования потребления электроэнергии с использованием методов математического и инструментального моделирования [1] является важной научно-технической задачей обеспечения стабильной работы энергосистемы.

В рамках исследования была собрана информация о ежемесячном потреблении электроэнергии и метеоданные по городу Алматы с 2011 по 2022 год. Работа проводилась при помощи языка программирования Python

(v. 3.11.1) с использованием различных библиотек, таких как Numpy, Pandas, Matplotlib, Seaborn, Scikit-learn, XGBoost и CatBoost.

Был проанализирован исходный набор данных, предварительно их обработав, а также определены признаки и целевая переменная. Чтобы определить значимость признаков, была построена корреляционная матрица. Затем обработанный набор данных был разделен на обучающую и тестовую выборки в соотношении 80:20. Для построения моделей были применены алгоритмы машинного обучения [2], перечисленные в таблице 1. Средняя абсолютная процентная ошибка (MAPE) и коэффициент детерминации ( $R^2$  score) были определены в качестве метрик качества.

Модель на основе алгоритма Decision Tree Regressor показала лучший результат прогнозирования с ошибкой 8,22%, что означает надежность прогноза с точностью 91,78% и долей объяснения признаков целевого результата в 0,57. Следовательно, модель машинного обучения, разработанная на основе алгоритма деревьев решений, считается достаточно точной.

### 1. Результаты показателей качества моделей

Модель	Метрики качества прогноза	
	MAPE	$R^2$ score
Линейная регрессия (Linear Regression)	10,72	0,45
К-ближайших соседей (K-Nearest Neighbors)	10,00	0,45
Дерево решений (Decision Tree)	8,22	0,57
Случайный лес (Random Forest)	9,44	0,54
Линейная регрессия опорных векторов (Linear SVR)	15,91	-0,01
Многослойный перцептрон (MLPRegressor)	14,93	0,05
Экстремальный градиентный бустинг (XGBRegressor)	9,49	0,51
Градиентный бустинг на деревьях решений (CatBoostRegressor)	11,88	0,11

### Библиографический список

1. Estimation of energy consumption in machine learning / García-Martín E., Faviola Rodrigues C., Riley G., Grahn H. // Journal of Parallel and Distributed Computing. – 2019. – V. 134. – P. 75 – 88.

2. Methods of Forecasting Electric Energy Consumption: A Literature Review / Klyuev R. V., Morgoev I. D., Morgoeva A. D., Gavrina, O. A. Martyushev N. V. Efremkov, E. A. Mengxu Q. // Energies. – 2022. 15(23), 8919.

## **МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЙ КОНТАКТОВ РУБИЛЬНИКА**

**А. Р. Петров**

*Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия  
(e-mail: petroval13@mail.ru)*

Анализ большинства паспортных и каталожных данных низковольтных коммутационных аппаратов (НКА) показывает, что в них не приводятся все основные технические характеристики [1]. Не представлены значения сопротивлений большей части элементов НКА, так, например, нет данных о сопротивлениях силовых цепей и контактов аппаратов [2].

Проведем оценку сопротивлений контактных соединений аппаратов в зависимости от номинального тока и коэффициента загрузки по выражению:

$$R_{\text{к.расч.}} = \frac{2\sqrt{\lambda \cdot F \cdot k_T \cdot S}}{I^2} \cdot \left( \theta_{\text{к}} - \frac{I^2 \cdot \rho \cdot (1 + \alpha \cdot \upsilon_{\text{к}})}{F \cdot k_T \cdot S} \right), \quad (1)$$

где  $\lambda$  – теплопроводность материала контакта, Вт/(м·К);  $F$  – охлаждающая поверхность единицы длины проводника, м<sup>2</sup>;  $k_T$  – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $S$  – площадь поперечного сечения контактов, м<sup>2</sup>;  $I$  – ток через контакты, А;  $\upsilon_{\text{к}}$  – температура контактных площадок, °С;  $\theta_{\text{к}} = 45$  °С – допустимый перепад температуры контакта относительно температуры окружающей среды;  $\rho$  – удельное электрическое сопротивление, Ом·м;  $\alpha$  – температурный коэффициент сопротивления.

Установившееся значение температуры контакта

$$\upsilon_{\text{к}} = \frac{I^2 \cdot \rho + \upsilon_0 \cdot F \cdot k_T \cdot S}{F \cdot k_T \cdot S - I^2 \cdot \rho \cdot \alpha}, \quad (2)$$

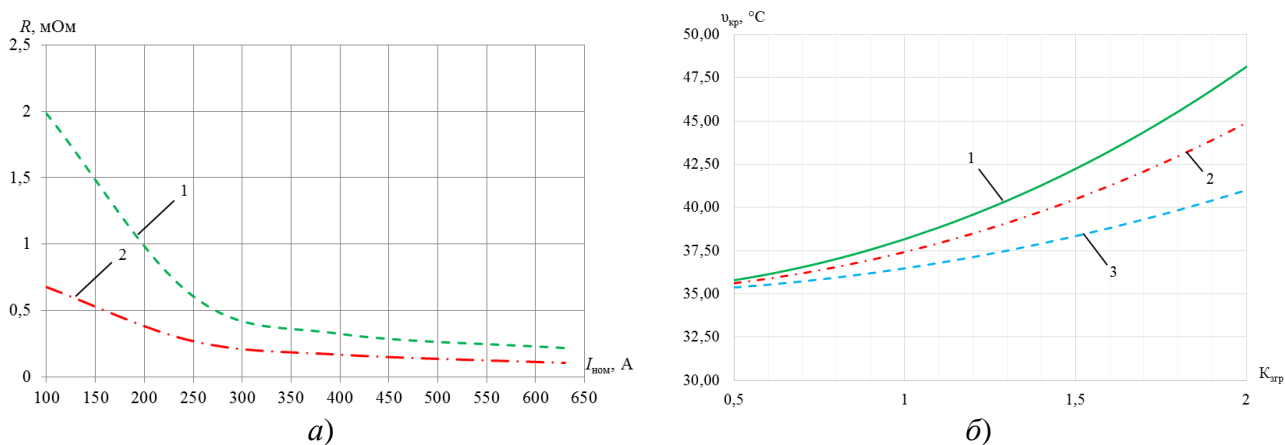
Результаты расчетов сопротивлений контактных соединений и температуры контактных площадок приведены в табл. 1.

## 1. Результаты расчетов сопротивлений контактов аппарата

Тип аппарата	Ток $I_{\text{ном}}$ , А	Размеры контактов, мм	Температура контактов, °С	Сопротивление контактных соединений, мОм
Рубильник РЕ19	100	$a = 10$ $b = 16$	36,5	1,98
	250	$a = 20$ $b = 20$	37,4	0,61
	400	$a = 25$ $b = 25$	38,2	0,32
	630	$a = 35$ $b = 35$	37,8	0,22

На основании проведенных исследований технических характеристик рубильников, устанавливаемых в цеховых сетях, предлагается принимать параметр сопротивления контактов и контактных соединений как один из критериев энергоэффективности НКА. Предлагаемый критерий рекомендуется для выбора наиболее эффективных в эксплуатации типов электрооборудования. Зависимости изменения сопротивления контактов и контактных соединений могут быть рекомендованы для прогнозирования технического состояния электрооборудования внутризаводского электроснабжения и уточнения величины потерь электроэнергии в низковольтных сетях.

Графики зависимостей сопротивлений контактных соединений от номинального тока и температуры нагрева контактов для рубильников РЕ19 представлен на рис. 1.



**Рис. 1. Графики зависимостей сопротивлений контактов от номинального тока (а):**

1 – расчетные значения; 2 – экспериментальные данные;

**Графики зависимостей температуры контактов от коэффициента загрузки (б):**

1 –  $I_{\text{ном}} = 400$  А; 2 –  $I_{\text{ном}} = 250$  А; 3 –  $I_{\text{ном}} = 100$  А

## Библиографический список

1. Петров, А. Р. Комплексный подход к исследованию функциональных параметров низковольтных коммутационных аппаратов / А. Р. Петров, Е. И. Грачева // Электрические станции. – 2023. – № 11. – С. 29 – 36.

2. A. R. Petrov, E. I. Gracheva, T. Sinyukova, S. Valtchev, R. Miceli and A. U. Rahman, «Simulation of the Functional Characteristics of Low-Voltage Switching Devices, Based on the Example of Automatic Circuit Breakers,» 2023 International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP), Terrasini, Italy, 2023, pp. 690 – 695.

## ЛОГИКО-ВЕРОЯТНОСТНЫЙ МЕТОД ПРИ ОЦЕНКЕ НАДЕЖНОСТИ СХЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

**Р. М. Петрова**

*Казанский государственный энергетический университет,*

*Казань, Россия*

*(e-mail: 1998renata@mail.ru)*

В настоящее время, с развитием новых типов электрооборудования целесообразным становится разработка новых, а также уточнение имеющихся алгоритмов и определение основных показателей надежности и эффективности функционирования оборудования систем электроснабжения промышленных предприятий [1, 2].

На рисунке 1, а показана схема участка цеховой сети, для которой рассчитаны параметры надежности. Для расчетной схемы (рис. 1, а) определим частоту отключений первой секции шин, построив дерево отказов относительно источников питания ШРС.

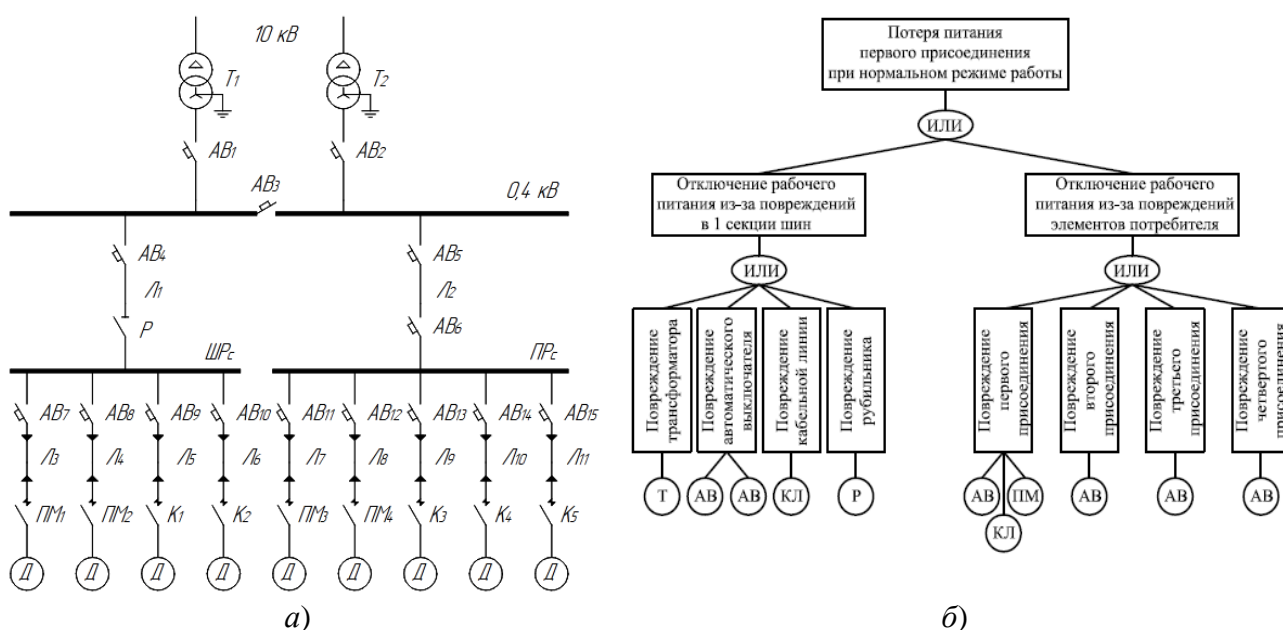
Условные обозначения элементов, принятых на рис. 1, а, б, представлены в табл. 1.

Функция отказа при потере питания первого присоединения ШРС (рис. 1, б)

$$\begin{aligned} X(1) &= [T + AB + AB + KЛ + P] + [(AB + KЛ + ПМ) + AB + AB + AB] = \\ &= T + 2 \cdot AB + KЛ + P + AB + KЛ + ПМ + 3 \cdot AB = \\ &= T + 6 \cdot AB + 2 \cdot KЛ + P + ПМ. \end{aligned}$$

## 1. Условные обозначения

Сокращение	Обозначение сокращения
Т	Трансформатор ТМ-1600/10/0,4 [2]
АВ	Автоматический выключатель
КЛ	Кабельная линия 0,4 кВ
Р	Рубильник
ПМ	Магнитный пускатель
К	Контактор



**Рис. 1. Схема электроснабжения промышленного предприятия (а);  
дерево отказов для оценки частоты потери питания первого присоединения ШРс (б)**

Логико-вероятностный метод (дерево отказов) может применяться для оценки частоты потери питания как ШРс и ПРс, так и каждого присоединения схемы в отдельности. Данный метод оценки параметров рекомендуется применять для уточнения периодичности технического обслуживания, при отключении рабочего питания из-за повреждений в элементах схемы электроснабжения промышленных предприятий.

## Библиографический список

1. Исследование вероятностных характеристик надежности электрооборудования внутрицеховых систем электроснабжения / Р. М. Петрова, Э. Ю. Абдуллазянов, Е. И. Грачева, S. Valtchev, Yousef Ibragim // Вестник

Казанского государственного энергетического университета. – 2023. – Т. 15, № 1(57). – С. 93 – 105.

2. Gracheva E. I., Petrova R. M., Sinyukova T., S. Valtchev, R. Miceli and M. Caruso, «Reliability and Overload Capacity of Power Transformers» 2023 International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP), Terrasini, Italy, 2023, pp. 684 – 689.

## **ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ МАГНИТОДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ**

**Д. А. Рябов<sup>1</sup>, А. И. Казьмин<sup>1</sup>, П. А. Федюнин<sup>1</sup>, С. К. Казьмин<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил  
«Военно-воздушная академия имени профессора  
Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Воронеж, Россия  
(e-mail: alek-kazmin@yandex.ru)*

*<sup>2</sup>Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия*

Во многих практических приложениях широкое применение находят многослойные магнитодиэлектрические материалы и покрытия (МП), работающие в диапазоне сверхвысоких частот (СВЧ) [1]. Таким образом, разработка и совершенствование методов и устройств измерения их электрофизических и геометрических параметров (ЭФПП) при испытаниях их на эффективность является актуальной научной задачей.

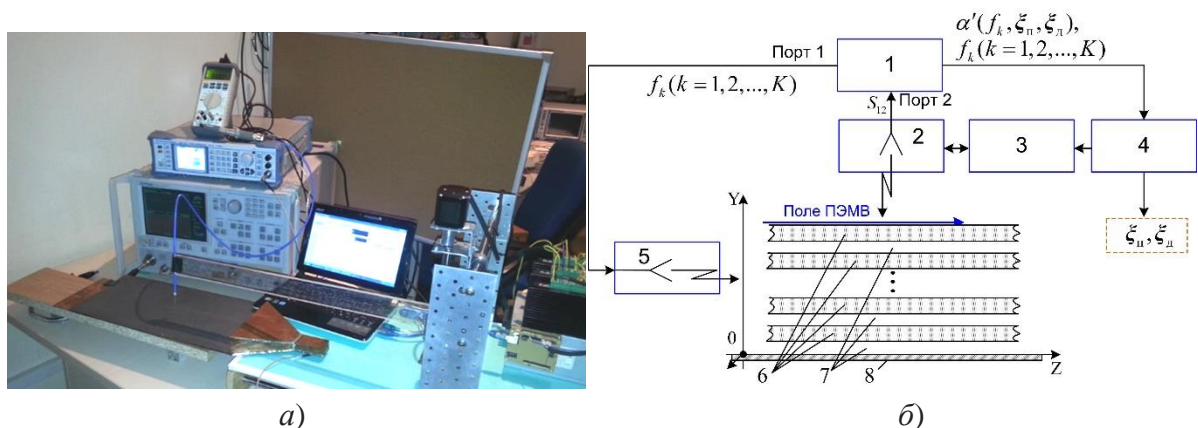
В настоящее время наиболее эффективно эта задача может быть решена при использовании измерительных комплексов, реализованных в виде измерительно-вычислительных систем (ИВС), учитывающих индивидуальные характеристики МП.

Структурная схема разработанной ИВС, реализующей оценку технического состояния МП на основе метода поверхностных электромагнитных волн [1] реализована на основе векторного анализатора электрических цепей (ВАЦ) Anritsu 37347A и персональной электронной вычислительной машины (ПЭВМ).

На рисунке 1 представлена структурная схема ИВС [1], где цифрами обозначено: 1 – векторный анализатор электрических цепей; 2 – приемная антенна ПЭМВ Е- и Н-типов с механизмом перемещения – 3; 4 – ПЭВМ; 5 – антенна возбуждения ПЭМВ; 6 – слои исследуемого многослойного МП; 7 – межслойные дефекты; 8 – металлическая подложка.



Использование векторного анализатора электрических цепей позволило осуществить измерения экспериментальных коэффициентов ослабления одновременно на всех заданных частотах  $f_k, k = 1, 2, \dots, K$ , что позволило значительно сократить время проведения измерений. Кроме того, использование ВАЦ позволило отказаться от отдельного генератора и блока детектирования. Для этого, первый порт ВАЦ подключен к антенне возбуждения ПЭМВ, а второй порт подключен к приемной антенне.



**Рис. 1. Измерительно-вычислительная система оценки технического состояния магнитоэлектрических материалов и покрытий:**

*a* – внешний вид; *б* – структурная схема

Механизм перемещения предназначен для перемещения приемных антенн Е и Н – волн в трехмерной системе координат в заданной области сканирования. Механизм перемещения выполнен на основе системы из трехшаговых двигателей [1]. Управление шаговыми двигателями механизма перемещения с ПЭВМ осуществляется через микроконтроллер, путем подачи сигналов с портов ввода-вывода микроконтроллера. Приемная антенна 2 выполнена в виде системы горизонтально и вертикально ориентированных приемных вибраторов для измерения напряженности поля ПЭМВ Е- и Н-типов соответственно.

Определение экспериментальных коэффициентов ослабления поля поверхностной электромагнитной волны по нормали к поверхности покрытия  $\alpha'(f_k, \xi_n, \xi_d)$  осуществляется путем измерения коэффициента передачи  $S_{12}$  измерительного СВЧ сигнала от передающей к приемной антенне по пути: «1 порт ВАЦ–передающая антенна–исследуемое РППМ–приемная антенна–2 порт ВАЦ». При этом коэффициент ослабления вычисляется по формуле:

$$\alpha'(f_k, \xi_n, \xi_d) = \frac{1}{s} \ln \left( \frac{S_{12f_k}(y)}{S_{12f_k}(y + d)} \right), \quad (1)$$



где  $r$  – расстояние (шаг) между точками измерений;  $S_{12f_k}(y)$  – коэффициент передачи по пути: «1 порт ВАЦ–передающая антенна–исследуемое РПП–приемная антенна–2 порт ВАЦ», при расстоянии приемной антенны от поверхности  $y$ , на частоте  $f_k$ ;  $S_{12f_k}(y+d)$  – коэффициент передачи по пути: «1 порт ВАЦ–передающая антенна–исследуемое РПП–приемная антенна–2 порт ВАЦ» при расстоянии приемной антенны от поверхности  $y+r$ , на частоте  $f_k$ .

### Библиографический список

1. Казьмин, А. И. Методологические принципы определения электрофизических параметров материалов и покрытий со сложной внутренней структурой с помощью поверхностных электромагнитных волн / А. И. Казьмин // Дефектоскопия. – 2022. – № 3. – С. 34 – 49.

## ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ СЕТЕЙ АВИАЦИОННОЙ РАДИОСВЯЗИ

**А. В. Рябов, М. И. Пихтелев**

*Военный учебно-научный центр ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Воронеж, Россия*

Современные авиационные комплексы являются многофункциональными и способны выполнять задачи по предназначению в любых условиях обстановки. При этом, для управления авиационными комплексами на всех этапах полета развертываются системы авиационной радиосвязи, включающие наземные и бортовые радиосредства диапазонов коротких (КВ) и ультракоротких (УКВ) волн. От помехоустойчивости системы авиационной радиосвязи во многом зависит безопасность полетов и вероятность выполнения авиацией поставленных задач.

Опыт современных военных конфликтов подтверждает важнейшую роль авиации в боевых действиях. При этом применение авиации, как правило, происходит в условиях радиоэлектронного конфликта, обусловленного широким применением средств радиоэлектронной разведки (РЭР) и радиоэлектронного поражения (РЭП) противника, являющихся подсистемами радиоэлектронной

борьбы (РЭБ) [1]. В этих условиях повышение помехоустойчивости системы авиационной радиосвязи является актуальной задачей. Ее решение требует всестороннего анализа факторов, влияющих на помехоустойчивость, разработки эффективных способов и алгоритмов повышения помехоустойчивости, а также выработки рекомендаций по их применению.

