



**55** КГЭУ

# **XXVII ВСЕРОССИЙСКИЙ АСПИРАНТСКО-МАГИСТЕРСКИЙ НАУЧНЫЙ СЕМИНАР,**

**ПОСВЯЩЕННЫЙ ДНЮ ЭНЕРГЕТИКА И 55-ЛЕТИЮ КАЗАНСКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**

**КАЗАНЬ, 5-6 ДЕКАБРЯ 2023 Г.**

**МАТЕРИАЛЫ ДОКЛАДОВ**

**В ТРЕХ ТОМАХ**

**ТОМ 1**

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Казанский государственный энергетический университет»**

**XXVII ВСЕРОССИЙСКИЙ АСПИРАНТСКО-МАГИСТЕРСКИЙ  
НАУЧНЫЙ СЕМИНАР,  
ПОСВЯЩЕННЫЙ ДНЮ ЭНЕРГЕТИКА И 55-ЛЕТИЮ КГЭУ**

5–6 декабря 2023 г.

Казань

В трех томах

*Под общей редакцией ректора КГЭУ  
Э.Ю. Абдуллазянова*

Том 1

Казань 2023

УДК 621.311+51+53+620.22+502+614.8+620.92

ББК 31+32+22+68.9+38.9

М34

Рецензенты:

доцент СГТУ имени Гагарина Ю.А,  
кандидат физико-математических наук, доцент Е.К. Пыльская;  
проректор по РиИ ФГБОУ ВО «КГЭУ»,  
доктор технических наук, доцент И.Г. Ахметова

Редакционная коллегия:

Э.Ю. Абдуллазянов (гл. редактор); И.Г. Ахметова (зам. гл. редактора),  
Д.А. Ганеева

М34 **Материалы докладов XXVII Всероссийского аспирантско-магистерского научного семинара, посвященного дню энергетика и 55-летию КГЭУ / Под общ. ред. ректора КГЭУ Э.Ю. Абдуллазянова. В 3 т.; Т. 1. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2023. – 611 с.**

ISBN 978-5-89873-651-4 (т. 1)

ISBN 978-5-89873-654-5

В сборнике представлены материалы докладов XXVII Всероссийского аспирантско-магистерского научного семинара, посвященного дню энергетика и 55-летию КГЭУ, в которых изложены результаты научно-исследовательской работы молодых ученых, аспирантов и студентов по проблемам в области тепло- и электроэнергетики, ресурсосберегающих технологий в энергетике, энергомашиностроения, инженерной экологии, электромеханики и электропривода, фундаментальной физики, современной электроники и компьютерных информационных технологий, экономики, социологии, истории и философии.

Предназначены для научных работников, аспирантов и специалистов, работающих в сфере энергетике, а также для студентов вузов энергетического профиля.

Материалы докладов публикуются в авторской редакции. Ответственность за содержание тезисов возлагается на авторов.

УДК 621.311+51+53+620.22+502+614.8+620.92

ББК 31+32+22+68.9+38.9

ISBN 978-5-89873-651-4 (т. 1)

© КГЭУ, 2023

ISBN 978-5-89873-654-5

**Направление: ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОНИКА**

**СЕКЦИЯ 1. КОНТРОЛЬ, АВТОМАТИЗАЦИЯ И ДИАГНОСТИКА  
ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ,  
ПОДСТАНЦИЙ И РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ**

УДК 621.03

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТИЧНЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ РАЗРЯДОВ  
НА ГРАНИЦЕ ВОЗДУХ/СТЕКЛО МЕЖДУ МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ  
ЭЛЕКТРОДАМИ**

Бапфутвабо Луи

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Артём Юрьевич Кубарев

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

[louisbap@gmail.com](mailto:louisbap@gmail.com)

**Аннотация.** В статье представлены результаты моделирования распределения напряженности электрического поля на границе воздух/стекло в пространстве между металлическими электродами, в частности максимальной напряженности этого электрического поля. Этот анализ завершается экспериментальным исследованием уровня напряжения, при котором возникают поверхностные частичные разряды (ЧР) на границе твердое тело/газ в системе, состоящей из металлических электродов, расположенных на поверхность стекла. Система в воздухе. Напряжение системы  $U$  является переменным и варьируется от 10 до 19 кВ. Межэлектродное расстояние  $l$  также регулируется от 60 мм до 180 мм. Диаметр  $d$  используемых электродов варьируется от 25мм до 60 мм. Результаты эксперимента согласуются с результатами моделирования на основе метода конечных элементов с помощью *Comsol*.

**Ключевые слова:** поверхностные ЧР, граница твердого тела и газа, тройная точка.

**ANALYSIS OF PARTIAL SURFACE DISCHARGES ON AN  
INSULATING AIR/GLASS INTERFACE BETWEEN METALLIC  
ELECTRODES**

Louis Bapfutwabo

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

[louisbap@gmail.com](mailto:louisbap@gmail.com)

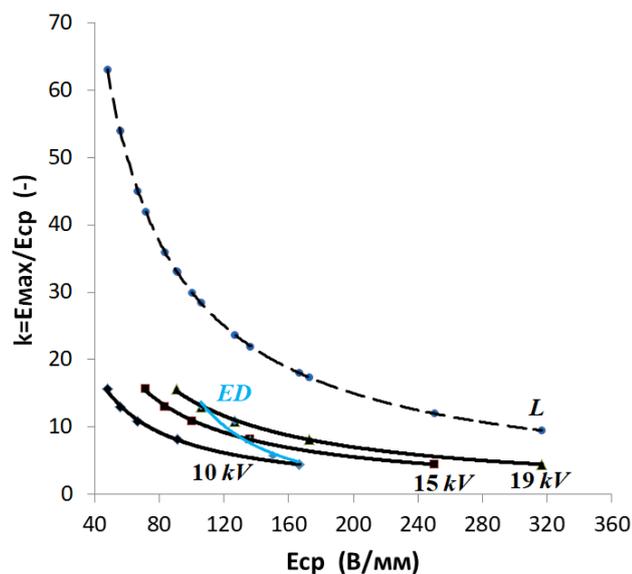
**Abstract.** This paper presents the results of a simulation study carried on the distribution of electric field strength at the air/glass interface between two metallic electrodes,

particularly the maximum value of that electric field intensity. This analysis is complemented by an experimental study on the voltage level at which partial surface discharges occur in a system consisting of metallic electrodes placed on the surface of a glass dielectric. The system is in the air. The supply voltage is alternating and varies between 10 kV and 19 kV. The inter-electrode distance  $l$  is also adjustable between 60 mm and 180 mm. Electrode diameters range from 25 mm to 60 mm. The experimental results are in agreement with the results of the finite element modeling performed with *Comsol* software.

**Keywords:** partial surface discharges, solid-gas interface, triple point

Системы изоляции, используемые в оборудовании высокого напряжения (изоляторы, трансформаторные вводы и т. д.), подвергаются различным типам ограничений, в том числе возникающим в результате приложения напряжения и, таким образом, электрического поля. Распределение электрического поля в твердом изоляторе или на поверхности разделения твердого тела и газа зависит от физических характеристик системы, а также условий эксплуатации.

Поскольку наш случай является типичным случаем электростатики в стационарных условиях [1], расчет напряженности электрического поля  $\vec{E}$  проводился путем решения уравнений Гаусса и Пуассона. Из результатов моделирования *Comsol* было определено распределение напряженности электрического поля  $E$  в межэлектродном пространстве. Его максимальное значение  $E_{\max}$  рассматривается как источник поверхностных ЧР в системе.



Коэффициент неравномерности в зависимости от средней напряженности электрического поля  $E_{\text{ср}}$

Для характеристики  $E_{\max}$  с помощью физических параметров системы была создана математическая модель (1) [2]:

$$k = \frac{E_{\max}}{E_{cp}} = AE_{cp}^{-0.991} \quad (1)$$

$E_{cp}$  – среднее электрическое поля, ( $E_{cp}=U/l$   $l$ - расстоянию между электродами). Поскольку ЧР представляет собой локализованный пробой диэлектрика [3], [4], предел возникновения поверхностных ЧР в системе был получен (см. рисунок, кривая  $L$ ) в соответствии с моделью (1), считая воздух диэлектриком с наименьшей диэлектрической прочностью [5]. Идентичные кривые были также получены для различных приложенных напряжений (кривые 10 кВ, 15 кВ, 19 кВ), а также для экспериментальных результатов (кривая  $ED$ ).

Результаты моделирования Comsol показывают, что напряженность электрического поля  $E$  между электродами зависит от приложенного напряжения  $U$ , диаметра электродов  $d$  и межэлектродного расстояния  $l$ . Тем меньше  $l$ , чем выше  $E$ . Вблизи потенциального электрода, чем больше  $l$ , тем больше градиент  $E$ . Расположен на границе раздела воздуха, стекла и потенциального электрода,  $E_{\max}$  увеличивается с увеличением  $U$  и уменьшается при увеличении  $d$  при том же  $l$ . Положение кривой  $ED$  внизу предельной кривой  $L$  подтверждает как поверхностных разрядов, так и существование частичных разрядов, наблюдавшихся в течение экспериментальных опытов. Это также объясняется увеличением локального электрического поля из-за искажений электрического поля на уровне пустот или микроскопических трещин, которые на практике образуются на уровне этих несовершенных межфазных контактов [6].

Напряженность электрического поля в межэлектродном пространстве зависит от физических свойств составляющих системы. Она особенно сильна в тройной точке и зависит от среды с наименьшей диэлектрической проницаемостью (газа). Когда электрическое поле в этой тройной точке достигает критического значения, могут возникать ЧР.

### Источники

1. Nikos MASTORAKIS, Valeri MLADENOV, Computational Problems in Engineering, Lecture Notes in Electrical Engineering, Volume 307, Springer, Switzerland. 2014.
2. Nora KIRECHE, Etude de l'interaction décharge électrique/surface d'un

solide isolant. Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou, Algérie, 2019.

3. Etienne OUSS, Caractérisation des décharges partielles et identification des défauts dans les PSEM sous haute tension continue . 2018.

4. Redouane BOUKADOUM, Étude des décharges partielles et de leur transition à l'arc dans la connectique aéronautique du futur. Thèse de doctorat. Université Paris-Saclay, Paris, 2018.

5. Mamadou Lamine COULIBALY, Caractérisation des décharges électriques se propageant aux interfaces gaz/solide – Relation entre propriétés des matériaux et dimension fractale. Ecole Centrale Lyon, France. 2009.

6. Ravindra Arora, Wolfgang Mosch, "High voltage and electrical insulation engineering". John Wiley & Sons, inc., publication. New Jersey. 2011

УДК 621.31

## **СРАВНЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ МАСЛЯНЫХ И ЭЛЕГАЗОВЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ 110 КВ**

Ляйсан Фаритовна Гайфиева

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Юрий Валерьевич Писковацкий

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

lasana01@mail.ru

**Аннотация.** Данная работа представляет собой сравнительный анализ особенностей эксплуатации масляных и вакуумных выключателей напряжением 110 кВ в электроэнергетических системах. В ходе исследования рассматриваются технические характеристики обоих типов выключателей, их надежность и эффективность работы. Затронуты преимущества и недостатки указанных высоковольтных выключателей.

**Ключевые слова:** масляный выключатель, элегазовый выключатель, авария, элегаз, трансформаторное масло, эксплуатация.

## **COMPARISON OF OPERATION FEATURES OF OIL AND GAS SWITCHES 110 KV**

Lyaysan F. Gayfieva

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

lasana01@mail.ru

**Abstract.** This paper is a comparative analysis of the peculiarities of operation of oil circuit breakers and vacuum circuit breakers of 110 kV in electric power systems. The study

examines the technical characteristics of both types of circuit breakers, their reliability and efficiency of operation. The advantages and disadvantages of these high-voltage circuit breakers are touched upon.

**Keywords:** oil switch, gas switch, accident, gas, transformer oil, operation.

Высоковольтный выключатель – это электрический аппарат, работающий при напряжении свыше 1 кВ. Назначение выключателей: включение и выключение электроустановок в нормальных и аварийных режимах, а так же для автоматического отключения цепей при токах перегрузки и короткого замыкания, с целью недопущения дальнейшего развития аварии.

По роду дугогасящих сред высоковольтные выключатели подразделяются на несколько типов. В данной работе исследуются особенности масляных и элегазовых выключателей [1].

Масляный выключатель (далее МВ) состоит из:

1. Силовой контактной группы;
2. Фарфоровых изоляторов, изолирующие корпус от токоведущих частей;
3. Бака, наполненного трансформаторным маслом. В нем происходит гашение электрической дуги;
4. Блок-контактов управления;
5. Привода. Возможность автоматического и ручного включения;
6. Пружины, которая размыкает контакты МВ, используя энергию сжатия.

Большую часть времени МВ, расположенные на ОРУ ЭС и ПС находятся в рабочем положении. Отключения производят в случаях аварий или плановых и внештатных ремонтах [5].

Достоинства МВ:

- Простота конструкции;
- Неприхотливость работы, диапазон температуры работы МВ от  $-45^{\circ}\text{C}$  до  $+300\text{ C}$ .

Недостатки МВ:

- Высокая взрыво — и пожароопасность;
- Необходим постоянный контроль уровень масла в горшках, доливка в случае необходимости, иметь запас масла;
- Требование наличия квалифицированного персонала для обслуживания и ремонта;
- Необходима частая замена масла и очистка контактов [3].

Конструктивно элегазовые выключатели (далее ЭВ) схожи с МВ,

однако в ЭВ электрическую дугу гасит не масло, а газ. Элегаз - электротехнический газ, представляющий собой смесь химических элементов, а точнее, шестифтористую серу (SF<sub>6</sub>). Он не имеет цвета, запаха, не поддается горению и не меняет своих свойств со временем.

Электрическая прочность элегаза в 2-3 раза выше чем у воздуха в тех же условиях. Элегазовый выключатель в отличие от масляного при монтаже не требует дозаправки элегазом [4]. Гарантийный срок обслуживания современных элегазовых выключателей составляет 20-25 лет.

Достоинства ЭВ:

- Универсальность. ЭВ применяются при различных классах напряжений;
- Быстродействие. Элегаз выявляет дугу за доли секунд, что позволяет мгновенно подать сигнал на отключение системы;
- Взрывобезопасен. Возможна эксплуатация в условиях пожароопасности и вибрации;
- Долговечность, заключающаяся в себе низкий износ контактов, соприкасающихся с элегазом;
- При работе не производит большого шума;
- Имеют более высокую механическую прочность по сравнению с масляными выключателями.

Недостатки ЭВ:

- Высокая стоимость выключателей;
- Трудности с работой при низких температурах;
- Нужно дополнительное устройство для обслуживания выключателей;
- Дороговизна самого элегаза [2].

Исходя из вышеуказанных особенностей, можно сделать вывод, что элегазовые высоковольтные выключатели являются наиболее эффективными, надежными и предпочтительными с точки зрения обеспечения пожаробезопасности и охраны экологии. Поэтому при возведении новых объектов отдается предпочтение применению элегазовых высоковольтных выключателей.

## Источники

1. Магеррамов Э. Н. Эксплуатация выключателей для номинального напряжения 110 кв // ModernScience. 2020. № 7-2. С. 358-360.

2. Цыгулев Н. И., Хлебников В. К., Шелест В. А. Особенности эксплуатации элегазовых выключателей в условиях заполярья // Актуальные проблемы науки и техники. 2019. С. 321-323.

3. Рожкова, Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: учебник/ Л.Д. Рожкова, Л.К. Карнеева, Т.В. Чиркова. – М.: Академия, 2008.

4. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей.

5. Правила устройства электроустановок. Издание 7. 2003г.

УДК 620.314

## **АНАЛИЗ ПРИНЦИПОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОННЫХ СТАБИЛИЗАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ**

Ильмир Ильясович Закиров

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Евгений Александрович Федотов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

e676@mail.ru

**Аннотация.** В статье анализируется структурная схема электронного стабилизаторов переменного напряжения, описывается принцип работы и недостатки. Предлагается схема, основанная на использовании автотрансформаторов и оптосимисторов для улучшения эксплуатационных характеристик.

**Ключевые слова:** стабилизатор напряжения, оптосимистор, автотрансформатор, фильтр, массогабаритные показатели.

## **ANALYSIS OF THE PRINCIPLES OF OPERATION OF ELECTRONIC VOLTAGE STABILIZERS**

Ilmir I. Zakirov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

e676@mail.ru

**Abstract.** The article analyzes the block diagram of electronic variable voltage stabilizers, describes the principle of operation and disadvantages. A scheme based on the use of autotransformers and optosymistors to improve operational characteristics is proposed.

**Keywords:** voltage stabilizer, optosimistor, autotransformer, filter, weight and size indicators.

Потребители электроэнергии работают значительно эффективнее и надежнее при номинальных параметрах напряжения питающей сети. Номинальное напряжение обеспечивает высокий коэффициент полезного действия устройства, так как минимизирует потери энергии, связанные с преобразованием напряжения и передачей электричества. Рассмотрим наиболее перспективные [1] электронные стабилизаторы.

Схема работы электронного стабилизатора напряжения заключается в том, что он измеряет входное напряжение, сравнивает его с заданным значением и, если необходимо, регулирует выходное напряжение при помощи электронных компонентов [2]. Если напряжение отличается, стабилизатор автоматически переключает секции трансформатора для изменения выходного напряжения. Далее стабилизатор продолжает контролировать входное напряжение и корректировать выходное, если необходимо.

Коммутация секций обмоток осуществляется с помощью электронных силовых приборов, таких как тиристоры и симисторы, которые управляются электронной системой управления. Напряжение на выходе стабилизатора определяется суммой основного напряжения и добавочного напряжения, если используется схема вольтдобавки. Принципиальная электрическая схема описываемого стабилизатора напряжения приведена на рисунке 1 [3]. Таким образом, электронный стабилизатор напряжения является наиболее эффективным и надежным решением для обеспечения стабильного напряжения в электросети. Он быстро реагирует на изменения входного напряжения и автоматически регулирует его, чтобы поддерживать заданный диапазон.

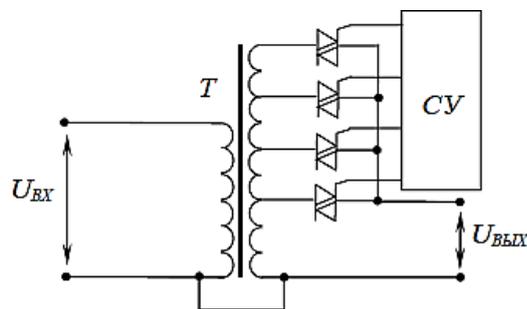


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема электронного стабилизатора напряжения

В работе [4] показано, что повышение надёжности схемы стабилизатора напряжения можно добиться путем использования двух оптосимисторов для коммутации витков автотрансформатора. Один

оптосимистор подключен к обмотке высокого напряжения, а другой – к обмотке низкого напряжения. Оптопары используются для управления оптосимисторами, которые, в свою очередь, регулируют напряжение на выходе стабилизатора. Функциональная схема стабилизатора с двойной коммутацией витков представлена на рисунке 2 [5].

Схема содержит оптосимисторы  $VS_1$  и  $VS_2$ , автотрансформатор  $AT$  и систему управления  $СУ$ , оптронные пары  $ОП_1$  и  $ОП_2$ , через которые  $СУ$  осуществляет изменение времени открытого состояния оптосимисторов  $VS_1$  и  $VS_2$ . Принцип стабилизации напряжения состоит в изменении времени подключения обмотки высокого напряжения ( $u_2$ ) и обмотки низкого напряжения ( $u_1$ ) к выходным выводам стабилизатора.

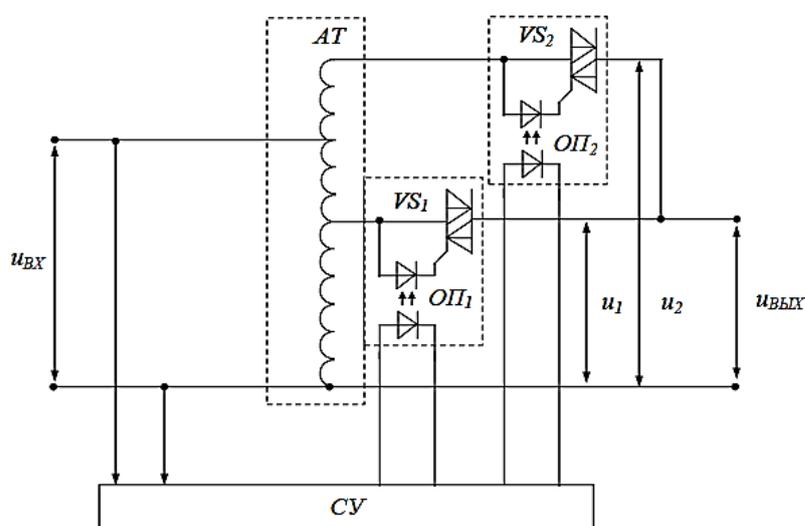


Рис. 2. Функциональная схема стабилизатора с двойной коммутацией витков на базе автотрансформатора и оптосимисторов

Повышение качества выходного напряжения стабилизатора может быть достигнуто за счет увеличения числа отпаяк автотрансформатора или использования Г-образных LC-фильтров на выходе стабилизатора. Однако, увеличение числа отпаяк может негативно сказаться на надежности стабилизатора, в то время как использование Г-образных LC-фильтров может привести к увеличению массогабаритных показателей устройства. Необходимо выбирать оптимальный вариант в зависимости от требований к стабилизатору и условий его эксплуатации.

## Источники

1 Фетисов Л.В., Роженцова Н.В., Булатов О.А. Повышение качества электрической энергии в сетях низкого напряжения. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2018;20(11-12):99-106.

2. Зацепина В.И. Повышение эффективности функционирования систем электроснабжения посредством комбинированного воздействия на искажения напряжения. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2019;21(5):79-86).

3. Коблев Б.А., Курзин Н.Н. Стабилизаторы напряжения переменного тока // Научный журнал КубГАУ. 2017. №130.

4. Шайкин А.С., Суров И.А. Линейный стабилизатор напряжения со сверхмалым падением напряжения // Вестник ВГТУ. 2018. №6.

5. Алперин Е. Д. и др. Проходной элемент линейного стабилизатора напряжения // Вестник ВГТУ. 2011. №9.

УДК 621.315

## ДИНАМИКА РАЗВИТИЯ РАЗРЯДОВ НА ЗАГРЯЗНЕННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ИЗОЛЯТОРОВ В ПРОЦЕССЕ ИХ УВЛАЖНЕНИЯ

Динар Файзелханович Закиров<sup>1</sup>, Артем Владимирович Захаров<sup>2</sup>

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Дамир Камилевич Зарипов

<sup>1,2</sup> ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup> qwerty2014dinar@gmail.com, <sup>2</sup> koktel42@mail.ru

**Аннотация.** Работа посвящена изучению появления и развития разрядов на подвесных высоковольтных изоляторах воздушных линий электропередачи в условиях их равномерного и неравномерного загрязнения. В ходе лабораторных испытаний, путем непрерывной регистрации значений токов утечки и сигналов с датчиков [4] собственной разработки, были определены особенности, которые могут быть использованы в качестве диагностических признаков для контроля состояния подвесных изоляторов и диагностики воздушных линий электропередачи.

**Ключевые слова:** воздушные линии электропередачи, подвесные изоляторы, загрязнение и увлажнение изоляции, диагностические признаки.

# DISCHARGE DYNAMICS ON THE CONTAMINATED SURFACE OF INSULATORS IN THE PROCESS OF THEIR MOISTENING

Dinar F. Zakirov<sup>1</sup>, Artem V. Zakharov<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>qwerty2014dinar@gmail.com, <sup>2</sup>koktel42@mail.ru

**Abstract.** The work is devoted to the study of the appearance and development of discharges on suspended high-voltage insulators of overhead power lines under conditions of their uniform and non-uniform contamination. In the course of laboratory tests, by means of continuous registration of leakage current values and signals from sensors [4] of own design, the features that can be used as diagnostic signs for controlling the condition of suspended insulators and diagnostics of overhead power lines have been determined.

**Keywords:** overhead power lines, suspended insulators, insulation contamination and moistening, diagnostic features.

Серьезной проблемой при эксплуатации воздушных линий электропередачи являются отключения, вызванные внезапными перекрытиями изоляции [1,2], не связанными ни с природными, ни с техногенными факторами. Чаще всего данные отключения происходят утром после смачивания поверхности изоляторов туманом или росой и не приводят к длительным отключениям (в 70% случаев сопровождаются успешным действием АПВ). Однако и при данных отключениях требуются затраты на послеаварийные мероприятия, включающие затраты на амортизацию оборудования, выезды на осмотр и на замену повредившихся изоляторов [2]. Согласно стандартной теории, дуговое перекрытие подвешенного изолятора возникает благодаря токам утечки, протекающим по загрязненной и увлажненной поверхности изолятора. Таким образом, изучение влияния загрязнения и увлажнения поверхности изоляторов на их разрядные характеристики остается актуальной научной задачей и на сегодняшний день. Решение данной задачи позволит развить существующие представления о механизмах формирования и развития разрядов на поверхности изоляции, а также сформулировать соответствующие диагностические признаки, применимые для контроля состояния подвешенных изоляторов и диагностики воздушных линий электропередачи.

Моделирование работы гирлянды стеклянных изоляторов в атмосфере чистого тумана проводилось с применением экспериментальной установки, описанной в [7].

В ходе экспериментов непрерывно измерялись значения амплитуд синусоидальной составляющей и импульсов тока утечки, протекающего по поверхности равномерно и неравномерно загрязненной изоляции. Одновременно, регистрировались сигналы, поступающие с датчиков беспроводной системы контроля изоляции воздушных линий (СКИВЛ) [4-6], предназначенной для дистанционной регистрации разрядной деятельности на изоляции

Для имитации неравномерности загрязнения поверхность изолятора под нижней юбкой ближнего к высоковольтному проводу изолятора оставалась чистой. Всего было проведено около 30 экспериментов со стеклянными и полимерными изоляторами.

На основе полученных результатов были сделаны следующие выводы:

1. Интенсивная разрядной деятельность на изоляционных конструкциях со слабым загрязнением при увлажнении туманом или росой возникает неожиданно и длится ограниченное время (примерно 20–30 мин). По мере смачивания всей конструкции распределение напряжения на ней выравнивается, а разряды ослабевают и гаснут. Это согласуется с результатами, полученными в аналогичных экспериментах с проходными изоляторами на постоянном токе [3].

2. Выявление участков воздушных линий с характерной разрядной деятельностью, исследованной в данной работе, и принятие мер по усилению изоляции может снизить вероятность неожиданных отключений.

3. Полученные закономерности позволяют рационально подойти к выбору интервала между замерами и других параметров дистанционных устройств непрерывного контроля состояния изоляторов воздушных линий и подстанций.

## Источники

1. Investigating Unexplained Reclosures on Power Grid. Available at: <https://www.inmr.com/analyzing-unexplained-reclosures/>. 30.06.23. Accessed to: 01 Aug. 2023

2. К вопросу диагностики линейной изоляции. Титов Д.Е., Волхов К.В., Кудрявцев А.А., Котоливец В.В., Петренко С.А., <https://www.exctr.ru/info/stati/k-voprosu-diagnostiki-lineynoy-izolyatsii/>. Ссылка активна на 1 августа 2023.