Проведенный в работе [2] анализ показал, что основными факторами, снижающими помехоустойчивость систем авиационной радиосвязи, являются с одной стороны наличие у противника самых современных средств РЭБ, а, с другой стороны – применение радиосредств, обладающих большим набором демаскирующих признаков, при недостаточном использовании помехоустойчивых протоколов связи и режимов работы.

Помехоустойчивость сети авиационной радиосвязи в условиях радиоэлектронного конфликта может быть оценена коэффициентом помехоустойчивости  $K_{пз}$ , зависящим от частных показателей [2]:

$$K_{пз} = 1 - P_{обн} \cdot P_{оц} \cdot P_{оп} \cdot P_{эп} \cdot P_{вп}, \quad (1)$$

где  $P_{обн}$  – вероятность обнаружения источника радиоизлучения (ИР) средствами РЭР;  $P_{оц}$  и  $P_{оп}$  – условные вероятности оценки характеристик сигнала и опознавания ИР средствами РЭР;  $P_{эп}$  и  $P_{вп}$  – условные вероятности энергетического и временного подавления радиосредств средствами РЭП.

Частные показатели помехоустойчивости, в силу их физической природы могут быть разделены на энергетические ( $P_{обн}$  и  $P_{эп}$ ), временные ( $P_{оц}$  и  $P_{вп}$ ) и признаковый ( $P_{оп}$ ) [2]. Анализ частных показателей позволяет сделать вывод, что наиболее эффективные способы повышения помехоустойчивости могут быть реализованы на основе оптимизации входящих в эти показатели параметров [2]. Оптимизация временных показателей, например, может быть реализовано снижением времени работы радиосредств на одной частоте при использовании сигналов с программной перестройкой частоты (ППРЧ) [2].

Задача оптимизации энергетических параметров не является однозначной, так как минимизация вероятностей  $P_{обн}$  и  $P_{эп}$  требует противоположных подходов. Решение данной задачи предлагается в рамках адаптивного управления структурой сети авиационной радиосвязи на основе одновременной (параллельной) ретрансляции сигналов элементами сети с синфазным сложением их мощности в точке приема и пропорциональным количеству ретрансляторов снижением их мощности излучения [2].

Таким образом, устойчивое функционирование сетей авиационной радиосвязи в условиях радиоэлектронного конфликта возможно на основе оптимизации энергетических показателей помехоустойчивости в рамках адаптивного управления структурой сети и параметров ее элементов.

## Библиографический список

1. Боговик, А. В. Эффективность системы военной связи и методы ее оценки / А. В. Боговик, В. В. Игнатов. – СПб. : ВАС, 2006. – 184 с.
2. Рябов, А. В. Направления повышения помехоустойчивости систем радиосвязи / А. В. Рябов, А. Е. Алексеев // Охрана, безопасность, связь. – 2022. – № 7. – С. 117 – 122.
4. Пат. на изобретение № 2774409. Способ повышения помехоустойчивости передачи данных по коротковолновому радиоканалу в ведомственной системе связи / А. В. Рябов и др. – Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений РФ 21.06.2022 г.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МГД-ГЕНЕРАТОРА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

**В. В. Еремин, Д. С. Баршутина, О. И. Сигачев**

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия*

*(e-mail: dafge5@andex.ru)*

Процессы генерации электрической энергии в современном мире является одной из актуальных задач. Из всего многообразия способов генерации можно выделить метод основанный на магнито-гидродинамическом принципе разделения заряда в потоке ионизированной среды. Одним из первых построенных электрогенераторов в мире, который работал на продуктах сгорания углеводородных топлив был «Марк-V». Он выдавал мощность 32 МВт. В СССР также занимались этим направлением, но опытная энергетическая установка была создана только в 1971 году с мощностью до 25 МВт. Дальнейшее развитие этого направления состояло в строительстве ТЭЦ28 г. Москве и в Новомичуринске в Рязанской области. Ни один ни второй проект так и не был запущен в работу в связи с возникшими трудностями которые в 90-х годах XX века в связи с развалом СССР и экономическим кризисом так и не были преодолены.

Основными проблемами при МГД генерации было недостаточное развитие в области жаростойких и жаропрочных материалов, а также необходимостью поддержания высокой степени ионизации рабочей среды. На данном этапе развития технология жаростойких и жаропрочных материалов достигла достаточного уровня, что доказывается бурным развитием гиперзвуковых технологий в военной промышленности.

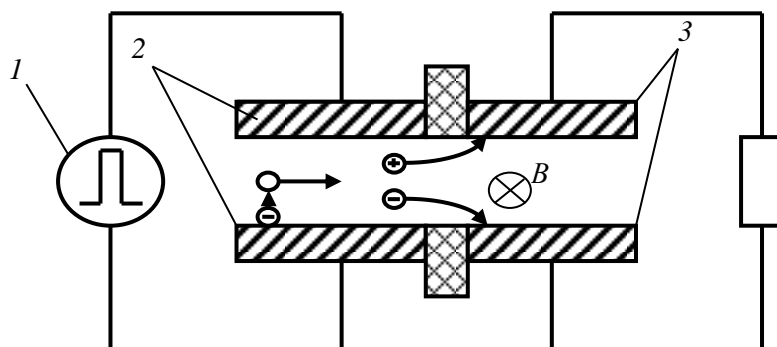
Решение второй проблемы в технологии МГД-генерирования электрической энергии мы видим в использовании генераторов импульсного электриче-

ского тока с напряженностью, достаточной для дополнительной ионизации рабочего тела МГД-генератора. Работа в этом направлении проводилась авторами [1, 2, 3].

Основная идея метода заключается в пропускании рабочего тела МГД-генератора через область с напряженностью электрического поля достаточной для ионизации молекул рабочей среды.

Рассмотрим физические процессы при прохождении потока рабочего тела через область между электродами, формирующим электрическое поле (рис. 1).

В качестве рабочего тела используются продукты горения углеводородного топлива, которые со скоростью  $v$  протекают через области электрического и магнитного полей.



**Рис. 1. Схема МГД-генератора с системой генерации импульсного электрического поля:**

- 1 – генератор импульсного электрического напряжения;
- 2 – электроды генератора импульсного электрического поля;
- 3 – электроды МГД-генератора

Исследование степени ионизации пламени в зависимости от температуры проведенное авторами [4] показало наличие начальной ионизации пламени. Из экспериментальных исследований была определена концентрация ионов в пламени при температуре 1650 К. Она составила  $5,78 \cdot 10^{11}$  1/моль.

Электрическое поле разгоняет свободные электроны до скоростей, при которых их кинетическая энергия будет достаточна для ионизации молекул компонентов пламени.

Таким образом, поток пламени приобретает необходимую степень ионизации, которая позволяет многократно повысить эффективность генерации электрической энергии.

### **Библиографический список**

1. Баршутина, Д. С. Исследование энергетических затрат в системе повышения концентрации радикалов в пламени / Д. С. Баршутина, В. В. Еремин,

С. Н. Баршутин // Бутаковские чтения : сб. ст. II Всерос. с междунар. участием молодежной конф., Томск, 13 – 15 декабря 2022 года. – Томск : Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2022. – С. 296 – 298. – EDN AGDCVB.

2. Курепина, Д. С. Определение степени ионизации пламени по величине ее проводимости / Д. С. Курепина, С. Н. Баршутин // Энергетическая безопасность : сб. науч. ст. III Междунар. конгресса : в 2 т., Курск, 16–17 октября 2020 года. Т. 1. – Курск : Юго-Западный государственный университет, 2020. – С. 426-428. – EDN OYNVDU.

## СИСТЕМА СЛЕЖЕНИЯ ЗА ОБЪЕКТОМ НА БАЗЕ ARDUINO

**И. А. Сазонов,**  
**научный руководитель В. Н. Мещеряков**

*Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия;  
Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия  
(e-mail: iwan.sazonov2011@yandex.ru)*

Схема подключения ультразвукового датчика слежения за объектом:

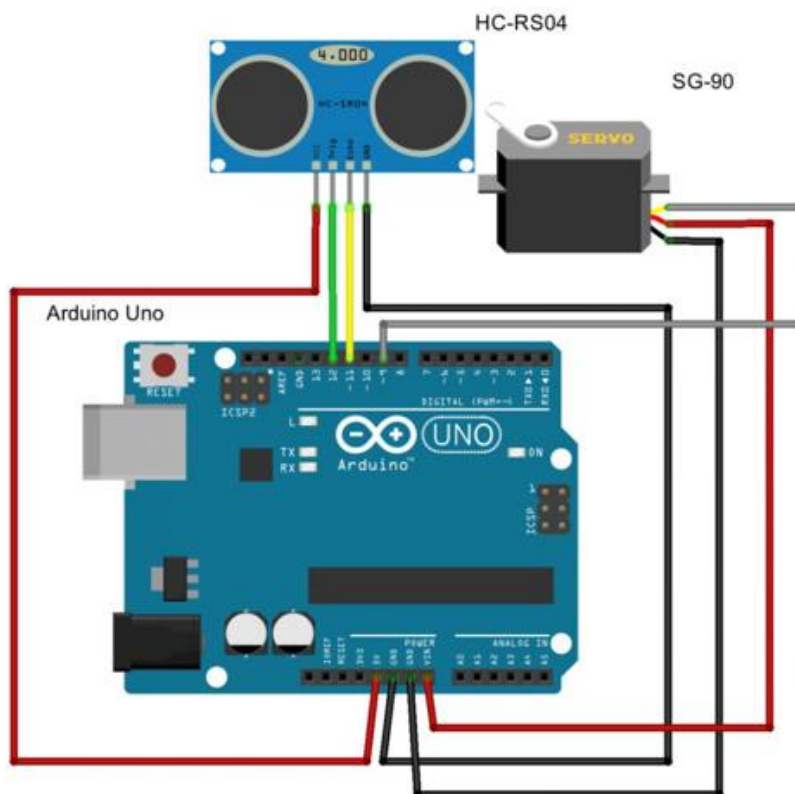


Рис. 1. Схема подключения ультразвукового датчика

В Arduino-проекте, использующем ультразвуковой датчик HC-SR04 и сервомотор, реализован подвижный дальномер для отслеживания объекта в горизонтальной плоскости. Сервомотор позволяют вращать ультразвуковой датчик в диапазоне от 30 до 150° в горизонтальной плоскости. Угол обзора можно настроить в пределах от 0 до 180° для сервомотора SG90.

В коде программы устанавливается значение переменной minDistance, определяющей расстояние, на котором производится захват объекта в фокус. При приближении объекта ближе, чем minDistance, сервомотор останавливается, и светодиод включается, сигнализируя о зафиксированном объекте.

**Выводы.** Этот проект представляет собой простую и эффективную систему для отслеживания объектов с использованием доступных компонентов и платформы Arduino.

```
#include <Servo.h> // Подключаем библиотеку для сервомотора
#include "Ultrasonic.h" // Подключаем библиотеку для ультразвукового датчика
Servo neckServo; // Создаем объект для управления сервомотором шеи
Ultrasonic distanceSensor(12, 11); // Устанавливаем пины trigPin - 12; echo-Pin - 11;
const int customLedPin = 13; // Пин для светодиода (был ledPin) - светодиод
const int minDistance = 30; // Минимальное расстояние до попадания в фокус
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(customLedPin, OUTPUT); // Задаем светодиод - выходной пин
  neckServo.attach(9); // Подключаем сервомотор к пину 9
  neckServo.write(150);
  digitalWrite(customLedPin, LOW); // Выключаем светодиод
}
void loop() {
  if (distanceSensor.Ranging(CM) > minDistance) {
    digitalWrite(customLedPin, LOW); // Выключаем светодиод
    neckServo.write(90);
    delay(500);
  }
  if (distanceSensor.Ranging(CM) > minDistance) {
    digitalWrite(customLedPin, LOW); // Выключаем светодиод
    neckServo.write(150);
    delay(500);}
    if (distanceSensor.Ranging(CM) > minDistance) {
      digitalWrite(customLedPin, LOW); // Выключаем светодиод
      neckServo.write(90);
      delay(500);}
    if (distanceSensor.Ranging(CM) > minDistance) {
      digitalWrite(customLedPin, LOW); // Выключаем светодиод
      neckServo.write(30);
      delay(500);}
  } else {
    digitalWrite(customLedPin, HIGH); // Включаем светодиод
    delay(500);}
}
```

Рис. 2. Программа для слежения за объектом

### Библиографический список

1. Shapiro L., Stockman G. Computer Vision, Prentice-Hall, Inc. 2001.
2. Hough P. V. C. Method and means for recognizing complex patterns, U.S. Patent 3,069,654, Dec. 18, 1962

# **РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ГИТ НА УСТОЙЧИВУЮ РАБОТУ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ АЛМАТИНСКОГО РЕГИОНА, КАЗАХСТАН**

**А. К. Салимова, К. Е. Нурғалиева, Н. А. Атамбаева**

*Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, Алматы, Казахстан  
(e-mail: kuralay.nurgalyeva@kaznu.kz )*

## **I. ВВЕДЕНИЕ**

Потребление электрической энергии в Казахстане с годами увеличивается, поэтому актуальной задачей сегодня является бесперебойное функционирование электрических сетей. Исследование надежности функционирования электрических сетей является сложной задачей, поскольку на происходящие в ней процессы влияет множество факторов. И изучение такого природного фактора, как геомагнитно-индуцированные токи (ГИТ) и его влияния на устойчивость процессов, происходящих в электрических сетях при геомагнитной активности, является новым для Казахстана.

Важность этих проблем наглядно продемонстрировала масштабная авария на линиях электропередачи в Квебеке в марте 1989 г. [1]. В качестве основной причины аварии рассматривается намагничивание сердечников силовых трансформаторов из-за ГИТ. В результате реактивная мощность, потребляемая трансформатором, увеличивается, а четные и нечетные гармоники чаще попадают в электросеть, вызывая вихревые токи в обмотках и конструктивных элементах электрической системы. В результате может произойти выход оборудования из строя, отказ оборудования или отключение всей системы.

В данном исследовании мы оценили значение ГИТ и проанализировали геомагнитную ситуацию перед аварийными отключениями на одной из протяженных воздушных линий в Алматы, Казахстан.

## **II. ОЦЕНКА НАВЕДЕННЫХ ГИТ ПЕРЕД АВАРИЙНЫМИ ОТКЛЮЧЕНИЯМИ**

Для оценки значения ГИТ мы использовали однослойную модель, представленную в [2].

Для ретроспективного корреляционного анализа была выбрана городская ВЛ ОЛ110кВ на участке Л-169А ПС-147А, г. Алматы, Казахстан. ВЛ введена в эксплуатацию в 2016, 2018 гг. также проводились работы по модернизации. Протяженность ВЛ составляет 4,6 км. Схема представлена на рис. 1. Географи-



ческие координаты ПС-147А «Таугул» [43012'31"N; 76049'54"E] и подстанции SS№ 141А «Калкаман» [51057'24"N; 76001'32 «Э】.

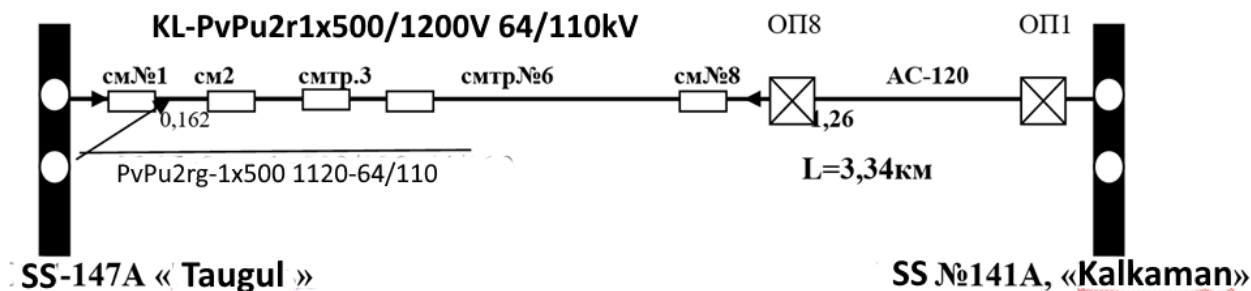


Рис. 1. Схема воздушной линии электропередачи ВЛ110кВ Л-169А СС147А

За период 2016-2021 годов произошло 14 аварийных отключений. Два случая произошли из-за механических повреждений. Для остальных 12 случаев было оценено значение ГИТ. Для 4 случаев расчетное значение ГИТ было около 0,06 мА. В остальных 8 случаях значение ГИТ составляло более 0,1 мА. При этом один случай аварийного отключения был зафиксирован 19.10.2016 через 5 дней после магнитной бури. Расчеты показывают, что амплитуда ГИТ достигала 20 мА во время этой бури.

### III. ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Так, было показано, что почти 70 % аварийных отключений произошло после ощутимых ГВ, вызывающих ГИТ от 0,1 мА до 20 мА. Для более тщательного изучения связи аварийного отключения с ГИТ необходимо более детально изучить механизм наведения тока на сердечниках трансформатора.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантового проекта Комитета науки МОН РК AP09259554.

### Библиографический список

1. D. Boteler. A Twenty-First Century View of the March 1989 Magnetic Storm, Space Weather 17(2), 2019.
2. T. Kikuchi, Yu.Ebihara, K.K. Hashimoto, K. Kitamura, Sh.-I. Watari. Reproducibility of the Geomagnetically Induced Currents at Middle Latitudes During Space Weather Disturbances// Front. Astron. Space Sci., 11 October 2021 <https://doi.org/10.3389/fspas.2021.759431>





Далее, пользуясь возможностями программы Elcut, произведем расчет токов в трехфазной сети и произведем визуализацию магнитных полей, возникающих вокруг проводников во время передачи электрической энергии [2]. Расчет произведем для одной цепи ВЛ-110 кВ длиной 10 км относительно проводов типа АС-240/39 (диаметр 21,6 мм и сечение 236 мм<sup>2</sup>) и АААС-Z177-1Z, которые обладают характеристиками, представленными ниже (рис. 2).

Как видно из рисунка провода разных типов будут обладать схожими характеристиками распределения потенциала вокруг себя. Мощность необходимая для передачи по ЛЭП после организации отпайки будет составлять около 200 МВА. При такой мощности сила тока будет равна 524 А при напряжении 110 кВ. Расчет в программе показал, что за определенный промежуток времени проводом типа АААС-Z242-2Z будет передано большее количество электроэнергии, чем проводом типа АС-240/39.

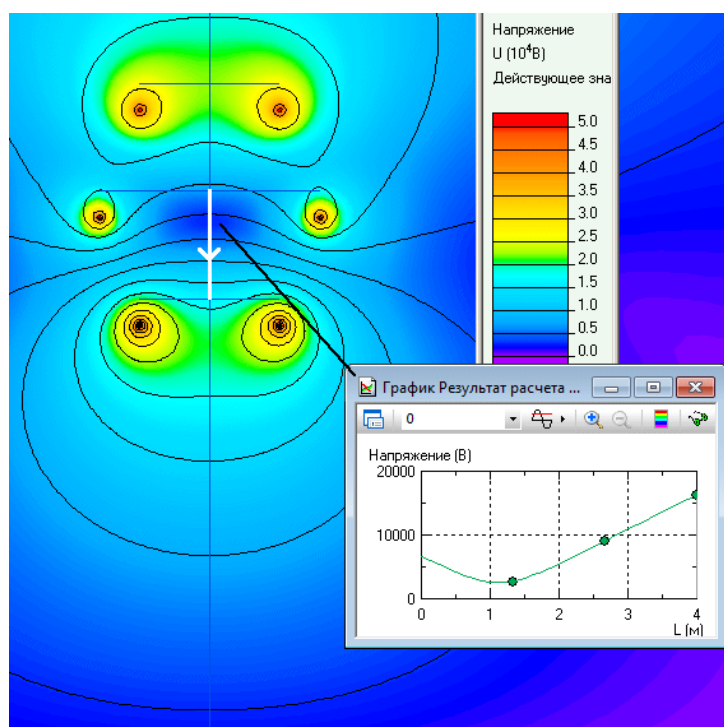


Рис. 2. Визуализация распределения потенциала

### Библиографический список

1. Колосов, С. В. Повышение пропускной способности ВЛ: анализ технических решений / С. В. Колосов, С. В. Рыжов, В. Е. Сюткин // Энергетическая стратегия. – 2013. – № 1. – С. 40 – 45.
2. Чеканова, М. А. Увеличение пропускной способности ЛЭП путем использования проводов нового поколения / М. А. Чеканова // Образование, наука, производство. – 2015. – № 7. – С. 3143 – 3148.