3. W. Lampe, "Pollution and rain flashovers on HVDC wall bushings," Proceedings., Second International Conference on Properties and Applications

of Dielectric Materials, Beijing, China, 1988, pp. 29-32 vol.1, doi: 10.1109/ICPADM.1988.38323.

4. Патент № 2731169 С1 РФ, МПК G01R 31/08. Датчик для системы непрерывного контроля состояния изолирующих конструкций: № 2019145586: заявл. 30.12.2019: опубл. 31.08.2020 / Д. К. Зарипов, Р. А. Насибуллин, Р. Р. Ибрагимов, М. Ч. Игтисамов.

5. Зарипов, Д. К. Распределенная система контроля изоляции воздушных линий и подстанций на основе беспроводных датчиков емкостного типа / Д. К. Зарипов, Р. А. Насибуллин, Д. Ф. Закиров // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2022. – № 1. – С. 8-17. – DOI 10.25791/pribor.1.2022.1314. – EDN AVQHUI.

6. Зарипов, Д. К. Экспериментальная система непрерывного контроля изоляции воздушных линий и подстанций / Д. К. Зарипов, Р. А. Насибуллин // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2021. – № 1. – С. 1-8. – DOI 10.25791/pribor.1.2021.1231. – EDN ULWSUT.

7. Зарипов Д.К., Закиров Д. Ф., Захаров А. В., Исследование работы полимерного изолятора при равномерном и неравномерном загрязнении Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева: электронный журнал. <https://elibrary.ru/item.asp?id=54077917>. – Дата публикации: 2023. УДК 339.13.012

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ИГРЫ «ОПТОВЫЕ РЫНКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ»**

Ольга Витальевна Исаева<sup>1</sup>, Регина Ильдаровна Рамазанова<sup>2</sup>  
Науч. рук канд. техн. наук, доц. Юлия Николаевна Зацаринная  
<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
<sup>1</sup>isaeva.olga01@mail.ru, <sup>2</sup>reginaramazanova2777@gmail.com

**Аннотация:** Данная статья посвящена моделированию игры «Оптовые рынки электроэнергии». В работе рассмотрены рынки электроэнергии, функционирование оптового рынка.

**Ключевые слова:** розничный рынок, ОРЭМ, гарантирующий поставщик.

## **SIMULATION OF THE GAME "WHOLESALE ELECTRICITY MARKETS"**

Olga V. Isaeva<sup>1</sup>, Regina I. Ramazanova<sup>2</sup>  
<sup>1,2</sup> KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
<sup>1</sup>isaeva.olga01@mail.ru, <sup>2</sup>reginaramazanova2777@gmail.com

**Abstract.** This article is devoted to modeling the game "Wholesale Electricity Markets". The paper considers electricity markets, the functioning of the wholesale market.

**Keywords:** retail market, WECM, guaranteed supplier.

Electricity has several features. Firstly, electricity is a product that can be bought and sold. Secondly, electricity cannot be accumulated in large volumes. Thirdly, it is impossible to accurately predict the volume of electricity production. Fourth, it is impossible to determine which electricity producer has contributed to the work of the consumer.

More and more countries, including Russia, are deciding to switch to a competitive market system as a good tool for improving the energy efficiency of both producers and consumers [1]. There are two levels of the energy market: wholesale and retail. In the wholesale market of electric energy and capacity, sellers of electric energy are generating companies (power plants). The role of buyers is played by sales organizations, network companies (the purchase is carried out in order to add electricity lost during transmission), large consumers. In the retail market, distribution companies may already be sellers of electricity. It represents consumers who buy electricity at retail, most often interacting with suppliers who put obligations to consumers in the supply of electricity, or with energy sales and energy supply companies, networks that are directly involved in the mechanism of the wholesale market, dispatchers who manage all processes, small-capacity electricity suppliers who are not included in the wholesale market [2].

The market includes: transactions, public policy, an unstable crisis of affordable fuel and advanced technologies. Since electricity is not easy to save, it makes the market more unstable [3-5]. Traditional methods of teaching and analysis do not fully reflect and convey the dynamics of this complex system. This game simulates the real situation on the market. Players take on different roles and immerse themselves in the complexity of decision-making and the impact of politics. Various players represent generating companies. They use their capacities in the exchange of electricity and invest in new power plants. The game operator is the regulatory body of the board, which has the right to introduce policies. In the simulation of this game, players are more motivated to study the market and its work.

Five teams take on the roles of competing forces, they have a set of generating capacity of the power plant at the beginning, and they have to bet on the market, basically. They also have to make investment decisions where they face some degree of regulatory uncertainty. Players will learn a little about what

it's like to compete in the energy market, and especially about how to make investment decisions in an uncertain environment.

The purpose of the game: to study the functioning of the electricity market, how to place bets on the spot market, how to make effective decisions in difficult situations.

### **Источники**

1. Рынок электроэнергии и мощности [Электронный ресурс]. - URL: <https://www.np-sr.ru/ru/market/wholesale/index.htm> (дата обращения 12.11.2022)

2. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. [Электронный ресурс]. - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/organizatsiya-funktsionirovaniya-konkurentnogo-rynka-elektricheskoy-energii-i-moschnosti-v-sovremennyh-usloviyah> (дата обращения 11.11.2022)

3. Оморов Т.Т., Курманалиева Р.Н., Осмонова Р.Ч. Оценка потерь электроэнергии в условиях неопределенности в составе АСКУЭ. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2017;19(3-4):126-135. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2017-19-3-4-126-135>

4. Daniel S. Kirschen Fundamentals of power system economics. 2004. – 291с.

5. Кузнецова Е.С., Гафуров А.Р. Оптовый рынок электроэнергии (мощности) региона: проблемы, риски и перспективы развития // Вестник МГТУ, том 14, №1, Москва, 2011. - С.52-55

УДК 620.9

## **ВОЗМОЖНОСТИ ИНТЕГРАЦИИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРОСЕТЕВОЙ КОМПЛЕКС**

Диана Валерьевна Казакова

Науч. рук канд. техн. наук, доц. Юлия Николаевна Зацаринная

ФГБОУ ВО «КГЭУ» г. Казань, Республика Татарстан

dianakazakova1@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассматривается значимость возобновляемой энергетики в современном мире, перечислены преимущества интеграции возобновляемых источников энергии, описывается технологическая сложность при их использовании.

**Ключевые слова.** Возобновляемые источники энергии, солнечная энергия, ветровая энергия, электростанция, развитие.

## **POSSIBILITIES OF INTEGRATION OF RENEWABLE ENERGY SOURCES INTO THE ELECTRIC GRID COMPLEX**

Diana V. Kazakova

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

dianakazakova1@mail.ru

**Abstract.** The article examines the importance of renewable energy in the modern world, lists the advantages of integrating renewable energy sources, describes the technological complexity in their use.

**Keywords:** Renewable energy sources, solar energy, wind energy, power plant, development.

На сегодняшний день во многих развивающихся странах мира значительную долю в общем объеме производства энергии составляют возобновляемые источники энергии (ВИЭ). Ежегодно возобновляемая энергетика становится все более популярной во всем мире. Такая тенденция, главным образом, связана с развитием технологий в области возобновляемой энергетике, а также стремлением к уменьшению выбросов парниковых газов и борьбе с изменением климата.

Безусловно, в современном мире возобновляемая энергетика играет важнейшую роль для достижения устойчивого развития и сокращения зависимости от ископаемых видов топлива. Сегодня при активном развитии промышленности ресурсы угля, нефти и газа довольно быстро истощаются, а отходы от сжигания ископаемого топлива выбрасываются в атмосферу, создавая при этом различные экологические проблемы. ВИЭ помогают снизить уровень загрязнения окружающей среды, т.к. при их использовании выбросы вредных веществ значительно снижаются по сравнению с ископаемыми видами энергии.

На мировом рынке энергии наблюдается устойчивая тенденция к увеличению доли ВИЭ. Страны по всему миру стараются активно развивать солнечную и ветровую энергетике, а также работать над повышением энергоэффективности и совершенствованием энергетического баланса.

По данным ежегодного отчета Ассоциации развития возобновляемой энергетике по итогам 2022 года Китай является лидером по установленной

мощности ВИЭ-генерации (1 161 ГВт), затем следуют Европейский союз (570 ГВт) и США (352 ГВт). В России совокупная установленная мощность электростанций на основе ВИЭ в 2022 году составила 5,78 ГВт [1]. Россия, несмотря на глобальные мировые тенденции, по развитию возобновляемой энергетики находится все еще на начальной стадии [2]. Однако, если сектор возобновляемой энергетики продолжит развиваться, это положительно скажется на различных отраслях, поскольку интеграция ВИЭ в электросетевой комплекс открывает широкий спектр возможностей для решения проблем энергетической безопасности и изменения климата.

Преимущества, создаваемые возобновляемыми источниками энергии, многочисленны. Они включают в себя снижение затрат, возможность доставлять электроэнергию в новые удаленные районы, тем самым повышая уровень жизни и возможности для новых сообществ, способность повысить безопасность производства энергии и быть менее зависимыми от геополитических проблем [3].

Россия обладает большим потенциалом для развития возобновляемой энергетики на своей территории. Наиболее перспективными возобновляемыми источниками энергии для нашей страны являются ветровая и солнечная энергетика. Развитие сектора возобновляемой энергетики может стать вспомогательным драйвером для снижения государственных расходов на поддержку электроэнергетического сектора, помочь в диверсификации топливно-энергетического комплекса, создать новые рабочие места, снизить риски, связанные с нестабильностью глобальных энергетических рынков [4].

В России наблюдается потребность в ускоренном развитии технологий возобновляемой энергетики, обусловленная необходимостью обеспечения альтернативной энергией регионов, не подключенных к централизованным системам электроснабжения.

Стоит обратить внимание на серьезную технологическую сложность при использовании ВИЭ. Она заключается в неравномерной генерации электроэнергии, которая обусловлена изменчивостью погоды, что в свою очередь приводит к необходимости компенсировать отсутствие производства электроэнергии в периоды отсутствия ветра или солнца в целях обеспечения баланса системы [5]. В таком случае, в работе для компенсации используются традиционные электростанции, вынужденные увеличивать выработку в случае нехватки мощностей. Таким образом, увеличение доли технологий возобновляемых источников энергии предполагает обязательное использование традиционных электростанций.

В заключении отметим, что использование ВИЭ является одним из главных направлений развития энергетики в современном мире. Интеграция ВИЭ в электросетевой комплекс представляет собой важный шаг на пути к устойчивой энергетической системе.

### **Источники**

1. Рынок возобновляемой энергетики России: текущий статус и перспективы развития – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://rreda.ru/products/yearly-reviews/review-776>

2. Мальчук, А. А., Короткова, И. В. Развитие сектора возобновляемых источников энергии в России и участие Китая в нем / А. А. Мальчук, И. В. Короткова // Возобновляемая энергия планеты. — Москва: Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, 2022. — С. 121-126.

3. Integrating renewable energy: opportunities and challenges – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.research.ox.ac.uk/article/2019-12-13-integrating-renewable-energy-opportunities-and-challenges>

4. Федорова, С. Е. Анализ использования ВИЭ в России / С. Е. Федорова // Вопросы экономики и управления нефтегазовым комплексом. — Москва: Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина, 2021. — С. 78-80.

5. Артыккулов Д., Перспективы и проблемы использования возобновляемых источников энергии/ Д. Артыккулов // Eurasian Journal of Technology and Innovation. — 2023. — № 3. — С.60-65.

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ВИБРОДИАГНОСТИКА ОПОРЫ ВЛ 220 кВ**

Артем Дмитриевич Махмутов

Науч. рук. д-р техн. наук, доц. Георгий Валериянович Вагапов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

phenomen.cfg@mail.ru

**Аннотация.** В данной работе описан метод и последовательность проведения вибрационной диагностики. Были приведены результаты всех измерений. По значению предельной прочности бетона, установленной действующим нормативом для центрифугированных стоек, определено браковочное значение собственной частоты железобетонных опор.

**Ключевые слова:** вибродиагностика, опора, ЛЭП, свободные колебания.

## **EXPERIMENTAL VIBRATION DIAGNOSTICS OF 220 kV OVERHEAD LINE SUPPORT**

Artem D.Makhmutov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

phenomen.cfg@mail.ru

**Abstract.** This paper describes the method and sequence of vibration diagnostics. The results of all measurements were presented. Based on the value of the ultimate strength of concrete established by the current standard for centrifuged racks, the rejection value of the natural frequency of reinforced concrete supports was determined.

**Keywords:** vibration diagnostics, support, power lines, free vibrations.

На сегодняшний день большинство линий электропередач построено на железобетонных опорах. При проведении измерений частоты собственных колебаний наиболее значимой характеристикой являются механические свойства бетона. Поэтому перед обследованием нужно знать марку бетона, с помощью которой становится известной величина прочности. Это должно быть основой при возведении новых опор, когда климатические воздействия ещё не вызвали старения и коррозии их элементов и потери механических свойств конструкции в целом [1].

Многочисленными были проведены замеры вибрации железных опор. Для вибродиагностики были проведены испытания в трех местах железной опоры, из них два опыта выполнялись диаметрально противоположно на одном уровне [2].



Рис.1. Виброиспытание железной опоры автором

На рис.2 можно наблюдать, что высшее значение собственных колебаний опоры достигает 17 кГц, кроме того, данный результат не зависит от расположения датчика на железной опоре [3,4].



Рис.2. Пиковое значение вибрации опоры ВЛ 220 кВ

В основном показание вибрации варьируется в диапазоне от 4 до 8 кГц, приведенные на рис. 3 и 4 [5].

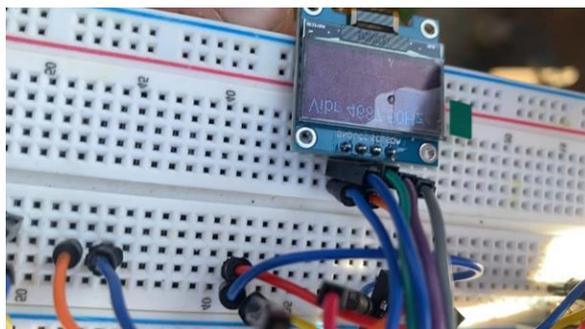


Рис.3. Показания вибрации

Исходя из показаний было сделано предположение о наличии возможных дефектов в обследуемой опоре.

### **Источники**

1. Вагапов Г.В., Махмутов А.Д. Вибрации в проводах линий электропередач // Тинчуринские чтения – 2023 «Энергетика и цифровая трансформация»: материалы Международной молодежной научной конференции. Казань, 2023. Т.1. С.796-799.

2. Махмутов А.Д. Колебания в линиях электропередач // Тинчуринские чтения – 2023 «Энергетика и цифровая трансформация»: материалы Международной молодежной научной конференции. Казань, 2023. Т.1. С.799-802.

3. Вагапов Г.В., Махмутов А.Д. Техническое диагностирование воздушных линий электропередач // XXVI Всероссийский аспирантско-магистерский научный семинар, посвященный дню энергетика: материалы докладов семинара. Казань, 2023. Т.1. С.21-23.

4. Гатиятов И.З., Сабитов Л.С. Способы и установки контроля опор из трубчатых стержней, применяемых в энергетическом строительстве при воздействии на них статических и динамических нагрузок. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2018;20(5-6):93-101

5. Федотов А.И., Вагапов Г.В., Абдуллазянов А.Ф., Шаряпов А.М. Цифровая система мониторинга повреждений на линиях электропередачи. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021;23(1):146-155.

## ПРАКТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Артем Дмитриевич Махмутов

Науч. рук. д-р техн. наук, доц. Георгий Валериянович Вагапов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

phenomen.cfg@mail.ru

**Аннотация.** В данной научной статье приведены методы диагностирования линий электропередач: экспертные, расчетно-статистические, аппаратно-расчетные. Инструменты необходимые для проведения измерений и недостатки различных способов.

**Ключевые слова:** вибрация, вибродиагностика, диагностирование, воздушная линия, ЛЭП.

## PRACTICAL METHODS OF DIAGNOSING POWER LINES

Artem D.Makhmutov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

phenomen.cfg@mail.ru

**Abstract.** This scientific article presents methods for diagnosing power lines: expert, calculation-statistical, hardware-calculation. Tools required for measurements and disadvantages of various methods.

**Keywords:** vibration, vibration diagnostics, diagnostics, overhead line, power lines.

Зачастую в настоящее время наблюдается внеплановые отключения электрической энергии из-за неполного обследования опор линий электропередач. Персоналом не используются программные обеспечения, а применяются лишь визуальный и инструментальный осмотр, что трудозатратно и не эффективно [1].

Структурно-диагностический метод и программно-технические комплексы представлены на рис 1.

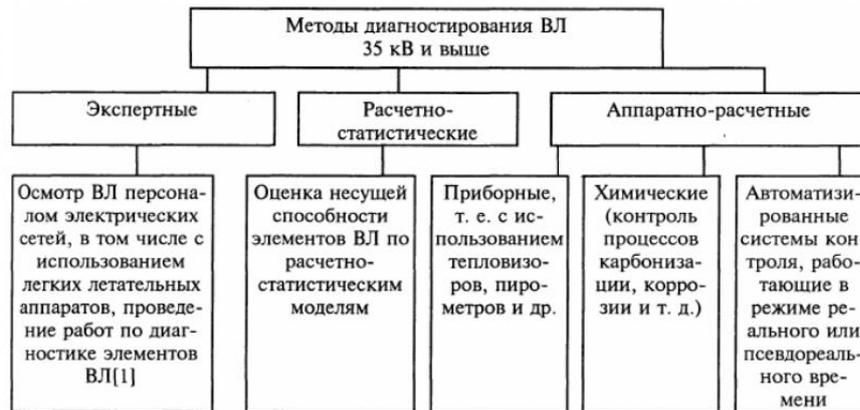


Рис. 1. Структурная схема методов технического диагностирования [2]

Разберем данную схему более детально.

Экспертный метод используется регламентированными работами, который основан на визуальном осмотре. Выводы строятся на окончательном заключении о пригодности к работе в дальнейшем проверяемого элемента воздушных линий без динамической и статической проверки. Соответственно, данный вид не эффективен. Также осмотр возможно провести при помощи летательных аппаратов, таким образом, определяется ширина просеки [3].

Приборы, которыми пользуются сотрудники:

- оптический дальномер;
- линейка или штангенциркуль;
- приборы для измерения заземляющих устройств;
- лупа;
- приборы для измерения величины тяжения;
- щупы [4].

Погрешность при этом не выше 10%.

Также имеются некоторые недостатки, к примеру время получения информации занимает 40 минут, кроме того, необходимо специальное обучение.

Для оценки остаточной прочности железобетонных опор используются:

- ультразвуковой прибор;
- ультразвуковой томограф;
- приборы компьютерной термографии.

Для проведения всех измерений начинают оказывать механические воздействия на бетон, производится запись частот колебаний, результаты сравнивают с эталонными значениями, которые даны специальной

программой. В результате, получаем остаточную прочность железобетонных элементов.

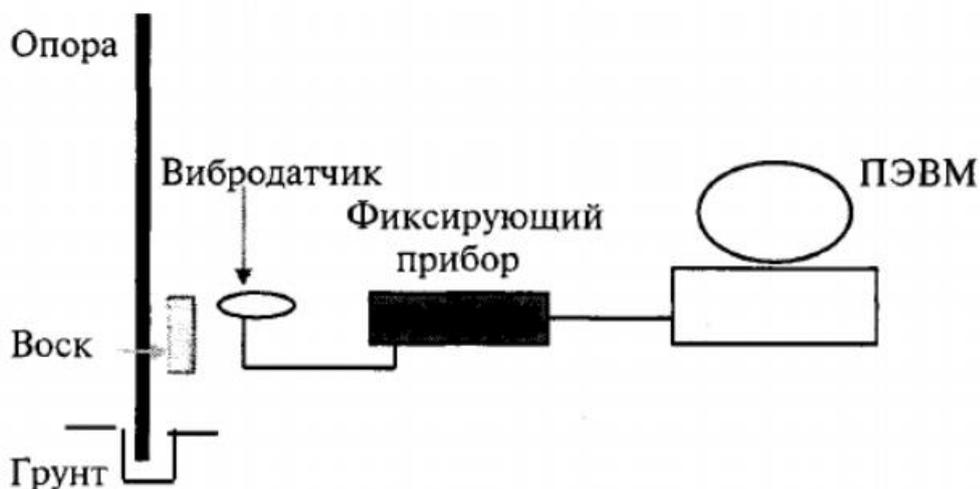


Рис. 2 Структурная схема прибора вибродиагностики железобетонных опор

Рассмотрим химические методы контроля, показанные на рис.3. К их недостаткам относятся:

- не учитываются фактически действующие нагрузки на линию;
- расшифровка полученных данных производится в лабораторных условиях;
- трудный процесс измерения [5].

Рассмотрим метод комплексного диагностирования, который основывается на электромагнитном излучении.

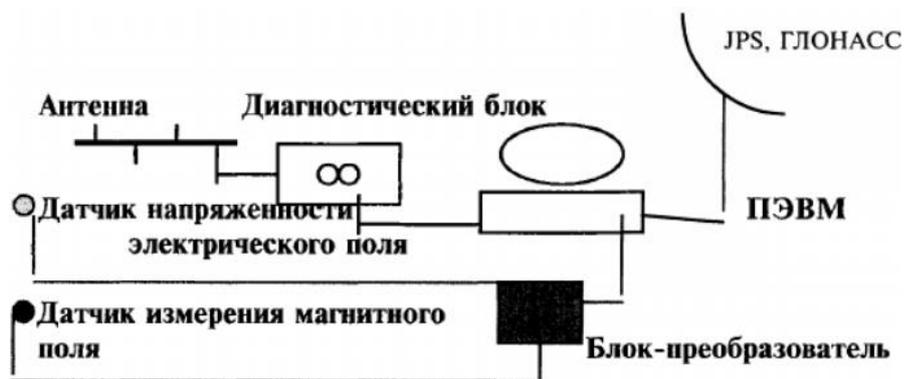


Рис. 3 Структурная схема диагностической системы

Таким образом, были рассмотрены методы диагностирования воздушных линий, приведены их недостатки и способы измерения.

## Источники

1. Вагапов Г.В., Махмутов А.Д. Вибрации в проводах линий электропередач // Тинчуринские чтения – 2023 «Энергетика и цифровая трансформация»: материалы Международной молодежной научной конференции. Казань, 2023. Т.1. С.796-799.

2. Махмутов А.Д. Колебания в линиях электропередач // Тинчуринские чтения – 2023 «Энергетика и цифровая трансформация»: материалы Международной молодежной научной конференции. Казань, 2023. Т.1. С.799-802.

3. Вагапов Г.В., Махмутов А.Д. Техническое диагностирование воздушных линий электропередач // XXVI Всероссийский аспирантско-магистерский научный семинар, посвященный дню энергетика: материалы докладов семинара. Казань, 2023. Т.1. С.21-23.

4. Гатиятов И.З., Сабитов Л.С. Способы и установки контроля опор из трубчатых стержней, применяемых в энергетическом строительстве при воздействии на них статических и динамических нагрузок. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2018;20(5-6):93-101

5. Федотов А.И., Вагапов Г.В., Абдуллазянов А.Ф., Шаряпов А.М. Цифровая система мониторинга повреждений на линиях электропередачи. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021;23(1):146-155.

УДК 621.315

## ВИДЫ ДИАГНОСТИКИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

Артем Дмитриевич Махмутов

Науч. рук. д-р техн. наук, доц. Георгий Валериянович Вагапов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

phenomen.cfg@mail.ru

**Аннотация.** В данной статье раскрывается понятие «Вибродиагностика», показана краткая характеристика всех ее видов, рассматриваются параметры вибрации, формы сигналов, спектры и нормированные значения.

**Ключевые слова:** вибрация, вибродиагностика, форма, спектры, дефекты, виброналадка.

## TYPES OF DIAGNOSTICS FOR SOLVING PROBLEMS IN THE ELECTRIC POWER INDUSTRY

Artem D.Makhmutov  
KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
phenomen.cfg@mail.ru

**Abstract.** This article reveals the concept of “Vibration diagnostics”, shows a brief description of all its types, discusses vibration parameters, signal shapes, spectra and normalized values.

**Keywords:** vibration, vibration diagnostics, shape, spectra, defects, vibration adjustment.

Вибрация в элементах электроэнергетических систем возникает при действии разнообразных динамических сил. Таким образом, вибрация – это колебания механического вида объекта у положения равновесия [1].

Вибродиагностика подразделяется на 3 вида:

- параметрическая;
- диагностическая;
- превентивная [2].

При параметрической диагностике проводится аварийная защита и управления всем элементами, а вся необходимая информация, предназначения для диагностики с помощью полученных данных, содержащих также отклонения от нормированных значений. Данный вид диагностики включает в себя некоторое количество видов контроля разных процессов, включая температуру и вибрацию. Один виброканал может контролировать 2 параметра, и значение низкочастотной вибрации и ее скорости нарастания. Нормированные значения вибрации варьируются от 2 до 1000 Гц. При возникновении аварии значение низкочастотной вибрации возрастает [3].

Рассмотрим диагностику неисправностей. Этот вид включает в себя вибродиагностику вращающегося механизма, означающее виброналадку. В оборудовании с высоким оборотом повышенная вибрация понижает ресурс, или вызывает проявления дефектов.

После получения результатов вибрации, можно определить причину повышенной вибрации и далее проводятся ремонтные работы, например, центровка, устранение дефектов и.т.д [4].

Превентивная диагностика – это выявление на ранней стадии возникающих дефектов, рассмотрение его равновесия и составление прогноза состояния механизма.

Далее рассмотрим виды оборудования, необходимых для виброконтроля:

- портативное;
- стационарное;
- балансирующее;
- диагностические системы;
- программное обеспечение [5].

После проведения всех испытаний разрабатываются формы сигналов и спектры вибрации.

При помощи узкополосной спектральной технологии возможно произвести сравнение форм сигналов с эталонным значением (рис.1).

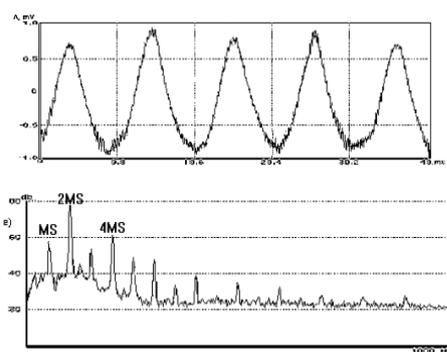


Рис. 1. Формы и спектры вибрации сердечника трансформатора, работающего в нормальном режиме

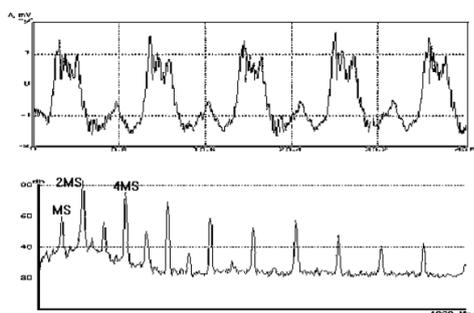


Рис. 2. Формы и спектры вибрации сердечника трансформатора при перегрузке

По итогу, в соответствии с спектром сигналов сделан следующий вывод, что при образовании магнитных свойств сердечника следует

изменение форм и рост значения вибрации на гармониках питающего напряжения.