## **ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ**

**И. А. Сапрыкин, А. В. Ольховой**

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия  
(e-mail: rebellesanima@yandex.ru)*

С развитием современных технологий нейронные сети активно внедряются в различные отрасли, среди которых электроэнергетика занимает важное место. Новаторские методы машинного обучения, основанные на принципах нейросетевых технологий, предоставляют уникальные возможности для оптимизации производства, повышения эффективности и обеспечения надежности энергосистем. В данной статье рассмотрим применение нейросетей в электроэнергетике, их роль в управлении, мониторинге и обеспечении стабильности энергосистем.

Нейронные сети успешно применяются для прогнозирования энергопотребления, что позволяет энергокомпаниям эффективно планировать производственные мощности и избегать перегрузок. Модели глубокого обучения способны анализировать огромные объемы данных, включая погодные условия, праздники и другие факторы, влияющие на энергопотребление. Это позволяет энергетическим компаниям эффективно использовать ресурсы, уменьшать издержки и минимизировать негативное воздействие на окружающую среду. Кроме того, прогнозирование энергопотребления с использованием нейросетей способствует созданию более интеллектуальных энергетических систем.

Нейросети демонстрируют потенциал в области управления энергопотреблением зданий. Путем анализа данных о погоде, численности людей, а также характеристик здания, нейронные сети способны предсказывать оптимальные параметры отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. Такие системы адаптируются к изменяющимся условиям, что позволяет снижать энергозатраты без ущерба для комфорта.

Нейросетевые технологии применяются для ранней диагностики и предотвращения отказов в энергетическом оборудовании. Алгоритмы машинного обучения умеют распознавать аномалии в работе оборудования, что позволяет оперативно выявлять потенциальные проблемы и предотвращать аварийные ситуации. Это существенно снижает риски unplanned простоев и обеспечивает непрерывность энергоснабжения.

Нейросетевые модели играют ключевую роль в управлении энергосетями. Системы глубокого обучения способны оптимизировать распределение энер-

гии, учитывая разнообразные параметры, такие как стоимость производства, потребительские запросы и экологические факторы. Это позволяет повышать эффективность энергосистемы и улучшать устойчивость к изменениям внешних условий.

Применение нейросетей в электроэнергетике открывает новые горизонты для оптимизации и совершенствования отрасли. Прогнозирование нагрузки, диагностика оборудования и управление энергосетями становятся более точными и эффективными благодаря интеграции современных методов машинного обучения. Эти технологии не только содействуют повышению эффективности производства, но и способствуют устойчивости энергосистем, что является важным шагом в направлении создания умных и энергоэффективных электрических сетей.

### **Библиографический список**

1. Функционирование и развитие электроэнергетики в эпоху цифровизации : сборник / под ред. Н. Д. Рогалева. – М. : Изд-во МЭИ, 2021. – 272 с.
2. Горбунов, В. А. Использование нейросетевых технологий для повышения энергетической эффективности теплотехнологических установок / В. А. Горбунов ; ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина». – Иваново, 2011. – 476 с.

## **АНАЛИЗ, РАЗВИТИЕ И ПОТЕНЦИАЛ ТЕХНОЛОГИИ «СОЛНЕЧНЫЕ ОКНА»**

**Е. А. Семьянинова, Д. Д. Петушенко**

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия  
(e-mail: [semyaninova2000@mail.ru](mailto:semyaninova2000@mail.ru))*

Солнечная энергия практически неисчерпаемый вид энергии, что делает это направление одним из перспективных. Солнечную энергию используют как компании, так и частные лица. Она может принести значительную экономию на затраты на энергоснабжение в долгосрочной перспективе, а также принести прибыль при ее продаже.

Ранее чаще всего можно встретить солнечные панели на крышах и стенах зданий. Именно на этих доступных поверхностях можно было собирать энергию фотоэлектрическими модулями. Но технологический прогресс не стоит на

месте, разрабатывая фотоэлектрические элементы: полупрозрачные органические, полимерные, перовскитные и др. Эти разработки расширяют энергетический рынок и увеличивают процент солнечной энергетики на мировом рынке энергии по мере внедрения технологий в обиход.

Солнечные окна могут поглощать солнечное излучение, преобразовывая его в электрическую энергию, которая может использоваться как для питания частных домов и офисов, так и для хранения в батареях, если они есть.

Подобную возможность предложили южнокорейские дизайнеры Чжун Се Ким, Ю-Чжин Чо и Ю-Чжин Ли. Можно получить мини-станцию, если расположить солнечные батареи прямо в окнах. А подключиться к ним легко через розетки.

Есть несколько вариаций технологии солнечных окон.

1. New Energy Technologies разработала особую технологию напыления тончайшего слоя органического клеточного материала на поверхность стекла, прозрачность которого колеблется от 40 до 80 процентов для солнечного света, а остальной свет поглощается покрытием.

2. Люминесцентный солнечный концентратор (LSC). Квантовые точки представляют собой наноразмерные фотоэлементы, имплантированные внутрь самого стекла.

Еще недавно широкое распространение имели системы, использующие аморфный кремний или теллурид кадмия, у которых светопропускание в видимом диапазоне не превышает 40...50%.

Сейчас же внимание ученых продолжает удерживаться на исследованиях материалов на основе перовскита.

Это соединение имеет уникальные преимущества: устойчивость к дефектам, большой коэффициент поглощения, подвижность носителей заряда, и его гораздо проще обработать чем кремний.

Вот только у солнечных окон не очень высокая эффективность, что является существенным недостатком, учитывая, что разработки ведутся больше 10 лет.

Еще в 2018 году эффективность солнечных элементов на основе перовскит-кремниевых солнечных элементах составляла 27,3%.

У других полупрозрачных. При этом, у этих образцов был небольшой срок службы – всего несколько месяцев.

Периодически появляются сообщения о создании прозрачных элементах. Например, китайские ученые в 2018 году сообщили, что смогли сделать полностью прозрачные стекла при использовании перовскита и иттербия, но эффективность была всего лишь несколько процентов [1].

А вот ученые из Кореи в 2019 году смогли добиться прозрачности стекла на кремниевой основе, сделав в них очень много маленьких отверстий, которые не способен разглядеть человек, добившись эффективности в 12,2% [2].

Недавно достигнутая в 2023 года рекордная эффективность в солнечных элементах на основе объединения кремния и перовскита составила 33,9% и 36,1% у перовскитных солнечных элементов с высоким содержанием брома в условиях с низкой освещенностью.

Несмотря на продолжающиеся исследования, пока что ни один вид солнечных батарей не имеет нейтрального по цвету прозрачного внешнего вида, необходимого, например, для офиса или других рабочих помещений. Также они показывают хорошие результаты только в одной характеристике – эффективности или прозрачности, поэтому необходимо найти решение, которое сможет привести к балансу между ними.

### **Библиографический список**

1. Xiao Luo [и др.]. Quantum Cutting Luminescent Solar Concentrators Using Ytterbium Doped Perovskite Nanocrystals // Nano Letters. 2018. [Электронный ресурс]. – URL : <https://www.sci-hub.ru/10.1021/acs.nanolett.8b03966>

2. Kangmin Lee [и др.]. Neutral-Colored Transparent Crystalline Silicon Photovoltaics // Joule. 2019. Vol. 4, №1, pp. 235-246. [Электронный ресурс]. – URL : [https://www.cell.com/joule/fulltext/S2542-4351\(19\)30538-0](https://www.cell.com/joule/fulltext/S2542-4351(19)30538-0)

## **ДИАГНОСТИКА СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ НА ОСНОВЕ СИНХРОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ**

**В. Н. Симонов, Ш. Ж. Габриелян,  
научный руководитель канд. техн. наук, доцент И. Н. Воротников**

*Ставропольский государственный аграрный университет, Ставрополь, Россия  
(e-mail: simonovvn@gmail.com; vorotn\_in@mail.ru )*

Энергоэффективность агропромышленного комплекса напрямую зависит не только от энергоэффективности и КПД конечного оборудования, но и от состояния силового оборудования распределительных сетей, в частности силовых трансформаторов. Надежность и качество электроснабжения зависит в первую очередь от состояния трансформаторов. Существует множество методов диагностики силовых трансформаторов: измерение электрических величин, диагностика масла, тепловые методы, диагностика частичных разрядов, вибродиа-

гностика и др. [1]. Большинство из перечисленных методов требуют отключения трансформатора от сети, ввода резерва, а также предварительного проведения организационно-технических мероприятий. Из-за большой степени изношенности силового оборудования и ограниченного количества персонала, особенно сельских распределительных сетей, своевременная и плановая диагностика состояния трансформаторов затруднительна. Кроме того, вывод трансформатора из эксплуатации – экономически затратное мероприятие. Поэтому применение методов диагностики трансформаторов под напряжением и нагрузкой является перспективным направлением научных исследований.

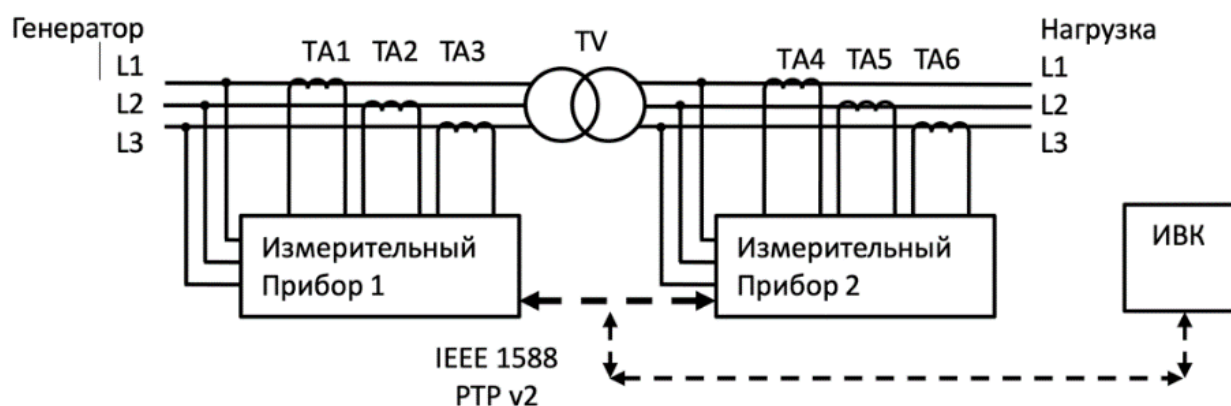


Рис. 1. Структурная схема информационно-измерительной системы диагностики силового трансформатора

Предлагаемый метод на основе синхронных измерений базируется на применении двух измерительных приборов, один из которых подключен на входе трансформатора, второй на выходе трансформатора. При этом оба прибора ведут измерения мгновенных напряжений и токов с помощью встроенных аналого-цифровых преобразователей (АЦП). По разнице между измерениями напряжений и токов на входе и выходе трансформатора возможно вычисление ключевых характеристик трансформатора: реального коэффициента трансформации, тока, мощностей, потерь. При мониторинге параметров силового трансформатора важно контролировать нелинейность параметров и проводить гармонический анализ токов и напряжений. Отсюда требуемая частота выборки данных встроенных АЦП по теореме Котельникова:

$$f_{min.ADC} = 2nf_0 \quad , \quad (1)$$

где  $n$  – номер максимальной рассматриваемой высшей гармоники тока или напряжения;  $f_0$  – основная частота сети.

При основной частоте  $f_0 = 50$  Гц и  $n = 20$ , минимальная частота выборок составляет  $f_{min.ADC} = 2000$  Гц. По результатам измерений параметров на входе

и выходе трансформатора, в информационно-вычислительном комплексе (ИВК) формируются матрицы измеренных параметров по заданным гармоникам: напряжения, токи, активные и реактивные мощности, углы между токами и напряжениями и т.д. Затем полученная матрица сравнивается с образцовыми матрицами типичных состояний трансформатора (как рабочих, так и аварийных) путем вычисления коэффициента корреляции, а в памяти ИВК формируются соответствующие события. Также рассматривается применение нейронных сетей для обнаружения корреляции между образцовыми и текущей матрицами состояния. Обязательным условием для реализации предлагаемого метода является точная синхронизация измерений по времени: временная разница ( $\Delta t$ ) измерения мгновенных значений на входе и выходе силового трансформатора должна быть минимальной. Значение угловой погрешности, приведенное к основной частоте, не должно превышать типовой угловой погрешности, равной  $0,5^\circ$  для трансформаторов тока класса точности 0,5S:

$$\Delta t \leq \frac{1000000 * 0,5}{360 * f_0} = \frac{1000000 * 0,5}{360 * 50} = 27,78 \text{ мкс}, \quad (2)$$

где  $f_0$  – основная частота сети.

Синхронизация времени между приборами реализуется по протоколу IEEE 1588-2008 (PTP v2) [2] через Ethernet интерфейс, обеспечивающий синхронизацию времени с точностью до 1 мкс, что существенно меньше значения, рассчитанного по формуле (2).

### Библиографический список

1. Хлебцов, А. В. Развитие методов и устройств диагностики силового оборудования трансформаторных подстанций / А. В. Хлебцов, Л. Х. Зайнутдинова, А. Н. Шилин // Электротехнические комплексы и системы. – 2020. – Т. 16, № 3.
2. IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems IEEE Std 1588-2008 (Revision of IEEE Std 1588-2002) (2008) 1-269



## РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ГЕНЕРАЦИЯ ЛИПЕЦКОЙ ОБЛАСТИ

Г. Р. Соломенцев,

научный руководитель д-р техн. наук, профессор В. И. Зацепина

*Липецкий государственный технический университет, Россия, Липецк*

*(e-mail: g.solomentsev17@mail.ru)*

**Введение.** Сейчас мировая энергетика постепенно изменяет свое направление от централизованной генерации к децентрализованной. Это связано с направлением вектора на экологичность выработки электроэнергии и внедрением новых технологий в сфере возобновляемых источников энергии (ВИЭ) [1]. Поэтому распределенная генерация (РГ) становится все более популярной. Во многих странах развитие распределенной генерации, особенно это касается распределенной генерации на ВИЭ, поддерживается на государственном уровне. Целью данной работы является анализ перспектив распределенной генерации в Липецкой области.

**Теория Вопроса.** Распределенная генерация – это источники энергии, расположенные близко к месту потребления энергии и подключенные либо непосредственно к потребителю, либо к распределительной электрической сети (в случае, когда потребителей несколько). В России к распределенной генерации обычно относят установки мощностью 25МВт и менее [2]. В Липецкой области эксплуатируются несколько ТЭЦ, которые можно отнести к объектам распределенной генерации: (ТЭЦ ООО «ЛТК Свободный Сокол», МиниТЭЦ «ТК ЛипецкАгро», ТЭЦ сахарных заводов (Добринского, Грязинского, Лебедянского, Боринского, Хмелинецкого, ТЭЦ в г. Елец). Их суммарная установленная мощность равна 61,474 Мвт.

**Методы и материалы.** Распределенная генерация имеет множество возможностей применения. Например, ее использование в качестве резервного энергоснабжения или при перекрытии пиковых нагрузок. Также к ее достоинствам относятся: оптимизация графиков нагрузок; возможность применения в качестве топлива отходы от основного производства; снижение затрат на развитие сетевого комплекса.

Главными минусами распределенной генерации являются дороговизна нового оборудования и трудности при эксплуатации в случае использования распределенной генерации с ВИЭ.

**Результаты и их обсуждения.** За период с 2017 – 2021 гг. потребление электроэнергии области возросло (рис. 1).

По диаграмме видно, что энергопотребление Липецкой области значительно растет. Для перекрытия пиковых нагрузок при такой выработке нужно увеличить выработку распределенной генерации. Сделать это можно, увеличив строительство биогазовых электростанций. Липецкая область – крупный аграрный район, поэтому потенциал в этом направлении распределенной генерации достаточно большой. Также не стоит забывать про возможность когенерации при использовании РГ. Например, мини-ТЭЦ.



**Рис. 1. Динамика потребления электроэнергии Липецкой области за период 2017 – 2021 гг.**

**Выводы.** Липецкая область имеет огромный потенциал к переходу на РГ. Сейчас этому мешает экономический и технологический вопрос. Технологии ВИЭ не так распространены в области, а строительство нового оборудования и эксплуатация ВИЭ не прибыльно. Однако уже сейчас можно осуществлять постепенный переход к мини-ТЭЦ с возможностью когенерации.

### Библиографический список

1. Применение технологий распределенной генерации в России / Ю. Р. Кутуева, А. А. Павленкова, Е. А. Пронин, А. М. Нуриева // Наука через призму времени. – 2021. – № 8(53). – С. 4 – 6.
2. Филиппов, С. П. Распределенная генерация и устойчивое развитие регионов / С. П. Филиппов, М. Д. Дильман, П. В. Илюшин // Теплоэнергетика. – 2019. – № 12. – С. 4 – 17.

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАГОСОДЕРЖАНИЯ И НАЛИЧИЯ ПРИМЕСЕЙ В ТРАНСФОРМАТОРНЫХ МАСЛАХ СИЛОВОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

**Н. А. Ставицкая,**

**научный руководитель канд. техн. наук, доцент С. В. Мишуков**

*Ставропольский государственный аграрный университет, Ставрополь, Россия  
(e-mail: nata.stavitzkaja@yandex.ru)*

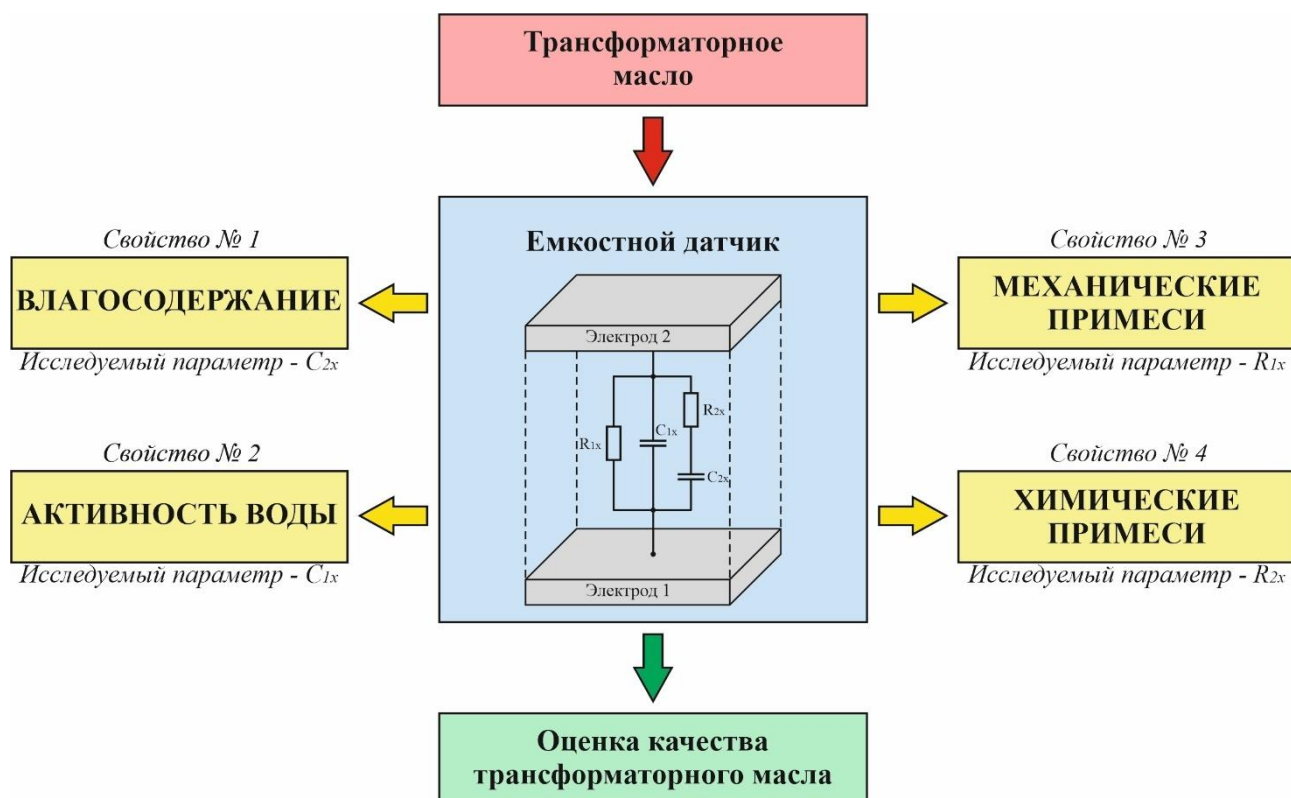
Статистические данные показывают, что более 50% отказов силового электрооборудования связано с нарушением электрической прочности изоляции вследствие критического снижения диэлектрических свойств трансформаторного масла. Основной причиной такого снижения является увлажнение как самого масла, так и твердой изоляции, способной удерживать до 98% воды от общего количества, содержащегося в диэлектрической среде оборудования. Источником появления влаги могут являться как естественные процессы термохимического старения и деградации масла, так и поступление воды извне, например, в случае негерметичности пленочной или азотной защиты [1].

Существенную долю в процессах образования влаги в маслах играет их химический состав, наличие различных примесей и присадок, а также полярных компонентов (спиртов, кислот, мыл и др.). Например, примесные частицы углерода в масле способны образовывать порядка 30...40% связанной воды, которая не может быть определена традиционными методами. Наличие полярных продуктов окисления приводит к повышению гигроскопичности масла, его способности к адсорбции влаги и ускорению процесса переноса влаги из атмосферного воздуха.

Определение влагосодержания и наличия примесей в трансформаторных маслах возможно с помощью емкостных датчиков, которые описываются четырехэлементной схемой замещения (рис. 1), включающей: сквозное активное сопротивление  $R_{1x}$ , характеризующее сквозную активную проводимость масла; емкость мгновенной поляризации  $C_{1x}$ , описывающую электрофизические и естественные свойства масла; активное релаксационное сопротивление  $R_{2x}$ , характеризующее релаксационную проводимость масла, зависящую от солесодержания и наличия примесей; емкость релаксационной поляризации  $C_{2x}$ , отражающую количество частиц воды и их размеров в исследуемом масле [2].

Идентификация параметров схемы замещения емкостных датчиков и построение передаточных характеристик позволит с достаточной точностью определять электрофизические свойства трансформаторных масел, что акту-

ально при реализации систем непрерывного диспетчерского контроля состояния силового электрооборудования, поскольку своевременное выявление отклонений от допустимых пределов влаги и примесей в масле, обеспечит быстрое и эффективное принятие решений о необходимости проведения мероприятий по доведению изоляционных характеристик до установленных норм (вакуумная сушка, замена и др.). А это в свою очередь повысит качество электроснабжения потребителей за счет уменьшения количества аварийных отключений и непредвиденных ремонтов силового электрооборудования.



**Рис. 1. Модель определения влагосодержания и наличия примесей в трансформаторных маслах**

### Библиографический список

1. Мишуков, С. В. Опасность гигроскопичности трансформаторного масла в силовом электрооборудовании / С. В. Мишуков, Н. А. Ставицкая // Цифровые Агро решения : международная науч.-практ. конф., Ставрополь, 12 мая 2023 года. – Ставрополь : Изд-во «АГРУС», 2023. – С. 72 – 80.
2. Встраиваемый емкостный датчик для определения влажности в нефти и нефтепродуктах / И. Н. Воротников, М. А. Мастепаненко, Ш. Ж. Габриелян и др. // Сельский механизатор. – 2022. – № 11. – С. 28 – 30.

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИБРИДНОЙ ЭНЕГОСИСТЕМЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

**Е. Р. Трофимова,**

**научный руководитель д-р техн. наук, профессор В. И. Зацепина**

*Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия*

*(e-mail: r.trofimova.e@mail.ru)*

Получение энергии за счет использования возобновляемых источников энергии чаще всего зависит от погодных условий, из чего следуют проблемы со стабильностью энергообеспечения. Так использование гибридных систем имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными системами: сокращение затрат на электроэнергию так как использование возобновляемых источников считается недорогим или бесплатным ресурсом, повышение надежности, из-за использования нескольких возобновляемых источников увеличивается резервирование системы, уменьшение пагубного влияния на окружающую среду [1]. Цель работы: рассмотреть возможность применения гибридных энергосистем системы на базе возобновляемых источников энергии для децентрализованных участков. Задачи работы: оценить актуальность проблемы ограниченности ресурсов для генерации электроэнергии, предложение и моделирование комплексной гибридной сети.

Гибридный энергетический комплекс (ГЭК) представляет из себя широкое определение технической системы включающая в себя все этапы единого технологического процесса выработки не только электрической и тепловой видов энергии, но и альтернативной, аккумуляторы для хранения вырабатываемой энергии, оборудование и аппараты коммутации, передачи, распределения, а также потребления энергии и самих потребителей. Использование ВИЭ в гибридной энергосистеме является одним из наиболее перспективным путем увеличения *эффективности функционирования систем децентрализованного энергоснабжения* [1]. *Из-за недостаточной плотности энергетического потока при использовании ВИЭ, необходимо применять накопители энергии (НЭ). Во время высокого потенциала ВИЭ, дизельная-генераторная установка (ДГУ) отключена.* Из-за использования НЭ, уменьшаются колебания потребляемой и генерируемой мощности, что способствует уменьшению запусков ДГУ [2]. В Matlab выполним моделирование рассматриваемого комплекса (рис. 1).

Применение ВИЭ является одним из перспективным способом энерго-снабжения удаленных территорий. Так использование выработки энергии на базе ВИЭ в едином комплексе с традиционной генерацией энергии позволяет достичь высоких показателей эффективности, надежности и бесперебойности энергоснабжения потребителей.

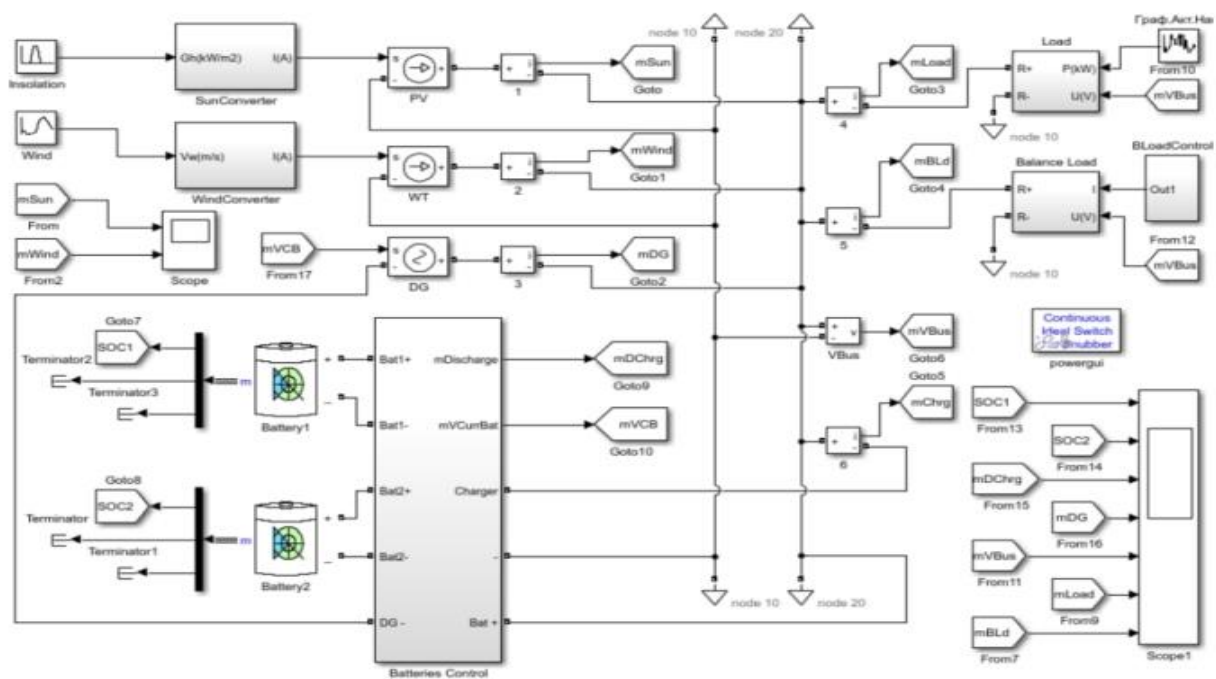


Рис. 1. Моделирование гибридной системы электроснабжения

### Библиографический список

1. Тягунов, М. Г. Особенности режимов гибридных энергокомплексов на основе возобновляемых источников энергии для определения типа аккумуляторов энергии / М. Г. Тягунов, Р. П. Шевердиев // Вестник МЭИ. – 2020. – № 4. – С. 62 – 70.
2. Попель, О. С. Возобновляемые источники энергии в регионах Российской Федерации: проблемы и перспективы / О. С. Попель // Энергосовет. – 2011. № 5(18). – С. 22 – 26.

## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ЦИФРОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ

А. А. Уютнов, М. А. Каменская, С. В. Артемова

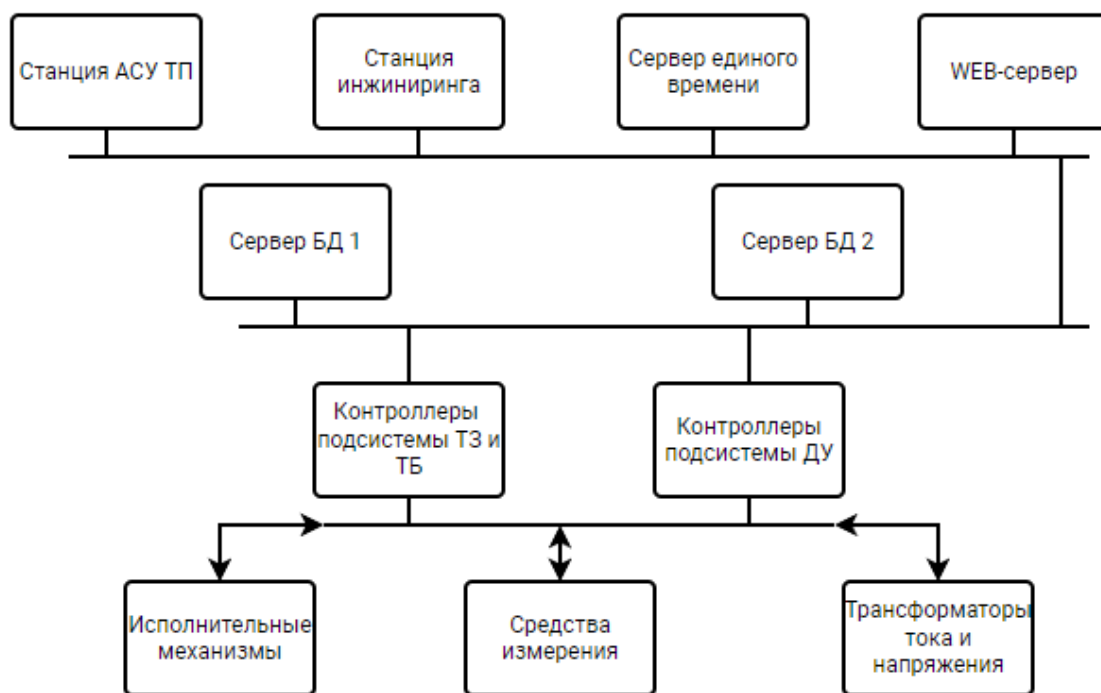
*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия*

Энергетический комплекс, в частности электроэнергетическая система (ЭЭС) переживают цифровую трансформацию. Вслед за отраслью информационно-коммуникационных технологий в электроэнергетике все больше находят применение цифровые технологии. Цифровые подстанции (ЦПС) с высокой степенью автоматизации становятся частью принципиально новых активно-адаптивных электрических сетей (ААЭС). Информация в ААЭС передается



в виде цифрового сигнала и выполняет функции управления, защиты и контроля энергосистемы. В ЦПС применяются микропроцессорные устройства релейной защиты (МП РЗА), объединенные в единую систему, осуществляющую обмен информацией. Информация, передаваемая МП РЗА стала использоваться в автоматизированных системах управления технологическим процессом (АСУ ТП). С помощью АСУ ТП в электроэнергетическом комплексе производится контроль и управление процессом производства, распределения электрической энергии, наблюдение за качеством передаваемой электроэнергии, а также фиксация и предотвращение аварийных ситуаций.

Первый уровень АСУ ТП собирает данные о технологическом процессе, второй уровень представленный контроллерами технологической защиты и безопасности через подсистему дистанционного управления передает эти данные на третий уровень в диспетчерские центры и контролирующие органы оптового рынка электроэнергии.



**Рис. 1. Три уровня АСУ ТП цифровой подстанции**

Глобальный экономический эффект от применения АСУ ТП в структуре активно-адаптивных электрических сетей для потребителей заключается в снижении количества потребленной электроэнергии, а для сетевых компаний – в сокращении капитальных вложений для снижения пиков потребления и увеличения генерирующих мощностей в пиковые периоды.

## Библиографический список

1. Особенности и проблемы проектирования микропроцессорных систем управления, автоматики и защиты электроэнергетических систем / Н. А. Агафонов, А. И. Агафонов, Т. Ю. Бростилова, К. О. Кильдюшкин // Известия вузов. Поволжский регион. Технические науки. – 2019. – № 3(51).
2. Серикбергенов, Н. Ж. Автоматические системы управления технологическими процессами на объектах электроэнергетики / Н. Ж. Серикбергенов, Ю. В. Черненко // Форум молодых ученых. – 2023. – № 7(83).

## ВЫБОР ИСТОЧНИКА ОСВЕЩЕНИЯ В БИОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ РАСТЕНИЙ

**Т. А. Фролова, В. О. Лычагина, И. А. Шаталова, Е. С. Ширкина**

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия  
(e-mail:lychagina1609@rambler.ru)*

Биотехническая система для выращивания растений (БТС-Р) представлена, как инновационное устройство, которое позволяет выращивать растения в закрытом помещении с минимальной затратой времени и усилий. БТС-Р оснащена современной системой управления, которая контролирует и регулирует влажность, температуру, освещение и другие параметры, необходимые для роста и развития растений.

Первым этапом в реализации БТС-Р было создание структурной схемы технических средств (рис. 1). Структурная схема БТС-Р состоит из четырех основных блоков: блок устройств внешнего управления (УВУ), блок управления и отображения БТС (УиО), блок воздействующих устройств (ВУ), блок датчиков (Д) и источник бесперебойного питания (ИБП).

Так как освещение играет значимую роль для растительности, подобрать оптимальное освещение было крайне важно и первостепенно. Освещение может влиять на такие аспекты, как скорость роста, формирование плодов, цвет и размер листьев, а также устойчивость к болезням и вредителям.

Правильное освещение также может улучшить качество воздуха внутри БТС, где растут растения, за счет поглощения углекислого газа и выделения кислорода. Выбор типа освещения и его интенсивности зависит от вида растения, его возраста, места произрастания и других факторов.



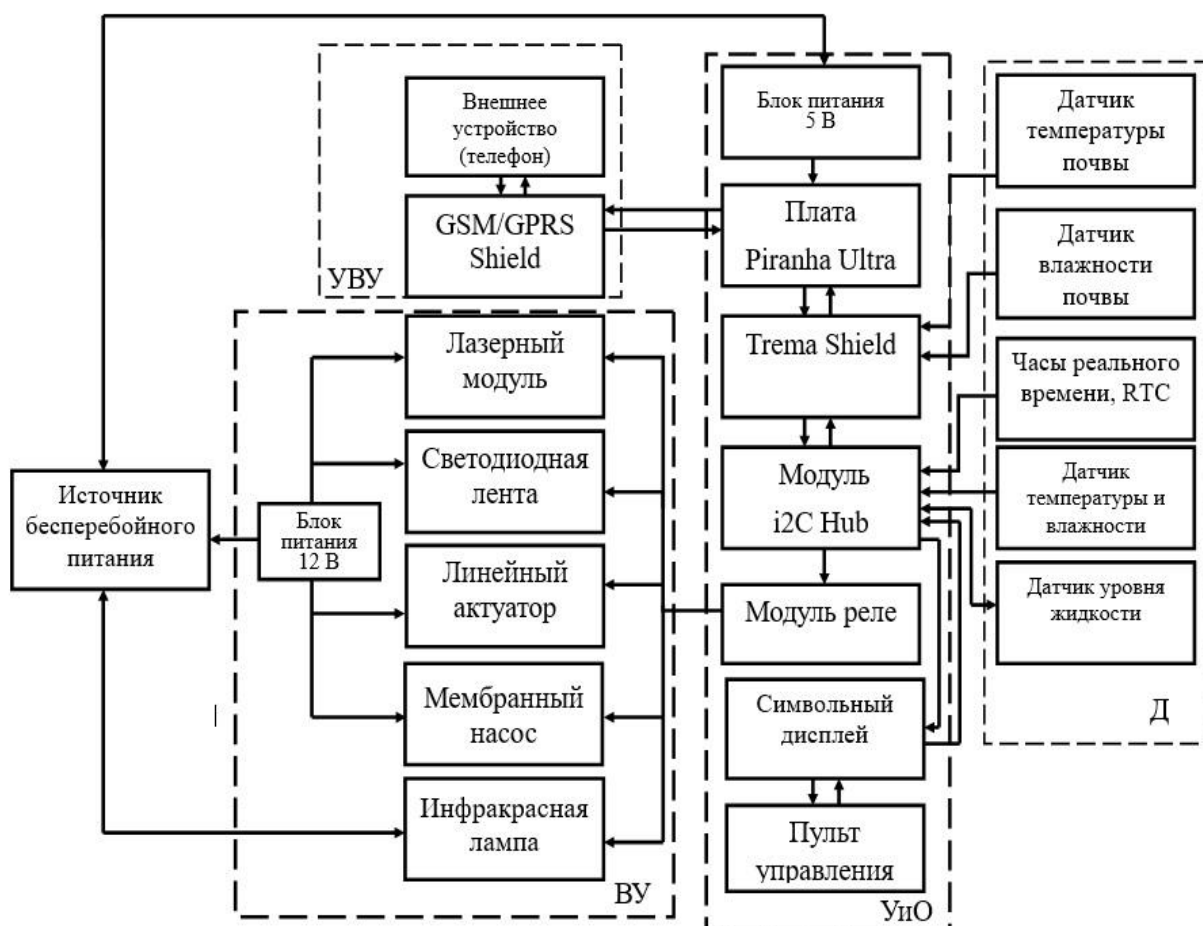


Рис. 1. Структурная схема технических средств БТС-Р

Свет для растений может быть представлен в виде ламп, прожекторов или светодиодных панелей, которые обеспечивают определенный спектр света, имитирующий солнечный свет.

В БТС-Р в качестве источника освещения предлагается использовать светодиодную ленту Epistar ws2812b (табл. 1).

### 1. Характеристики ленты Epistar ws2812b

Наименование параметра	Параметры
Тип диодов	5050
Длина	1 метр
Плотность на метр, N	60 диодов/метр
Напряжение	5 В
Мощность	18 Вт
Номинальный световой поток одного диода, $\Phi_d$	18 Лм
Мощность одного диода	0,21В

С помощью люксметра была измерена фактическая освещенность в БТС. Данные с прибора составляют 635 лк.

Исходя из того, что растениям в среднем для ускоренного роста и развития необходима освещенность равная 6000 лк, сделан вывод что лента, которая используется в БТС, не дает оптимального освещения. Для решения данной проблемы в схему был включен еще один элемент – светодиодный светильник ФОТОН ПРОМ, который дает оптимальную освещенность 7000 лк.

### **Библиографический список**

1. Градиентный метод нейросетевого управления многосвязными нелинейными нестационарными стохастическими системами / С. В. Фролов, А. Ю. Потлов, А. А. Коробов, К. С. Савинова // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2021. – № 5. – С. 41 – 48.

2. Потлов, А. Ю. Визуализация анатомических структур биологических тканей посредством оптической когерентной томографии с морфологической обработкой данных / А. Ю. Потлов, С. В. Фролов, С. Г. Проскурин // Медицинская техника. – 2020. – № 1. – С. 7 – 9.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ**

**Р. О. Хвостовец,**

**научный руководитель д-р техн. наук, профессор, доцент Е. И. Грачева**

*Казанский государственный энергетический университет,*

*Казань, Республика Татарстан, Россия*

*(e-mail: epp.kgeu@mail.ru)*

В последнее время, с развитием новых энергетических технологий, машинное обучение, искусственный интеллект и облачные вычисления, постепенно движутся в направлении цифровизации. Технологии цифровых двойников сегодня активно применяются в различных технических областях, в том числе и в электроэнергетике, как в России, так и за рубежом. Цифровизация энергетических систем позволяет применять сложные технологии и стратегии, значительно повышающие общую эффективность систем [1]. Эта волна цифровизации побудила каждую отрасль разрабатывать системы, которые будут помогать ей на протяжении всего жизненного цикла проекта [2]. В настоящее время цифровизация становится одним из основных факторов инноваций в свя-

зи со слиянием физического и виртуального миров. Цифровые решения гарантируют значительную ценность для организаций. Концепция цифрового двойника является одним из примеров разрабатываемых цифровых решений [3]. Цифровой двойник объединяет в себе информацию о показателях функционирования объекта, его детальную математическую модель, параметры которой уточняются с помощью реальных данных.

Энергетический сектор может многое выиграть от использования технологии цифрового двойника, которая включает в себя повышение производительности активов, увеличение доходов и эффективности, а также снижение негативного воздействия на окружающую среду.

При использовании цифрового двойника в электроэнергетике можно предугадать множество процессов и спрогнозировать поведение энергетической системы. Это дает возможность с точностью определить надежность как отдельных элементов энергетической системы, так и в целом оценить всю систему, выявить наиболее слабые места [4]. И как следствие провести замену оборудования, обладающего низкой надежностью непосредственно в энергетической системе. Это позволит значительно повысить экономические показатели системы, снизить вероятность аварийных ситуаций.