### **Источники**

1. Махмутов А.Д. Вибрации в проводах линий электропередач // Тинчуринские чтения – 2023 «Энергетика и цифровая трансформация»: материалы Международной молодежной научной конференции. Казань, 2023. Т.1. С.796-799.

2. Махмутов А.Д. Колебания в линиях электропередач // Тинчуринские чтения – 2023 «Энергетика и цифровая трансформация»: материалы Международной молодежной научной конференции. Казань, 2023. Т.1. С.799-802.

3. Вагапов Г.В., Махмутов А.Д. Техническое диагностирование воздушных линий электропередач // XXVI Всероссийский аспирантско-магистерский научный семинар, посвященный дню энергетика: материалы докладов семинара. Казань, 2023. Т.1. С.21-23.

4. Махмутов А.Д. Пляска на элементах энергообеспечения электрической энергии // Научному прогрессу. Йошкар-Ола, 2023. С.377-380.

5. Федотов А.И., Вагапов Г.В., Абдуллазянов А.Ф., Шаряпов А.М. Цифровая система мониторинга повреждений на линиях электропередачи. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетика. 2021;23(1):146-155.

УДК 621.391.31

## **ИНТЕГРИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ И ПОЛУЧЕНИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В АСУТП**

Лейсян Махмутовна Назмутдинова

Науч. рук. канд. тех. наук, доц. Алексей Николаевич Цветков

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

Leysyan.nazmutdinova@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассматривается способ передачи информации о состоянии надежности электрических систем, зависящие от технического состояния электрооборудования на электрических станциях и подстанциях.

**Ключевые слова:** диагностика, волоконно-оптические линии связи, «медные» каналы.

## **INTEGRATED SYSTEMS FOR PROVIDING AND RECEIVING DIAGNOSTIC INFORMATION IN THE AUTOMATED CONTROL SYSTEM**

Leisyan M. Nazmutdinova  
KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
Leisyan.nazmutdinova@mail.ru

**Abstract.** The article discusses a method of transmitting information about the reliability of electrical systems that depend on the technical condition of electrical equipment at power stations and substations.

**Keywords:** diagnostics, fiber-optic, communication lines, "copper" channels.

Для повышения срока эксплуатации высоковольтного электрооборудования, а также для повышения надежности электросети, целесообразно внедрить в систему устройства технической диагностики и постоянного мониторинга состояния электрооборудования [1]. Диагностика в режиме настоящего времени даст возможность быстро выявить неисправности и дефекты агрегатов электрооборудования на начальных этапах развития и предупредить возникновение аварийных ситуаций [6]. Однако, внедрение дополнительных систем непрерывного технического мониторинга на сегодняшний день является дорогостоящим мероприятием, особенно в городских и промышленных электрических сетях [4].

Эффективный контроль над любым технологическим процессом невозможен без полной, достоверной и своевременной информации о состоянии технологического объекта. Такая информация получается по измерительным каналам автоматизированной системы управления технологическим процессом [3]. Они включают в себя первичный преобразователь, нормализующий преобразователь, канал связи, аналого-цифровой преобразователь и вычислительный процессор. Сбои неизбежно возникают при работе любого оборудования. При выходе из строя измерительного канала система управления получает ложную информацию. Полный отказ происходит, когда выходит из строя один из компонентов измерительного канала [5]. В случае частичного (метрологического) сбоя измерительный канал остается работоспособным,

но погрешность измерения превышает допустимое значение. Полная неисправность диагностируется с помощью интегрированных систем диагностики контрольно-измерительных приборов и контроллера. При этом интегрированные системы диагностики не могут обнаружить частичный отказ, поэтому необходимо создать систему диагностики частичного отказа [2].

Внедрение дополнительных систем технической диагностики позволит электросетевым организациям: снизить или даже исключить экономические потери, увеличить время полезного использования и объема отпуска электроэнергии потребителям, снизить длительность отключений потребителей и частоты таких отключений, предотвратить аварийные ситуаций.

### **Источники**

1. Куско А., Томпсон М. Сети электроснабжения. Методы и средства обеспечения качества энергии / пер. с англ. Рабодзея А.Н. М.: Додека-XX1, 2010. 336 с.: ил.

2. Liu, H.; Xie, T.; Ran, J.; Gao, S. An Efficient Algorithm for Server Thermal Fault Diagnosis Based on Infrared Image 2017, p. 910.

3. Яруллин Р.С., Салихов И.З., Черезов Д.С., Нурисламова А.Р. Перспективы водородных технологий в энергетике и в химической промышленности // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021. Т. 23. № 2. С. 70-83.

4. Иванов В.И. Применение технологии WDM в современных сетях передачи информации. Казань, 2010. 148с.

5. Huo, Z.; Zhang, Y.; Sath, R.; Shu, L. Self-adaptive fault diagnosis of roller bearings using infrared thermal images 2017, p. 124-127.

6. Проектирование систем и средств автоматизации и управления : учебное пособие / О. В. Дмитриева, Н. Б. Сбродов, Е. К. Карпов, М. В. Неизвестных. — Курган : КГУ, 2019. — 112 с.

## РАСЧЁТ РАДИАЛЬНОЙ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ПОВЕРХНОСТИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО БАРЬЕРА ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ЯЧЕЙКИ

Ньетерейе Фредерик

Науч. рук. д-р физ.- мат. наук проф. Александр Евгеньевич Усачев

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

nyetereyefrederic@gmail.com

**Аннотация.** В докладе представлен расчёт электрического поля (ЭП) внутри газовой каверны и на поверхности диэлектрика у края круглого электрода плоского конденсатора измерительной ячейке. Расчёты выполнены в программе COMSOL 6.0 в геометрии с двумерной осевой симметрией в модуле переменного/постоянного (AC/DC) электрического тока в подразделе тока. Определены напряжённости ЭП внутри каверны и на поверхности диэлектрика. Показывается, что для наблюдения частичных разрядов (ЧР) внутри каверны, необходимо принимать специальные меры для снижения напряжённости возникновения поверхностных ЧР. В результате расчёта различных вариантов предлагается способ сдвига поверхностных ЧР в область напряжений, превышающих напряжение возникновения ЧР внутри каверны.

**Ключевые слова:** измерительной ячейки, электрического поля.

## CALCULATION OF THE RADIAL ELECTRIC FIELD STRENGTH ON THE SURFACE OF THE DIELECTRIC BARRIER OF THE MEASURING CELL

Nyetereye Frederic

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

nyetereyefrederic@gmail.com

**Abstract.** The paper presents the calculation of the electric field (EF) inside the gas cavern and on the dielectric surface at the edge of the circular electrode of a flat capacitor measuring cell. The calculations are performed in the COMSOL 6.0 program in geometry with two-dimensional axial symmetry in the alternating/direct (AC/DC) electric current module in the current subdivision. The EF inside the cavern and on the dielectric surface are determined. It is shown that in order to observe partial discharges (PDs) inside the cavern, special measures must be taken to reduce the occurrence of surface PDs. As a result of

calculation of various variants, a method of shifting surface PDs to the region of voltages exceeding the PD occurrence voltage inside the cavern is proposed.

**Keywords:** measuring cell, electric field, partial discharges.

Метод частичных разрядов (МЧР) является одним из наиболее чувствительных методов обнаружения дефектов изоляции на ранней стадии их развития [1]. Несмотря на широкое и длительное применение МЧР практике эксплуатации электротехнического оборудования остаётся ряд вопросов в физике ЧР и, как следствие, в интерпретации связи наблюдаемых ЧР со степенью развития дефектов и остаточным ресурсом оборудования [2]. Для ответа на многие такие вопросы в лаборатории техники высоких напряжений кафедры электрических станций им. В.К. Шибанова КГЭУ создана специальная измерительная ячейка для наблюдения ЧР различной формы в различных условиях. В этом докладе сообщается о результатах моделирования ЭП в программе Comsol 6.0 с целью разработки способа устранения поверхностных ЧР в область напряжённости ЭП  $E > 16$  кВ/см [3].

На краю электродов плоского конденсатора распределение потенциала становится неравномерным (см.рис.1) и возникает радиальная составляющая напряжённости ЭП. При величине большей  $E \sim 2$  кВ/см могут возникнуть частичные разряды в воздухе над поверхностью диэлектрика (поверхностных ЧР) [4]. Напряжённость возникновения поверхностных ЧР зависит от многих факторов, таких как состояние поверхности, тип диэлектрика, температура, давления и т.п. В экспериментах по изучению ЧР в газовых кавернах изоляции без специальных мероприятий по снижению напряжённости ЧР появлялись уже при напряжении 5 кВ и не позволяли проводить исследования ЧР в каверне, которые появлялись в диапазоне напряжённостей  $3 \div 12$  кВ/мм [5].

На следующих рисунках показан расчет распределения электрического поля и потенциала в проводящих средах в условиях, когда индуктивные эффекты незначительны.

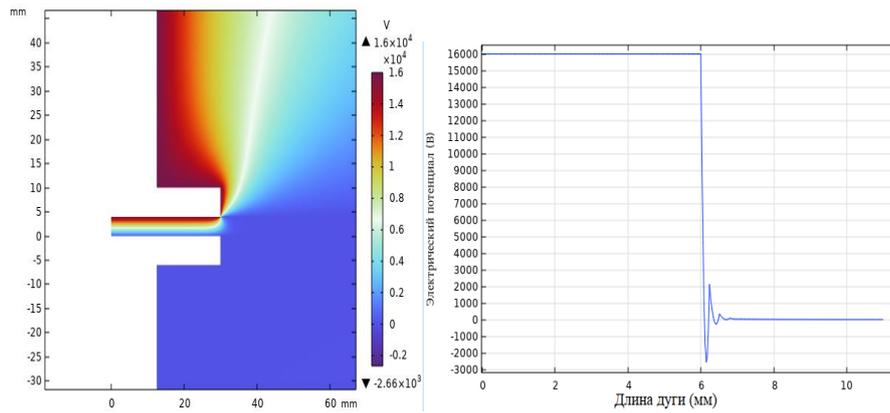


Рис.1. Норма электрического потенциала и график поведения электрического потенциала с r-компонентой (В)

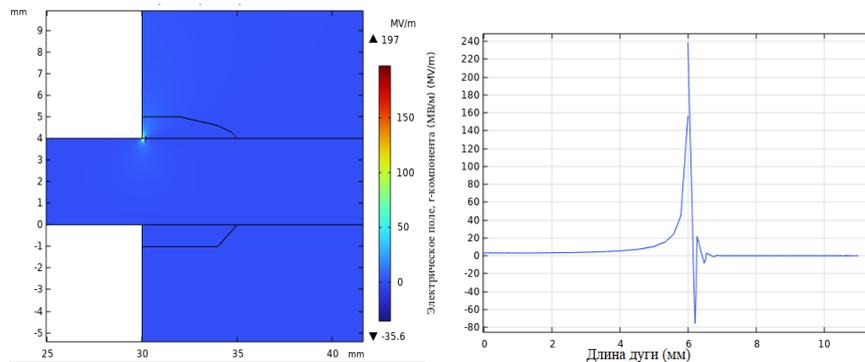


Рис.2.Норма электрического поля и график поведения электрического поля с r-компонентой

На основании проведённого моделирования можно утверждать, что:

1. Наибольшая радиальная составляющая напряжённости ЭП возникает на границе диэлектрик-воздух-электрод.
2. Поверхностные ЧР развиваются от поверхности электрода в воздухе над диэлектриком.
3. Нанесение на эту границу полупроводящих покрытий с толщиной менее толщины электрода сдвигает область максимальной напряжённости на границы диэлектрик-воздух-покрытие и электрод-воздух-покрытие.
4. Диэлектрическое покрытие с проводимостью не выше проводимости диэлектрика резко снижает напряжённость в зоне диэлектрик-воздух-электрод и препятствует возникновению поверхностных ЧР [6].

## Источники

1. Г 968 Физические явления и эффекты в электромагнитных полях: учеб.пособие / А.А. Гуськов; Нижегород. гос. тех. ун-им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2018. – 164 с.;
2. Математическая модель индуктивной измерительной ячейки для бесконтактной кондуктометрии;
3. Техника высоких напряжений, В. Ф. Важов, В. А. Лавринович;
4. Физика диэлектриков (область сильных полей) Г.А. Воробьев, Ю.П. Похолков, Ю.Д. Королев, В.И. Меркулов;
5. Исследование одиночного барьерного разряда в субмиллиметровых воздушных промежутках. Однородное поле/© П.Н. Бондаренко, О.А. Емельянов, М.В. Шемет;
6. Основы диэлектрической спектроскопии (Учебное пособие), Гусев Ю.А.

УДК 621.313

## ОБЗОР МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Павел Викторович Самойлов

Науч. рук. канд. пед. наук, доц. Венера Михайловна Булатова  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
pav.samoilov2012@yandex.ru

**Аннотация.** В статье освещается проблема выбора методов диагностирования асинхронных двигателей. Кратко рассмотрены методы тестовой и функциональной диагностики асинхронных двигателей.

**Ключевые слова:** асинхронные электродвигатели, тестовая и функциональная диагностика, методы обслуживания, методы и системы диагностики, дефект.

## OVERVIEW OF DIAGNOSTIC METHODS FOR ASYNCHRONOUS MOTORS IN OPERATION

Pavel V. Samoilov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
pav.samoilov2012@yandex.ru

**Abstract.** The article highlights the problem of choosing methods for diagnosing asynchronous motors. The methods of test and functional diagnostics of asynchronous motors are briefly considered.

**Keywords:** asynchronous electric motors, test and functional diagnostics, maintenance methods, diagnostic methods and systems, defect.

В промышленности, особенно в отраслях с дорогостоящим оборудованием, таким как нефте- и газодобыча, металлургия, химическая промышленность, эффективно используется система планово-предупредительных ремонтов (ППР). Она основана на регулярном проведении профилактических работ и замене изношенных деталей, что позволяет предотвратить крупные поломки и простои оборудования [1].

Безусловно, выбор стратегии и методов диагностирования асинхронных двигателей зависит от этапа их жизненного цикла, на котором производится диагностика. На этапе производства диагностика проводится для контроля качества и обнаружения возможных дефектов, на этапе эксплуатации – для определения текущего технического состояния и выявления неисправностей, а на этапе ремонта – для определения объема и стоимости работ и прогнозирования остаточного ресурса.

В настоящее время известны следующие методы диагностики асинхронных двигателей [2-4]:

- основанные на анализе вибраций отдельных элементов агрегата;
- на анализе акустических колебаний, создаваемых работающей машиной;
- на измерении и анализе магнитного потока в зазоре двигателя и внешнего магнитного поля;
- на измерении и анализе температуры отдельных элементов машины;
- диагностики механических узлов;
- основанные на анализе электрических параметров машины;
- диагностики состояния изоляции.

Методы, основанные на анализе электрических параметров и тепловизионной диагностике, также могут быть использованы для диагностики двигателей средней мощности. Они включают в себя измерение сопротивления изоляции, проверку на отсутствие межвитковых замыканий, вибродиагностику, термографию, анализ масла и осмотр подшипников.

Анализ электрических параметров является одним из основных методов диагностики асинхронных двигателей. Он включает измерение тока, напряжения, мощности и тангенса угла диэлектрических потерь. Этот метод позволяет определить состояние изоляции двигателя, наличие коротких замыканий и других неисправностей.

Тепловизионная диагностика узлов асинхронного двигателя также является важным методом диагностики. Она позволяет обнаружить

локальные перегревы, которые могут указывать на неисправности в двигателе или на неправильную работу системы охлаждения.

Метод контроля частичных разрядов позволяет получить наиболее полную информацию о состоянии изоляции статорной обмотки асинхронного двигателя. Однако этот метод можно применять только для высоковольтных двигателей, так как он основан на регистрации импульсов напряжения, возникающих при разряде частиц изоляции. Для низковольтных двигателей этот метод не подходит.

Методы, основанные на измерении внешнего магнитного поля, не всегда могут быть использованы для диагностики асинхронных двигателей из-за их низкой точности и сложности реализации. Эффект экранирования ферромагнитным корпусом может существенно снизить точность диагностики по внешнему магнитному полю. Однако, существуют методы, позволяющие уменьшить влияние этого эффекта. Например, можно использовать специальные датчики, которые устанавливаются внутри двигателя, а не снаружи. Также можно использовать методы обработки сигналов, которые позволяют улучшить точность измерений.

Методы вибродиагностики требуют специального оборудования и программного обеспечения, что может быть довольно дорогостоящим. Однако, эти методы могут быть очень полезными для выявления проблем в двигателе на ранней стадии, что может предотвратить более серьезные проблемы в будущем.

Очевидно, что для получения точной информации о техническом состоянии асинхронных двигателей, рекомендуется использовать комбинацию различных методов диагностики. Функциональные методы, которые не требуют отключения оборудования от сети, являются наиболее экономически эффективными и предпочтительными. Для решения проблемы диагностики асинхронных двигателей предлагается создание универсального метода определения их технического состояния [5]. Это позволит минимизировать ущерб от повреждений двигателей за счет раннего обнаружения дефектов. Важно проводить измерение диагностических параметров работающего привода без необходимости отключения двигателя от производственного процесса и транспортировки его на специализированные стенды.

## **Источники**

1. Кожевников И.Е. Комплексная диагностика асинхронных электродвигателей // Colloquium-journal. 2021. №4 (91).

2. Попов А.В. и др. Методика расчета надежности обмоток высоковольтных асинхронных электродвигателей. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2016;(5-6):94-98.

3. Зюзев А.М. и др. оценка теплового состояния электродвигателей переменного тока // Известия ТПУ. 2021.

4. Метельков В.П. Оценка ресурса изоляции обмотки статора асинхронного двигателя при работе в циклических режимах // Вестник ЮУрГУ. Серия: Энергетика. 2013. №2.

5. Сидельников Л.Г. Обзор методов контроля технического состояния асинхронных двигателей в процессе эксплуатации // Недропользование. 2013. №7.

УДК 621.313

## ОЦЕНКА РЕСУРСА ИЗОЛЯЦИИ ОБМОТОК АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Павел Викторович Самойлов

Науч. рук. канд. пед. наук, доц. Венера Михайловна Булатова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

pav.samoilov2012@yandex.ru

**Аннотация.** В статье показано, что срок службы изоляции зависит от температуры и скорости старения, определяемой химическими реакциями внутри изоляции. Отмечено, что изменение остаточного ресурса изоляции может не соответствовать установленным нормативным кривым.

**Ключевые слова:** асинхронный двигатель, остаточный ресурс изоляции, тепловое старение, надежность, нагревостойкость.

## EVALUATION OF THE INSULATION RESOURCE OF ASYNCHRONOUS MOTOR WINDINGS

Pavel V. Samoilov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

pav.samoilov2012@yandex.ru

**Abstract.** The article shows that the service life of insulation depends on the temperature and the rate of aging determined by chemical reactions inside the insulation. At

the same time, the residual thermal insulation resource may decrease faster than the standard curves.

**Keyword:** asynchronous motor, residual insulation life, thermal aging, reliability, heat resistance.

Надежность изоляции электрических машин является важным фактором обеспечения общей надежности системы электроснабжения [1]. Нормативный уровень изоляция предотвращает возникновение короткого замыкания, которое может привести к перегреву и выходу двигателя из строя, защищает машину от коррозии и других видов износа, что увеличивает срок ее службы. В целом, улучшение изоляции может не только повысить общую надежность, но и снизить затраты на её обслуживание.

Коллектив исследователей в работе [2] показал, что доля отказов асинхронных двигателей мощностью более 5 кВт из-за повреждения обмоток составляет 85-95%, причем около 50% этих отказов вызваны эксплуатационными причинами. Это подчеркивает важность правильного обслуживания и эксплуатации асинхронных двигателей для предотвращения отказов и обеспечения надежной работы оборудования.

Убытки от выхода из строя обмоток электрических машин могут быть существенными и достигать 85% от стоимости их годового выпуска [2]. Эти обстоятельства указывают на необходимость тщательного изучения взаимосвязи между сроком службы изоляции, режимами работы электрической машины и ее тепловым состоянием, которые могут заменить косвенные методы эквивалентных величин и средних потерь, которые зачастую используются на практике.

Нагневостойкость изоляции является важным параметром, который определяет ее способность выдерживать высокие температуры без потери своих свойств [3]. Срок службы электроизоляционных материалов определяется их способностью сопротивляться химическим изменениям, вызванным процессами старения. Время, за которое изоляция достигнет своего предельного состояния в результате температурного старения, можно рассчитать с помощью выражения (1), которое связывает скорость химической реакции с температурой [4]:

$$T = k \cdot e^{(B/Q-G)} \quad (1)$$

где В – соотношение энергии активации молекулы и универсальной газовой постоянной; Q – температура изоляции; G – условная постоянная,

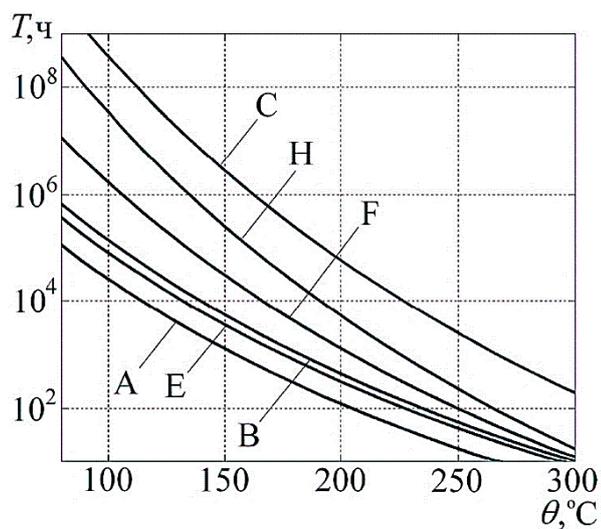
определяемая концентрацией непрореагировавших молекул;  $k$  – коэффициент пропорциональности (принимается  $k = 1$  при измерении срока службы в часах).

Средние значения постоянных  $B$  и  $G$ , определённые экспериментально для разных классов изоляции, представлены в таблице по данным [5].

Усредненные значения постоянных  $B$  и  $G$

Класс изоляции	A	E	B	F	H	C
$G$	15,3	15,1	15,5	19,7	24,2	21,8
$B \cdot 10^{-4}, ^\circ\text{C}$	0,95	0,985	1,02	1,27	1,55	1,55

На рисунке показаны зависимости срока службы изоляции различных классов нагревостойкости в часах от температуры (по выражению (1)):



Зависимость срока службы изоляции в часах от температуры (буквами обозначен класс нагревостойкости)

Следует отметить, что остаточный тепловой ресурс изоляции может уменьшаться с скоростью, отличной от нормативных кривых, представленных на рисунке. Такой подход обеспечивает более точную и эффективную оценку состояния электродвигателя и его изоляции, что позволяет продлить срок службы оборудования и снизить риск непредвиденных поломок.

### **Источники**

1. Кожевников И.Е. Диагностика асинхронных электродвигателей // Colloquium-journal. 2021. №5 (92).

2. Попов А.В. и др. Методика расчета надежности обмоток высоковольтных асинхронных электродвигателей. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2016;(5-6):94-98.

3. Зюзев А.М. и др. оценка теплового состояния электродвигателей переменного тока // Известия ТПУ. 2021.

4. Метельков В.П. Оценка ресурса изоляции обмотки статора асинхронного двигателя при работе в циклических режимах // Вестник ЮУрГУ. Серия: Энергетика. 2013. №2.

5. Кривых Ю.С. Неразрушающий контроль и диагностика асинхронного двигателя // Вестник ЮГУ. 2015. №2 (37).

УДК 621.316.98

## **ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ ПРИМЕНЕНИЯ АКТИВНЫХ МОЛНИЕОТВОДОВ НА ОБЪЕКТАХ ЭЛЕКТРОГЕНЕРАЦИИ**

Ольга Владимировна Семерякова

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Артем Юрьевич Кубарев

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

osemeryakova00@mail.ru

**Аннотация.** В работе рассматриваются актуальные вопросы защиты объектов и сооружений на ОРУ электростанций от ударов молнии. Основное внимание уделяется активным молниеотводам, которые имеют ряд преимуществ перед традиционными стержневыми молниеотводами. Подробно описываются конструктивные особенности активных молниеотводов, а также приводятся рекомендации по их установке и эксплуатации.

**Ключевые слова:** молния, электрический разряд, стримерная эмиссия, лидер, конденсатор, зона молниезащиты.

## **ASSESSMENT OF THE PROSPECTS FOR THE USE OF ACTIVE LIGHTNING RODS AT POWER GENERATION FACILITIES**

Olga V. Semeryakova

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

osemeryakova00@mail.ru

**Abstract.** The paper deals with topical issues of protection of facilities and structures at the ORU of power plants from lightning strikes. The main focus is on active lightning rods, which have a number of advantages over traditional rod lightning rods. The design features of active lightning rods are described in detail, as well as recommendations for their installation and operation.

**Keywords:** lightning, electric discharge, streamer emission, leader, capacitor, lightning protection zone.

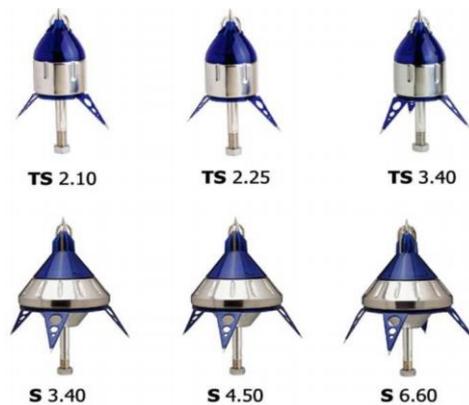
Молния представляет собой протяженную искру, возникающую как следствие значительного напряжения между грозовой тучей и землёй, несущую электрический заряд [1]. Для защиты объектов энергетики, расположенных вне зданий и сооружений от прямых поражений ударами молнии, используются различные системы молниезащиты. В работе [2] выделяют: стержневой, тросовый тип молниезащиты, молниеприемная сетка и молниезащита с использованием активных молниеприемников.

Испытаниями, проведенными группой исследователей в работе [3] было установлено, что активный молниеприемник имеет ряд преимуществ перед стержневым молниеприемником. Во-первых, он обеспечивает более быструю реакцию на появление молнии, благодаря чему удается предотвратить негативные последствия от удара молнии. Во-вторых, активный молниеприемник обладает более высокой эффективностью защиты, так как он способен улавливать молнии даже при сложных погодных условиях. В-третьих, он более удобен в использовании, так как не требует постоянного обслуживания и контроля.

Однако, стоит отметить, что активный молниеприемник также имеет и свои недостатки. Так, его стоимость может быть значительно выше, чем у стержневого молниеприемника. Кроме того, он может быть менее надежным, так как зависит от источника питания и электронных компонентов, а при неправильной установке или эксплуатации, активный молниеприемник может стать источником дополнительных электромагнитных помех.

Выбор между активным молниеприемником и стержневым молниеприемником зависит от многих факторов, таких как стоимость, надежность, эффективность и удобство использования. Перед принятием решения о выборе типа молниезащиты необходимо провести анализ всех факторов и определить, какой тип молниеприемника наиболее подходит для конкретного объекта.

Примеры различных модификаций молниеприемников активного молниеотвода представлены на рисунке:



Молниеприемники активного молниеотвода

Главное отличие активной молниезащиты от традиционных молниезащитных устройств заключается в наличии активного молниеприемника, который реагирует на рост напряженности электромагнитного поля, возникающий от грозового фронта. Конденсаторы активного молниеотвода заряжаются от напряжения, наведенного этим полем. Повышение напряжения на конденсаторе до критического, приводит пробоем разрядников и излучению короткого высоковольтного импульса, с обратной полярностью надвигающемуся фронту. Этот импульс, действует быстрее, чем процесс формирования «естественного» лидера, создает «искусственный» восходящий лидер, который развивается с гораздо большей скоростью и поднимается на большую высоту, значительно увеличивая область защиты молниеприемника.