В результате применения технологии «Цифровой двойник» формируется параметрический виртуальный прототип реального объекта, системы или процесса, который на основе всех имеющихся ретроспективных и текущих агрегированных данных позволяет не только его моделировать, но и решать задачу управления его жизненным циклом [5].

### **Библиографический список**

1. Грачева, Е. И. Уточнение величины эквивалентного сопротивления цеховых сетей / Е. И. Грачева, О. В. Наумов // Надежность и безопасность энергетики. – 2015. – № 3. – С. 34 – 36.

2. Моделирование законов изменения функциональных параметров низковольтных аппаратов / Е. И. Грачева, А. Р. Сафин, А. В. Шагидуллин, А. Н. Хаерова // Надежность и безопасность энергетики. – 2014. – № 3. – С. 66 – 69.

# **ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВО ПО ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ В СОВЕТСКОЙ РОССИИ И СССР В УСЛОВИЯХ «ИСТОРИЧЕСКИХ ВЫЗОВОВ» (1920 – 1945 гг.)**

**С. А. Фролов**

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия  
(e-mail: seif.saf@rambler.ru)*

Современная Россия находится в условиях подлинного «исторического вызова», который в очередной раз исходит от стран США и Западной Европы. Сейчас приоритетом в энергополитике является поддержание активного развития цифровых технологий на основе указа Президента РФ «О национальных целях и стратегических задачах развития РФ на период до 2024 г.». Предусмотрен целый комплекс мер по высококачественному доступу рядовых участников энергетического рынка к информационному обслуживанию на базе цифровых платформ в современном будущем. Однако, по мнению Е.Е. Орловой, на всех уровнях власти и в обществе сложилось восприятие принимаемого законодательства как чрезвычайно сложного, неполного, противоречивого, бессистемного массива правовых норм, не отвечающего в полной мере замыслам законодателей, правоприменителей и, главное, ожиданиям граждан [1, с. 96]. Отсюда немаловажное значение имеет изучение правового наследия в том числе в сфере электроэнергетики.

Из истории законодательства в сфере электроэнергетики известно, что вслед за утверждением плана «ГОЭЛРО» принимается декрет СНК РСФСР от 7 июня 1921 г. «Об управлении электрическими станциями общественного пользования Р.С.Ф.С.Р.» и декрет СНК РСФСР от 17 мая 1922 г. «О торфяных болотах». Результатом воплощения законодательства на практике становится пуск первой торфяной электростанции в Петрограде «Уткина заводь» в 1922 г., а в 1925 г. – Шатурской электростанции на торфе. В 1925 г. на Каширской электростанции начали освоение новой технологии сжигания подмосковного угля в виде пыли. 30 июня 1925 г. следует постановление СНК СССР «О порядке сооружения и регистрации электрических станций и надзора за таковыми», а 5 февраля 1926 г. постановление СНК СССР «О налоговых льготах для электрических станций». В 1926 г. была введена в действие мощная Волховская гидроэлектростанция, энергия которой по линии электропередачи напряжением 110 кВ, протяженностью 130 км. поступала в Ленинград [2, с. 6 – 8]. Однако для осуществления процесса индустриализации и выполнения первого плана развития народного хозяйства (1928 – 1932 гг.) требовались форсированные темпы

развития электрификации, что потребовало должной правовой регламентации процесса взаимодействия с потребителями электроэнергии. В августе 1931 г. вышло постановление СНК СССР «О сроках оплаты счетов за электрическую и тепловую энергию», а в декабре 1934 г. постановлением СНК СССР было утверждено «Положение о взаимоотношениях электрических станций и энергетических систем с потребителями электрической и тепловой энергии». В результате на практике, к пятнадцатилетнему юбилею плана Ленина в СССР, констатировали факт перевыполнения «ГОЭЛРО». 27 октября 1939 г. выходит постановление Экономического совета при СНК СССР № 1216 «Об упорядочении работы промышленных и коммунальных электростанций, включенных в электросеть наркомата электростанций и электропромышленности». Тем самым, путь индустриального развития, для которого главным капиталистическим странам – США, Англии понадобилось одно – два столетия, СССР прошел менее чем за два десятилетия [2, с. 10 – 12]. Преимущественное использование советскими электростанциями местных видов топлива позволило в военные годы быстро и с высокой эффективностью справляться с трудностями снабжения тепловых электростанций топливом. Однако за годы ВОВ (1941 – 1945 гг.) в рамках территорий советской государственности было уничтожено более шестидесяти электростанций и нанесен значительный ущерб всей энергосистеме страны.

### **Библиографический список**

1. Орлова, Е. Е. Мониторинговые технологии повышения эффективности правотворчества в государствах-участниках СНГ в контексте Евразийской перспективы / Е. Е. Орлова // Право: история и современность. – 2021. – № 2(15). – С. 96 – 106.
2. Мещерякова, С. В. Правовое обеспечение топливно-энергетического комплекса России (исторический аспект) : учебное пособие / С. В. Мещерякова, Е. Е. Орлова. С. А. Фролов. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2013. – 80 с.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ

В. С. Деревнина

*Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия  
(e-mail: viktoriaderevnina7962@gmail.com)*

Причиной отключений воздушных линий является короткое замыкание на линии. Существуют четыре вида коротких замыканий на землю: однофазные, двухфазные на землю, двухфазные без земли и трехфазные. Самым распространенным видом являются однофазные короткие замыкания, которые составляют больше половины отключений.

Причинами повреждений воздушной линии в порядке убывания являются: перекрытие изоляторов и их дальнейшее разрушение, включение короткозамыкателей на ответвительных подстанциях, перекрытие провода на тело опоры, перекрытие провода из-за проезжающего высокогаборитного транспорта, обрыв грозозащитного троса, падение провода на землю, набрасывание токопроводящих предметов на линию, перекрытие из-за веток деревьев.

Для моделирования короткого замыкания была выбрана программа Elcut. Было смоделировано двухфазное короткое замыкание линии 110 кВ. Согласно [1] сопротивление заземляющих устройств опор не должно превышать 10 Ом для эквивалентного сопротивления грунта до 100 Ом·м. Было принято сопротивление грунта 4 Ом для воздушной линии 110 кВ.

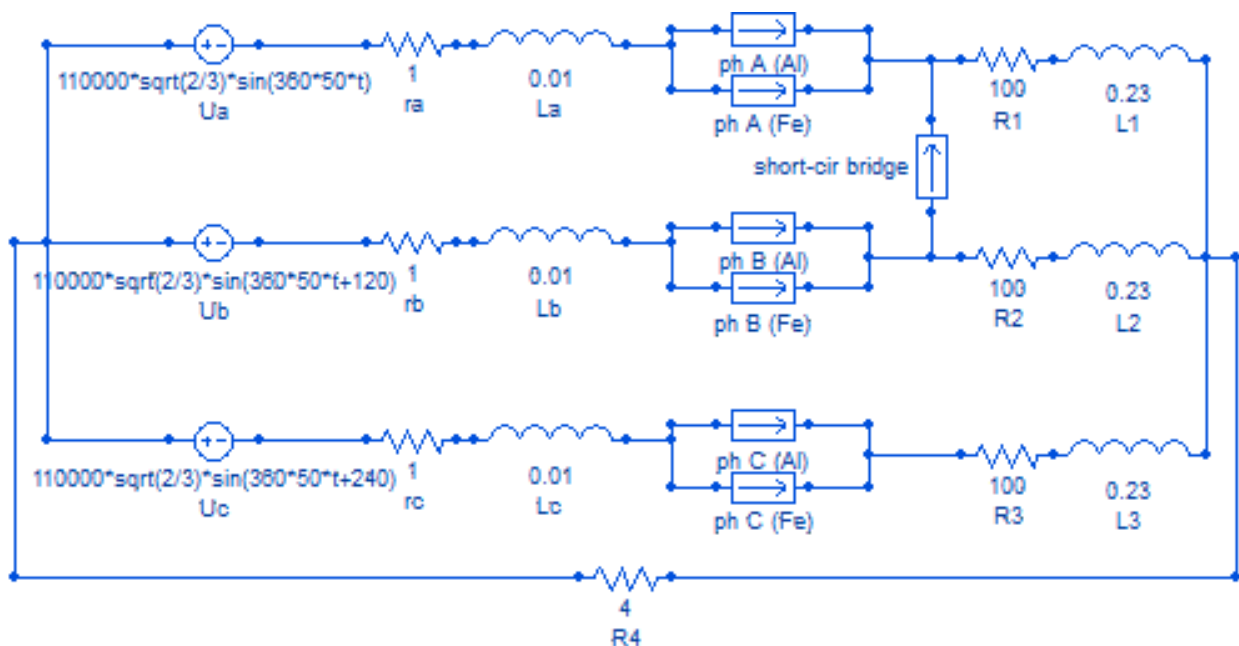


Рис. 1. Электрическая цепь для моделирования двухфазного короткого замыкания

Ключ моделирует короткое замыкание. Для этого необходимо изменить электропроводность на 20 порядков. Таким образом цепь замкнется между фазой А и В.

Таким образом, с помощью ключа создается двухфазное короткое замыкание на воздушной линии. При коротком замыкании резко снижается напряжение в линии, а ток резко возрастает. Ток в фазе А в результате данного моделирования максимально возрастет до 7000 А и фаза выйдет из строя.

Итак, было рассмотрено одно из самых частых коротких замыканий – двухфазное. Короткое замыкание является причиной отключений линии и соответственно низкой надежности. Для повышения надежности необходимо устранять и предотвращать причины коротких замыканий.

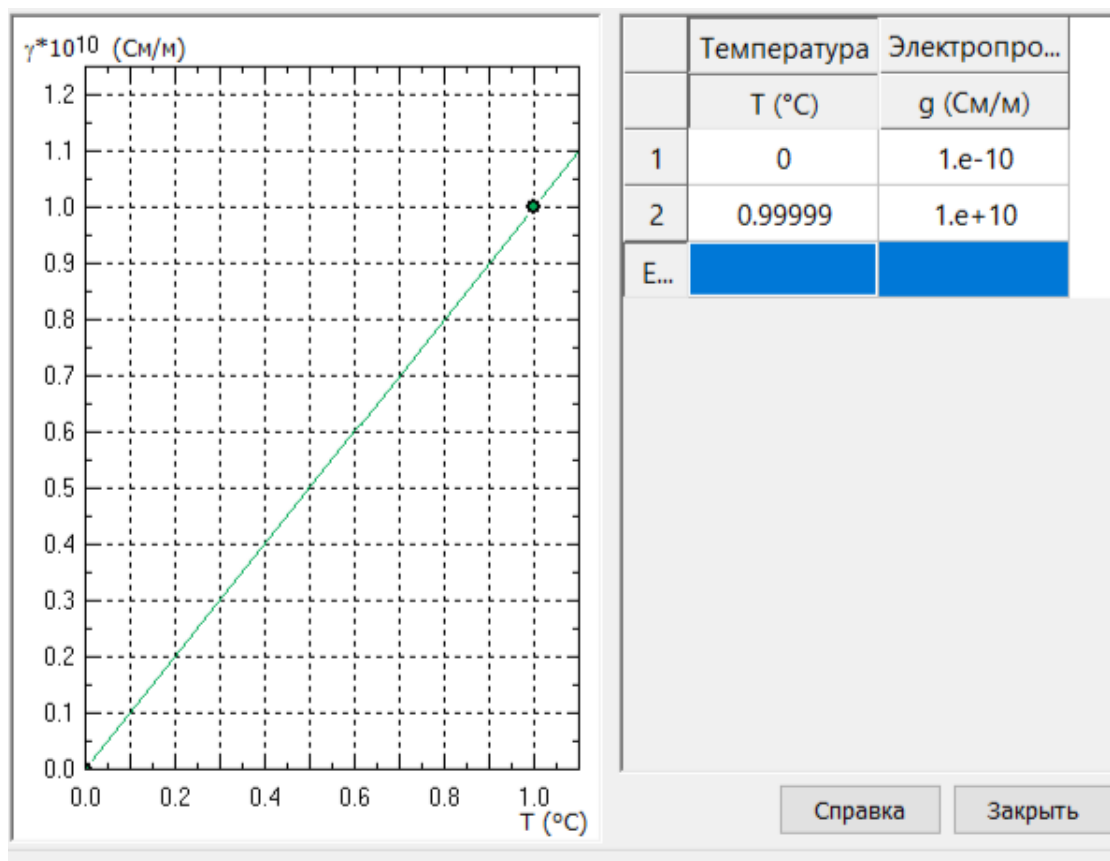


Рис. 2. Моделирование короткого замыкания

### Библиографический список

1. Правила устройства электроустановок. – 7-е изд. – СПб. : ДЕАН, 2005. – 463с.
2. Серкин, В. Г. Анализ короткого замыкания и конструкция автоматического выключателя / В. Г. Серкин // Молодой ученый. – 2018. – № 42(228). – С. 16 – 21.

## ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

**А. М. Зарубин**

*Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Россия*

Российский сектор электроэнергетики, основанный преимущественно на инфраструктуре советской эпохи, все еще работает на устаревшем оборудовании. Ведутся постепенные обновления с помощью специализированных программ, таких как PDM и Commodus. Следовательно, неотложной задачей для отрасли является цифровая трансформация с использованием современных технологий для повышения рентабельности [3].

Цифровизация в этом секторе предполагает внедрение цифровых технологий и систем для повышения эффективности, надежности и управляемости электроэнергетических систем. Основная концепция, лежащая в основе цифровизации в электроэнергетике, заключается в замене традиционных аналоговых систем и процессов цифровыми эквивалентами. Эти цифровые альтернативы облегчают сбор, обработку и анализ огромных объемов данных для более точного и эффективного принятия решений [2].

Несмотря на то, что цифровая трансформация в России все еще находится на начальном этапе, она является ключевым фактором развития энергетической отрасли. Например, Министерство энергетики России инициировало проект «Цифровая энергетика», охватывающий не только электроэнергетику, но и нефтегазовый, а также угольный секторы [3].

Решение проблемы цифровой трансформации в российской электроэнергетике привело к созданию ассоциации «Цифровая энергетика» (АЦЭ). Объединяя «Интер РАО», «Россети», системного оператора Единой энергетической системы (АО «СО ЕЭС»), и «Росатом», АЦЭ вносит свой вклад в разработку отраслевых стандартов, предлагая законодательные изменения, способствуя сотрудничеству между участниками рынка, обеспечивая финансирование новых цифровых технологий и участвуя в исследованиях и разработках [3].

Ключевые стратегические цели АСЕ в области цифровой трансформации включают повышение эффективности текущих активов и затрат, инвестирование в новые классы активов и направления обслуживания, а также расширение возможностей цифровых технологий. Достижение этих целей к 2030 году направлено на формирование высококонкурентного рынка электроэнергии с разнообразными поставщиками, льготным тарифным регулированием и инновационными бизнес-моделями [3].



Также ярким примером, демонстрирующим успех ИИ в энергетическом секторе, является проект Smart Grid, инициированный Enel в Италии. Это начинание привело к созданию цифровой платформы, использующей алгоритмы машинного обучения для управления энергосистемами. Следовательно, время простоя энергосистем сократилось на 20%, а затраты на техническое обслуживание и ремонт снизились на 30% [1].

Таким образом, использование технологий машинного обучения и анализа данных позволяет улучшить работу энергосистемы, повысить уровень производства энергии и сократить расходы, связанные с обслуживанием и ремонтом оборудования.

### **Библиографический список**

1. Актуальные технологии для рынка электроэнергетики // TAdviser – портал выбора технологий и поставщиков. – URL : [https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Актуальные\\_технологии\\_для\\_рынка\\_электроэнергетики](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Актуальные_технологии_для_рынка_электроэнергетики) (дата обращения: 26.11.23).
2. Филатова, Р. В. Тренды внедрения цифровых технологий в энергетической отрасли / Р. В. Филатова, С. В. Пирогова // Крымский научный вестник. – 2020. – № 1(26). – URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/trendy-vnedreniya-tsifrovyyh-tehnologiy-v-energeticheskoy-otrasli> (дата обращения: 26.11.2023).
3. Цифровая трансформация электроэнергетики // CONOMY – умные инвестиции. – URL : <https://conomy.ru/analysis/articles/619> (дата обращения: 26.11.23).

## **ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ УМНЫХ ЭЛЕКТРОСЕТЕЙ (SMART GRID) МИКРОГРИДОВ**

**М. Слиманоу, В. Ф. Калинин, В. К. Туровский**

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия  
(e-mail: [slimanou.meriem@gmail.com](mailto:slimanou.meriem@gmail.com), [kalinin@tstu.ru](mailto:kalinin@tstu.ru))*

### **1. Введение**

Энергетический и цифровой переходы это две основные происходящие трансформации. Однако их отличает одно фундаментальное различие: энергетический переход ведет нас к желаемой цели, а именно к малоуглеродной экономике. С другой стороны, цифровой переход-это инструмент, средство, которое необходимо использовать для достижения более высоких целей, будь то экономические, социальные или экологические.

Умные Сети (Smart Grid) лежат в основе цифрового и энергетического перехода. Они объединяют информационные и коммуникационные технологии для обеспечения динамичного управления энергопотреблением, упрощая интеграцию возобновляемых источников энергии, управление спросом и снижение потерь энергии.

## 2. Цифровые технологии и Умные Сети

Умные Сети (Smart Grid) включают в себя широкий спектр цифровых технологий для оптимизации производства, распределения и потребления энергии. Вот некоторые из цифровых технологий, обычно используемых в интеллектуальных сетях :

- **Интеллектуальные датчики:**

Это необходимый узел в сети, который служит станцией обнаружения в сети набора датчиков. [1] Датчики развертываются на оборудовании энергосети для сбора данных в реальном времени о производстве, распределении и потреблении энергии.

Интеллектуальный датчик состоит из четырех частей: преобразователя, микрокомпьютера, приемопередатчика (трансивера) и источника питания. Преобразователь генерирует электрические сигналы на основе таких параметров, как напряжение в электрической сети. Микрокомпьютер обрабатывает и сохраняет выходные данные датчика. Трансивер, который может быть проводным или беспроводным, получает команды от центрального компьютера и передает данные на этот компьютер. Питание для каждого датчика подается от электросети или аккумулятора [1].

- **M2M-коммуникации (machine-to-machine)**

Способность оборудования обмениваться данными и поддерживать порядок на производственной линии при замене одной машины другой становится возможной благодаря коммуникации между машинами. Традиционная машина-машина коммуникация использует промежуточные серверы для хранения, декодирования и передачи сообщений между машинами [2].

M2M-коммуникации обеспечивают передачу информации между различными компонентами энергосети, такими как счетчики, подстанции, генераторы и центры управления.

- **Анализ данных и искусственный интеллект (ИИ):**

Расширенный анализ данных, включая ИИ и машинное обучение, используется для обработки огромных объемов данных, генерируемых интеллектуальными сетями. Это включает прогнозирование спроса, обнаружение аномалий и оптимизацию операций.

- **Умные технологии хранения энергии:**

Цифровые технологии используются в системах хранения энергии, таких как аккумуляторы, суперконденсаторы, др. для управления зарядом и разрядом, оптимизируя процесс хранения энергии и стабильность самой сети.

**Вывод.** Эти цифровые технологии в умных энергосетях помогают создать более интеллектуальные, эффективные и устойчивые энергетические системы, способствуя интеграции возобновляемых источников энергии и адаптивному управлению сетью.

### **Библиографический список**

1. URL : <https://actualiteinformatique.fr/internet-of-things-iot/capteur-de-reseau-intelligent>
2. Gericke G. A., Kuriakose R. B., Vermaak H. J., Madsen Ole : Machine to Machine Communication Protocol for SMART Manufacturing Units – Journal of Physics: Conference Series, CC BY 3.0, 2020

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ**

**Д. Н. Земской, Ж. А. Зарандия, Д. М. Димкович**

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия  
(e-mail: zemskoydeyvid@gmail.com)*

Электроэнергетические комплексы являются ключевыми элементами инфраструктуры, обеспечивающие стабильное и надежное энергоснабжение. Основные компоненты электроэнергетических комплексов: генераторы, трансформаторы тока, информационно-измерительная система, линии электропередачи, распределительные устройства, потребители электрической энергии.

Информационно-измерительная система (ИИС) в электроэнергетике обычно располагается на диспетчерском пункте или щите управления электростанцией, подстанцией или другой энергосистемой. ИИС включает в себя различные датчики, собирающие информацию о рабочих параметрах системы, таких как напряжение, ток, частота, мощность и другие важные показатели. Собранные данные передаются на устройства обработки и отображения информации, где они анализируются и используются оперативным персоналом

для контроля и управления энергообъектом. Ниже представлен пример структурной схемы ИИС (рис. 1).