Согласно международному стандарту NFC 17-102 [4], все молниеотводы с упреждающей стриммерной эмиссией предварительно проходят высоковольтные лабораторные испытания по расчёту времени упреждения срабатывания активного молниеотвода в сравнении со стрелковым молниеприемником. Определённое значение будет соответствовать среднему времени срабатывания за 100 электрических разрядов в лаборатории за вычетом 35% коэффициента надежности

Таким образом, активная защита обеспечивает более широкий диапазон защиты по сравнению с пассивной защитой, благодаря способности обнаруживать и реагировать на угрозы. Это делает ее более эффективной в обеспечении безопасности и работоспособности объектов электрогенерации.

### **Источники**

1. Бадалова Г.Т., Туламетов М.А. Физика линейных молний // Вопросы науки и образования. 2019. №18 (65).
2. Юдицкий Д.М., Усачев А.Е. Сравнительная оценка доли ударов молний в опоры и верхний фазный провод в пролёте ВЛ без молниезащитного троса. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2018; 20(3-4):3-10.
3. Соколов К.В., Ефимов С.В. Преимущества применения активных молниеприемников по сравнению с другими методами // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2018. №9.
4. Protection of structures and open areas against lightning using early streamer air terminals, September 2011/ Officially approve French standard. French.: UTE, 2011, 73 p.

УДК 621.315.62

## **ЧАСТИЧНЫЕ РАЗРЯДЫ В ИЗОЛЯЦИИ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Карим Рамисович Сираев, Айдар Ильшатovich Вагапов  
Науч. рук. д-р техн. наук, доц. Дмитрий Алексеевич Иванов  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
karimsirka654@gmail.ru, aydar.vagapoff@yandex.ru

**Аннотация.** В статье представлена и рассмотрена модель характеристики феномена в физике, именуемого частичными разрядами в изоляции высоковольтного оборудования, представляющих собой некий искровой разряд очень малой мощности, возникающий где-то внутри изоляции, либо же на её поверхности. Данный феномен постепенно разрушает изоляцию, приводя систему к пробое.

**Ключевые слова:** модель, частичный разряд, феномен, характеристика, изоляция.

## **PARTIAL DISCHARGES IN THE INSULATION OF HIGH-VOLTAGE EQUIPMENT**

Karim R. Siraev, Aidar I. Vagapov  
KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
karimsirka654@gmail.ru, aydar.vagapoff@yandex.ru

**Abstract.** The article presents and considers a model of the characteristics of the phenomenon of partial discharge physics, called partial discharges in the insulation of high-voltage equipment, which are a kind of spark discharge of very low power that occurs somewhere inside the insulation, or on its surface. This phenomenon gradually destroys the insulation, leading the system of high-voltage equipment to breakdown.

**Keywords:** model, partial discharge, phenomenon, description, insulation.

Частичные разряды могут возникать по причине неоднородности или повреждения изоляции, присутствия воздушной влаги или загрязнений на поверхности изоляционных материалов. Разряды имеют место в разных частях конструкции высоковольтного оборудования, таких как кабели, катушки индуктивности и генераторы, а также многие другие [1].

Явление возникновения разрядов в изоляции может привести к таким возможным разрушительным последствиям, как образование проводящего канала, короткого замыкания или даже пожара. Именно благодаря обнаружению и контролю описанных выше возможных последствий высоковольтное оборудование может оставаться безопасным и надежно работать в штатном режиме.

Для диагностики частичных разрядов в изоляции высоковольтного оборудования используются разные методики, включая как измерение уровня импульсных токов разрядов и термографию, так и анализ газовых выделений, и ультразвуковую диагностику [2].

Также важным фактором является правильное проектирование и обслуживание высоковольтного оборудования, и чистота окружающей среды в том числе. Добросовестное и правильное обслуживание оборудования сохранит его первоначальную характеристику, поспособствует его долговечности и бесперебойной работе без возникновения непредвиденных последствий. Ниже приведена формула, по которой можно рассчитать суммарную мощность потерь, вызванных частичными разрядами (ЧР). По формуле, мощность ЧР можно получить, поделив полную энергию на время суммирования. Полная энергия находится путем суммы всех импульсов [3]:

$$P = \frac{1}{T} \times \sum_1^m Q_i \times V_i,$$

где: P – мощность разрядов, Вт; T – время наблюдения, сек, m – число зарегистрированных импульсов за время T,  $Q_i \times V_i$  – энергия i-го импульса.

Выделяют некоторые методы обнаружения и измерения ЧР, описанные в приведенной ниже таблице:

Методы обнаружения и измерения ЧР

Оптические методы	Основаны на фиксации оптических проявлений ЧР. Характеризуются фиксациями вспышек, и отслеживанием изменения оптического потока.
Акустические методы	Они основаны на поиске и измерении характерных ультразвуковых колебаний, вызываемых ЧР.
Радиоволновые методы	Основан на выявлении радиопомех, вызванных ЧР. В местах наибольшей концентрации помех и возникают ЧР.
Электрические методы	Основываются на измерении импульсов тока в системе. Детектор подключается к цепи заземления и регистрирует токи, отличные от фоновых.

Решить проблему возникновения ЧР в изоляции высоковольтного оборудования можно следующими способами:

– использование специальных изоляционных материалов. Некоторые материалы, например, полиэтилен, имеют высокую сопротивляемость к разрядам, что повысит качество изоляции и её безопасность;

– повышение толщины изоляции. Более толстая и прочная изоляция позволяет снизить возникновение ЧР [4].

Подводя итоги, можно с легкостью сказать, что проблема возникновения ЧР актуальна как никогда и требует к себе особенного внимания, ведь только при правильной подготовке можно обезопасить изоляцию и предупредить систему высоковольтного оборудования от дефектов и прочих опасностей, вредящих, в частности, среде, в которой находится система высоковольтного оборудования, и окружающим.

### Источники

1. Бабенко, М. В. Причины возникновения и способы регистрации частичных разрядов в силовых трансформаторах / М. В. Бабенко // Молодежь и научно-технический прогресс : Сборник докладов XIV международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 2 т., Губкин, 08–09 апреля 2021 года. Том 1. – Губкин: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2021. – С. 12-14.

2. Петров, А. В. Диагностика частичных разрядов в силовых кабелях и электрических устройствах / А. В. Петров // Метро и тоннели. – 2009. – № 2. – С. 42-43.

3. Разумов, Р. В. Системы мониторинга высоковольтного энергетического оборудования: мониторинг частичных разрядов во вращающихся электрических машинах / Р. В. Разумов, М. Ю. Соловьев, А. В. Михайлов // Релейная защита и автоматизация. – 2021. – № 1(42). – С. 46-59.

4. Николаев, А. А. Локализация неисправностей трансформатора средствами акустической локации частичных разрядов / А. А. Николаев, Е. А. Храмшина, А. А. Николаев // Электротехнические системы и комплексы. – 2018. – № 1(38). – С. 48-54.

УДК 621.315

## ЗАДАЧИ КОНТРОЛЯ ИЗОЛЯЦИИ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Халимжон Махаматолимович Таджиев

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Дамир Камилевич Зарипов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

aleka\_andy@mail.ru

**Аннотация.** В статье показано, что нормативное состояние изоляционных конструкций важно для безаварийного функционирования энергетической системы. Отмечено, что безотказная работа энергосистемы может быть представлена как сумма двух потоков: связанного с износом и старением элементов и определяемого внешними воздействиями. Сделан вывод, что непрерывный контроль состояния изоляции и развитие дистанционной диагностики повышают безопасность энергосистемы.

**Ключевые слова:** высоковольтные изоляторы, дефекты, дистанционная диагностика, внезапные отказы, эксплуатационные факторы.

## TASKS OF INSULATION CONTROL OF OVERHEAD POWER TRANSMISSION LINES

Halimjon M. Tajiyev

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

aleka\_andy@mail.ru

**Abstract.** The article shows that the normative state of insulation structures is important for the trouble-free functioning of the energy system. It is noted that the trouble-free operation of the power system can be represented as the sum of two flows: associated with wear and aging of elements and determined by external influences. It is concluded that

continuous monitoring of the insulation condition and the development of remote diagnostics increase the safety of the power system.

**Keywords:** high-voltage insulators, defects, remote diagnostics, sudden failures, operational factors.

Безусловным требованием безаварийного функционирования энергетической системы является нормативное состояние изоляционных конструкций [1]. Изоляторы, электрические характеристики которых не соответствует нормативным требованиям, могут привести к перерывам электроснабжения, что ведет к большим экономическим потерям, связанным с недоотпуском электроэнергии и повреждением элементов.

Для предотвращения отказов изоляторов необходимо проводить регулярное техническое обслуживание воздушных линий, использовать качественные изоляторы и устанавливать системы мониторинга их состояния [2].

Анализ актуальных методов диагностики показал, что для решения этой проблемы необходимо разработать новые методы контроля состояния изоляции, которые будут более точными и эффективными. Так в работе [3] справедливо указано, что неисправность изоляторов является одной из наиболее распространенных причин отказов воздушных линий электропередачи.

Показатель безотказной работы – это мера того, как часто происходят отказы в системе. Он может быть представлен в виде суммы двух потоков [4]:

$$\omega = \omega_1(t) + \omega_2(t) \quad (1)$$

где  $\omega_1(t)$  – поток отказов, связанный с износом и старением элементов ВЛ и зависящий от срока службы;  $\omega_2(t)$  – поток отказов, определяемый внезапными внешними воздействиями.

В научной литературе [5] общепризнано выделение двух видов отказов изоляторов – внезапные и постепенные.

Внезапные отказы изоляторов происходят в результате резких разрушений или пробоев, которые могут возникнуть из-за различных причин, таких как превышение электрической или механической нагрузки, воздействие внешних факторов, таких как влажность, температура или загрязнение, и т.д. Такие отказы могут привести к короткому замыканию или другим аварийным ситуациям, которые требуют немедленного вмешательства. Постепенные отказы происходят из-за процессов старения

и износа изоляционных материалов, что приводит к снижению их диэлектрических свойств. Это может происходить как из-за естественного старения материалов, так и из-за воздействия различных факторов, например, вибрации, влажности, температуры и т. п. Постепенные отказы могут привести к ухудшению изоляции и снижению надежности системы, однако они обычно могут быть обнаружены и устранены путем проведения регулярных проверок и технического обслуживания.

Авторами в работе [4] убедительно показано, что если первый вид отказов изоляторов может быть зарегистрирован системами защитной автоматики, то регистрация второго вида критически затруднена, а в большинстве случаев и практически невозможна.

Изоляторы находятся под воздействием различных факторов во время эксплуатации, а именно – непрерывное напряжение номинальной величины, загрязнение поверхности и воздействие метеорологических условий.

Эксплуатационные факторы, такие как тепловые, механические и электрические нагрузки, могут негативно сказаться на состоянии изоляции, а химические реакции привести к деградации диэлектрических свойств материалов и вызвать их пробой или короткое замыкание.

Определение текущего состояния изоляции включает в себя несколько этапов. Сначала обслуживающий персонал использует специализированные диагностические инструменты для получения данных о состоянии изоляции. Затем эти данные сравниваются с нормативами или характеристиками новых элементов, чтобы определить, соответствует ли изоляция требованиям. На основании этого сравнения и экспертных оценок определяется физическое состояние объекта и степень его износа.

Можно сделать вывод, что непрерывный контроль состояния изоляции позволяет оперативно реагировать на изменения и предотвращать возможные проблемы, а развитие дистанционной диагностики способствует своевременному выявлению и устранению неполадок, что повышает надёжность и безопасность энергосистемы.

### **Источники**

1. Голенищев-Кутузов А.В. И др. Дистанционная диагностика дефектов в высоковольтных изоляторах // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2020. №2.

2. Зарипов Д.К., Лопухова Т.В. Метод дистанционной диагностики высоковольтной изолирующей конструкции // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2006. №3-4.

3. Несенюк Т.А. Непрерывная диагностика опорно-штыревых изоляторов на воздушных линиях 6-10 кВ // Энергобезопасность и энергосбережение. 2019. №5.

4. Голенищев-Кутузов А.В., Иванов Д.А., Потапов А.А., Кротов В.И. Использование бесконтактных методов диагностики высоких электрических полей // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2019. №4.

5. Галкин Г.А. Контроль и диагностика изоляторов линий электропередачи // Электрификация транспорта. 2018. №6.

УДК 621.316

## СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ДАТЧИКА ТОКА УТЕЧКИ И АЛГОРИТМ ЕЁ РАБОТЫ

Халимжон Махаматолимович Таджиев

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Дамир Камилевич Зарипов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

aleka\_andy@mail.ru

**Аннотация.** В статье предложено использование датчиков тока для измерения тока через подвесной изолятор и передачи информации в локальную систему на опоре. Описана схема работы системы и алгоритм её функционирования.

**Ключевые слова:** изолятор, датчик тока утечки, контроллер, блок питания, передающий модуль, ток утечки.

## BLOCK DIAGRAM OF THE LEAKAGE CURRENT SENSOR AND ITS OPERATION ALGORITHM

Halimjon M. Tajiyev

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

aleka\_andy@mail.ru

**Abstract.** The article suggests the use of current sensors to measure current through a suspended insulator and transmit information to a local system on a support. The scheme of the system operation and the algorithm of its functioning are described.

**Keywords:** high-voltage insulators, current sensor, controller, power supply, transmitting module, leakage current.

Для определения величины тока, протекающего через подвесной изолятор, и передачи информации в локальную систему на опоре широко используются датчики тока [1, 2]. Основной целью таких датчиков является измерение электрического тока и предоставление данных для мониторинга, управления и систем безопасности в электросети.

Датчик тока обычно состоит из обмотки или тороидального сердечника, через который пропускается провод с током. При этом генерируемое выходное напряжение или ток, пропорциональны аналогичным величинам на изоляторе [3]. Это измерение используется для оценки нагрузки на линию, контроля эффективности работы системы, а также для обнаружения перегрузок или коротких замыканий. Полученные данные могут быть переданы в локальную систему на опоре, где они обрабатываются, анализируются и используются для принятия решений о поддержании стабильности системы электроснабжения [4, 5]. Также эта информация может быть также передана на удаленные системы мониторинга или управления для дополнительной обработки и контроля.

Структурная схема датчика тока, выполняющего функции контроля тока утечки подвесного изолятора, представлена на рисунке:

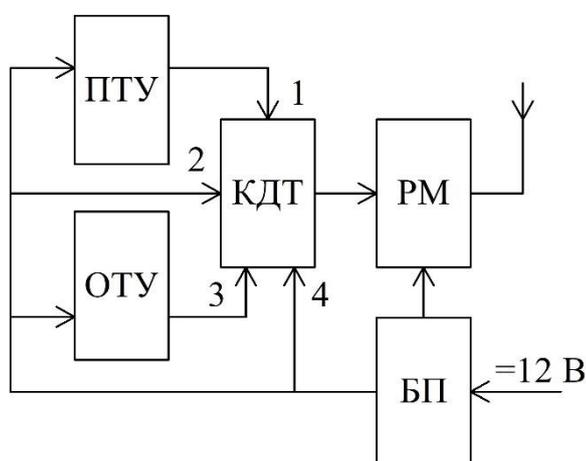


Схема работы датчика тока утечки через изолятор

Датчик тока состоит из следующих составных частей: модуль определения значения объёмного тока утечки (ОТУ); модуля измерения поверхностного тока утечки (ПТУ); контроллера датчика тока – КДТ; передающего модуля – ПМ; блока питания – БП.

Модули измерения тока утечки включают функции гальванической развязки и преобразования тока в напряжение. Это позволяет обеспечить безопасность и удобство измерения тока без прямого контакта с

изолятором. Полученное постоянное напряжение может затем обрабатываться и отображаться на приборах или передаваться на компьютер для анализа.

Сигналы от измерительных устройств ОТУ и ПТУ поступают на соответствующие входы (1 и 3) контроллера КДТ. Здесь происходит их преобразование в цифровую форму с помощью аналогово-цифрового преобразования (АЦП).

Опорное напряжение 1В подается на второй вход контроллера КДТ для контроля работы блоков АЦП, контроллера и радиоканала.

Вход 4 контроллера получает необходимое напряжение от БП. Стабилизированное напряжение с БП также используется для обеспечения работы блоков ОТУ, ПТУ и радиомодема (РМ).

Цифровой информационный сигнал, полученный с выхода контроллера КДТ, передается на вход радиомодема РМ для последующей передачи информации в локальную систему сбора и первичной обработки данных, расположенную на опоре питания.

Алгоритм измерения и передаче данных о токе утечки контроллерами датчика описывается следующей последовательностью:

- Инициализация внутренней памяти, которая будет использоваться для хранения результатов измерений тока утечки.
- Выбор параметров передачи данных в локальную систему сбора и обработки информации (ПМ), включая объем данных и скорость передачи.
- Пятикратный опрос информационных каналов для усреднения результатов и уменьшения влияния случайных шумов при измерениях.
- Запись результатов измерений с каждого информационного канала (ОТУ и ПТУ) в оперативную память (ОЗУ) контроллера.
- Определение и сохранение среднеарифметического значения и дисперсии данных, полученных из пятикратных измерений ОТУ и ПТУ в энергонезависимой памяти.
- Передача данных по запросу в локальную систему сбора и первичной обработки информации.
- Продолжение выполнения пунктов при невозможности передачи, что может быть полезным для повторных попыток передачи или сохранения дополнительных данных.

## Источники

1. Терещенко Н.А. Расчет добавочного сопротивления и конструкции датчика тока утечки высоковольтного изолятора // ОНВ. 2018. №6 (162).
2. Зарипов Д.К., Лопухова Т.В. Метод дистанционной диагностики высоковольтной изолирующей конструкции // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2006. №3-4.
3. Черевко Е.А. Автоматический контроль состояния изоляции при мониторинге низковольтной распределительной сети // ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет». 2016. №33.
4. Голенищев-Кутузов А.В. Использование бесконтактных методов диагностики высоких электрических полей // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2019. №4.
5. Галкин Г.А. Контроль и диагностика изоляторов линий электропередачи // Электрификация транспорта. 2018. №6.

## СЕКЦИЯ 2. ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ, НАДЕЖНОСТЬ, ДИАГНОСТИКА

УДК 621.317.7

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯТОРОВ МЕТОДОМ СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Самир Фуадович Абдурашитов<sup>1</sup>, Александр Александрович Любишев<sup>2</sup>

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. Игорь Владимирович Ившин

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>abdurashitov.samir@gmail.com, <sup>2</sup>s.lyubishev@yandex.ru

**Аннотация.** В данной статье предлагается метод свободных колебаний для определения технического состояния изоляторов с использованием лазерных технологий, позволяющих дистанционно возбуждать и измерять характеристики затухающих свободных колебаний, а также анализировать их техническое состояние. Результаты исследований подтверждают эффективность метода свободных колебаний в обнаружении дефектов изоляторов и определении их состояния. Обсуждаются потенциальные области применения данного метода в электроэнергетических системах и его вклад в повышение надежности и безопасности.

**Ключевые слова:** диагностика изоляторов, свободные колебания, лазерные технологии, анализ данных, дефекты, состояние изоляторов, надежность, безопасность.

### DETERMINATION OF THE TECHNICAL CONDITION OF INSULATORS BY THE METHOD OF FREE VIBRATIONS USING LASER TECHNOLOGIES

Samir F. Abdurashitov<sup>1</sup>, Alexander A. Lyubishev<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>abdurashitov.samir@gmail.com, <sup>2</sup>s.lyubishev@yandex.ru

**Abstract.** This article proposes a free vibration method for determining the technical condition of insulators using laser technologies that make it possible to remotely excite and measure the characteristics of damped free vibrations, as well as analyze their technical condition. The research results confirm the effectiveness of the free vibration method in detecting defects in insulators and determining their condition. Potential applications of this

method in electrical power systems and its contribution to improving reliability and safety are discussed.

**Keywords:** diagnostics of insulators, free vibrations, laser technologies, data analysis, defects, condition of insulators, reliability, safety.

Определение технического состояния изоляторов - важная задача для обеспечения безопасности и надежности электроэнергетической системы. Раннее обнаружение дефектов и оценка технического состояния изоляторов помогают предотвратить аварийные ситуации и своевременно принять меры по ремонту или замене поврежденных изоляторов [1].

Метод свободных колебаний, основанный на принципе кратковременного возбуждения колебаний и на анализе их затухания, является эффективным способом определения технического состояния изоляторов. Принцип работы данного метода заключается в следующем. Изолятор подвергается внешним воздействиям, таким, как нормированные механические удары, электрические импульсы, акустическое воздействие, лазерный импульс и т.д [2]. Изолятор начинает колебаться на собственных частотах, которые зависят от его физических свойств, геометрических данных, массовых характеристик и могут изменяться при наличии различных дефектов. Свободные затухающие колебания изолятора регистрируются чувствительными элементами, которыми могут быть микрофоны, контактные вибродатчики, лазерные или другие типы датчиков. Для анализа полученных затухающих сигналов применяются специальные алгоритмы обработки данных [3], они позволяют преобразовать амплитудные сигналы в амплитудные или фазовые спектры, определить характер затухания сигнала и использовать полученные данные для определения наличия дефекта изолятора.

Метод свободных колебаний может применяться в практике для диагностики различных типов изоляторов, включая полимерные, керамические и стеклянные. Он может использоваться как для оценки состояния новых изоляторов перед их установкой, так и для мониторинга состояния изоляторов в процессе эксплуатации.

Отличительной особенностью предлагаемого метода является дистанционное возбуждение колебания лазерным импульсом и дистанционный прием колебаний лазерным виброметром. Комбинированное применение лазерных приборов для возбуждения и приема колебаний позволит:

- контролировать техническое состояние всех типов изоляторов в рабочем режиме без отключения напряжения;

- не зависеть от нормирования силы удара и от точного определения места возбуждения;
- дистанционно производить возбуждение и прием свободных колебаний;
- сканировать удар и прием сигналов по поверхности исследуемого изделия;
- проводить контроль технического состояния в автоматизированном режиме;
- применять IT технологии для принятия решения не только о техническом состоянии изделия, но и делать прогноз его состояния.

Разрабатываемый метод свободных колебаний с использованием лазерных технологий будет включать лазерно-диагностический комплекс [4] для возбуждения и приема свободных колебаний, алгоритм и программное обеспечение для анализа результатов измерений и принятия решений, методику проведения измерений и обработку результатов измерений.

Применение метода свободных колебаний с использованием лазерных технологий позволит обеспечить безопасность проведения работ на подключенном оборудовании, уменьшит время проведения диагностических работ и принятия решения о техническом состоянии изоляторов, позволит использовать его для других электротехнических изделий электроэнергетического комплекса [5,6].

### **Источники**

1. Ившин И.В., Гимадеев Р.А., Билалов Ф.Ф. Применение лазерных виброметров для контроля технического состояния стержневых опорных изоляторов. Сборник материалов докладов Национального конгресса по энергетике. 8-12 сентября 2014 г, г. Казань, КГЭУ, 2014. С.193-200.

2. Ившин И.В., Владимиров О.В., Низамиев М.Ф., Загретдинов А.Р. Исследование влияния дефектов на собственные частоты колебаний деталей энергетических установок. Известие вузов. Проблемы энергетики № 5-6 – Казань: КГЭУ, 2015, с 66-74

3. I.V. Ivshin, A.R. Zagretdinov, Yu.V. Vankov. The analysis of frequencies of own insulators fluctuations for the solution of a problem of their control. International Conference on Industrial Engineering, ICIE 2016, Procedia Engineering 150 (2016) 2334 – 2339.

4. Ившин И.В., Низамиев М.Ф., Максимов В.В., Билалов Ф.Ф. Измерительно-диагностический комплекс для контроля технического состояния электротехнического оборудования. ЭЛЕКТРИКА. – 2015. - №6 – С. 18- 25.

5. Басенко В.Р., Галиев Р.Р. Измерительно-диагностический комплекс для бесконтактного контроля технического состояния трансформаторного оборудования. Тинчуринские чтения. XIV Международная молодежная конференция. – 2019 г. – С.182-187

6. Басенко В.Р. Ившин И.В., Владимиров О.В., Низамиев М.Ф. Диагностика трансформаторов электротехнических комплексов с использованием бесконтактных лазерных виброметров. ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. – 2022 - Т. 24. № 5. С. 97 - 109. DOI: 10.30724/1998-9903-2022-24-5-97-109

7. Низамиев М.Ф., Ившин И.В. Контроль технического состояния электротехнического оборудования / Энергетическая безопасность. Сборник научных статей III Международного конгресса. – 2020. – С. 297-300

УДК 621.315

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ В ТВЕРДОМ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОМ МАТЕРИАЛЕ

Георгий Валерьянович Вагапов<sup>1</sup>, Бусеккин Шаима Абир<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>vagapov@list.ru, <sup>2</sup>chaima.abir.boucekkine@gmail.com

**Аннотация.** В данной статье предлагается модуляция в Matlab Simulink частичного разряда (PD) в твердых диэлектрических материалах с одним единственным дефектом с использованием альтернативного источника тока частотой 50 Гц при различных напряжениях, чтобы наблюдать взаимосвязь между током разряда и входным напряжением и прогнозировать пробой диэлектрика в будущем.

**Ключевые слова:** Частичные разряды, твердый диэлектрик, моделирование частичного разряда, эквивалентная схема PD.

## MODELLING OF PARTIAL DISCHARGES IN SOLID DIELECTRIC MATERIAL

Georgii V. Vagapov<sup>1</sup>, Boucekkine Chaima Abir<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>vagapov@list.ru, <sup>2</sup>chaima.abir.boucekkine@gmail.com

**Abstract.** This paper proposes a modulation in Matlab Simulink of partial discharge (PD) in solid dielectric materials with one single defect using an alternative current voltage

source (AC), 50 Hz under various voltages in order to observe the relationship between the discharge current and the input voltage and predict a dielectric breakdown in the future.

**Keywords:** Partial Discharges, solid dielectric, modelling of partial discharge, PD equivalent scheme.

The local space  $q$  is one of the most relevant parameters in PD [1]. It prevents the propagation of the PD by producing an electric field opposing to the ignition field  $E_i$  as shown in the following equation [2]:

$$E(T_{n+1}) = E \sin(Wtm + 1) \pm [\Delta E q \pm \Delta E] \exp\left(\frac{-T_{n+1} - T_n}{\tau q}\right) \quad (1)$$

Consequently, the numerical values of the field resets  $\Delta E q$  due to charge carriers being moved in the PD and a characteristic decay time  $\tau$  for their dissipation and/or recombination are two other important parameters [3]. The parameter  $\Delta E q$ , is determined by residual charges from preceding discharges [4]. The simulation is based on the model made by Gemant & Philippoff in 1932 [5]. The circuit was implemented in Matlab Simulink the final circuit developed in the simulation with 3 scopes. The simulation used the solver ode23tb in order to speed the processing (0.06 seconds) while all discharge currents and discharge voltages occur in nano-seconds.