Работа электроэнергетических комплексов подвергается воздействию внешних факторов, которые негативно влияют на качество функционирования информационно-измерительных систем электроэнергетических комплексов. При этом необходимо оценивать качество электроэнергии. Качество электроэнергии может влиять на работу электрических устройств, а также на потери энергии в электрических сетях. Если качество электроэнергии низкое, то это может привести к сбоям в работе устройств, увеличению износа оборудования и другим проблемам.

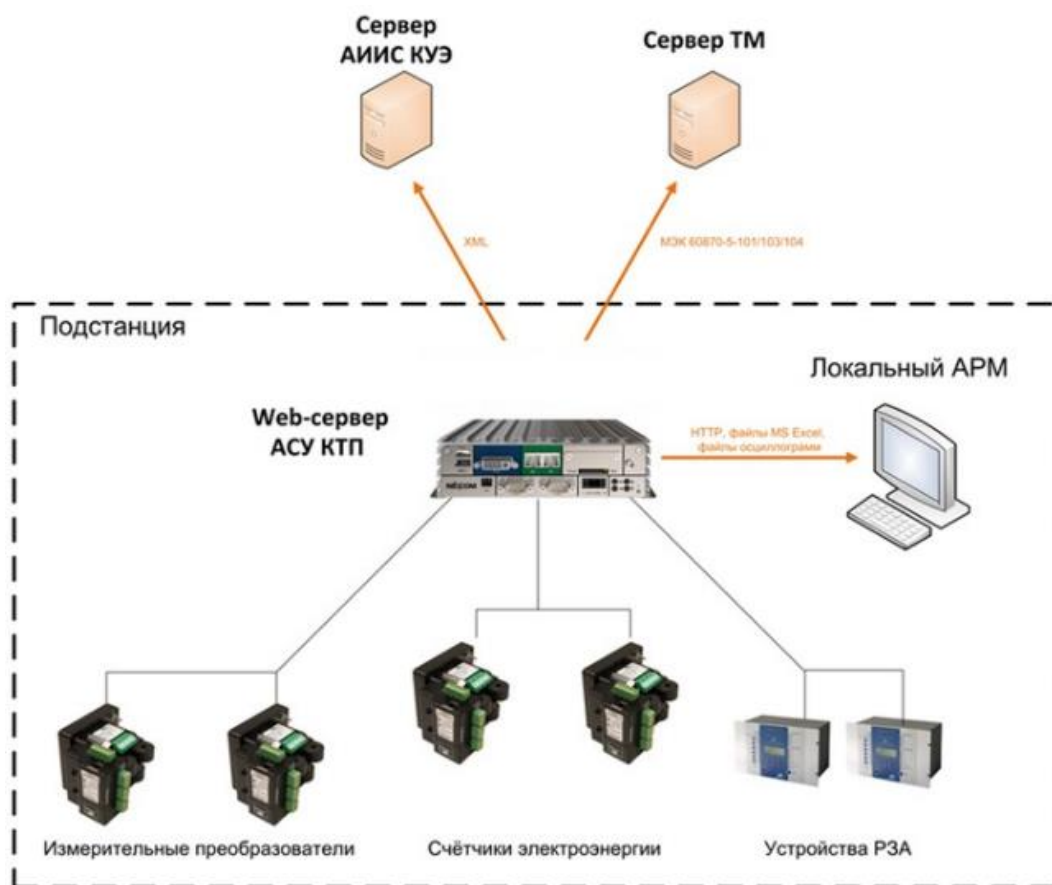


Рис. 1. Структурная схема ИИС

Для оценки и анализа влияния этих проблем необходим комплексный подход, учитывающий множество параметров и особенностей систем. В следствие чего необходимо разработать методику оценки качества функционирования информационно-измерительных систем электроэнергетических объектов.

Информационно-измерительная система является комплексом технических средств и программного обеспечения, предназначенный для измерения, сбора, обработки, хранения и представления информации о различных физических величинах и процессах.

Процесс измерения в информационно-измерительных системах электро-энергетического комплекса включает следующие этапы:

- 1) сбор данных;
- 2) передача данных;
- 3) обработка данных;
- 4) отображение и хранение данных;
- 5) управление данными.

Для успешного выполнения поставленных задач ИИС должна обладать следующими основными свойствами: точность, погрешность, быстродействие, воспроизводимость, стабильность, устойчивость к помехам, совместимость, надежность

Информационно-измерительные системы играют ключевую роль в обеспечении надежности и эффективности электроэнергетического комплекса. Они позволяют собирать и обрабатывать данные о состоянии оборудования, параметрах энергосистемы и окружающей среды, что в свою очередь позволяет принимать обоснованные решения по управлению и оптимизации работы энергосистемы.

Кроме того, информационно-измерительные системы обеспечивают мониторинг и контроль качества электроэнергии, что позволяет своевременно выявлять и устранять проблемы, связанные с потерями электроэнергии, перенапряжениями и другими негативными явлениями.

В целом, использование информационно-измерительных систем в электроэнергетике способствует повышению надежности и эффективности работы энергосистемы, снижению затрат на эксплуатацию и улучшению экологической ситуации.

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ**

**А. А. Терехова, Б. С. Дмитриевский, А. В. Мордовин**

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия  
(e-mail: terehova.aa@mai.tstul.ru)*

Основное предназначение цифровых информационных технологий заключается в создании и развитии автоматизированной системы предприятия, которая будет являться интегрированным информационным пространством. Целью внедрения цифровизации в производственные процессы является обес-

печение оперативными данными организационных, социально-экономических и научно-технических процессов, а также в создании условий для удовлетворения максимального спектра информационных потребностей в управлении

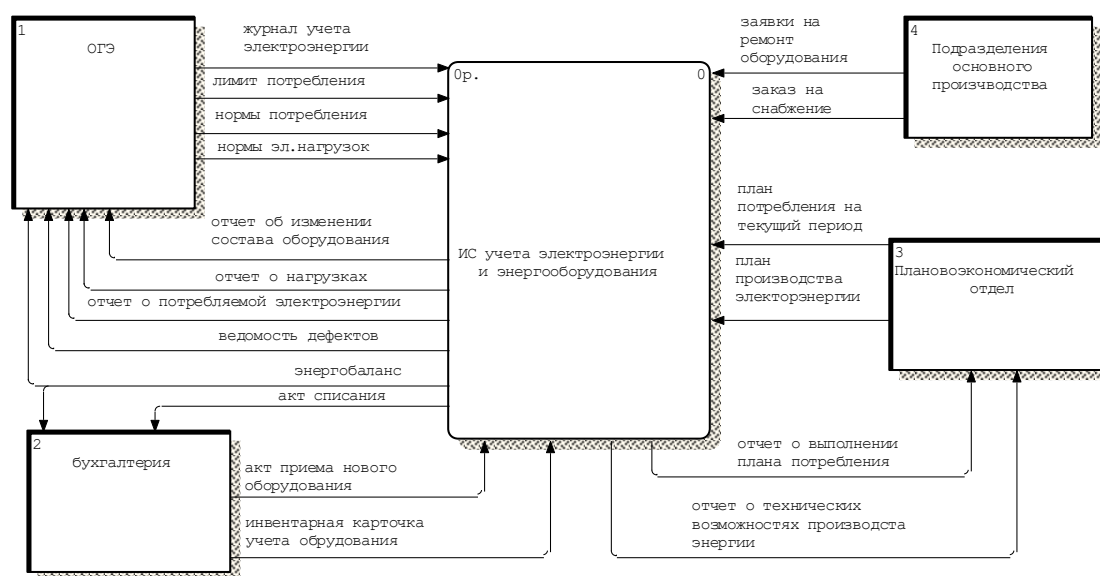
Важнейшие задачи учета электроэнергии включают производство финансовых расчетов за приобретенную электроэнергию и определение себестоимости производства. Также необходимо определить и прогнозировать технико-экономические показатели производства, передачи и распределения электроэнергии.

Особое внимание уделяется определению и прогнозированию технико-экономических показателей потребления электроэнергии на предприятии в целом и по каждому отделу-потребителю. Это позволяет эффективно управлять потреблением электроэнергии, а также осуществлять энергосбережение на предприятии.

Таким образом, автоматическая система учета способствует эффективному управлению энергоресурсами, обеспечивая повышение энергоэффективности и оптимизацию производственных процессов.

Создаваемая система управления предоставляет возможность определить несколько важных аспектов: потребность предприятия в электроэнергии для достижения требуемого уровня производства, объем электроэнергии, необходимый на различных этапах производственного процесса, воздействие сезонного фактора на потребление электроэнергии и связь между количеством

Диаграмма потоков данных в системе управления энергоресурсами в производственном процессе показана на рис. 1.



**Рис. 1. Диаграмма потоков данных в системе управления энергоресурсами в производственном процессе**

Внедрение системы управления энергоресурсами обеспечивает получение актуальной информации о потреблении энергии каждым объектом в режиме близком к реальному времени. Это позволяет эффективно планировать и контролировать потребление энергоресурсов на предприятии, с целью рационального использования и экономии. Точные и объективные данные о фактическом потреблении обеспечивают выполнение всех традиционных мероприятий по экономии энергоресурсов.

### **Библиографический список**

1. Разработка программного комплекса системы управления сложными производственными процессами / В. Г. Матвейкин, Б. С. Дмитриевский, А. А. Терехова и др. // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2021. – Т. 27, № 2. – С. 168 – 184.

2. Артемова, С. В. Интеллектуальная информационно-управляющая система энергосберегающего управления / С. В. Артемова, А. А. Артемов, М. А. Каменская // Научно-техническая информация. Серия 2: Информационные процессы и системы. – 2019. – № 2. – С. 9 – 17.

## **ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ТЕПЛОВЫХ АККУМУЛЯТОРОВ И СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ**

**А. В. Кобелев, Д. А. Шаповалов**

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия  
(e-mail: kobelev77@rambler.ru)*

Развитие энергосберегающих технологий позволяет существенным образом повысить экономическую рентабельность большого класса технологических процессов [1, 2]. Важное значение при формировании энергосберегающих технологий играют новые технические решения в сфере накопления различных форм энергии. Имеются серьезные перспективы при накоплении электрической [1] и тепловой энергии [2] с целью последующей передачи для энергоемкого потребителя в периоды максимальной загрузки. В целом ряде случаев возможно использовать одновременное накопление тепловой и электрической энергии, что может быть обосновано для технологий перерабатывающей промышленности и жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ). Активное применение систем возобновляемой энергетики также оказывает влияние на формирование новых

технических решений в технологиях накопления энергии. Это относится к комбинированному использованию солнечных коллекторов, устройств фотовольтаики, а также ветроустановок. Для накопления электрической энергии могут быть использованы суперконденсаторы, которые позволяют запасть электрическую энергию на основе эффекта двойного электрического слоя (ДЭС), а для накопления тепловой энергии применимы тепловые аккумуляторы с эффектом накопления тепловой энергии в режиме фазового перехода.

Суперконденсаторы должны иметь оптимальные массогабаритные параметры, а также устойчивость к воздействию окружающей среды.

Также следует отметить важные преимущества суперконденсаторов – высокая мощность и низкое внутренне сопротивление, что позволяет им конкурировать со свинцовыми и литий-ионными (Li-Ion) АКБ. Наибольшее распространение получили суперконденсаторы, у которых материал электрода – чистый углерод (обладающий высокой площадью удельной поверхности и развитой структурой пор).

Следует отметить, что для тепловых аккумуляторов имеются определенные требования, которые позволят их активно использовать в технологических процессах:

1. Максимизация запасаемой энергии.
2. Управление режимами заряда/разряда.
3. Пожаробезопасность.
4. Адаптированность к источнику тепловой энергии и потребителю.
5. Большое количество циклов заряда/разряда.

Тепловые аккумуляторы суточного типа могут накапливать заряд от электромагнитного излучения солнца или электросети в часы льготного тарифа или малой загрузке.

Для ветроэнергетики и солнечной энергетики – суперконденсаторы возможно использовать для развертывания гибридных систем накопления энергии, что включают в себя накопление тепловой энергии в тепловых аккумуляторах, так и накопитель электрической энергии на основе суперконденсаторов.

Таким образом концепция использования комбинированного типа накопления энергии имеет существенные перспективы и позволяет повысить экономическую рентабельность систем возобновляемой энергетики и оказать ключевое влияние на развитие новых перерабатывающих технологий в различных сферах промышленности.



## Библиографический список

1. Гогорян, М. Л. Аспекты применения суперконденсаторов в электроэнергетике / М. Л. Гогорян, Н. В. Земцова, А. В. Щегольков // Энергетика будущего – цифровая трансформация : сб. тр. III Всерос. науч.-практ. конф., Липецк, 14–15 декабря 2022 года. – Липецк : Липецкий государственный технический университет, 2022. – С. 227 – 229.

2. Пат. № 2771723 С1 Российская Федерация, МПК F26B 17/10, F26B 5/04, F26B 7/00. Энергоэффективная система для глубокой переработки растительного сырья с тепловыми аккумуляторами и электронагревателями / Родионов Ю. В., Щегольков А. В., Щегольков А. В. и др. ; заявитель ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет» ; № 2021127502 ; заявл. 20.09.2021 ; опубл. 11.05.2022.

## ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ПРОВОДЯЩИХ ЭЛАСТОМЕРОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И ТЕНЗОМЕТРИИ

**Н. В. Земцова, А. В. Щегольков, В. А. Кобелева**

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия*

*(e-mail: [Energynano@yandex.ru](mailto:Energynano@yandex.ru))*

Проводящие полимерные композиты являются основой для построения различных типов измерительных преобразователей, которые позволяют проводить измерения температуры, давления, влажности и многих других физико-химических параметров [1, 2]. Для обеспечения проводимости диэлектрической полимерной матрицы – используют различные типы проводящих добавок, которые могут быть, как нано, так и микроразмерными. По своей природе проводящие добавки могут быть полупроводникового, диэлектрического или металлического типа. Проводящие полимерные композиты могут обладать, как температурозависимыми, так и независимыми электрофизическими параметрами, а также иметь возможность формирования электрического сигнала при механических воздействиях, что предопределяет их возможности для создания первичных измерительных преобразователей для измерения температуры и тензометрии.

Для получения проводящих полимеров, с возможностью их использования в различных измерительных системах, необходимо использовать следующие методические подходы:

1. Разработка методов получения микро и наноразмерных частиц, которые будут использоваться в качестве добавок в полимерные композиты.

2. Разработка методов получения функциональных материалов на основе проводящих эластомеров с использованием технологии настраиваемых электрофизических, а также морфологических и структурных свойств.

3. Разработка математических моделей первичных измерительных преобразователей на основе проводящих эластомеров для измерения температуры и давления (тензометрия).

4. Формирование оптимизированной архитектуры измерительных преобразователей на основе проводящих эластомеров для измерения температуры и давления (тензометрия).

5. Разработка технологии получения эталонной информации об физико-механических свойствах материалов с целью создания цифровых двойников для плановых исследований и верификации результатов.

6. Разработка методов машинного обучения для анализа и интерпретации данных, полученных в процессе измерений на основе технологии больших данных – связанных с цифровыми двойниками.

7. Создание информационно-измерительных систем (ИИС) адаптированных для функциональных материалов на основе проводящих эластомеров. Формирование ручного и автоматизированного пользовательского интерфейса для ИИС, что позволит проводить измерения и анализировать полученные данные в автоматизированных технологических объектах.

Создание функциональных материалов на основе проводящих эластомеров для измерения температуры и тензометрии требует комплексного методического подхода, включающего в себя разработку технологии получения проводящих эластомеров, математических моделей, оптимизации их структурных свойств и архитектуры, формирование методов анализа и интерпретации данных.

Применение функциональных материалов на основе проводящих эластомеров для измерения температуры и тензометрии имеет разнообразные преимущества при реализации на их основе ИИС: расширение диапазонов измерений, снижение погрешности измерений, расширение функциональных возможностей за счет реализации в одном первичном измерительном преобразователе измерения нескольких физических параметров.

Функциональные материалы на основе проводящих эластомеров для измерения температуры и тензометрии позволят значительно улучшить эффективность сбора данных о физических свойствах материалов и технологических объектов, что повышает достоверность получаемых данных при автоматизации большого спектра технологических процессов с применением ИИС.

### **Библиографический список**

1. Структурные свойства электроактивных наномодифицированных эластомеров для систем автоматического управления и тензометрии / Н. В. Земцова, С. Ю. Евдокимова, В. А. Кобелева, А. В. Щегольков // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2023. – Т. 10, № 1-2. – С. 63 – 67.

2. Земцова, Н. В. Электроактивные наномодифицированные эластомеры: технологические аспекты изготовления и перспективы применения / Н. В. Земцова, А. В. Щегольков // Современные тенденции развития функциональных материалов : сб. тез. докл. Междунар. молодеж. науч. конф., Сочи, 16 – 18 ноября 2022 года. – Сочи : Автономная некоммерческая образовательная организация высшего образования «Научно-технологический университет «Сириус», 2022. – С. 31.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПЕРЕДАЧИ ШЛЕЙФОВЫХ РАЗВЕТВЛЕНИЙ СВЧ-УСТРОЙСТВА НА СВЯЗАННЫХ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ВОЛНОВОДАХ С ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ СЛОЯМИ У БОКОВЫХ СТЕНОК ЕГО ВТОРИЧНОГО КАНАЛА**

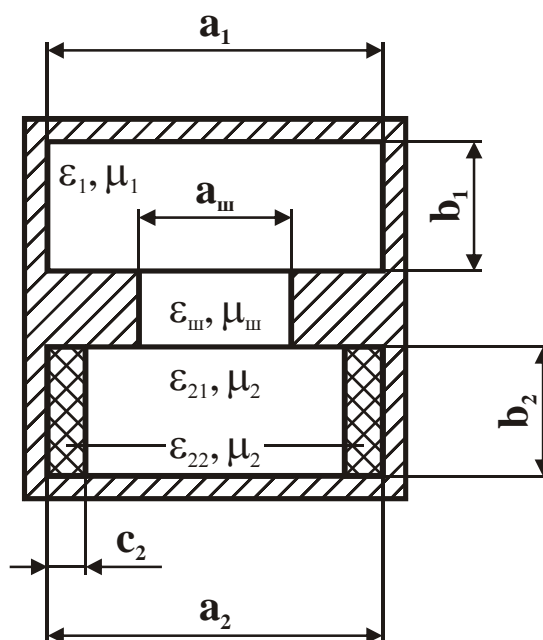
**А. А. Скворцов**

*Саратовский государственный технический университет  
имени Гагарина Ю. А., Саратов, Россия  
(e-mail: sotrudniki.1@yandex.ru)*

Исследование электромагнитных свойств СВЧ-устройства на связанных по широкой стенке посредством шлейфовых разветвлений прямоугольных волноводах (ПрВ) с диэлектрическими слоями, расположенными симметрично у боковых стенок его вторичного канала (рис. 1) [1], представляет самостоятельный практический интерес, так как в ряде практических случаев предпочтительнее структуры с центральным симметричным расположением диэлектрического слоя. Важной задачей, возникающей при построении такого СВЧ-устройства, является оценка влияния слоистого диэлектрического заполнения

его вторичного волновода (канала) на коэффициенты передачи шлейфовых разветвлений.

Поскольку зависимость коэффициента передачи одного волновода связи (шлейфа) в диапазоне частот аналогична передаточной характеристике шлейфового разветвления [1], анализ диапазонных свойств коэффициента передачи одного элемента связи позволяет однозначно судить о поведении коэффициента передачи СВЧ-устройства в целом.