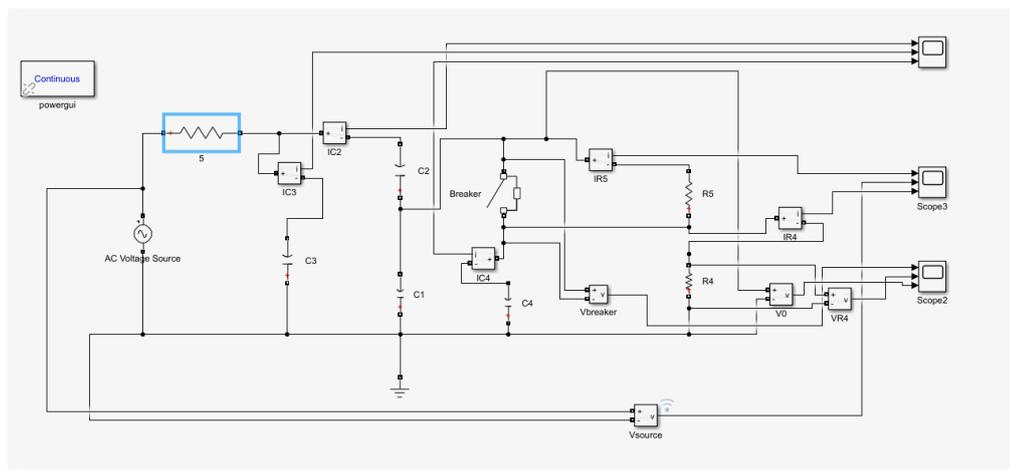


Fig. 1. The simulated circuit established in Simulink

The figures bellow shows the PD voltage and current during different input voltages while the frequency stays at 50Hz knowing that the value of the components is as following:

C1=10 pF; C2=20pF; C3=50pF; C4=1pF; Breaker timing = [1/60 1/55]  
 Rin= 5kOhm

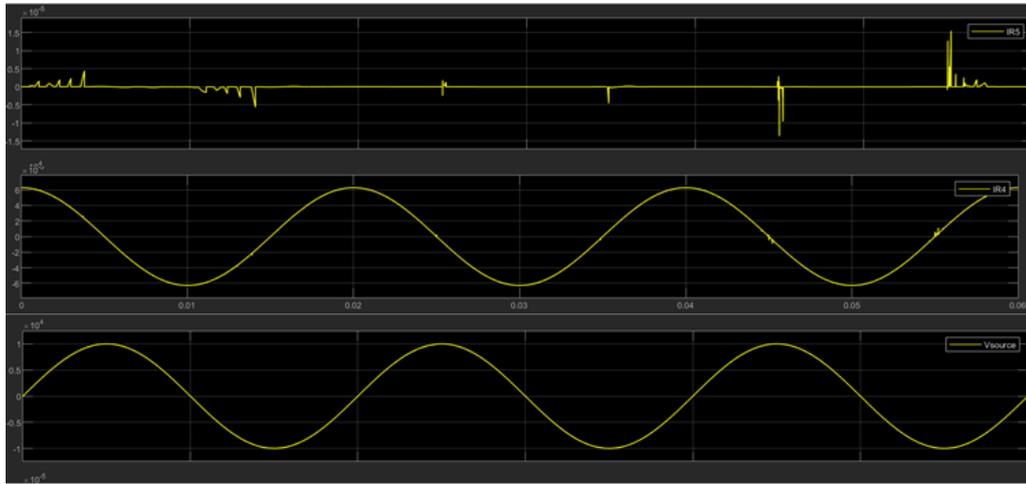


Fig. 2. PD discharge voltage, current and the input voltage of 10 KV (from top to bottom)

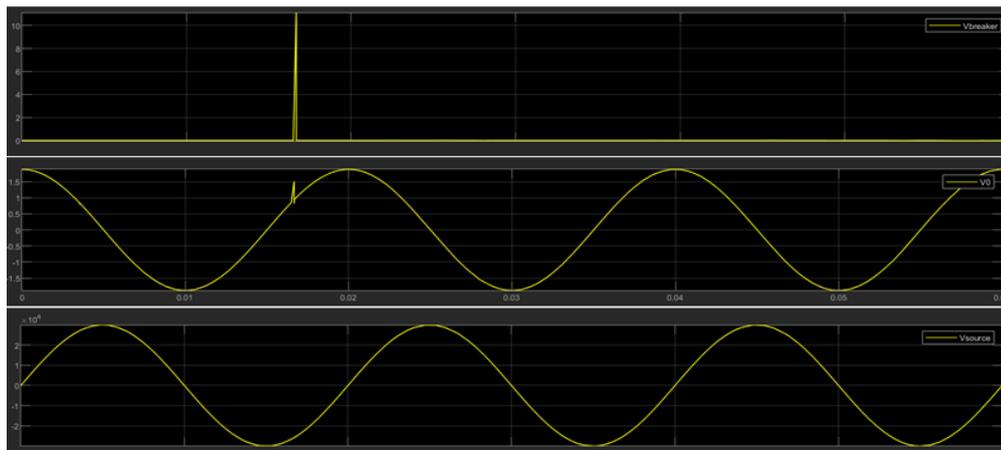


Fig.3. PD discharge voltage, current and the input voltage of 30 KV (from top to bottom)

In conclusion the Partial discharge behavior in solid dielectric was successfully modeled by the extended circuit shown before which considers the accumulation of local charges generated by previous discharges making the model more accurate and precise. This was in order to understand such behavior and use its characteristics to develop more efficient ways to predict such PD and deal with them efficiently It is also noted that the value of the discharge current is dependent on the voltage input the relationship between them is purely proportional if the input voltage is increased the current is also increased.

## References

1. Questelles A.K, “Developing a Stochastic Model for Partial Discharge Detection In Voids of Polymeric Cable Insulation” University Technology Malaysia: Master Thesis, 2006.211.
2. Bartnikas .R., “Partial Discharge Their Mechanism, Detection and Measurement”, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 9, No. 5; October 2002, pp. 763-808.
3. Kupershtokh A. L., Stamatelatos C. P., and Agoris D. P. “Simulation of Partial Discharge Activity in Solid Dielectrics under AC Voltage” Vol. 32, No. 8, pp. 680–683. © Pleiades Publishing, Inc., 2006.93.
4. Hossam Eldin A.A., Pearmain A.J. and Salvage B., “Internal discharges in impregnated paper phenomena at low temperatures” International Symposium on High Voltage Engineering.(ISH) Vol.1,Munich , Germany pp 403-407, 1972.
5. Nyanteh Y., Graber L., Edrington C., Srivastava S., Cartes D. "Overview of Simulation Models for Partial Discharge and Electrical Treeing to Determine Feasibility for Estimation of Remaining Life of Machine Insulation Systems" 2011 Electrical Insulation Conference, Annapolis, Maryland, 5 to 8 June 2011, 12.

УДК 621.315.1

## РОБОТИЗИРОВАННОЕ БЕСПИЛОТНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ РЕМОНТА ВЛЭП ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ

Анастасия Сергеевна Валюк<sup>1</sup>, Дамир Радифович Кузеев<sup>2</sup>, Татьяна Геннадьевна Галиева<sup>3</sup>

Науч. рук. д.т.н., проф., зав. кафедрой ТОЭ Марат Фердинантович Садыков

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>anastasia.valyuk@mail.ru, <sup>2</sup>kuzeev05@mail.ru, <sup>3</sup>galieva.kgeu@gmail.com

**Аннотация.** В данной статье рассматривается разработка роботизированного беспилотного устройства для ремонта воздушных линий электропередачи (ВЛЭП) под напряжением. Данная разработка очень важна, потому что такой способ ремонта ВЛЭП позволяет нам обеспечить безопасность и эффективность, не отключая электроэнергию.

**Ключевые слова:** линия электропередачи, техническое состояние, диагностический робот, БПЛА, роботизированное устройство, ремонт ВЛЭП, напряжение, безопасность.

# ROBOTIC UNMANNED DEVICE FOR REPAIRING LIVE POWER LINES

<sup>1</sup>Anastasia S. Valyuk, <sup>2</sup>Damir R. Kuzeyev, <sup>3</sup>Tatiana G. Galiyeva

<sup>1,2,3</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>anastasia.valyuk@mail.ru, <sup>2</sup>kuzeev05@mail.ru, <sup>3</sup>galieva.kgeu@gmail.com

**Abstract.** This article discusses the development of a robotic unmanned device for the repair of power transmission lines (power lines) under voltage. This development is very important, because this way of repairing power lines allows us to ensure safety and efficiency without cutting off electricity.

**Keywords:** power transmission line, technical condition, diagnostic robot, UAV, robotic device, power line repair, voltage, safety.

Проблемы безопасности при ремонте ВЛЭП под напряжением связаны с тем, что нужно обеспечить непрерывность электроснабжения и сократить время простоев в работе электроэнергетических систем. Ремонт ВЛЭП может проводиться как при отключенном напряжении, так и при поддерживаемом напряжении, чтобы избежать перебоев в энергоснабжении.

Ремонт воздушных линий электропередачи (ВЛЭП) под напряжением представляет серьезную проблему безопасности для работников, так как они вынуждены работать в непосредственной близости к высокому напряжению. Разработка роботизированного беспилотного устройства для ремонта ВЛЭП под напряжением [1] имеет целью обеспечить безопасность работников и эффективность процесса ремонта без необходимости отключения электроэнергии [2].

Современные роботизированные комплексы (РК) для работы на ВЛЭП (рис. 1) позволяют делать видеоконтроль охранной зоны, проверять провода и изоляторы, делать мелкий ремонт - подвязывать провололочные сплетения, удалять гололедно-изморозевые отложения и так далее [3]. Большинство РК разрабатываются с целью функционирования под напряжением. В связи с этим, корпус устройства изготавливается из электропроводящего материала, чтобы обеспечить единый уровень потенциала для всех его компонентов.

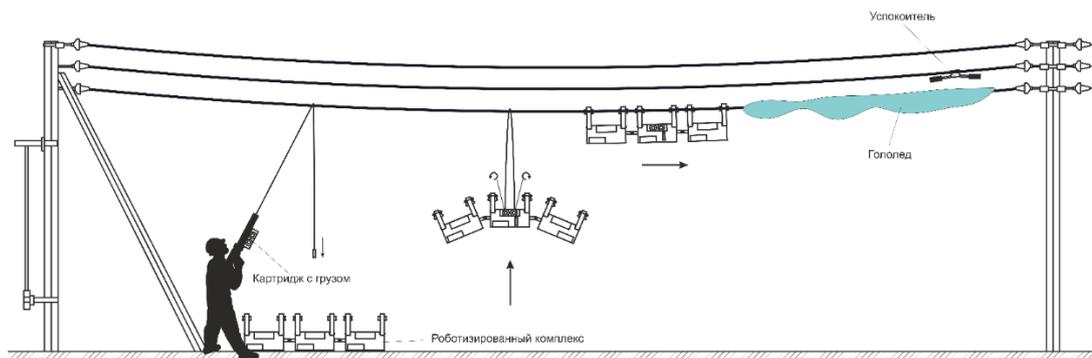


Рис. 1. Разрабатываемое устройство в лаборатории КГЭУ

В лаборатории КГЭУ разрабатывается устройство [4], которое представляет собой перемещающуюся по проводу каретку, питаемую от аккумуляторных батарей (см. рисунок). Каретка оснащена режущими устройствами из металла высокой прочности или специальным роликовым приспособлением, взламывающими за счет толкающих усилий каретки гололедную муфту, освобождая провод от гололедно-изморозевых отложений. Его поднимают к проводу на блоке с помощью троса и ручной лебедки. Потом оно зацепляется за провод и начинает двигаться вдоль него. Затем оно спускается, и оператор переносит его на следующую анкерную опору, затем процедура повторяется. Этот роботизированный комплекс движется по проводу на специальных роликовых механизмах, которые работают от электрических двигателей. Эти двигатели обеспечивают достаточную силу для передвижения устройства. РК может работать под напряжением при температуре до  $-40^{\circ}\text{C}$ , имеет герметичное исполнение [5].

Для перемещения по проводу ВЛЭП, РК может использовать грозозащитный трос или фазный провод. РК состоит из нескольких секций, каждая из которых оборудована системой крепления, обладающей двумя степенями свободы. Данная система крепления обеспечивает гибкую регулировку угла наклона секций, что позволяет РК эффективно преодолевать типичные препятствия на проводах высоковольтных линий электропередачи под любым углом. На корпусе РК установлены подвижные балансиры, которые позволяют РК переворачиваться на проводе для преодоления штыревых изоляторов. РК оснащен роликовыми механизмами с электроприводом, которые позволяют легко перемещаться по проводу. Инфракрасные датчики расстояния помогают обнаружить препятствия на пути. Роликовые механизмы сконструированы с двусторонним зажимом и свободной зоной для дополнительного

оборудования. Управление системой осуществляется удаленно в соответствии с предварительно определенным алгоритмом.

Роботизированное беспилотное устройство предоставляет возможность осуществлять ремонт высоковольтных линий электропередач без необходимости физического контакта с ними, что позволит обеспечить непрерывность электроснабжения, повысить эффективность работы электросетей и обеспечить безопасность работников.

### **Источники**

1. Беспилотные летательные аппараты для видеонаблюдения и аэрофотосъемки. URL: <http://unmanned.ru/> (дата обращения: 23.10.2023)

2. Роботизированное устройство для верхового осмотра состояния воздушных линий электропередачи: п. м. 193020 Рос. Федерация № 2019120921; заявл. 04.07.2019; опубл. 10.10.2019, Бюл. № 28.

3. ГОСТ ИЕС 60743 – 2015. Работа под напряжением. Терминология, относящаяся к инструментам, оборудованию и приборам. Введ. 2016-07-01. М.: Стандартинформ, 2016. 86 с.

4. Иванов Д. А., Галиева Т. Г. Диагностика воздушных линий электропередачи роботизированными комплексами и беспилотными летательными аппаратами //Актуальные вопросы энергетики. – 2020. – Т. 2. – №. 1. – С. 38.

5. Голенищев-Кутузов А. В., Голенищев-Кутузов В. А., Иванов Д. А. [и др.]. Комплексная диагностика дефектов в высоковольтных изоляторах // Известия Российской академии наук. Серия физическая. 2019. Т. 83, № 12. С. 1651–1654.

## МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА РАБОТ ДВУХУРОВНЕВЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Айнур Айратович Гайнутдинов<sup>1</sup>, Виктор Владимирович Максимов<sup>2</sup>  
<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
<sup>1</sup>a.gainutdinov57@gmail.ru, <sup>2</sup>viktor.maksimov.1968@mail.ru

**Аннотация.** В тезисе предложены математические методы оценки автоматизированных систем управления. Эти методы позволяют создать модель системы и провести ее анализ на предмет эффективности и надежности. Математическое моделирование может быть использовано как для двухуровневых, так и для трехуровневых систем.

**Ключевые слова:** автоматизация, математические методы оценки, системы управления, эффективность, надежность.

## MATHEMATICAL METHODS FOR ASSESSING THE QUALITY OF WORK OF TWO-LEVEL AUTOMATED CONTROL SYSTEMS

Ainur A. Gainutdinov<sup>1</sup>, Viktor V. Maksimov<sup>2</sup>  
<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
<sup>1</sup>a.gainutdinov57@gmail.ru, <sup>2</sup>viktor.maksimov.1968@mail.ru

**Abstract.** The thesis proposes mathematical methods for evaluating automated control systems. These methods allow you to create a model of the system and analyze it for efficiency and reliability. Mathematical modeling can be used for both two-level and three-level systems.

**Keywords:** automation, mathematical methods of evaluation, control systems, efficiency, reliability.

В современном мире автоматизированные системы управления (АСУ) стали неотъемлемой частью многих отраслей. Они позволяют оптимизировать процессы, повышать эффективность работы и снижать затраты.

Двухуровневые системы представляют собой системы, в которых управление осуществляется на двух уровнях: верхнем и нижнем [1]. Верхний уровень обеспечивает общую координацию системы, в то время

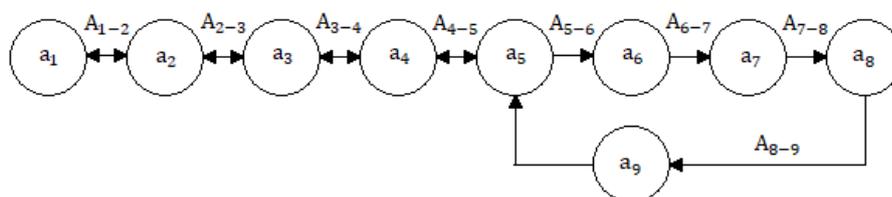
как нижний уровень отвечает за управление конкретными элементами и выполнение задач, определенных верхним уровнем. Трехуровневые системы включают в себя дополнительный уровень, который обеспечивает связь между верхним и нижним уровнями.

Оценка качества работы АСУ может проводиться различными методами. Представим алгоритм в виде поэтапного выполнения процесса задач состоящий из поясняющей таблицы (см. табл.) [2] на основе функциональной схемы двухуровневой системы (см. рис.) [3].

Применение сетевого графика иллюстрируется на примере построения упрощенного алгоритма функционирования АСУ [4].

Поясняющая таблица

№ п/п	Канал сетевого оборудования	Содержание работы	Узел
1	$A_{1-2}$	Поступление сигнала в ТУ	$a_1$
2	$A_{2-3}$	Запись в архив ТУ	$a_2$
3	$A_{3-4}$	Передача данных	$a_3$
4	$A_{4-5}$	Преобразование интерфейса	$a_4$
5	$A_{5-6}$	Передача преобразованных данных	$a_5$
6	$A_{6-7}$	Запись в архив БД	$a_6$
7	$A_{7-8}$	Предоставление данных системному администратору	$a_7$
8	$A_{8-9}$	Команды по контролю ТУ согласно регламентам и внутренним требованиям работы системы	$a_8$



Алгоритм функционирования

Для того, что определить вероятность коэффициент функционирования системы воспользуемся следующей формулой [5]:

$$W_b = \frac{n}{m}; \quad (1)$$

где  $n$  – общее число реализаций алгоритма функционирования;  $m$  –

число положительных реализаций алгоритма функционирования.

Результаты оценок затем обрабатываются и анализируются, чтобы получить общую оценку качества системы.

### **Источники**

1. Лоскутов А.Б., Гардин А.И., Лоскутов А.А. Автоматизированная система контроля и учета электроэнергии // НГТУ им. Р.Е. Алексева. Нижний Новгород, 2018.

2. Рубаков С.В. Современные методы анализа данных // Управление наукой и наукометрия. 2008. С. 167-174.

3. Волков А.А., Седов А.В. Математическое моделирование процессов автоматизации проектирования инженерных систем зданий и сооружений // Вестник МГСУ. 2011. С.

4. Бахтин В.А., Захаров Д.А., Колганов А.С., Крюков В.А., Поддерюгина Н.В., Притула М.Н. Решение прикладных задач с использованием DVM-системы // Вестник Южно-Уральского государственного университета, 2019. С. 89-106.

5. Воеводин В.А., Арзуманян Э.А., Ганенков Д.С., Чумаков А.А. О математической модели оценки доступности информации в АСУТП // Вестник Сыктывкарского университета. Информатика. 2019. С. 38–54.

УДК 681.5.037

## **ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДВУХУРОВНЕВЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ИНФОРМАЦИОННО- ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ И УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

Айнур Айратович Гайнутдинов<sup>1</sup>, Виктор Владимирович Максимов<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>a.gainutdinov57@gmail.ru, <sup>2</sup>viktor.maksimov.1968@mail.ru

**Аннотация.** Экономический расчет был разработан на основе изучения показателей информационной экономической эффективности двухуровневой и трехуровневой автоматизированной информационно-измерительные системы контроля и учета электроэнергии (АИИС КУЭ). Рекомендовано использование двухуровневых АИИС КУЭ в различных отраслях. Это позволит повысить экономическую эффективность предприятий, улучшить качество связи и снизить затраты.

**Ключевые слова:** автоматизация, информационно-измерительные системы, эффективность, надежность, двухуровневая система, АИИС КУЭ.

## **ECONOMIC EFFICIENCY OF TWO-LEVEL AUTOMATED INFORMATION AND MEASUREMENT SYSTEMS FOR MONITORING AND METERING OF ELECTRICITY**

Ainur A. Gainutdinov<sup>1</sup>, Viktor V. Maksimov<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>a.gainutdinov57@gmail.ru, <sup>2</sup>viktor.maksimov.1968@mail.ru

**Abstract.** The economic calculation was developed on the basis of studying the indicators of information economic efficiency of two-level and three-level automated information and measurement systems for monitoring and metering of electricity (SMART metering). It is recommended to use two-level SMART metering in various industries. This will increase the economic efficiency of enterprises, improve the quality of communication and reduce costs.

**Keywords:** automation, information and measurement systems, efficiency, reliability, two-level system, SMART metering.

Для расчетов на оптовом рынке электроэнергии могут быть построены по различным многоуровневым схемам, но самой распространенной является трехуровневая схема [1].

Первый уровень состоит из измерительных трансформаторов тока и напряжения, а также электросчетчиков на подстанциях [2].

Второй уровень представляет собой промежуточное устройство для сбора и консолидации данных, которое называется “устройство сбора и передачи данных” (УСПД) в России и “устройство хранения данных” в Казахстане. УСПД может находиться как на подстанциях, так и в центре АИИС КУЭ, и в некоторых системах есть несколько таких устройств на разных уровнях.

Третий уровень - это информационно-вычислительный комплекс (ИВК) в центре АИИС КУЭ, который собирает данные со второго уровня.

Именно использование трехуровневой системы сбора данных довольно часто встречается на предприятиях промышленности и энергетики. Для анализа сравнения двухуровневой системой с трехуровневой воспользуемся формулой для расчета экономической эффективности [3]:

$$\text{ЭЭ} = \frac{\text{П}}{\text{З}} \times 100\% \quad (1)$$

где ЭЭ – экономическая эффективность; П – Результат деятельности предприятия (прибыль, доход от реализации продукции, объем продаж и т.д.); З – затраты, использованные для получения результата.

В нашем исследовании значение П берем как const (поскольку АИИС КУЭ не влияет на показания прибыли деятельности предприятия), но изменяется значения затрат, тогда формула экономической эффективности для сравнения двух систем примет следующий вид:

$$\Delta\text{ЭЭ} = \text{ЭЭ}_1 - \text{ЭЭ}_2 = \frac{\text{З}_2 - \text{З}_1}{\text{З}_1 \times \text{З}_2} \times \text{П} \times 100\% \quad (2)$$

где ЭЭ<sub>1</sub>, ЭЭ<sub>2</sub> – экономическая эффективность двухуровневой и трехуровневой соответственно; З<sub>1</sub> – затраты двухуровневой системы; З<sub>2</sub> – затраты трехуровневой системы.

Исходя из формулы (2), можно определить экономическую эффективность сравниваемых систем. Если значение ΔЭЭ > 0, то двухуровневая система является более эффективным по отношению к трехуровневой.

Затраты на трехуровневую систему составляют совокупность затрат двухуровневой системы, а также: приобретение, периодическую поверку и проведение техобслуживание УСПД [4].

Отталкиваясь от разницы затрат имеющиеся при проектировании данных систем, приходим к выводу, что двухуровневые автоматизированные системы имеют преимущество в упрощении схем связей, увеличении надежности и снижении стоимости реализации проектов примерно на 25% [5].

## Источники

1. Лоскутов А.Б., Гардин А.И., Лоскутов А.А. Автоматизированная система контроля и учета электроэнергии // Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева. Нижний Новгород, 2018.

2. ГОСТ 24.702-85. Межгосударственный стандарт. Единая система стандартов автоматизированных систем управления. Эффективность автоматизированных систем управления // Постановлением

Государственного комитета СССР по стандартам от 27.12.85.

3. Дудкова Н.В., Маркелов А.В., Масленников В.А. Оценка экономической эффективности проектных решений // ИВГПУ. Иваново, 2014. - 35 с.

4. Шкваренко А.А. Анализ и оценка внедрения автоматизированной системы управления в страховой области на примере РДУСП «СТРАВИТА». // БГУЭФ. Минск, 2019.

5. Жуков С.А. Опыт внедрения на ОРЭ двухуровневых (без УСПД) АИИС КУЭ. Двухуровневые АИИС ТУЭ для целей соблюдения диспетчерского графика выработки электроэнергии станциями ОГК (ТГК) // ВНИИЭ. 2006.

УДК 621.315.1

## **ВЛИЯНИЕ ВЕТРА НА ВОЗДУШНЫЕ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ И ПРИЧИНЫ ИХ ПОВРЕЖДЕНИЙ**

Айгуль Ильнуровна Галиева

Науч. рук д-р техн. наук, проф. Рафаил Хасьянович Тукшаитов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

aigulgalieva2005@yandex.ru

**Аннотация.** В данной статье изучено влияние ветра на воздушные линии электропередачи и явления, возникающие при этом, рассматриваются причины и способы предотвращения устранения их повреждений.

**Ключевые слова:** воздушные линии электропередач, вибрация, пляска, провода, виброгаситель, ветер, протектор.

## **THE INFLUENCE OF WIND ON THE OPERATION OF OVERHEAD POWER LINES AND REASONS FOR THEIR DAMAGE**

Aigul I. Galieva

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

aigulgalieva2005@yandex.ru

**Abstract.** This article examines the operation of overhead power lines, conducts a study of the influence of wind on them, and discusses the causes and ways to eliminate their damage.

**Keywords:** overhead power lines, standing wave, vibration, saltation, wires, wind, vibration damper, protector.

Линия электропередачи – это один из компонентов энергетической сети, предназначенный для передачи электрической энергии от источника питания (электростанции) к потребителям. Поскольку это важное связующее звено в энергетике, большое значение имеют существующие проблемы, связанные с его исправностью, одной из которых является ветровая нагрузка на воздушные линии электропередач. Кроме того, анализ статистических данных об отказах воздушных линий на 2016 год показал, что 46,7% повреждений и разрушений линий происходит ввиду недостаточности знаний о действии ветра [1].

При равномерном движении воздуха, направленном поперек линии или же под некоторым углом с другой стороны провода возникают вихри (см. рис.), периодически происходят отрывы ветра от провода и образование вихрей противоположного направления. Отрыв вихря вызывает появление кругового потока с подветренной стороны, при этом из-за встречного воздуха скорость ветра в точке (например, верхней) провода больше, чем в противоположной (нижней) [2-3]. Таким образом, провод начинает раскачиваться в вертикальной плоскости. При совпадении частоты образования вихрей с одной из частот колебания провода, он сам начинает колебаться. При этом возникает стоячая волна: одни точки отклоняются на максимальную амплитуду и образуются так называемая пучность, другие же остаются и называются узлами. В узлах происходят только угловые перемещения провода. Такие колебания провода с амплитудой, не превышающей 0,005 длины полуволны или двух диаметров провода, называются вибрацией.

Вибрация проводов возникает при скорости ветра до 8 м/с на открытой местности, на пролетах длиной 120 и более метров и участках у рек и водоемов. Её опасность заключается в том, что она вызывает периодические перегибы провода, что в конечном счете приводит к излому и ослаблению болтовых соединений на опорах воздушных ЛЭП.

Помимо вибрации из-за ветра также могут возникать так называемые пляски. Отличие между названными явлениями заключается в том, что у плясок длина волны и амплитуда колебания гораздо больше, вторая порой достигает значения, равного расстоянию по вертикали между точкой подвеса на опоре и нижней точкой в пролете (стрелка провеса). Пляски наблюдаются чаще всего при гололеде – в таком случае провод принимает неправильную форму, так как гололед отлагается на подветренной стороне

[2]. При обтекании такого провода ветром со скоростью до 30 м/с воздушный поток в верхней части ускоряется, а давление уменьшается. В результате возникает подъемная сила, вызывающая пляску провода.

Опасность пляски заключается в следующем: колебания проводов отдельных фаз, а также проводов и тросов происходят несинхронно. Возникающие при этом воздействия на узлы крепления проводов к гирляндам изоляторов и последних к опорам настолько значительны, что могут приводить к поломкам арматуры и деталей опор. Кроме того, при пляске возможны касания и схлестывания проводов не только между собой, но и с тросами, что вызывает короткие замыкания и аварийное отключение линии.

В настоящее время для защиты линий от вибрации используются виброгасители, представляющие собой два соединенных между собой груза, подвешенных на стальном тросе. Устройство поглощает энергию вибрирующих проводов, уменьшая амплитуду колебаний. Устанавливается в зависимости от марки проводов и длины пролета.

На данный момент для предупреждения плясок применяют два способа. Первый из них заключается в устранении распорок на проводах расщепленных фаз и применении кольцевых ограничителей сближения проводов. Второй способ – установка спиральных протекторов, или демпферов, что обеспечивает изменение аэродинамических характеристик линии по длине пролета. Удовлетворительные результаты использования гасителей против плясок на данный момент недостаточны для уменьшения расстояния между проводами [4].

Таким образом, вследствие воздействия ветра на воздушные линии электропередачи возникают два явления – пляски и вибрации, которые отрицательно влияют на состояние линий и могут привести к их поломкам. Для предотвращения аварийных ситуаций широко применяются виброгасители (обычно двух видов), спиральные протекторы и кольцевые ограничители сближения проводов. Однако, как показывает мировой опыт, полностью устранить вибрации невозможно.

### **Источники**

1. Кшевинская, Е. О. Гололёдные и ветровые нагрузки на воздушные линии электропередачи // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2016. – № 1(2). – С. 44-48. – EDN YPDVND.

2. Лаврентьев, В. М. Эксплуатация, техническое обслуживание и ремонт ВЛ 110 - 1150 кВ : учебно-практическое пособие / В. М.

Лаврентьев, Н. Г. Царанов; под общей ред. А. Н. Васильева. - Москва : Издательский дом МЭИ, 2019. - Загл. с тит. экрана. - 572 с. - ISBN 978-5-383-01242-0. - Текст : электронный.

3. Быстрицкий Г.Ф., Роженцова Н. В. Воздушные и кабельные линии электропередачи: Учеб. пособие. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2008 г. – 50 с.

4. Кудаярова, А. А. Вибрация и пляска проводов на воздушных линиях электропередачи / А. А. Кудаярова, Л. Н. Хузина, Р. Р. Газизов // Вопросы надежности работы систем электроснабжения в условиях гололедно-ветровых нагрузок : Материалы международной научно-практической конференции, Уфа, 19 октября 2016 года. – Уфа: ГОУ ВПО "Уфимский государственный авиационный технический университет", 2016. – С. 104-109. – EDN XSKUOF.

УДК 621.315

## МЕТОДЫ ДИАГНОСТИ ИЗОЛЯЦИИ

Эльвира Радиковна Иксанова<sup>1</sup>, Сабит Рамилевич Валиуллин<sup>2</sup>

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Дилия Мансуровна Валиуллина

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>elviraiksanova@list.ru, <sup>2</sup>save1313@mail.ru

**Аннотация.** Выход из строя силового трансформатора имеет серьезные финансовые последствия не только для электроэнергетических систем, но и для потребителей. Надежность работы этого важного объекта во многом зависит от состояния изоляции. Поэтому необходимы точные методы диагностики для анализа состояния трансформаторов. Целью данной статьи является описание, анализ и интерпретация современных методов физико-химической диагностики для оценки состояния изоляции в устаревших трансформаторах.

**Ключевые слова:** изоляционное масло, диагностика, силовые трансформаторы, спектроскопия, ультрафиолетовое излучение, инфракрасное излучение.

## METHODS OF ISOLATION DIAGNOSIS

Elvira R. Iksanova<sup>1</sup>, Sabit R. Valiullin<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>elviraiksanova@list.ru, <sup>2</sup>save1313@mail.ru

**Abstract.** The failure of a power transformer has serious financial consequences not only for electric power systems, but also for consumers. The reliability of this important facility depends largely on the state of isolation. Therefore, accurate diagnostic methods are needed to analyze the condition of transformers. The purpose of this article is to describe, analyze and interpret modern methods of physico-chemical diagnostics for assessing the state of insulation in obsolete transformers.

**Keywords:** insulating oil, diagnostics, power transformers, spectroscopy, ultraviolet radiation, infrared radiation.

Современные силовые трансформаторы составляют большую часть основного оборудования энергетических предприятий во всем мире. Выход из строя силовых трансформаторов в процессе эксплуатации, как правило, приводит к значительным потерям доходов предприятия, потенциальному ущербу окружающей среде, взрыво- и пожароопасности, а также к дорогостоящим затратам на ремонт или замену [1].

Анализ изоляционной системы, состоящей из масла и бумаги, дает информацию не только о качестве последней, но и позволяет обнаружить предупреждающие признаки отказа. Поэтому контроль состояния твердой и жидкой изоляции в этих машинах имеет первостепенное значение [2].

Рассмотрим современные методы диагностики изоляции.

Инфракрасная спектроскопия с преобразованием Фурье считается очень мощным инструментом для контроля состояния смазочных материалов и масел, поскольку позволяет идентифицировать состав соединения и образца. Поскольку каждый тип соединения имеет уникальный отпечаток волнового числа, его можно легко идентифицировать. Такая чувствительность к компонентам масла может быть использована для отслеживания практически всех побочных продуктов старения. Этот принцип заключается в использовании света в видимом и смежных (ближнем ультрафиолетовом и ближнем инфракрасном) диапазонах. Поглощение или отражение в видимом диапазоне напрямую влияет на воспринимаемый цвет исследуемого химического вещества [3-4].

Полезность ИК-спектроскопии при определении степени окисления зависит от базового масла, используемого для приготовления жидкости. Синтетические жидкости часто содержат сложноэфирные соединения, которые имеют значительный пик в области ИК-спектра, где измеряется уровень окисления минеральных масел. По этой причине важно использовать не только результаты ИК-спектрометрии для диагностики, но отслеживать эти результаты и рассматривать их в сочетании с другими

параметрами, связанными с маслом, такими как вязкость и кислотное число. В последнее время некоторые исследователи разработали ИК-Фурье детекторы, позволяющие обнаруживать большинство интересующих газов и количественно определять их содержание. Эти методы позволяют получить более полное представление о зависимости образующихся газов от нагрузки, температуры и времени.

Ультрафиолетово-видимая спектроскопия - это метод, позволяющий легко определять концентрации веществ или проводить количественный анализ всех молекул, поглощающих ультрафиолетовое и видимое электромагнитное излучение [5]. УФ-видимые спектрометры могут использоваться для измерения поглощения образцом ультрафиолетового или видимого света как на одной длине волны, так и для сканирования по диапазону спектра. Выходной сигнал от источника света фокусируется на дифракционной решетке, которая, подобно призме, расщепляет входящий свет на составляющие его цвета разных длин волн, но более эффективно. Для жидкостей образец помещается в оптически плоский прозрачный контейнер, называемый кюветой. Когда жидкость содержит продукты распада, кривая поглощения, определяемая сканирующим спектрофотометром, значительно смещается в сторону более длинных волн. Численное интегрирование области под этими кривыми поглощения позволяет определить относительное содержание растворенных продуктов распада окисления в образцах жидкости. При нормальных условиях эксплуатации трансформаторное масло портится в результате различных нагрузок, электрических, химических и термических. Это приводит к образованию растворенных продуктов распада, которые являются результатом старения масла в процессе эксплуатации [4].

Таким образом, в рамках общей стратегии технического обслуживания эти методы диагностики могут повысить эффективность процедур профилактического технического обслуживания. Это позволяет специалистам по планированию технического обслуживания наилучшим образом использовать бюджеты на техническое обслуживание и замену, выделяя средства на высокорискованные агрегаты.

## **Источники**

1. Chakravorti S., Dey D., Chatterjee B. Recent trends in the condition monitoring of transformers // Power Systems. – Springer-Verlag, 2013.

2. Козлов В. К., Валиуллина Д.М., Туранов А.Н. Механизмы старения трансформаторных масел // Актуальные научные исследования в современном мире. – 2021. – № 11-9(79). – С. 95-103.

3. Hadjadj Y., Fofana I. and Jalbert J., Insulating oil decaying assessment by FTIR and UV-Vis spectrophotometry measurements // Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, 2013

4. R. Siva Sai, J. Rafi, S. Farook, N.M.G. Kumar, M. Parthasarathy, R. Ashok Bakkiyaraj, Degradation studies of electrical, physical and chemical properties of aged transformer oil // Journal of Physics: Conference Series, 2020.

5. Козлов В. К., Валиуллина Д.М. Анализ состава трансформаторного масла спектральным методом // Мировая наука: новые векторы и ориентиры: Материалы VII Международной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 30 сентября 2022 года. – Ростов-на-Дону: Общество с ограниченной ответственностью "Издательство "Манускрипт", 2022. – С. 107-114.

УДК 621.311

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА В ТРЕХПРОВОДНОЙ ЛИНИИ

Илюза Ильнуровна Иркагалиева

Науч. рук. канд. физ.-мат. наук, доц. Рустэм Газизович Хузяшев

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

irkagalieva2001@mail.ru

**Аннотация.** В работе представлено моделирование переходного процесса в линии электропередач. Приведено сравнение результатов расчетов схем одно-, двух- и трехфазного короткого замыкания в трехпроводной линии.

**Ключевые слова:** трехфазное короткое замыкание, двухфазное короткое замыкание, однофазное короткое замыкание, линия электропередач, программный пакет PSCAD

# SIMULATION OF THE TRANSIENT PROCESS IN THREE-WIRE LINE

Iluza I. Irkagalieva

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

irkagalieva2001@mail.ru

**Abstract.** The paper presents a simulation of the transient process in a power line. The results of calculations of single-, two- and three-phase short circuit circuits in a three-wire line are compared.

**Keywords:** three-phase short circuit, two-phase short circuit, single-phase short circuit, power line, PSCAD software package.

Короткое замыкание (КЗ) – это замыкание, при котором токи в ветвях электроустановки, примыкающих к месту замыкания, резко возрастают, превышая наибольший допустимый ток продолжительного режима [1]. Однофазные замыкания на землю (ОЗЗ) - это такое повреждение на линиях электропередачи, при котором одна из фаз трехфазной системы замыкается на землю или на элемент электрически связанный с землей [2]. Двухфазное короткое замыкание на землю – КЗ на землю в трёхфазной электроэнергетической системе с глухо или эффективно заземлёнными нейтральными силовыми элементами, при котором с землёй соединяются две фазы [3]. Трёхфазное короткое замыкание на землю – КЗ на землю в трёхфазной электрической системе с глухо - или эффективно заземленными нейтральными силовыми элементами, при котором с землей соединяются все три фазы [4].

Рассмотрим однофазное, двухфазное и трехфазное КЗ в трехпроводной линии и приведем их сравнение. Смоделируем схему КЗ в трехпроводной линии в программном пакете PSCAD (рис. 1) [5].

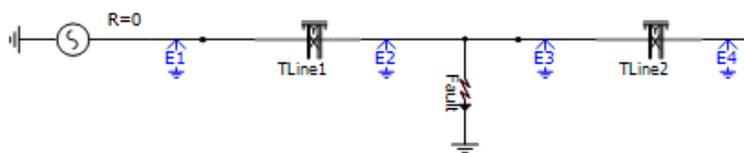


Рис. 1. Схема КЗ в трехпроводной линии

Параметры схемы: фазное напряжение источника - 10 кВ, частота - 50 Гц; линия 1,2: 5 км, АС-50/8; сопротивление земли: 1E+9 Ом; время

замыкания: 0,025 с. Результаты расчетов напряжения представлены на рис. 2, рис. 3 и рис. 4.

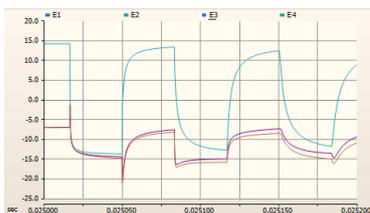


Рис. 2. График E4 однофазного КЗ в трехпроводной линии

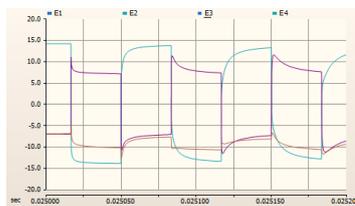


Рис. 3. График E4 двухфазного КЗ в трехпроводной линии

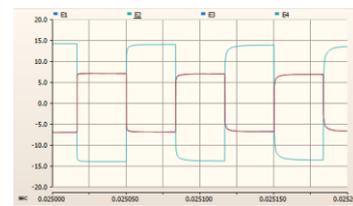


Рис. 4. График E4 трехфазного КЗ в трехпроводной линии

На рис. 5 и рис. 6 представлены графики сравнения переднего фронта сигнала переходного процесса, возникающего при однофазном, двухфазном и трехфазном КЗ в трехпроводной схеме.

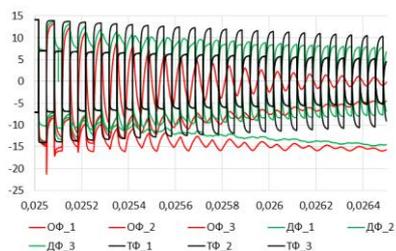


Рис. 5. Передний фронт на большом масштабе

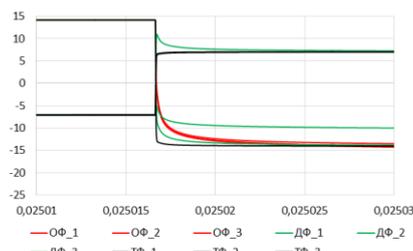


Рис. 6. Передний фронт на малом масштабе

Постоянная затухания при однофазном замыкании равна 0,69 мс, при двухфазном замыкании – 3,22 мс, при трехфазном замыкании – 4,35 мс.

Параметры сигнала переходного процесса при разных видах замыкания в трехпроводной линии совпадают по величине периода колебаний и отличаются по постоянной затухания. Это можно объяснить количеством модовых каналов, по которым распространяется сигнал. При всех видах замыкания сигнал распространяется по нулевому модовому каналу, но при двухфазном замыкании возникает 1-й модовый канал, при трехфазном замыкании возникают 1-й и 2-й модовые каналы, обладающие меньшей величиной затухания.

## Источники

1. Короткие замыкания [Электронный ресурс]. <https://studfile.net/preview/9465604/> (дата обращения: 01.11.2023).
2. Однофазные замыкания на землю [Электронный ресурс]. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Однофазные\\_замыкания\\_на\\_землю](https://ru.wikipedia.org/wiki/Однофазные_замыкания_на_землю) (дата обращения: 01.11.2023).
3. Напряжения при двухфазном коротком замыкании [Электронный ресурс]. <https://rdvfm.ru/articles/napryazheniya-pri-dvuhfaznom-korotkom-zamykanii/> (дата обращения: 01.11.2023).
4. Терминология электромагнитных переходных процессов [Электронный ресурс]. [https://studme.org/122380/tehnika/terminologiya\\_elektromagnitnyh\\_perehodnyh\\_protseessov](https://studme.org/122380/tehnika/terminologiya_elektromagnitnyh_perehodnyh_protseessov) (дата обращения: 01.11.2023).
5. Программный пакет PSCAD [Электронный ресурс]. <https://www.pscad.com/> (дата обращения: 01.11.2023).

УДК 621.311

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА В ОДНОПРОВОДНОЙ ЛИНИИ С НАГРУЗКОЙ В ВИДЕ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО КОЛЕБАТЕЛЬНОГО КОНТУРА

Илюза Ильнуровна Иркагалиева

Науч. рук. канд. физ.-мат. наук, доц. Рустэм Газизович Хузяшев

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

irkagalieva2001@mail.ru

**Аннотация.** В работе представлено моделирование переходного процесса в линии электропередач. Приведено сравнение результатов расчетов схем однопроводной линии с параллельным колебательным контуром при изменении индуктивного сопротивления контура.

**Ключевые слова:** сигнал переходного процесса, короткое замыкание, однопроводная линия, колебательный контур, линия электропередач, программный пакет PSCAD.

# SIMULATION OF A TRANSIENT PROCESS IN A SINGLE-WIRE LINE WITH A LOAD IN THE FORM OF A PARALLEL OSCILLATORY CIRCUIT

Iluza I. Irkagalieva

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

irkagalieva2001@mail.ru

**Abstract.** The paper presents a simulation of the transient process in a power line. A comparison of the results of calculations of circuits of a single-wire line with a parallel oscillatory circuit with a change in the inductive resistance of the circuit is given.

**Keywords:** transient signal, short circuit, single-wire line, oscillating circuit, power line, PSCAD software package.

На экспериментальных осциллограммах сигнал переходного процесса (СПП) описывается колебаниями, период которых не связан с расстояниями до концов линии [1]. Рассмотрим один из вариантов объяснения причины колебаний, наблюдаемых при эксперименте. На реальных схемах ЛЭП нагрузку составляет трансформатор с индуктивным сопротивлением и емкость на шинах подстанции. Для упрощения вычислений смоделируем схему КЗ [2] в однопроводной линии с параллельным колебательным контуром (ПКК) в программном пакете PSCAD (рис. 1) [3].

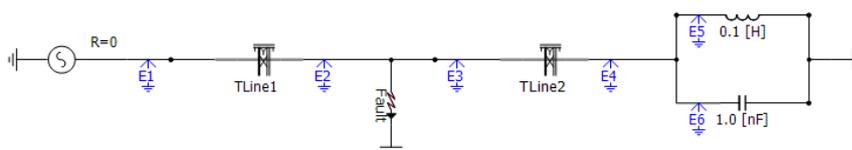


Рис. 1. Схема КЗ в однопроводной линии с параллельным колебательным контуром

Параметры схемы: напряжение источника - 10 кВ, частота - 50 Гц; линия 1,2: 5 км, АС-50/8; сопротивление земли:  $1E+9$  Ом; L: 0,1 Гн; C: 1 нФ; время замыкания: 0,025 с. Результаты расчетов напряжения представлены на рис. 2 и рис. 3.

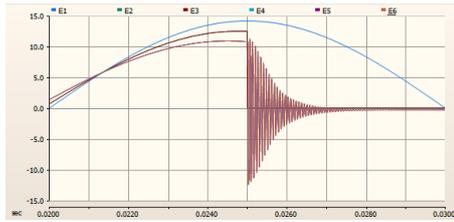


Рис. 2. Полный график СПП при  $L = 0,1$  Гн,  $C = 1$  нФ

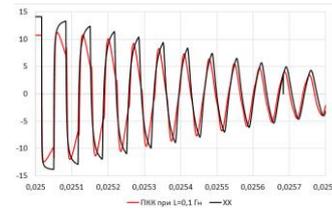


Рис. 3. График измерения вольтметром  $E_4$  при  $L = 0,1$  Гн,  $C = 1$  нФ

Частота сигнала СПП, возникающего в результате КЗ на графике равна 14529 Гц. Частота сигнала СПП, возникающего на параллельном колебательном контуре на графике равна 15529 Гц.

Вычислим период параллельного колебательного контура аналитически по формуле Томсона (1) и найдем частоту (2) [4].

$$T = 2\pi\sqrt{LC} = 2\pi\sqrt{0,1 \cdot 1 \cdot 10^{-9}} = 0,0000628 \text{ с} \quad (1)$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,0000628} = 15915 \text{ Гц} \quad (2)$$

Рассмотрим схему на рис. 1 с изменением индуктивности параллельного колебательного контура на 0,01 Гн.

Результаты расчетов представлены на рис. 4 и рис. 5.

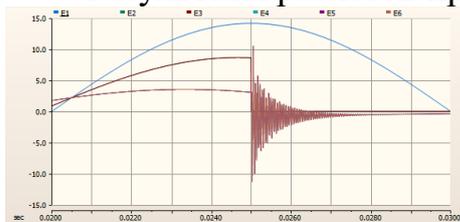


Рис. 4. Полный график СПП при  $L=0,01$  Гн,  $C = 1$  нФ

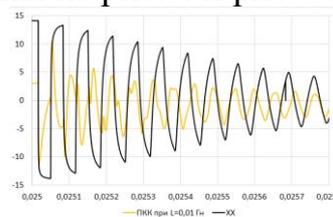


Рис. 5. График измерения вольтметром  $E_4$  при  $L = 0,01$  Гн,  $C = 1$  нФ

Частота сигнала СПП, возникающего в результате КЗ на графике равна 18742 Гц. Частота сигнала СПП, возникающего на параллельном резонансном контуре на графике равна 50912 Гц. Аналитически вычисленный период параллельного колебательного контура равен 0,0000199 с, частота равна 50329 Гц.

На рис. 3 и рис. 5 представлено сравнение результатов при вычислении СПП в однопроводной линии при холостом ходе и при наличии параллельного колебательного контура.

Таким образом, на схемах наблюдаются СПП, вызванные коротким замыканием на линии и наличием параллельного колебательного контура, частота которых определяется параметрами контура [5].

### Источники

1. Хузяшев, Р. Г. Связь существенных параметров сигналов переходного процесса с причиной их возникновения / Р. Г. Хузяшев, И. Л. Кузьмин, И. И. Иркагалиева // Тезисы докладов 2-ой научно-практической конференции учёных России и Хорватии в Дубровнике : Сборник, Москва-Дубровник, 08–09 октября 2020 года / Составители: Н.А. Коротченко, А.П. Кутовская. – Москва: Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС", 2020. – С. 96.

2. Однофазные замыкания на землю [Электронный ресурс]. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Однофазные\\_замыкания\\_на\\_землю](https://ru.wikipedia.org/wiki/Однофазные_замыкания_на_землю) (дата обращения: 01.11.2023).

3. Программный пакет PSCAD [Электронный ресурс]. <https://www.pscad.com/> (дата обращения: 01.11.2023).

4. Последовательный и параллельный колебательный контур [Электронный ресурс]. <http://www.texnic.ru/books/electrotex/el033.htm> (дата обращения: 01.11.2023).

5. Параллельный колебательный контур [Электронный ресурс]. <https://studfile.net/preview/4287659/page:6/> (дата обращения: 01.11.2023).

УДК 621.315.615

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАГОСОДЕРЖАНИЯ ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА ВИЗУАЛЬНЫМ СПОСОБОМ

Айгуль Тагировна Кадирова<sup>1</sup>, Владимир Константинович Козлов<sup>2</sup>,

Ильсур Маратович Минегалиев<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>aigul-kad@mail.ru, <sup>2</sup>kozlov\_vk@bk.ru, <sup>3</sup>minegaliev.1998@mail.ru

**Аннотация.** В процессе длительной эксплуатации трансформаторное масло подвергается воздействию ряда факторов, которые приводят к его старению. Одним из

таких основных факторов является влажность, которая снижает пробивное напряжение масла. Поэтому необходим своевременный контроль над состоянием изолирующей жидкости. Целью данной статьи является определение влагосодержания, описание и анализ состояния трансформаторного масла.

**Ключевые слова:** трансформаторное масло, влагосодержание, цветовые характеристики.

## DETERMINATION OF MOISTURE CONTENT OF TRANSFORMER OIL BY VISUAL METHOD

Aygul T. Kadirova<sup>1</sup>, Vladimir K. Kozlov<sup>2</sup>, Ilmur M. Minegaliev<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>aigul-kad@mail.ru, <sup>2</sup>kozlov\_vk@bk.ru, <sup>3</sup>minegaliev.1998@mail.ru

**Abstract.** During long-term operation, transformer oil is exposed to a number of factors that lead to its aging. One of these main factors is humidity, which reduces the breakdown voltage of the oil. Therefore, timely monitoring of the condition of the insulating liquid is necessary. The purpose of this article is to determine the moisture content, describe and analyze the condition of transformer oil.

**Keywords:** transformer oil, moisture content, color characteristics.

Трансформаторное масло - это высокоочищенное минеральное масло, обладающее превосходными изоляционными свойствами [1]. В электрических трансформаторах масло используется для эффективного отвода тепла и служит диэлектриком [2–3]. Содержание влаги в трансформаторном масле (ТМ) приводит к ускоренному старению масла, вызывает изменение его физико-химических свойств, которые ухудшают его изоляционные свойства. [4].

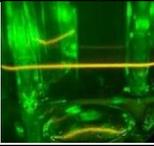
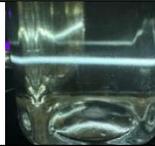
Существуют различные методы анализа изоляционного масла, но все они являются дорогостоящими, трудоемкими и отнимают много времени, поэтому в работе использовался простой визуальный способ [5].

Были рассмотрены 3 образца ТМ с различным содержанием воды. Также для сравнения были взяты 3 образца растительного масла (РМ) с аналогичными характеристиками (образцы №1,4 – исходные РМ и ТМ; образцы №2,5 – РМ и ТМ с повышенным содержанием воды; образцы №3,6 – сухое РМ и ТМ).

Каждый образец масла, поочередно освещенный узконаправленным светом, наблюдался визуально (см. таблицу). Источником освещения

являлись лазерные указки (с красным, белым, зеленым и фиолетовым светом).

Фотографии масел при облучении разным источником света

№	Источник света			
	красный	белый	зеленый	фиолетовый
2				
1				
3				
5				
4				
6				

Рассмотрим облучение РМ. При освещении образца №1 лучи имеют более тусклый цвет. Заметна мутность масла. При освещении образца №2 лучи красного и фиолетового цветов заметно становятся более четкими, а цвет более интенсивным и ярким. То же самое наблюдается и с зеленым лучом, но цвет становится ярко-желтым. При освещении образца 3 цвет лучей яркий, насыщенный, интенсивный, границы четкие. Нет мутности масла и рассеянного излучения.

Облучение ТМ схоже с облучением РМ. При освещении образца №5 наблюдается сильное рассеивание лучей света. Красный и зеленый лучи лучше проходят через трансформаторное масло, но границы остаются нечеткими. Фиолетовый свет во всех образцах ТМ приобретает зеленый оттенок и не имеет форму прямого луча. В образце №4 можно рассмотреть

более четкие лучи света. Небольшое рассеивание остается. При освещении сухого ТМ (образец №6) практически нет рассеивания. Особенно заметно на красном и зеленом лучах: свет не распространяется по области пробирки, а остается четкой линией.

При пропускании света через масло с различным влагосодержанием, можно заметить закономерность: чем выше содержание воды в масле, тем сильнее рассеивается свет в нем; при низком содержании – рассеяние не преобладает, цвет лучей передается более ярким и насыщенным.

### **Источники**

1. Chakravorti S., Dey D., Chatterjee B. Recent trends in the condition monitoring of transformers // *Power Systems*. – Springer-Verlag, 2013.

2. Козлов В.К., Валиуллина Д.М., Туранов А.Н. Актуальные научные исследования в современном мире // *Актуальные научные исследования в современном мире Учредители: Общественная организация "Институт социальной трансформации"*. – С. 95-103.