**Рис. 1. Поперечное сечение СВЧ-устройства на связанных по широкой стенке посредством шлейфовых разветлений ПрВ с диэлектрическими слоями у боковых стенок его вторичного канала**

Модуль коэффициента передачи одного шлейфового разветвления рассматриваемого СВЧ-устройства можно рассчитать исходя из замены его вторичного канала с диэлектрическими слоями, расположенными симметрично у боковых стенок, на ПрВ с однородным диэлектрическим заполнением по формуле [1]

$$|\dot{K}_{\text{ш}}| = \frac{\Phi_{\text{ш}}^{-1} \lambda_{\text{Вш}}}{2\sqrt{k^*} (a_1 b_1 a_2 b_2 \lambda_{\text{В1}} \lambda_{\text{В2}})^{1/2}} \left[ \left( \cos\left(\frac{\pi h_1}{a_1}\right) \sin \gamma_1 \right)^2 + \left( \frac{\lambda_{\text{В1}}}{2a_1} \sin\left(\frac{\pi h_1}{a_1}\right) \cos \gamma_1 \right)^2 \right]^{1/2} \left[ \left( \cos\left(\frac{\pi h_2}{a_2}\right) \sin \gamma_2 \right)^2 + \left( \frac{\lambda_{\text{В2}}}{2a_2} \sin\left(\frac{\pi h_2}{a_2}\right) \cos \gamma_2 \right)^2 \right]^{1/2}, \quad (1)$$

где  $\sqrt{k^*} \approx 1$ ;  $\Phi_{\text{ш}}$  – параметр, зависящий от формы поперечного сечения шлейфа;  $h_1, h_2$  – смещение центра шлейфа относительно средней линии соот-

ветственно первичного и вторичного волноводов;  $\gamma_1$ ,  $\gamma_2$  – углы поворота шлейфа относительно средних линий связываемых волноводов;  $\lambda_{в1} = \lambda / \sqrt{\varepsilon_1 \mu_1 - (\lambda/2a_1)^2}$ ,  $\lambda_{в2} = \lambda / \sqrt{\varepsilon_{2эфф} \mu_2 - (\lambda/2a_2)^2}$  и  $\lambda_{вш} = \lambda / \sqrt{\varepsilon_{ш} \mu_{ш} - (\lambda/\lambda_{с1ш})^2}$  – длины основных волн в первичном и вторичном волноводах и шлейфе;  $\lambda$  – рабочая длина волны в свободном пространстве;  $\lambda_{с1ш}$  – критическая длина основной волны шлейфа;  $\varepsilon_1$ ,  $\mu_1$ ,  $\varepsilon_{ш}$  и  $\mu_{ш}$  – относительные диэлектрические и магнитные проницаемости материалов, заполняющих первичный волновод и шлейф;  $\varepsilon_{2эфф} = \varepsilon_{21} + 2c_2(\varepsilon_{22} - \varepsilon_{21})(1 - (\sin(2\pi c_2/a_2))/(2\pi c_2/a_2))/a_2$  и  $\mu_2$  – относительные эффективная диэлектрическая [2] и магнитная проницаемости заполнения вторичного волновода.

Таким образом, рассмотренное выше выражение позволяет оценить влияние на коэффициенты передачи шлейфовых разветвлений СВЧ-устройства на связанных по широкой стенке ПрВ диэлектрических слоев, расположенных симметрично у боковых стенок его вторичного канала, и может быть использовано при синтезе микроволновых систем различного назначения.

### Библиографический список

1. Sosunov V. A., Skvortsov A. A. Waveguide cell for thermal processing of lossy material // Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology (ICMMT–2000), September 14 – 16, 2000, Beijing, China. – Beijing, 2000. Pp. 565–567.
2. Манойлов, В. П. Розрахунок хвилеводів з частковим діелектричним заповненням / В. П. Манойлов, В. В. Чухов // Вісник НТУУ «КПІ». Радіотехніка. Радіоапаратобудування. – 2006. – № 33. – С. 91 – 100.

# ДОМАШНЯЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ НА ОСНОВЕ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ANDROID

**А. Е. Кудрявцев,**

**научный руководитель д-р техн. наук, профессор В. И. Зацепина**

*Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия*

*(e-mail: tembich001@mail.ru)*

Интернет вещей «IoT» относится к взаимодействию между интеллектуальными устройствами и интеллектуальными объектами с помощью встроенных систем для обмена данными друг с другом [1]. Развитие архитектуры Интернета вещей со встроенными системами и интеграция мобильных систем в приложения Интернета вещей продвинулись вперед и создали новую эру информационных и коммуникационных технологий. Эта продвинутая динамическая сеть Интернета вещей позволяет каждому соединить все, что находится повсюду. Технология Интернета вещей с мобильными системами создала широкое пространство для развития приложений «умного дома», где устройства интеллектуально связаны друг с другом, чтобы обеспечить комфорт в повседневной жизни, улучшить благосостояние людей и улучшить качество жизни.

В настоящее время системы автоматизации «умного дома» разрабатываются на основе мобильных технологий и приложений для управления и мониторинга домашней среды. Ислам разработал экономичную и гибкую систему безопасности для автоматизации умного дома на базе Android-приложения с использованием Интернета вещей. Микроконтроллер Yun Arduino используется для мониторинга домашней среды. Приложение Android выступает в качестве платформы для управления домашней средой. Он отправляет сообщения и извлекает данные в / из облака, используя облегченный протокол обмена сообщениями MQTT. Ажао и другие разработали встроенную систему IoT для управления бытовой и офисной техникой (SHOA) с использованием веб-приложений на базе Android и технологии Wi-Fi. Плата Arduino с модулем Wi-Fi ESP8266 используется для мониторинга и управления несколькими устройствами. Протокол RESTful по протоколу HTTP используется для обеспечения передачи и приема пакетов между шлюзом Интернета вещей и облачной базой данных. Предлагается архитектура интернета вещей на основе CoAP с использованием Raspberry Pi. Платформа Things-Board IoT используется для мониторинга и визуализации данных датчиков. Протокол CoAP используется

для отправки данных датчиков, отформатированных в облачную конечную точку ThingsBoard, через регулярные промежутки времени. Кумар предложил приложение для умного дома на базе Android, использующее протокол RESTful для связи с веб-сервером micro через Интернет. Серверное прикладное программное обеспечение и микроконтроллер arduino используются для мониторинга и управления домашними устройствами. Рамли разработал систему домашней автоматизации на базе Bluetooth (HAS), которая управляет домашними электроприборами. Микроконтроллер PIC, PIC18F2550 используется для подключения к приложениям Windows и Android через Bluetooth для управления бытовой техникой. Предлагаемая система автоматизации умного дома «SHA» используется для управления такими устройствами дома, как включение/ выключение света, поворот жалюзи на окнах, открытие/заккрытие дверного замка и многое другое. В данной статье демонстрируется осуществимость предлагаемой системы путем управления открытием/закрытием дверного замка с помощью серводвигателя. Серводвигатель управляется по протоколу MQTT, реализованному с помощью контроллера Phidget Advanced Server 1-Мотор. MQTT – это фактический протокол для Интернета вещей, поддерживаемый консорциумом открытых стандартов OASIS и Eclipse Foundation [2]. MQTT имеет модель клиент/сервер, где каждый датчик или устройство является клиентом и подключается через TCP к серверу, называемому брокером.

MQTT-брокер – сердце системы. Он обрабатывает любую связь публикации/подписки между подключенными подписанными клиентами, которыми являются мобильное приложение и контроллер Phidget. Каждый подключенный клиент может быть либо подписчиком, либо издателем. Брокер отвечает за получение всех сообщений от подключенных клиентов, их фильтрацию, решение, какой клиент заинтересован в этом сообщении, а затем отправку сообщения всем заинтересованным подписанным клиентам. Каждое сообщение, публикуемое брокером MQTT, называется темой. Клиенты могут подписаться на несколько тем. Каждый клиент, подписанный на тему, получает каждое сообщение, опубликованное в этой теме. Например, и мобильное приложение MQTT-клиента, и контроллер Phidget подписаны на брокера с темой «Дом/дверь1». Таким образом, мобильное приложение и контроллер Phidget, подписанные на тему «Дом/дверь1», будут получать каждое сообщение, опубликованное в этой теме. Усовершенствованный сервопривод Phidget с 1 двигателем: Это строительные блоки «подключи и работай» для недорогих USB- контроллеров двигателей. Он настроен как клиент MQTT, публикующий данные датчиков брокеру MQTT и подписывающийся на команды.

## Библиографический список

1. V. Nakrani, M. Panchal, D. Thakkar, S. Pednekar and Y. Mane, “A review: Internet of things (IoT) based smart home automation,” International Journal of Recent Trends in Engineering and Research, vol. 3, no. 3, 2017.
2. M. C. Domingo, “An overview of the Internet of Things for people with disabilities,” Journal of Network and Computer Applications, vol. 35, no. 2, pp. 584 – 596, 2012.

## МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

**И. В. Павлов,**

**научный руководитель д-р техн. наук, профессор В. И. Зацепина**

*Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия  
(e-mail: grecha1917@gmail.com)*

Величина потерь электроэнергии является одним из важнейших показателей для оценки эффективности и экономичности работы электросетевых компаний. Задача определения и снижения потерь электроэнергии в электрических сетях является чрезвычайно актуальной и экономически значимой проблемой [1].

Поэтому целью данной работы является разработка ИНС для оценки потерь электроэнергии на отдельных фидерах [2], их обобщение и выявление отдельных фидеров с повышенными потерями ЭЭ.

Для оценки технических потерь электроэнергии в распределительных сетях рассматриваются четыре различных типа ИНС. Первые два типа ИНС представляют собой простейшие сети прямого распространения с одним скрытым слоем. Первый тип – это простейший вид ИНС прямого распространения, а второй тип – каскадная ИНС, главной особенностью которой является наличие связи каждого следующего слоя со всеми предыдущими.

Следующие два типа – это гибридные нейронные сети, которые объединяют принципы работы ИНС с другими инструментами моделирования, сочетая их преимущества в единой структуре. В данной работе используется нейронная сеть MSUA, а также нейро-нечеткая сеть.

Процесс моделирования включает в себя следующие этапы:



1. Генерация статистических данных.
2. Разбиение данных на выборки.
3. Выбор архитектуры и параметров ANN.
4. Обучение ИНС на основе данных обучающей выборки.
5. Оценка адекватности ИНС на тестовой выборке.
6. Формирование данных контрольной выборки.
7. Выбор лучшей модели ИНС из данных контрольной выборки.

В данном алгоритме шаги 3, 4 и 5 выполняются для каждого из указанных типов ИНС. В результате работы данного алгоритма определяется наилучшая модель для оценки технических потерь ЭЭ для схемы, изображенной на рис. 1.

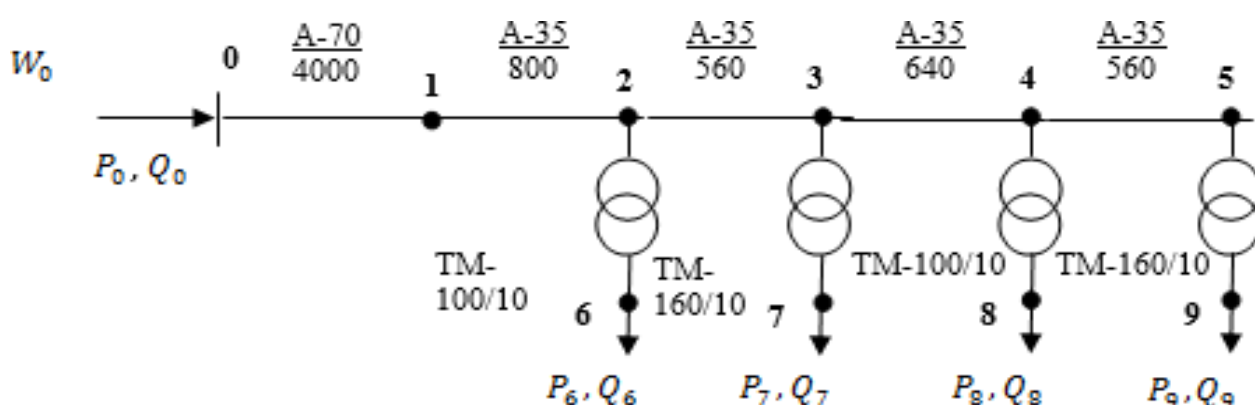


Рис. 1. Схема распределительной сети 10 кВ

### 1. Результаты оценок по контрольной выборке

№	RS scheme data	$W_0$	$\Delta W$	
			MW*h	%
1	3 branches 1 load	151,649	7,037	4,6
		158,084	6,689	4,2
		154,927	6,173	4,0
2	6 branches 2 loads	213,965	13,156	6,1
		207,705	14,309	6,9
		196,355	12,460	6,3
3	27 branches 11 loads	582,186	37,585	6,5
		552,532	30,135	5,5
		611,279	34,864	5,7
4	43 branches 16 loads	881,587	72,445	8,2
		892,990	82,202	9,2
		872,666	78,364	9,0

Для этого фидера было проведено 1000 расчетов по методике, и сформирована база статистических данных «вход-выход», где входными данными являются напряжение головного узла, мощность источника питания, температура наружного воздуха и мощность нагрузок, а выходными – значения потерь мощности. энергии. В качестве критерия оценки моделей используется коэффициент детерминации R2 (табл. 1).

### **Библиографический список**

1. Zhelezko Yu.S. Power losses. Reactive power. Power quality: Guide to practical calculations / Yu.S. Zhelezko. – MOSCOW: ENAS, 2009. – 456 с.
2. Muzaffar Khudayarov, Nuriddin Normamatov. Power system steady state calculations using artificial neural networks. E3S Web of Conferences 216, 01102 (2020), RSES 2020. doi.org/10.1051/e3.

## **ПРИМЕНЕНИЕ НАГРЕВАТЕЛЕЙ С ЭФФЕКТОМ САМОРЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРООБОГРЕВА**

**Н. В. Земцова, В. А. Кобелева**

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия  
(e-mail: Energynano@yandex.ru)*

Разработка нового типа инновационного технологического оборудования должна соответствовать критериям надежности, безопасности, экономичности, универсальности и энергоэффективности. Важное значение в технологических процессах, связанных с использованием тепловой энергии имеют прикладные научно-технические задачи электротермии [1, 2]. Применение в автоматизированных системах электрообогрева нагревательных элементов на основе полимерных композитов имеет широкий спектр преимуществ перед классическими нагревателями на основе высокоомных металлических проводников, что обусловлено с их адаптацией режимов нагрева (эффект саморегулирования температуры) и возможностью эксплуатации в различных условиях окружающей среды. Эффект саморегулирования температуры позволяет сэкономить энергетические ресурсы за счет адаптивного потребления мощности в зависимости от режимов нагрева. Реализация адаптивного потребления мощности электро-

нагревателем позволяет достигнуть минимизации затрат электрической энергии при сохранении оптимального темпа нагрева.

Получение функциональных нагревательных полимеров для гибких технологий электронагрева, включает в себя:

1. Методы получения дисперсных микро и наноразмерных частиц в качестве электропроводящих наполнителей в полимерную матрицу.

2. Методы и методики получения функциональных материалов на основе эластомеров, содержащих электропроводящие дисперсионные наполнители с заданным набором электрофизических, структурных и морфологических свойств, получаемых на стадии их синтеза.

3. Математическое моделирование процесса нагрева с эффектом саморегулирования температуры.

4. Создание информационно-измерительной системы нагревателей с эффектом саморегулирования температуры для получения прямой и обратной связи управления технологическим процессом.

5. Анализ теоретических и экспериментальных данных необходимых для реализации автоматизированных систем технических процессов с использованием исполнительных элементов и первичных датчиков на основе нагревателей с эффектом саморегулирования температуры.

Формирование эффекта саморегулирования температуры (положительного температурного коэффициента сопротивления – ПТКС) [3, 4] в нагревателях, возможно, как в керамических композитах, так и полимерах с проводящими дисперсными добавками [5]. Полимерные нагреватели имеют принципиальное технологическое отличие от керамических нагревателей – связанное с технологией формования. Упрощенная технология формования позволяет делать нагреватели с большой площадью теплообменной поверхности, а это приводит к равномерному распределению инфракрасного излучения по поверхности объекта, который обогревается. Оптимальным вариантом являются эластомеры с проводящими наноразмерными структурами [6], которые обладают повышенной гибкостью, что позволяет формировать различные типы теплообменных поверхностей – обладающих сложной геометрией, что позволяет упростить конструкцию крепежных элементов в теплотехническом оборудовании и использовать для крепления клеевую основу.

Цель исследований – разработка нагревателей с эффектом саморегулирования температуры на основе эластомеров с дисперсными добавками микро-размерных металлов и МУНТ, а также адаптированными параметрами для автоматизированных систем электрообогрева.

**Объекты и методы исследований.** Для нагревателя использованы компланарные электроды [6] на основе алюминиевой фольги толщиной 100 мкм. В таблице 1 представлены составы композита (марка эластичной матрицы и тип проводящих дисперсных добавок) для электронагревателя с эффектом саморегулирования температуры. В качестве дисперсных добавок использованы многослойные углеродные нанотрубки (МУНТ), полученные по технологии на основе СВЧ синтеза, а также микроразмерный никель. В качестве эластомера использовали кремнийорганический компаунд Силагерм 8040 (ООО «ЭЛЕМЕНТ 14», Москва, Россия). Напряжение электропитания 10 В.

Для электропитания используется источник постоянного тока (программируемый) Актакон АНТ-1351. Анализ и регистрация потребляемого тока реализована с помощью мультиметра UNI-T UT71E+ (UNI-T, Китай) имеющего связь с компьютером по USB интерфейсу.

В таблице 1 представлен состав композитов – используемых для получения нагревателей.

### 1. Состав образцов композитов для электронагревателя с эффектом саморегулирования температуры

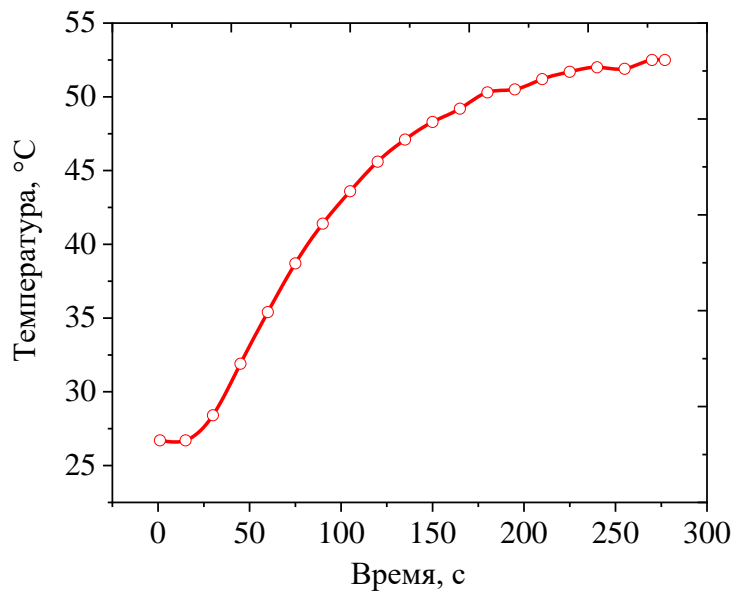
№ образца	Состав
1	Силагерм 8040, МУНТ 3%, микроразмерный никель 10%

**Результаты исследований и их анализ.** В таблице 2 представлены значения удельного объемного и поверхностного сопротивления нагревателя.

### 2. Удельное объемное и поверхностное сопротивление нагревателя

Удельное объемное сопротивление $\delta_m, \text{ Ом} \cdot \text{м}$	Удельное поверхностное сопротивление $R_{\text{уд.нов}}, \text{ кОм}$	Толщина образца нагревателя $l, \text{ мм}$	Площадь образца нагревателя $S, \text{ мм}^2$	Сопротивление между электродами $R_m, \text{ Ом}$ (замер)	Сопротивление на поверхности $R_{1,2}, \text{ кОм}$ (замер)
85,8	250	2	2600	66	2,5

На рисунке 1 показана динамика изменения температурного режима нагревателя.



**Рис. 1.** Динамика изменения температурного режима нагревателя

Из анализа рисунка 1 следует, что в нагревателе имеется эффект саморегулирования температуры (ПТКС), который достигается при температуре 52 °С. Период саморегулирования температуры составляет 200 с и после этого нагреватель выходит на рабочий режим. Динамика изменения температурного режима нагревателя (рис. 1) позволяет говорить о реализации адаптивного потребления мощности и достижении минимизации затрат электрической энергии при сохранении оптимального темпа нагрева.

Использование эффекта саморегулирования температуры позволяет интегрировать нагреватели в различные типы систем автоматического регулирования, за счет нелинейной зависимости температуры от электрофизических параметров, что способствует автоматизации процесса нагрева в объекте регулирования без применения основных и дополнительных первичных измерительных преобразователей температуры. Важно учесть возможность использования технологий нейронных сетей для получения интеллектуальной автоматизированной системы, что также может быть достигнуто с реализацией эффекта саморегулирования в нагревательных элементах.

**Выводы.** Автоматизированные системы электрообогрева в основе которых заложен принцип оптимизированного размещения нагревательных элементов для формирования равномерного температурного поля в обогреваемом объекте, и реализованные в этой связи программное обеспечение, позволяют улучшить функциональные возможности большого класса теплотехнических процессов, что обусловлено глубоким уровнем интерактивности и возможности гибкой настройки режимных параметров, так как нагреватели с эффектом саморегулирования температуры обладают обратной связью со внешней средой.

Перспективы использования полимерных композитов в качестве нагревателей, связаны в первую очередь с возможностью управляемого синтеза структурных, электро- и теплофизических свойств на стадии получения электропроводящих дисперсных нано- и микроразмерных наполнителей, а также возможностью их равномерного распределения в полимере. Таким образом адаптация мощности нагревательных элементов от окружающих условий, осуществляется за счет разработки отдельных элементов, которые позволяют гибко изменять потребление электроэнергии, обеспечивая тем самым высокий уровень управления и энергоэффективности.