3. Лютикова М. Н., Ридель А. В. Модификация влагомера для усовершенствования электрохимического метода определения содержания воды в трансформаторном масле // *Известия высших учебных заведений. Приборостроение*. – 2023. – Т. 66. – №. 3. – С. 223-233.

4. Kondalkar V. V. et al. Development of highly sensitive and stable humidity sensor for real-time monitoring of dissolved moisture in transformer-insulating oil // *Sensors and Actuators B: Chemical*. – 2019. – Т. 286. – С. 377-385.

5. Визуальное определение параметров качества трансформаторного масла / С. П. Суханова, Д. М. Валиуллина, В. К. Козлов [и др.] // *Электрические сети: надежность, безопасность, энергосбережение и экономические аспекты : Материалы международной научно-практической конференции, Казань, 22 апреля 2022 года / Редколлегия: В.В. Максимов (отв. редактор) [и др.]*. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. – С. 224-229. – EDN JZQDOE.

## ПЕРЕХОД К СЕТЯМ SMART GRID: НОВЫЕ ВЫЗОВЫ В ОЦЕНКЕ НАДЕЖНОСТИ

Семен Олегович Каминский<sup>1</sup>, Рустем Наимович Мухаметжанов<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>wolf19980202@gmail.com, <sup>2</sup>ruustem@yandex.ru

**Аннотация.** В современном мире электротехники и энергетики наметился значительный сдвиг в направлении разработки и внедрения интеллектуальных электросетей, или сетей Smart Grid. Этот процесс представляет собой не просто технологическое обновление, но и кардинальное изменение подходов к управлению, распределению и использованию электроэнергии.

**Ключевые слова:** smart grid, надежность, интеграция, коммуникационные инфраструктуры, управление, многоуровневая модель, симуляция, анализ рисков, адаптивные методы, интеграция с другими системами.

## TRANSITION TO SMART GRID NETWORKS: NEW CHALLENGES IN RELIABILITY ASSESSMENT

Semen O. Kaminskiy<sup>1</sup>, Rustem N. Mukhametdzhanov<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>wolf19980202@gmail.com, <sup>2</sup>ruustem@yandex.ru

**Abstract.** In the modern world of electrical engineering and energy, there has been a significant shift in the direction of the development and implementation of intelligent power grids, or Smart Grid networks. This process is not just a technological upgrade, but also a radical change in approaches to the management, distribution and use of electricity.

**Keywords:** smart grid, reliability, integration, communication infrastructures, management, multilevel model, simulation, risk analysis, adaptive methods, integration with other systems.

Системы Smart Grid, основанные на интеграции передовых коммуникационных инфраструктур и новых механизмов управления, предоставляют уникальные возможности для обеспечения непрерывности электроснабжения и активного вовлечения конечных пользователей в управление потреблением электроэнергии. Тем не менее, по мере усложнения структуры Smart Grid, кроме задачи оценки надежности

работы систем энергетики возрастает важность оценки надежности работы системы Smart Grid и ее влияния на работу энергосистемы [1].

Анализ структуры Smart Grid подтверждает многоуровневую и многоаспектную природу этой системы, что делает оценку надежности еще более сложной задачей. В таблице представлены основные категории структуры Smart Grid, каждая из которых включает в себя специфические компоненты.

Предлагаемая классификация (основные категории) структуры Smart Grid для оценки надежности

Основные категории	Ключевые компоненты
Надёжность компонентов	- Генерация (возобновляемые/не возобновляемые источники, хранение)
	- Передача и распределение (трансформаторы, линии, подстанции)
	- Инфраструктура коммуникации (устройства разделения (секционирования) систем коммуникации, роутеры, шлюзы)
Системная надёжность	- Топология сети (структура и последствия отказов)
	- Резервирование (резервные системы, альтернативные маршруты)
Эксплуатационная надёжность	- Точность прогнозирования нагрузки
	- Отклик на спрос (механизмы управления и регулирования)
	- Стабильность сети (способность справляться с колебаниями генерации или нагрузки)
Кибербезопасность	- Физическая безопасность (защита от вмешательства)
	- Безопасность сети (защита от кибератак)
	- Целостность Данных (точность и последовательность)
Системы защиты	- Островной режим (автономная функция сети)
	- Обнаружение и изоляция неисправности
	- Восстановление (восстановление электроэнергии после отключения)
Взаимодействие и интеграция	- Использование стандартных протоколов (применение типовых алгоритмов оценки надежности)

	- Интеграция возобновляемых ресурсов. Ее эффективность
Экологические и внешние факторы	- Влияние экстремальных погодных явлений на компоненты сети
	- Географические факторы (рельеф, почва, близость к водным объектам)
Человеческие факторы	- Обучение и уровень квалификации
	- Процессы принятия решений
Практика обслуживания	- Прогнозируемое обслуживание
	- Регулярные инспекции
Экономические аспекты	- Стоимость ненадёжности
	- Инвестиции в надёжность

Следует отметить, что каждая из этих категорий состоит из ключевых компонентов, влияющих на общую надежность энергосистемы. Отказ любого из этих компонентов может вызвать цепную реакцию и привести к нарушению функционирования всей системы [2].

Достижение окончательной количественной оценки надежности является сложной задачей. Каждый компонент взаимосвязан с другими, что создает сложную сеть взаимодействий, где отказ одного элемента может иметь различные последствия.

Анализ функциональности зарубежных программ, таких как PSS®E [3], DIgSILENT PowerFactory [4], OpenDSS [5], ETAP [6], HOMER [7], GridLAB-D [8], MATPOWER [9], RTDS [10], CYME [11], PLEXOS [12], а также российских программ RastrWin3D [13], АСОНИКА-Б [14], показывает, что ни одна из них не предоставляет полного инструментария для оценки надежности сети Smart Grid.

С учетом многоаспектности и сложности структуры сетей Smart Grid становится актуальным вопрос о создании комплексного программного решения, способного охватить все категории структуры. Такое программное обеспечение позволит оперативно и точно оценивать надежность системы, учитывая максимально возможное количество факторов риска.

Для успешной оценки надежности сети Smart Grid следует учесть следующие аспекты:

1. Многоуровневая модель: необходимо разработать многоуровневую модель, учитывающую все аспекты работы системы,

включая физические компоненты, соединения, программное обеспечение и протоколы коммуникации.

2. Симуляция: использование методов симуляции позволяет имитировать различные сценарии отказов и их воздействие на систему в целом.

3. Анализ рисков: исследование и выявление потенциальных точек отказа, определение вероятности и последствий этих отказов поможет выявить уязвимые места в системе.

4. Адаптивные методы: учитывая постоянное развитие и изменение окружающей среды, необходимо разрабатывать методы, способные адаптироваться к новым условиям и вызовам.

5. Интеграция с другими системами: интегрированное решение, способное объединять функциональность различных инструментов, является необходимым для полной оценки надежности сети Smart Grid.

6. Работа в режиме тренажера: обучение и подготовка специалистов для работы с системой Smart Grid также играют важную роль в обеспечении ее надежности.

7. Использование отечественного программного обеспечения: в свете вопросов кибербезопасности и независимости, использование отечественного программного обеспечения становится более актуальным.

Переход к сетям Smart Grid представляет собой значительный прорыв в области электротехники и энергетики. Однако этот прорыв также сопровождается новыми вызовами, связанными с оценкой и обеспечением надежности работы таких систем. Решение этих проблем требует комплексного подхода, разработки новых инструментов и методологий.

## Источники

1. Mashal, I., Khashan, O.A., Hijjawi, M. *et al.* The determinants of reliable smart grid from experts' perspective. *Energy Inform* **6**, 10 (2023). <https://doi.org/10.1186/s42162-023-00266-3>

2. Paul Hines, Jason Veneman, Brian Tivnan. Smart Grid: Reliability, Security, and Resiliency [Электронный ресурс]. [https://phines.w3.uvm.edu/publications/2014/hines\\_2014\\_terms.pdf](https://phines.w3.uvm.edu/publications/2014/hines_2014_terms.pdf) (дата обращения: 27.10.2023).

3. Siemens. PSS®E 33.4 Program Operation Manual// Siemens, 2013 г.

4. DIgSILENT PowerFactory. DIgSILENT PowerFactory User manual// DIgSILENT PowerFactory 2014 г.

5. Roger C. Dugan. The Open Distribution System Simulator (OpenDSS)// OpenDSS 2016 г.
6. ETAP. ETAP 14.0.0 Demo Getting Started// ETAP 2015г.
7. HOMER Pro User manual [Электронный ресурс]. <https://www.homerenergy.com/products/pro/docs/3.13/index.html> (дата обращения: 27.10.2023).
8. GridLAB-D User manual [Электронный ресурс]. [https://gridlab-d.shoutwiki.com/wiki/GridLAB-D\\_Wiki:GridLAB-D\\_Tutorial\\_Chapter\\_0\\_-\\_Introduction](https://gridlab-d.shoutwiki.com/wiki/GridLAB-D_Wiki:GridLAB-D_Tutorial_Chapter_0_-_Introduction) (дата обращения: 27.10.2023).
9. MATPOWER. MATPOWER User manual// MATPOWER 2020г.
10. RTDS hardware manual', RTDS Technologies, January 2009
11. CYME 8.2 Power Flow Analysis Users Guide// Eaton&apos;s CYME 2019 г.
12. PLEXOS OVERVIEW & TUTORIAL [Электронный ресурс]. <https://home.engineering.iastate.edu/~jdm/ee552/PlexosTutorial1-2016.pdf> (дата обращения: 27.10.2023).
13. Программный комплекс «RastrWin 3» [Электронный ресурс]. <https://ru.scribd.com/doc/120937498/RastrWin3-User-Manual> (дата обращения: 27.10.2023).
14. Описание подсистемы асоника-б [Электронный ресурс]. <https://studfile.net/preview/1081879/page:3/> (дата обращения: 27.10.2023).

УДК 621-311

## **ВОСТРЕБОВАННОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ И ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ ГЕНЕРАЦИИ**

Павел Никитич Картузов <sup>1</sup>, Дилия Мансуровна Валиуллина <sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>pavel.kartuzov.02@mail.ru, <sup>2</sup>valiullinadiliya@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассмотрены причины востребованности распределенной и децентрализованной генерации, проанализированы концепции распределенной и децентрализованной генерации, перечислены их преимущества. В статье так же представлено использование возобновляемых источников энергии.

**Ключевые слова:** распределенная генерация, децентрализованная генерация, снижение потерь, энергетическая независимость.

## DEMAND FOR DISTRIBUTED AND DECENTRALIZED GENERATION

Pavel N. Kartuzov<sup>1</sup>, Dilia M. Valiullina<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>pavel.kartuzov.02@mail.ru, <sup>2</sup>valiullinadiliya@mail.ru

**Abstract.** The article discusses the reasons for the demand for distributed and decentralized generation, analyzes the concepts of distributed and decentralized generation, and lists their advantages. The article also presents the use of renewable energy sources.

**Keywords:** distributed generation, decentralized generation, loss reduction, energy independence.

В современном мире, с ростом населения и развитием технологий, вопросы энергетической устойчивости и надежности, а так же доступности электроэнергии становятся все более актуальными. В этом контексте распределенная и децентрализованная генерация энергии играют ключевую роль в поиске альтернативных решений для энергоснабжения потребителей.

Распределенная генерация энергии предполагает производство электроэнергии рядом с местом ее потребления, таким образом, снижая потери при транспортировке энергии. Это позволяет увеличить эффективность использования энергии и снизить затраты на строительство сетевой инфраструктуры. Примерами распределенной генерации являются небольшие по мощности электростанции (микроэлектростанции), в том числе использующие возобновляемые источники энергии (ВЭС, СЭС, геотермальные и биогазовые установки) [1-3].

Децентрализованная генерация, с другой стороны, предполагает создание системы маломасштабных источников генерации, которые могут работать независимо от централизованных энергетических сетей. В таких «изолированных» энергосистемах так же могут быть использованы возобновляемые источники энергии. Децентрализованная генерация позволяет обеспечить энергоснабжение удаленных от энергосистемы потребителей, не требует масштабного строительства сетевой инфраструктуры. При децентрализации может быть обеспечен достаточный уровень надежности энергоснабжения [4].

Такие формы генерации энергии имеют несколько преимуществ перед другими видами генерации электроэнергии, которые способствуют их востребованности:

- Экономия затрат. Распределенная и децентрализованная генерация позволяют сократить расходы на долгие и дорогостоящие проекты строительства централизованных электростанций и строительство энергетических сетей, снижаются потери энергии при транспортировке. При использовании в маломасштабных источниках генерации возобновляемых источников энергии, такие как СЭС или ВЭС, доступные ресурсы используются более эффективно.

- Экологическая устойчивость. При использовании возобновляемых источников энергии снижаются выбросы парниковых газов и негативное воздействие на окружающую среду. Солнечная и ветровая энергия, по сравнению с ископаемыми видами топлива, более экологичны, а так же являются возобновляемыми источниками энергии. (Однако производство оборудования для СЭС и ВЭС и его утилизация оказывают негативное влияние на экологию. Этот вопрос требует отдельного изучения).

- Энергетическая независимость. Распределенная и децентрализованная генерация может способствовать энергетической независимости для районов, отдельных домов, зданий или даже целых сообществ. В случае аварии в централизованной системе с прекращением энергоснабжения потребителей, системы децентрализованной генерации могут продолжать функционировать, обеспечивая необходимой энергией потребителей для базовых потребностей.

- Увеличение надежности энергоснабжения. Распределенная и децентрализованная генерация позволяет уменьшить риски прекращения энергоснабжения потребителей из-за аварий в централизованных системах. Множество маломасштабных источников генерации может компенсировать временные сбои в работе одного или нескольких источников, обеспечивая более надежное энергоснабжение потребителей [5].

Таким образом, с ростом технологий и появлением новых возможностей хранения энергии, распределенная и децентрализованная генерация энергии становятся все более востребованными в современном обществе. Они предлагают экономические и экологические преимущества, а также способствуют энергетической независимости и повышению надежности энергоснабжения. Многие страны и регионы уже активно развивают проекты в области распределенной и децентрализованной генерации энергии, осознавая их потенциал для устойчивого развития и сокращения вредного воздействия на окружающую среду.

## Источники

1. Безруких П.П. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии // Энергетическая безопасность и малая энергетика. XXI век. Сб. докл. Всерос. н. - т. конф. Санкт-Петербург, 3-5 декабря 2002 г., с.30-45.
2. Энергетика XXI века: Условия развития, технологии, прогнозы / Л.С. Беляев, А.В. Лагерев, В.В. Посекалин; Отв. ред.Н.И. Воропай. Новосибирск: Наука, 2004, 386 с.
3. Хохлов А. Мельников Ю., Веселов Ф., Холкин Д., Дацко К. Распределённая энергетика в России: потенциал развития. — М.: Энергетический центр Московской школы управления «Сколково», 2018, 87 с.
4. Паниковская Т.Ю., Чечушков Д.А. Оценка эффективности работы установок распределенной генерации // Электроэнергетика глазами молодёжи: научные труды международной научно-технической конференции: сборник статей. В 3 т. Самара: СамГТУ, 2011. Т.1. С. 407-412.
5. Воропай Н.И. Распределенная генерация в электроэнергетических системах // Международная научно - практическая конференция «Малая энергетика-2005», 2005.

УДК 621.315.1

## РОБОТИЗИРОВАННОЕ БЕСПИЛОТНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПРОВОДОВ И ИЗОЛЯТОРОВ ВЛЭП

Дамир Радифович Кузеев<sup>1</sup>, Анастасия Сергеевна Валюк<sup>2</sup>,  
Александр Александрович Любишев<sup>3</sup>

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Данил Александрович Ярославский

<sup>1,2,3</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1,2,3</sup>Kuzeev05@mail.ru

**Аннотация.** В настоящее время в электроэнергетике для контроля и диагностики технического состояния линий электропередач начинают использовать роботизированные комплексы с целью повышения эффективности работы и безопасности рабочего персонала. В данной статье рассматриваются аналоги роботизированных беспилотных устройств для диагностики изоляторов и проводов линий электропередач.

**Ключевые слова:** диагностика, линия электропередачи, роботизированное устройство, изолятор, платформа.

# ROBOTIC UNMANNED DEVICE FOR DIAGNOSTICS OF WIRES AND INSULATORS OF POWER LINES

Damir R. Kuzeev<sup>1</sup>, Anastasia S. Valyuk<sup>2</sup>, Alexander A. Lyubishev<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1,2,3</sup> Kuzeev05@mail.ru

**Abstract.** Currently, in the electric power industry, robotic complexes are beginning to be used to monitor and diagnose the technical condition of power lines in order to improve the efficiency and safety of the working personnel. This article discusses analogues of robotic unmanned devices for diagnostics of insulators and wires of power lines.

**Keywords:** diagnostics, power line, robotic device, insulator, platform.

Эксплуатация высоковольтных воздушных линий электропередач (ВЛЭП) для обеспечения электроснабжения потребителей требует периодических диагностик, а также плановых и внеплановых ремонтов, в том числе под напряжением. Работы, выполняемые под напряжением являются одними из сложных категорией работ. С целью обеспечения безопасности рабочего персонала можно использовать роботизированные беспилотные устройства (РБУ) для проведения диагностики ВЛЭП. В настоящее время многие электросетевые компании внедряют новое оборудование для развития и совершенствования систем диагностики электросетевого комплекса [1]. Рассмотрим аналоги РБУ, использующиеся для диагностики элементов сетевой инфраструктуры, трассировки ВЛЭП для выявления технологических нарушений, тепловизионного контроля и других целей [2].

Одним из таких вариантов является технология «Канатоход», которая представляет собой летающую платформу вертолетного типа, способную передвигаться по проводам, осуществляя дистанционное техническое обслуживание и ремонт электрических сетей. Различные модели канатоходов могут выполнять работы по диагностике и ремонту состояния элементов и параметров электросетевых объектов. Платформа «Стрекоза», представленная на рис. 1, является беспилотным летательным аппаратом, которая имеет 6 бесколлекторных двигателей и два колесных модуля специализированной конструкции, расположенных в передней и задней части, позволяющие им перемещаться по проводу. Стоимость данной платформы превышает 3,5 млн. рублей. Одним из минусов данной платформы является то, что она не может проводить диагностику в нелётную погоду, то есть её работа зависит от погодных условий.



Рис.1. Платформа «Стрекоза»

В зависимости от метода диагностики можно устанавливать на данную платформу следующие модули: курсовая камера, ультрафиолетовый сканер, тепловизор, магнитный сканер и лазерный сканер [3].

Еще один прототип РБУ разрабатывается в научно-исследовательской лаборатории «Беспилотные робототехнические платформы в энергетике» в КГЭУ. Это устройство представлено на рисунке 2.



Рис.2. Прототип РБУ в лаборатории КГЭУ

Разработка данного прототипа предназначена для проведения диагностики проводов и изоляторов ВЛЭП. Она позволит упростить, механизировать, ускорить и удешевить данный процесс. Этот прототип представляет собой робота, который с помощью троса поднимается к проводу, а затем уже цепляется за провод и начинает двигаться, проводя диагностику. Этому робота можно также оборудовать курсовой камерой, ультрафиолетовым сканером, тепловизором, магнитным и лазерным сканером [4-5]. Стоимость платформы данного робота составляет около 1 млн. рублей без дополнительно установленных компонентов (камеры, тепловизора и тд).

Таким образом для того, чтобы обеспечить безопасность рабочего персонала и повысить эффективность работы нужно внедрять РБУ. В данной работе рассматривались отечественные РБУ для проведения диагностики ВЛЭП: Платформа Стрекоза и устройство, разрабатываемое в

лаборатории КГЭУ. В результате сравнения двух аналогов можно прийти к выводу о том, что устройство разрабатываемое в лаборатории КГЭУ является более стойким к погодным условиям и стоимость работа ниже в 3 раза, чем платформа Стрекоза.

### Источники

1. Иванов Д. А., Галиева Т. Г. Диагностика воздушных линий электропередачи роботизированными комплексами и беспилотными летательными аппаратами //Актуальные вопросы энергетики. – 2020. – Т. 2. – №. 1. – С. 38.

2. Канатоход — робототехника для энергетики | Статьи журнала «ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение». URL: <https://eepir.ru/article/kanatohod-nbsp-robototehnika-dlya-energetiki/> (дата обращения: 25.10.2023).

3. «Канатоход» – первый в мире комплекс с посадкой на провод для цифровой диагностики и локального ремонта линии электропередачи. URL: <http://cablewalker.com/> (дата обращения: 25.10.2023).

4. Патент на полезную модель № 219178 U1 Российская Федерация, МПК H02G 7/16. Мобильная установка плавки гололедно-изморозевых отложений на проводах воздушных линий электропередачи : № 2022135363 : заявл. 30.12.2022 : опубл. 03.07.2023 / М. Ф. Садыков, Д. А. Ярославский, Д. А. Иванов [и др.] ; заявитель Публичное акционерное общество "Россети Волга". – EDN LIMYSR.

5. Патент на полезную модель № 193020 U1 Российская Федерация, МПК B61B 7/06, G01R 31/08, H02G 1/02. Роботизированное устройство для верхового осмотра состояния воздушных линий электропередачи : № 2019120921 : заявл. 04.07.2019 : опубл. 10.10.2019 / М. Ф. Садыков, Н. С. Мочалов, Д. А. Иванов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Казанский государственный энергетический университет" (ФГБОУ ВО "КГЭУ"). – EDN KISOCF.

## ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ГАРМОНИК В СИЛОВОЙ СЕТИ

Роман Юрьевич Кустов<sup>1</sup>, Ольга Евгеньевна Куракина<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

<sup>1</sup>kyctob8@mail.ru, <sup>2</sup>Random\_jj@mail.ru

**Аннотация.** Данная статья исследует причины возникновения гармоник в силовой сети. В ней описываются основные источники гармоник, такие как нелинейные нагрузки, использование силовой электроники, несимметричные нагрузки и резонансы в сети. Понимание причин возникновения гармоник в силовой сети имеет важное значение для обеспечения стабильности и надежности электроснабжения в современных энергетических системах.

**Ключевые слова:** гармоники, сети, нагрузка, напряжение, генерация.

## CAUSES OF HARMONICS IN THE POWER NETWORK

Roman Y. Kustov<sup>1</sup>, Olga E. Kurakina<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>kyctob8@mail.ru, <sup>2</sup>Random\_jj@mail.ru

**Abstract.** This paper investigates the causes of harmonics in a power network. It describes the main sources of harmonics such as nonlinear loads, use of power electronics, asymmetrical loads and resonances in the grid. Understanding the causes of harmonics in the power grid is essential to ensure stability and reliability of power supply in modern power systems.

**Keywords:** harmonics, networks, load, voltage, generation.

Современная жизнь тесно связана с использованием электроэнергии, и силовые сети играют ключевую роль в её обеспечении. Однако, в процессе её передачи и использования могут возникать феномены, которые негативно влияют на качество электропитания. Одним из таких явлений являются гармоники.

Гармоники являются синусоидальными колебаниями, частота которых подобна промышленной частоте электрической сети 50 Гц. Они имеют частоты 100 Гц, 150 Гц, 200 Гц, 250 Гц и так далее. Тем самым комплексная синусоида складывается из установленного числа нечетных и

четных гармоник с большими или меньшими величинами. Они могут вызывать перегрузки, нагрев и как следствие пробой изоляции. [1]



Рис. 1. Пример гармонического искажения [2]

Причинами возникновения гармоник являются нелинейные нагрузки, использование силовой электроники, несимметричные нагрузки и резонансы в сети.

Нелинейные нагрузки являются одной из основных причин генерации гармоник в электрической сети. Они характеризуются тем, что не потребляют энергию линейно, пропорционально напряжению и току. Примерами таких нагрузок являются трансформаторы в режиме насыщения, источники бесперебойного питания, циклоконверторы, электронные балласты, статические конденсаторы реактивной мощности и полупроводниковые выпрямители. При работе этих устройств возникает изменение формы синусоидального напряжения и тока, что приводит к появлению гармоник. [3]

Современные технологии и устройства все больше полагаются на силовую электронику, что включает в себя применение инверторов, преобразователей и выпрямителей, которые преобразуют переменный ток в постоянный и обратно. Эти процессы приводят к искажению сигнала и, следовательно, к возникновению гармоник в сети. [4]

Еще одной причиной возникновения гармоник является несимметричность нагрузок в силовой сети. Если в трехфазных системах одна из фаз имеет нагрузку отличную от других, это вызывает дисбаланс токов и напряжений между фазами, что приводит к генерации гармоник.

Резонанс в силовой сети - это явление, при котором частота возмущающего воздействия совпадает с естественной частотой резонансной цепи в сети. Естественная частота резонанса определяется параметрами индуктивности и емкости в сети, когда они соответствуют

частоте возмущающего источника, происходит усиление амплитуды напряжения или тока в системе. Это увеличение амплитуды может создать серьезные проблемы, особенно в отношении гармоник. [5]

Таким образом, гармоники в силовой сети - это актуальная проблема, которая негативно влияет на эффективность и надежность электрических систем. Понимание причин возникновения гармоник позволяет более эффективно бороться с этой проблемой и обеспечивать более стабильное и качественное электропитание.

### **Источники**

1. Кобелев А.В., Зыбин А.А. Современные Проблемы Высших Гармоник В Городских Системах Электроснабжения // Вестник ТГТУ. - 2011. - №17. - С. 187-191.

2. Валиуллина, Д. М. Рост показателей качества электроэнергии за счет применения активного фильтра гармоник / Д. М. Валиуллина, Д. А. Равин // фундаментальная и прикладная наука: состояние и тенденции развития: сборник статей XXVIII Международной научно-практической конференции. Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука», 2023. – С. 83-88.

3. С.А. Янченко, С.В. Гужов. Работоспособность и качество функционирования электротехнических комплексов и систем в режимах несинусоидальности напряжения. - Москва: МЭИ, 2016. - 44 с.

4. А.В. Стариков, С.Л. Лисин, О.С. Беляева, В.А. Кирдяшев Способ уменьшения амплитуд высших гармоник в выходном напряжении частотного преобразователя // Вестник самарского государственного технического университета. серия: технические науки. - 2021. - №1(69). - С. 120-132.

5. Коваленко Д. В., Пугачева Е. А., Рогозина Д. А., Фридрих А. Е. Обзор современных исследований по идентификации резонансных режимов, возникающих в элементах электрических сетей промышленных предприятий и коммунально-бытового сектора // Омский научный вестник. 2018. № 6 (162). С. 103–107.

## АНАЛИЗ РЕШЕНИЙ ПО ДИАГНОСТИКЕ ДЕФЕКТОВ ПЕРЕГРЕВА ОБОРУДОВАНИЯ ПОДСТАНЦИИ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ ТЕПЛОВИЗИОННОЙ СЪЁМКИ

Александр Александрович Любишев<sup>1</sup>, Самир Фуадович Абдурашитов<sup>2</sup>

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. Марат Фердинантович Садыков

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>s.lyubishev@yandex.ru, <sup>2</sup>abdurashitov.samir@gmail.com

**Аннотация.** В данной статье рассматривается технология тепловизионной съемки для определения технического состояния оборудования подстанции с использованием тепловизора, позволяющий дистанционно обнаружить и проанализировать техническое состояние. Для точной диагностики тепловых неисправностей необходимо сначала классифицировать и идентифицировать различное энергетическое оборудование. Обсуждаются потенциальные области применения данной технологии в электроэнергетических системах и его вклад в повышение надежности и безопасности.