### Библиографический список

1. Земцова, Н. В. Практика применения наномодифицированных эластомеров для систем автоматизации и электронагрева / Н. В. Земцова, А. В. Щегольков // Цифровая трансформация в энергетике : материалы Четвертой Междунар. науч. конф., Тамбов, 21 декабря 2022 года. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2023. – С. 149 – 151.
2. Щегольков, А. В. Сравнительный анализ тепловых эффектов в эластомерах, модифицированных МУНТ при постоянном электрическом напряжении / А. В. Щегольков // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. – 2021. – № 1(55). – С. 63 – 73.
3. Takeda H., Harinaka H., Shiosaki T., Zubair M.A., Leach C., Freer R., Hoshina T., Tsurumi T. Fabrication and positive temperature coefficient of resistivity properties of semiconducting ceramics based on the BaTiO<sub>3</sub>–(Bi<sub>1/2</sub>K<sub>1/2</sub>)TiO<sub>3</sub> system. *Journal of the European Ceramic Society*. 2010; 30(2):555-559.
4. Bell J.G., Graule T., Stuer M. Barium titanate-based thermistors: Past achievements, state of the art, and future perspectives featured. *Applied Physics Reviews*. 2021; 8:031318.
5. Chen, Long; Zhang, Jianming (2020). Designs of conductive polymer composites with exceptional reproducibility of positive temperature coefficient effect: A review. *Journal of Applied Polymer Science*, (), 49677.
6. Ali I, Shchegolkov A, Shchegolkov A, et al. Facile microwave synthesis of multi-walled carbon nanotubes for modification of elastomer used as heaters. *Polym Eng Sci*. 2023; 1-11.

## ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕПЛОВЫХ НАГРУЗОК ЗДАНИЯ

М. К. Кутасевич

(e-mail: maximkutasevitch@yandex.ru)

Недостаточное количество тепловой энергии из теплосети для удовлетворения увеличенного спроса на теплоснабжение со стороны объекта приводит к недостаточному обеспечению теплом на требуемом уровне потребления.

Исходя из мощности теплосети, предполагается, что определенное количество тепловой энергии должно быть выделено для удовлетворения потребностей в теплоснабжении объекта. Однако в периоды максимального потребления воды в системе горячего водоснабжения (ГВС), объект требует больше тепла, чем может предоставить теплосеть. Эта ситуация приводит к нехватке тепла для удовлетворения потребностей объекта и создает дисбаланс между предложением и спросом на тепловую энергию.

Существуют различные способы улучшения надежности подачи тепла абонентам [1 – 3].

В статье рассматривается способ решения проблемы недостатка тепловой энергии для отопительных нужд с помощью использования бака-аккумулятора системы горячего водоснабжения [4].

Бак-аккумулятор – это устройство, способное накапливать и удерживать тепловую энергию, предоставленную котлом в периоды низкого спроса. Во время пиковых нагрузок или периодов повышенного спроса на отопление объекта накопленная тепловая энергия в баке-аккумуляторе может быть использована для компенсации нехватки тепла от котла.

Этот подход позволяет более эффективно использовать выделенную тепловую энергию, балансируя колебания в потреблении и предложении тепла. Различные типы баков-аккумуляторов, включая буферные резервуары с теплообменниками или системы накопления тепла, могут быть адаптированы и интегрированы в систему горячего водоснабжения в соответствии с требованиями объекта и характеристиками отопительной системы.

Преимущества использования бака-аккумулятора:

*Накопление тепловой энергии:* Бак-аккумулятор предназначен для хранения избыточной тепловой энергии, предоставленной теплосетью в периоды низкого спроса на тепло. Он действует как резервуар, в котором тепло сохраняется для последующего использования в периоды повышенного спроса.

*Сглаживание пиковых нагрузок:* Бак-аккумулятор помогает сгладить пиковые нагрузки на теплосеть, временно сохраняя избыточную тепловую

энергию и затем используя ее в периоды, когда требуется больше тепла, чем может предоставить теплосеть.

*Компенсация тепловой нехватки:* Во время пиковых периодов потребности в тепле, когда теплосеть неспособна обеспечить достаточное количество тепловой энергии, бак-аккумулятор служит дополнительным источником тепла, компенсируя нехватку.

Объект теплоснабжения – 25-этажное офисное здание, для которого имеются тепловые нагрузки:

- отопление: 1,1292 Гкал/ч;
- вентиляция: 2,8866 Гкал/ч;
- горячее водоснабжение зона 1: 0,778734 Гкал/ч;
- горячее водоснабжение зона 2: 0,326807 Гкал/ч.

Общая тепловая нагрузка составляет 5,121341 Гкал/ч. Однако мощность, которую готова поставить теплосеть, составляет 4,8 Гкал/ч, что приводит к дефициту в 0,321341 Гкал/ч для эффективного отопления здания. Для устранения этого дисбаланса предлагается использовать бак-аккумулятор для ГВС 1 зоны для обеспечения требуемого тепла во время пикового часа потребления воды.

Наша задача – определить объем бака-аккумулятора, чтобы обеспечить бесперебойную работу во время пиковой нагрузки.

Учитывая возможность теплосети производить 4,8 Гкал/ч тепловой энергии и дефицит в 0,321341 Гкал/ч для отопления здания, предлагается использовать бак-аккумулятор для компенсации этого дефицита. Объем резервуара должен обеспечить достаточное количество тепла во время максимального часа потребления воды для ГВС 1 зоны.

Необходимый расход составит 12,98 м<sup>3</sup>/ч. Однако, учитывая фактическую мощность во время дисбаланса тепловой нагрузки, эффективный расход составляет 7,62 м<sup>3</sup>/ч.

Для устранения дисбаланса требуется резервуар-аккумулятор объемом 5,36 м<sup>3</sup>/ч. Резервуар такой вместимости покроет пиковую часовую нагрузку для ГВС.

Недостаточное количество тепловой энергии от котла приводит к дефициту для удовлетворения повышенного спроса на отопление объекта, особенно в периоды пикового потребления воды. Для решения этой проблемы полезно использовать резервуар-аккумулятор в системе горячего водоснабжения. Это устройство накапливает избыточную тепловую энергию в периоды низкого спроса и компенсирует дефицит в периоды повышенного спроса, обеспечивая



сбалансированное обеспечение теплом объекта. Для 25-этажного офисного здания, испытывающего дефицит в 0,321341 Гкал/ч при мощности котла 4,8 Гкал/ч, установка резервуара-аккумулятора объемом 5,36 м<sup>3</sup>/ч для ГВС эффективно покрывает пиковые часовые нагрузки.

### **Библиографический список**

1. Kolesnikov, G. D. Improving the energy efficiency of an apartment building / G. D. Kolesnikov, O. N. Popov // Energy saving and efficiency in technical systems: materials of the VI International Scientific teh. conf. of students, young scientists and specialists. – Tambov : Pershin R. V. Publishing House, 2019. – P. 195–196.

2. Nazarov, A. S. Energy saving in heat generating plants / A. S. Nazarov, V. V. Ryzhov, O. N. Popov // Digital transformation in energy: materials of the Third All-Russian Scientific Conference. – Tambov : Publishing Center of the Tambov State Technical University, 2022. – P. 5–6.

3. Kolesnikov, G. D. Prospects for the development of an individual thermal imager system / G. D. Kolesnikov, O. N. Popov // Energy. Problems and prospects of development: materials of the IV All-Russian Conference. – Tambov : Tambov Universal University, 2019. – P. 35–36.

4. Kolesnichenko, N. V., Bezborodov, D. L., Boev, Yu. A. Obespechenie bezopasnosti system tsentralizovannogo teplosnabzheniya rayonnykh kotel'nykh s ispol'zovaniem bakov-akkumulyatorov [Ensuring the safety of centralized heating systems for district boilers using storage tanks] // Vestnik Akademii grazhdanskoy zashchity. – 2020. – No. 2(22). – P. 36 – 41.

# СОДЕРЖАНИЕ

## Секция 1

### ЦИФРОВИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ

<i>Е. А. Пищуха, Ю. С. Теплицкий</i> Сжигание биотоплива в циклонно-слоевой топке котла малой мощности .....	3
<i>К. И. Милованов, В. С. Кох-Татаренко, С. Н. Кузьмин, Т. А. Листопадская</i> Дефлюидизация инертного материала в котлах с кипящим слоем .....	5
<i>Д. С. Баршутина, С. Н. Баршутин, Н. А. Лежнева</i> Исследование термоэмиссионных процессов частично ионизированной среды в электрическом поле .....	7
<i>М. С. Мещерякова, А. А. Балашов, А. А. Махоренко</i> Изменение уровня жидкости в тепловой камере .....	9
<i>Р. А. Хворов</i> Об управлении безопасностью информации в критических информационных системах .....	12
<i>И. Д. Рябов, В. С. Аистов, И. А. Некрылов, Г. Х. Э. Гарридо</i> Анализ информационно-измерительных систем .....	14
<i>А. Е. Медведев, Ю. Н. Панасюк, А. К. Бабаев</i> Исследование дальности обнаружения РЛС от ее параметров .....	15
<i>К. В. Скоморохов, З. М. Селиванова, В. П. Семичастнов</i> Задачи построения интеллектуальной системы для измерения теплофизических свойств материалов при неопределенных условиях .....	18
<i>А. М. Зарубин</i> Цифровые технологии в электроэнергетики .....	20
<i>М. А. Бавыкин, В. Я. Губарев</i> Исследование баланса тепловых потоков агрегата непрерывного горячего цинкования .....	22
<i>С. Ю. Балясников, Р. В. Казюлин, Н. Г. Чернышов, Р. Д. Карих</i> Требования к программному обеспечению системы мониторинга работы промышленных объектов .....	24
<i>И. Н. Воротников, М. И. Плугарев, Л. Н. Нехаева</i> Измерительный алгоритм для определения емкости и сопротивления утечки конденсатора .....	26
<i>А. Н. Грибков, Н. Г. Буранова, К. О. Булекова, Д. И. Стрекалов</i> Особенности построения цифровых двойников теплоэнергетических объектов на множестве состояний функционирования .....	28
<i>Ю. Д. Гусева, А. А. Иванов</i> Применение цифровых сетей как один из способов реализации цифровизации .....	31
<i>А. А. Коньшин, Д. П. Полуэктов</i> Пользователи системы мониторинга работы промышленных объектов .....	32
<i>В. В. Рыжов, М. Д. Злобин, В. В. Попов</i> Комбинированная мини-ТЭС на базе газопоршневой установки и паровой турбины .....	35
<i>А. В. Стариков, А. С. Макаров, С. А. Нагих, Д. И. Стрекалов</i> Принципы усиления электрических сигналов .....	37
<i>М. А. Трушина, А. С. Кутуков, О. Н. Попов, К. П. Яцков</i> Анализ качества воды поступающей в тепловые пункты .....	39
<i>О. А. Хвостовец</i> Цифровой двойник тепловой электростанции .....	41

<i>И. И. Цицонь</i> Расчет сроков службы изоляции кабельных линий напряжением 10 кВ при различных условиях эксплуатации .....	43
<i>Д. И. Шишкин, Н. П. Улитин, М. В. Ильин</i> Моделирование процессов регулирования давления в магистральном нефтепроводе для оценки их энергоэффективности .....	44
<i>Р. А. Щеголихин, С. Д. Лысых, И. С. Простомолотов, С. Р. Ястребов</i> Повышение энергоэффективности многоквартирного дома .....	46
<i>Р. А. Юшков</i> Технология информационного моделирования как основа цифровой трансформации .....	48
<i>А. Н. Шитов, Е. А. Белан</i> Особенности конструкции 3D-принтера со сниженными энергетическими затратами .....	50
<i>О. А. Пугина, К. С. Колодин</i> Трансформация энергетических правовых отношений в условиях санкций .....	53
<i>А. С. Назаров, Д. А. Минаев, А. С. Тюленева</i> Моделирование микроклимата отапливаемого помещения .....	55
<i>А. П. Королев, Я. А. Королева, Е. А. Курганова</i> Цифровой полупроводниковый анализатор температуры в теплоэнергетических системах .....	58
<i>П. А. Палатов, Д. М. Офицеров</i> Особенности цифровизации объектов теплоэнергетического комплекса .....	60
<i>Д. С. Луцков, А. Н. Сергеев</i> Графовая модель установки гидротермальной карбонизации биоотходов .....	61
<i>А. Н. Нури, А. Ю. Дмитриевцев, Ю. Т. Зырянов, Д. И. Куталев</i> Устройства и способы диагностики оптических линий связи в телекоммуникационном оборудовании .....	64
<i>С. Э. Эктов</i> Системы оптимального управления производством для повышения энергетической эффективности .....	66

## Секция 2

### ЦИФРОВЫЕ МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССАХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

<i>А. Е. Хрипченко, С. Н. Данилов, И. В. Хорохорин</i> Снижение энергетических затрат воздушного судна путем коррекции лазерного гироскопа .....	69
<i>Д. П. Шпилев, П. А. Каптилов</i> Бюджетная конструкция 3D-принтера со сниженными энергетическими затратами .....	71
<i>Н. П. Моторина, Е. В. Тетеревлева</i> Импортозамещение критичных групп оборудования и комплектующих Белгородэнерго .....	73
<i>В. Р. Сушкова</i> Разработка алгоритма частотной разгрузки с учетом ранжирования нефтепромысловых электрических сетей на базе технологии SMART GRID .....	76
<i>Р. В. Лаврухин</i> Установка ДГА на подстанции ГПП-7 ПАО НЛМК .....	78
<i>И. В. Артамонов</i> Способ осмотра электрических подстанций с помощью роботизированной системы .....	79
<i>М. С. Воронин</i> Подавление гармонических искажений на предприятии с помощью активных фильтров .....	81
<i>Н. В. Ермаков, Д. В. Беспалов, А. И. Псарев</i> Эффективное управление и диагностика дорожного освещения с помощью автоматизированной системы .....	82
<i>А. И. Казьмин, П. А. Федюнин</i> Методика оценки технического состояния многослойных магнетодиэлектрических материалов, работающих в СВЧ-диапазоне .....	84

<i>В. Е. Кожевников, А. В. Егоров</i> Определение места повреждения с помощью БПЛА на воздушных линиях электропередачи 6...35 КВ с изолированной нейтралью .....	87
<i>Р. Ю. Колмыков, А. С. Колмыкова</i> Дальность полета электромоторного беспилотного летательного аппарата при облете зоны радиопомех .....	89
<i>И. В. Косарев, А. В. Молодых</i> Моделирование системы перемещения груза с подавлением колебаний .....	92
<i>Т. А. Кривеньков</i> ШИМ-модуль для системы управления на базе VectorCARD .....	94
<i>А. Ю. Кудинов, Р. В. Горшков, М. М. Левенцев</i> Восстановление рабочего состояния электродвигателей с помощью искусственного интеллекта и дополненной реальности .....	96
<i>А. А. Лавров</i> Фазосдвигающий трансформатор как устройство управления потоками активной и реактивной мощностей .....	98
<i>Д. И. Лагутин, Г. П. Ильин</i> Использование солнечной батареи .....	100
<i>С. Ю. Лобанов, Р. П. Беликов, А. И. Псарев</i> Анализ приборов учета, представленных на рынке Орловской области .....	102
<i>М. А. Мастепаненко, А. С. Шалагинов, И. Н. Воротников</i> Перспективы использования нейросетевых алгоритмов для раннего обнаружения неисправностей электрооборудования агропромышленного комплекса .....	105
<i>В. Н. Мещеряков, А. С. Марков</i> Повышение энергоэффективности электродвигателя переменного тока .....	107
<i>В. Н. Минина</i> Формирование принципов обучения нейронной сети для снижения длительности провалов напряжения .....	108
<i>С. В. Мишуков, Н. А. Ставицкая</i> Цифровая измерительная система непрерывного мониторинга состояния маслonaполненного электроэнергетического оборудования ....	110
<i>М. Е. Морозов, М. И. Пишиков</i> Среднесрочный прогноз потребления электроэнергии г. Алматы .....	112
<i>А. Р. Петров</i> Метод исследования сопротивлений контактов рубильника .....	114
<i>Р. М. Петрова</i> Логико-вероятностный метод при оценке надежности схем электроснабжения промышленных предприятий .....	116
<i>Д. А. Рябов, А. И. Казьмин, П. А. Федюнин, С. К. Казьмин</i> Измерительно-вычислительная система оценки технического состояния многослойных магнитодиэлектрических материалов .....	118
<i>А. В. Рябов, М. И. Пихтелев</i> Оптимизация энергетических показателей помехоустойчивости сетей авиационной радиосвязи .....	120
<i>В. В. Еремин, Д. С. Баршуткина, О. И. Сигачев</i> Перспективы применения МГД-генератора для производства электрической энергии .....	122
<i>И. А. Сазонов</i> Система слежения за объектом на базе Arduino .....	124
<i>А. К. Салимова, К. Е. Нурғалиева, Н. А. Атамбаева</i> Ретроспективный анализ влияния ГИТ на устойчивую работу энергосистемы Алматинского региона, Казахстан .....	126
<i>Н. Ж. Санксарян</i> Увеличение пропускной способности линии электропередачи «Правобережная – Юго-Западная» .....	128
<i>И. А. Сапрыкин, А. В. Ольховой</i> Применение нейронных сетей в электроэнергетическом комплексе .....	130
<i>Е. А. Семьянинова, Д. Д. Петушенков</i> Анализ, развитие и потенциал технологии «СОЛНЕЧНЫЕ ОКНА» .....	131

<i>В. Н. Симонов, Ш. Ж. Габриелян</i> Диагностика силовых трансформаторов на основе синхронных измерений .....	133
<i>Г. Р. Соломенцев</i> Распределенная генерация Липецкой области .....	136
<i>Н. А. Ставицкая</i> Определение влагосодержания и наличия примесей в трансформаторных маслах силового электрооборудования .....	138
<i>Е. Р. Трофимова</i> Использование гибридной энергосистемы с применением возобновляемых источников энергии .....	140
<i>А. А. Уютнов, М. А. Каменская, С. В. Артемова</i> Автоматизированные системы управления технологическим процессом цифровых подстанций .....	141
<i>Т. А. Фролова, В. О. Лычагина, И. А. Шаталова, Е. С. Ширкина</i> Выбор источника освещения в биотехнической системе для выращивания растений .....	143
<i>Р. О. Хвостовец</i> Применение технологий цифрового двойника в электроэнергетике ...	145
<i>С. А. Фролов</i> Законодательство по электроэнергетике в советской России и СССР в условиях «Исторических вызовов» (1920 – 1945 гг.) .....	147
<i>В. С. Деревнина</i> Моделирование короткого замыкания воздушной линии .....	149
<i>А. М. Зарубин</i> Цифровые технологии в электроэнергетики .....	151
<i>М. Слиманоу, В. Ф. Калинин, В. К. Туровский</i> Цифровые технологии для умных электросетей (Smart GRID) микрогридов .....	152
<i>Д. Н. Земской, Ж. А. Зарандия, Д. М. Димкович</i> Разработка методики оценки качества информационно-измерительных систем для повышения эффективности электроэнергетических комплексов .....	154
<i>А. А. Терехова, Б. С. Дмитриевский, А. В. Мордовин</i> Повышение энергетической эффективности производственных процессов .....	156
<i>А. В. Кобелев, Д. А. Шаповалов</i> Энергосберегающие системы на основе тепловых аккумуляторов и суперконденсаторов .....	158
<i>Н. В. Земцова, А. В. Щегольков, В. А. Кобелева</i> Функциональный материал на основе проводящих эластомеров для измерения температуры и тензометрии .....	160
<i>А. А. Скворцов</i> Определение коэффициентов передачи шлейфовых разветвлений СВЧ-устройства на связанных прямоугольных волноводах с диэлектрическими слоями у боковых стенок его вторичного канала .....	162
<i>А. Е. Кудрявцев</i> Домашняя автоматизация на основе интернета вещей с использованием приложения для Android .....	165
<i>И. В. Павлов</i> Метод определения потерь мощности в распределительных сетях на основе искусственных нейронных сетей .....	167
<i>Н. В. Земцова, В. А. Кобелева</i> Применение нагревателей с эффектом саморегулирования температуры для создания энергоэффективных автоматизированных систем электрообогрева .....	169
<i>М. К. Кутасевич</i> Оптимизация тепловых нагрузок здания .....	174

*Научное электронное издание*

# ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ

**Выпуск V**

Материалы Пятой Международной научной конференции

Графический и мультимедийный дизайнер Т. Ю. Зотова  
Обложка, упаковка, тиражирование Л. В. Комбаров

ISBN 978-5-8265-2712-2



Подписано к использованию 29.12.2023.  
Тираж 100 шт. Заказ № 186

Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»  
392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, к. 14  
Тел. 8(4752) 63-81-08.  
E-mail: izdatelstvo@tstu.ru