**Ключевые слова:** диагностика подстанции, тепловизионная съемка, тепловизор, тепловые неисправности, классификация, идентификация, надежность, безопасность.

## ANALYSIS OF SOLUTIONS FOR DIAGNOSING OVERHEATING DEFECTS OF SUBSTATION EQUIPMENT BASED ON THERMAL IMAGING TECHNOLOGY

Alexander A. Lyubishev<sup>1</sup>, Samir F. Abdurashitov<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>s.lyubishev@yandex.ru, <sup>2</sup>abdurashitov.samir@gmail.com

**Abstract.** This article discusses the technology of thermal imaging to determine the technical condition of substation equipment using a thermal imager that allows you to remotely detect and analyze the technical condition. In order to accurately diagnose thermal faults, it is first necessary to classify and identify various power equipment. Potential applications of this technology in electric power systems and its contribution to improving reliability and safety are discussed.

**Keywords:** substation diagnostics, thermal imaging, thermal imager, thermal malfunctions, classification, identification, reliability, safety.

С быстрым развитием социальной экономики требования к безопасности и надежности оборудования подстанции постоянно совершенствуются. Возможность безопасной и надежной работы электрооборудования стала ключом к стабильной работе энергосистемы. Оборудование подстанции в долгосрочном рабочем состоянии неизбежно будет иметь неисправности, и тепловая неисправность является наиболее распространенной неисправностью электрооборудования, которая проявляется в аномальной температуре внутри оборудования [1]. Таким образом, обнаружение и диагностика изменения температуры оборудования подстанции играет важную роль в стабильной работе электросети [2].

Технология тепловизионной съемки обладает преимуществом отсутствия прямого контакта. Данная технология позволяет вовремя определить: имеется ли тепловая неисправность в работающем в данный момент оборудовании. Для быстрого определения потенциально опасных зон важно принимать меры контроля до выхода оборудования из строя [3].

Распространенная технология тепловизионной съемки, применяемая в настоящее время в области диагностики оборудования подстанции, заключается в том, что о наличии тепловых дефектов в энергетическом оборудовании можно судить с помощью ручного анализа после того, как специалист возьмет тепловизор в руки для сбора изображений оборудования. Этот метод отнимет много времени, когда необходимо срочно выявить неисправность большого количества оборудования, а также необходимо минимизировать диагностические ошибки из-за неопытности или усталости персонала при диагностике [4]. Ввиду недостатков вышеупомянутого ручного анализа необходимо использовать интеллектуальный метод идентификации и диагностики для определения наличия тепловой неисправности в оборудовании подстанции [5]. Предлагается объединение патрульного робота, камеру, работающую в видимом и инфракрасном спектрах, для имитационного анализа и сравнивая полученных данных с помощью метода информационной энтропии. Перегрев электрооборудования является распространенным явлением. Если область перегрева может быть найдена точно и напрямую, диапазон неисправностей будет непосредственно уменьшен. Это осуществляется с помощью алгоритма Оцу для сегментирования общей площади оборудования, затем уточняет целевую область по краям и использует алгоритм кластеризации для точного разделения перегретой части.

## Источники

1. Галиева Т.Г., Садыков М.Ф., Иванов Д.А., Ярославский Д.А. Исследование методов и средств диагностики состояния линий электропередач // В сборнике: Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники. материалы Всероссийской научно-практической конференции. 2019. С. 197-201.

2. Рассальский А.Н., Сахно А.А., Конограй С.П., Гук А.А. Комплексный подход к диагностике высоковольтного оборудования подстанций 220 – 1150 кВ под рабочим напряжением в режиме эксплуатации // ЕіЕ. 2010. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kompleksnyy-podhod-k-diagnostike-vysokovoltного-oborudovaniya-podstantsiy-220-1150-kv-pod-rabochim-napryazheniem-v-rezhime> (дата обращения: 09.11.2023).

3. Горячев М.П., Садыков М.Ф., Ярославский Д.А. Методика контроля механических параметров воздушных линий электропередачи на основе улучшенного инклинометрического метода // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2019. Т. 21. № 3. С. 160-171

4. Садыков М.Ф., Мочалов Н.С., Иванов Д.А. Роботизированное устройство для верхового осмотра состояния воздушных линий электропередачи // Патент на полезную модель RU 193020 U1, 10.10.2019. Заявка № 2019120921 от 04.07.2019.

5. Садыков М.Ф., Голенищев-Кутузов А.В., Андреев Н.К. Применение в системах автопилотирования транспорта аппаратно-программных комплексов эмуляции двигателя и трансмиссии // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2018. Т. 20. № 5-6. С. 67-74

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАГОСОДЕРЖАНИЯ ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА МЕТОДОМ КАРЛА ФИШЕРА

Ильсур Маратович Минегалиев

Науч. рук. д-р физ.-мат. наук, проф. Владимир Константинович Козлов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

minegaliev.1998@mail.ru

**Аннотация.** В данной работе проведен анализ методов Карла Фишера для определения влагосодержания трансформаторного масла. Даны рекомендации для точного измерения исследуемых образцов.

**Ключевые слова:** трансформаторное масло, методы диагностики, влагосодержание, метод Карла Фишера.

## DETERMINATION OF TRANSFORMER OIL MOISTURE CONTENT BY THE KARL FISCHER METHOD

Isur M. Minegaliev

KSPEU, Kazan, Russia

minegaliev.1998@mail.ru

**Abstract.** This paper analyzes Karl Fischer methods for determining the moisture content of transformer oil. Recommendations for accurate measurement of the samples under study are given.

**Keywords:** transformer oil, diagnostic methods, moisture content, Karl Fischer method.

Трансформаторное масло – это природное минеральное масло, получаемое дистилляцией из сырой нефти и рафинированное для сохранения стабильных тепловых и электрических характеристик в течение многих лет. В его состав входят преимущественно нафтеновые, парафиновые и ароматические углеводороды, а также небольшое количество других органических веществ. Диэлектрическое пробивное напряжение трансформаторного масла значительно снижается при увеличении содержания воды выше 50 % насыщения. Растворимость воды в масле зависит от температуры и варьируется примерно от 20 мкг/г при 0 °С до 800 мкг/г при 100 °С. Обычно масло, используемое в качестве изоляции

трансформаторов, является относительно сухим и имеет содержание воды от 5 до 50 мкг/г. Технические требования к содержанию воды в масле, используемом в новых силовых трансформаторах, не превышают 10 мкг/г [1-2].

Влагосодержание – это один из параметров трансформаторного масла, определяющих его качество. Данный параметр является одним из наиболее критических, за которым ведется тщательный контроль. Анализ влагосодержания масла с последующей оценкой влагосодержания твёрдой изоляции имеет огромное значение для описания состояния электрооборудования – и это составляет главную цель анализа масла работающего оборудования на содержание воды.

Для качественной оценки влагосодержания трансформаторного масла необходимо точно и достоверно измерять содержание влаги в диапазоне от 5 до 50 мкг/г. При этих значениях влажности члены комитета Американского общества по испытаниям и материалам (ASTM) отмечают систематические погрешности, которые зависят как от типа прибора, так и от характера системы растворителей, используемых при измерении.

Измерение влагосодержания трансформаторных масел обычно производится путем титрования реактивом Карла Фишера волнометрическим, либо кулонометрическим методом [3]. Конечная точка титрования в обоих случаях определяется как точка, в которой скорость титрования падает ниже заданного значения. Эта конечная точка зависит от нескольких факторов, в том числе от природы растворителя, растворимости влагосодержащего вещества в растворителе, наличия других веществ, кроме воды, которые реагируют с реагентом Карла Фишера, протекания побочных химических реакций (например, этерификации) с образованием воды, а также от доступа влаги для реакции с реагентом Фишера [4].

Для точного измерения влажности необходима полная сольubilизация образца в растворителе для титрования. Особое внимание следует уделять тому, чтобы влага не задерживалась в мицеллах или эмульсиях масла. Хлороформ, трихлорэтан, толуол и спирты, такие как 1-пентанол и 1-октанол, являются предпочтительными растворителями для достижения максимальной растворимости масел при титровании влаги реактивом Карла Фишера, поскольку они увеличивают растворимость масла и совместимы с титрантом.

Волнометрический метод измерения влажности позволяет использовать самые разные типы и концентрации растворителей для обеспечения полной сольubilизации анализируемого вещества.

Кулонометрический метод, который является более чувствительным, не обладает гибкостью в выборе типов и концентраций растворителей.

Приоритетной задачей является разработка нового метода и прибора для контроля влагосодержания трансформаторного масла, чувствительного к связанной и эмульгированной воде.

### **Источники**

1. Griffin P., Bruce C., Christie J. Minutes of the 55th Annual International Conference of Doble Clients //Doble Engineering Co., Watertown, MA. – 1988.

2. Патент № 2751452 С1 Российская Федерация, МПК G01N 21/59. Способ определения влагосодержания трансформаторного масла: № 2020136714 : заявл. 09.11.2020 : опубл. 14.07.2021 / В. К. Козлов, О. Е. Куракина, О. А. Туранова, А. Н. Туранов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Казанский государственный энергетический университет".

3. Gedemer, T.; Frey, R. Am. Lab. 1975, 8 (March), 47-53

4. Cedergren A., Lundström M. Electrochemical determination of water in environmental hydraulic fluids using the Karl Fischer reaction //Analytical chemistry. – 1997. – Т. 69. – №. 19. – С. 4051-4055.

УДК 621.315

## **ВЛИЯНИЕ РЕГУЛЯРНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ НА СТАБИЛЬНОСТЬ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

Адель Ильсурович Рахимов

Науч. рук. канд. пед. наук, доц. Екатерина Валерьевна Артамонова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

adel\_raximov@mail.ru

**Аннотация.** Стабильность электроснабжения является ключевым аспектом для эффективной работы промышленных предприятий и обеспечения комфорта в жилищном секторе. В данной статье рассматривается вопрос влияния систематического технического обслуживания кабельных линий на уровень стабильности электроснабжения. Анализируются методы и технологии, применяемые при

обслуживании кабельных систем, и оценивается их вклад в обеспечение бесперебойного электроснабжения.

**Ключевые слова:** электроснабжение, кабельные линии, техническое обслуживание, стабильность, эффективность.

## **THE IMPACT OF REGULAR TECHNICAL MAINTENANCE OF CABLE LINES ON ELECTRICAL SUPPLY STABILITY**

Adel I. Rakhimov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

adel\_raximov@mail.ru

**Abstract.** The stability of electrical supply is a key aspect for the effective operation of industrial enterprises and ensuring comfort in the residential sector. This article examines the impact of systematic technical maintenance of cable lines on the level of electrical supply stability. The methods and technologies used in cable system maintenance are analyzed, and their contribution to ensuring uninterrupted electrical supply is assessed.

**Keywords:** electrical supply, cable lines, technical maintenance, stability, efficiency.

Регулярное техническое обслуживание кабельных линий на промышленных предприятиях является важной составляющей обеспечения стабильности электроснабжения. Эффективное обслуживание не только предотвращает отказы в работе, но также снижает эксплуатационные риски и продлевает срок службы электрооборудования. В современных условиях, с ростом потребительских ожиданий и внедрением строгих стандартов качества электроэнергии, это становится критически важным аспектом для предприятий.

Следует отметить, что современные методы диагностики кабельных линий значительно опережают технологии прошлых десятилетий. Применение инновационных средств, таких как тепловизионные камеры и ультразвуковые сканеры, позволяет выявлять даже скрытые дефекты и перегревы в кабельных системах [1]. Тепловизионные камеры, например, способны оперативно обнаруживать перегревы и точки, где необходима замена кабельных участков. Это важное средство предотвращения потенциальных аварий и повышения общей надежности электроснабжения.

Кроме того, современные технологии позволяют прогнозировать оставшийся срок службы кабельных линий. Системы мониторинга и диагностики анализируют параметры работы кабельных систем и строят

модели на основе реальных данных. Это позволяет предприятиям планировать замену оборудования заблаговременно, уменьшая риски отказов и неожиданных расходов [2].

Следует подчеркнуть, что регулярное обслуживание кабельных линий, особенно при использовании передовых технологий, имеет потенциал для существенной экономии. Данные Мирового Энергетического Совета указывают на то, что эффективное обслуживание кабельных сетей может снизить потери электроэнергии и увеличить энергоэффективность на предприятиях до 10-15% [3]. Это приводит к не только сокращению расходов на энергопотребление, но также снижению негативного воздействия на окружающую среду.

Интеграция Интернета вещей (*IoT*) и систем искусственного интеллекта открывает новые возможности для создания интеллектуальных систем мониторинга и диагностики. Например, сенсоры могут непрерывно отслеживать параметры окружающей среды кабелей, включая температуру и влажность, а алгоритмы машинного обучения способны анализировать эти данные и выявлять аномалии. Это позволяет оперативно реагировать на потенциальные проблемы и снижать риски для непрерывности электроснабжения [4]. Статистические данные подтверждают важность регулярного технического обслуживания кабельных линий для обеспечения стабильности электроснабжения. Согласно отчету Всемирной энергетической ассоциации, внедрение современных методов обслуживания, таких как мониторинг состояния кабельных систем с использованием IoT и алгоритмов машинного обучения, позволило снизить количество аварий и перебоев в электроснабжении на предприятиях в России на 25% за последние пять лет. Эти цифры являются веским доказательством того, что техническое обслуживание с применением современных технологий действительно оказывает положительное влияние на стабильность и надежность электроснабжения в стране [5].

В заключение, следует подчеркнуть, что регулярное техническое обслуживание кабельных линий, поддерживаемое современными технологиями диагностики, играет ключевую роль в обеспечении стабильности электроснабжения на предприятиях. Оно способствует экономии, снижению рисков и повышению энергоэффективности, что является особенно важным аспектом в современных условиях, характеризующихся ростом потребительских ожиданий и строгими стандартами качества электроэнергии.

## Источники

1. Положение ПАО «Россети» о единой технической политике в электросетевом комплексе. М.: ПАО «Россети». 2013. 196 с.
2. Сазыкин В.Г. Повышение энергобезопасности агропромышленных районов Кубани // Чрезвычайные ситуации: промышленная и экологическая безопасность. 2011. № 1–3 (6–8). С. 160–164.
3. Кудряков А.Г., Сазыкин В.Г., Холодняк С.В. Техническое состояние агропромышленных кабельных линий напряжением 6–10 кВ // Актуальные проблемы энергетики АПК: Материалы V Международной научнопрактической конференции. Саратов: Буква. 2014. С. 174–178.
4. Султанов Г.А., Сазыкин В.Г., Кудряков А.Г. Современные технологии проектирования систем электроснабжения. Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2015. № 52. С. 224–228.
5. Сазыкин В.Г., Кудряков А.Г. Анализ технического состояния электрооборудования распределительных сетей напряжением 6–10 кВ АПК // Успехи современной науки. 2017. № 1. Т. 1. С. 97–102.

УДК 621.314.213.3

## ПРИМЕНЕНИЕ НАТУРАЛЬНЫХ ЭФИРОВ В КАЧЕСТВЕ ИЗОЛЯЦИОННОЙ ЖИДКОСТИ В ТРАНСФОРМАТОРАХ

Алина Магасумовна Субханова<sup>1</sup>, Ольга Евгеньевна Куракина<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>alina8sub@gmail.com, <sup>2</sup>Random\_jj@mail.ru

**Аннотация.** Изоляционные масла являются одной из важнейших частей силовых трансформаторов, они действуют не только как электрическая изоляция, но и как охлаждающая жидкость внутри трансформатора. В большинстве трансформаторов в настоящее время преимущественно используется трансформаторное масло минерального происхождения (ТММ), однако сейчас активно ведется изучение более эффективных и устойчивых изоляционных жидкостей. Одним из вариантов является полностью биоразлагаемый натуральный эфир из семян рапса. В данной работе мы рассмотрим его преимущества перед минеральными маслами, а также приведем пример трансформатора с использованием данного эфира.

**Ключевые слова:** трансформатор, натуральный эфир, трансформаторное масло, изоляционная жидкость, диэлектрик.

# THE USE OF NATURAL ESTERS AS AN INSULATING LIQUID IN TRANSFORMERS

Alina M. Subkhanova <sup>1</sup>, Olga E. Kurakina <sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>alina8sub@gmail.com, <sup>2</sup>Random\_jj@mail.ru

**Abstract.** Insulating oils are one of the most important parts of power transformers, they act not only as electrical insulation, but also as a coolant inside the transformer. At present, most transformers mainly use transformer oil of mineral origin (TMM), however, more effective and stable insulating fluids are being actively studied. One of the options is a completely biodegradable natural ether from rapeseed. In this paper, we will consider its advantages over mineral oils, and also give an example of a transformer using this ether.

**Keywords:** transformer, natural ether, transformer oil, insulating liquid, dielectric.

В современных трансформаторах, главным образом, используется минеральное трансформаторное масло (ТММ) в качестве охлаждающей и изолирующей среды. Однако данное масло обладает определенными недостатками: оно является горючим, взрывоопасным и не разлагается в природе. Возникают трудности с утилизацией из-за низкой способности масла к биоразлагаемости после окончания его срока службы. Довольно часто производятся реконструкции различных объектов, сети переводятся на класс более высокого напряжения, подстанции перемещаются ближе к потребителю, что несет за собой еще большую опасность при взрыве и пожаре на трансформаторах.

Снизить риск возгорания удастся благодаря исключительно высокой температуре воспламенения рапсового масла, равной 360 °С по сравнению с всего лишь 160 °С у минерального масла, что также позволяет достичь увеличения нагрузочной способности до 20 % [1].

Степень полимеризации бумаги при старении в изоляционных жидкостях уменьшается медленнее в растительных диэлектриках, чем в минеральном масле. Это означает, что при одинаковых условиях растительные масла позволяют достичь более длительного срока службы бумаги [2].

Преимущества использования растительного масла можно заметить также при транспортировке, ведь в таком случае трансформатор можно перевозить даже после его заполнения маслом, в отличие от минерального масла, которое требует отдельной упаковки при перевозке. Это позволяет сократить затраты и упростить оформление необходимых документов [3].

Компания ООО "Высоковольтные Технологии" является единственными в СНГ производителями пожаробезопасных и биоразлагаемых диэлектрических жидкостей для применения в силовых трансформаторах. Жидкости Biotemp FR™ и ПЭТ 5-9 СЖК™ изготавливаются полностью из Российского сырья.

Трансформаторы ТНГ, которые заполняются негорючей огнеустойчивой жидкостью, представляют собой качественную альтернативу сухим трансформаторам. Вместо трансформаторного масла марки ВГ, ГК, используется экологически чистая жидкость Biotemp FR3.

Трансформаторы ТНГ также обладают преимуществами по установке в соответствии с нормами ПУЭ, указанными в пунктах 4.2.115, 4.2.216 и 4.2.237. Они могут использоваться в качестве альтернативы трансформаторам с сухой изоляцией и трансформаторам, заполненным диэлектрической жидкостью "совтол" и "совол" [4].

Такие трансформаторы в среднем на 20% дешевле сухих трансформаторов. Использование пожаробезопасной жидкости в силовых трансформаторах позволяет снизить затраты на противопожарные мероприятия, требование пункта 4.2.118 ПУЭ по огнестойкости здания 0,25 часа против 0,75 часа у масляных трансформаторов позволяют удешевить стоимость подстанции за счет уменьшения толщины всех конструкций (несущие стены, колонны, перекрытия) [5].

Разработка новых материалов с улучшенными характеристиками позволяет сетевым службам электроснабжения модернизировать старые трансформаторы, что приводит к повышению их безопасности, увеличению срока службы и упрощению технического обслуживания.

Однако, в России еще необходимы дальнейшие исследования и разработки для оптимизации производства трансформаторов с применением натуральных эфиров. Это включает разработку новых материалов и изоляционных сред, а также улучшение конструкции и производства трансформаторов.

В целом, с прогрессом и развитием научных исследований в области трансформаторов с применением натуральных эфиров можно ожидать улучшение эффективности и устойчивости энергетических систем, а также сокращение негативного влияния на окружающую среду. Это делает данную тему актуальной и перспективной для будущих исследований и инноваций в области энергетики.

## Источники

1. Аникеева Н.А. Исследование характеристик растительных масел для высоковольтного маслонаполненного электрооборудования. Диссертация на соискание ученой степени кандидата экономических наук / Н.А. Аникеева [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dissercat.com>. (дата обращения 20.10.2023)
2. Козлов, В. К. Механизмы старения трансформаторных масел / В. К. Козлов, Д. М. Валиуллина, А. Н. Туранов // Актуальные научные исследования в современном мире. – 2021. – № 11-9(79). – С. 95-103. – EDN ASZDJL.
3. Аникеева М.А. Исследование растворимости газов в рапсовом масле как электроизоляционном материале / М.А. Аникеева, С.М. Коробейников // Теплофизика высоких температур. 2020. – Т. 54, №1
4. Правила устройства электроустановок: 7-е издание (ПУЭ)/ Главгосэнергонадзор России. М.: Изд-во ЗАО «Энергосервис», 2007. 610 с.
5. Торшин Ю.В. Создание и применение изоляционных масел на основе возобновляемого растительного сырья / Ю.В. Торшин, В.А. Шарковский // Электротехника. – 2011. – №9. – С. 46–53

УДК 621.316.1

## УДЕЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ И ПОСТОЯННАЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ДЛЯ ЛИНИЙ 10 И 220 КВ

Искандер Радикович Тухфатуллин

Науч. рук. канд. физ.-мат. наук, доц. Рустэм Газизович Хузяшев

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

[iskander.tukhfatullin@mail.ru](mailto:iskander.tukhfatullin@mail.ru)

**Аннотация.** В тезисе рассматривается формирование сигналов переходного процесса в простейших линиях среднего и высокого класса с помощью пакета PSCAD с целью реализации волнового метода определения мест повреждения в линиях среднего класса напряжения. Демонстрируется сравнение линий на основе удельных параметров и высоты траверсы.

**Ключевые слова:** сигнал переходного процесса, волновой метод определения места повреждения, PSCAD, удельные параметры, постоянная распространения, траверса.

# LINEAR PARAMETERS AND PROPAGATION CONSTANT FOR 10 AND 220 KV LINES

Iskander R. Tukhfatullin  
 KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
 iskander.tukhfatullin@mail.ru

**Abstract.** The thesis examines the generation of transient signals in simple medium and high-class lines using the PSCAD package in order to implement the wave method of fault location in medium voltage class lines. Comparison of lines based on specific parameters and traverse height is demonstrated.

**Keywords:** transient signal, wave method of fault location, PSCAD, specific parameters, propagation constant, traverse.

Волновой метод определения места повреждения (ВМОМП) основан на регистрации бегущей волны, генерируемой в месте повреждения, на концах линии в единой спутниковой шкале времени. Зная разницу времени прихода в эти концы, мы можем определить место возникновения этого сигнала [1]. С целью модернизации программно-аппаратного комплекса (ПАК) ВМОМП мы изучаем процессы формирования сигналов переходного процесса (СПП).

Сравнение линий разных высокого и среднего классов напряжения представляет научно-практический интерес, поскольку ПАК ВМОМП целесообразнее имплементировать в сетях 220 кВ. Линии 6-35 кВ обладают более значительной протяженностью, разветвлённой топологией сети и сложностью физического процесса распространения СПП.

Параметры схемы замещения для линий 10 и 220 кВ рассчитываются в пакете PSCAD [2] на основе геометрических параметров, показанных на рис. 1.

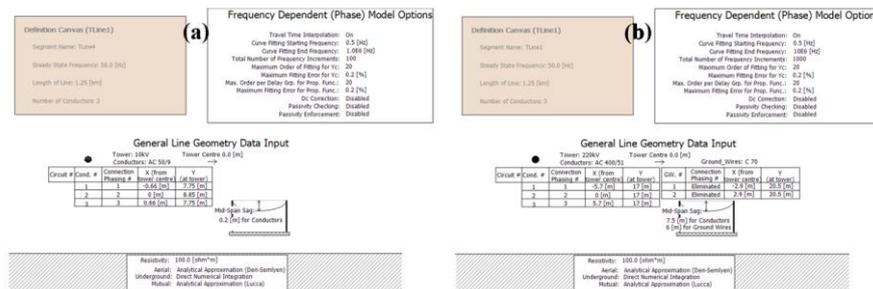


Рис. 1. Частотно-зависимые модели воздушной линии электропередач (ЛЭП), реализуемые в PSCAD на основе компонента Transmission Line: а – 10 кВ; б – 220 кВ

```

-----
PHASE DOMAIN DATA @      1.000 Hz:
-----
SERIES IMPEDANCE MATRIX (Z) [ohms/m]:
  0.740735269E-04,0.168222413E-04  0.107465510E-05,0.894073960E-05  0.107074506E-05,0.807018994E-05
  0.107465510E-05,0.894073960E-05  0.740809932E-04,0.168212720E-04  0.107465510E-05,0.894073960E-05
  0.107074506E-05,0.807018994E-05  0.107465510E-05,0.894073960E-05  0.740735269E-04,0.168222413E-04

SHUNT ADMITTANCE MATRIX (Y) [mhos/m]:
  0.270000000E-08,0.506704224E-10  0.000000000E+00,-.704880475E-11  0.000000000E+00,-.251469722E-11
  0.000000000E+00,-.704880475E-11  0.270000000E-08,0.525357843E-10  0.000000000E+00,-.704880475E-11
  0.000000000E+00,-.251469722E-11  0.000000000E+00,-.704880475E-11  0.270000000E-08,0.506704224E-10

```

Рис. 2. Пример матриц комплексных сопротивлений  $Z$  и проводимостей  $Y$  для линии 220 кВ при частоте 1 Гц

Главная диагональ матриц  $Z$  и  $Y$  содержит фазные параметры. Недиagonальные элементы матриц содержат межфазные параметры, причем номер строки или столбца соответствует фазе. Например, первая строка и второй столбец матриц содержит параметры между фазами  $a$  и  $b$ .

Проводился расчет погонных параметров линии при различных частотах. На основе формул, указанных в [3], был рассчитан коэффициент распространения, по действительной и мнимой частям которого были вычислены коэффициент затухания и скорость распространения бегущей волны соответственно.

В трехфазном канале передачи существуют три модовых канала, значительно отличающихся по своим характеристикам распространения бегущей волны. Сигнал бегущей волны в каждом из фазных проводов является суммой сигналов, распространяющихся в каждом из модовых каналов. Взаимосвязь этих сигналов визуальнo и аналитически изложена в [4]. В работе также демонстрируется расчет коэффициента распространения трех модовых каналов согласно формуле:

$$\bar{Z} \times \bar{Y} \times \bar{T}_u = \bar{T}_u \times \bar{\gamma}_u^2 \quad (1)$$

где  $\bar{T}_u$  – квадратная матрица преобразований напряжений, которая диагонализует матрицу  $\bar{Z} \times \bar{Y}$ ;  $\bar{\gamma}_u$  – матрица коэффициентов распространения трех волновых каналов, которая состоит из собственных значений матрицы  $\bar{Z} \times \bar{Y}$ . Расчет коэффициентов распространения трех волновых каналов осуществлялось в программном комплексе Matlab [5] с помощью функции *eig*.

Судя по частотным характеристикам фазовых и модовых коэффициента затухания и скорости распространения бегущей волны для линии, СПП затухает быстрее в линии 10 кВ.

## Источники

1. Практическая реализация волнового метода определения места повреждения в разветвленных распределительных электрических сетях 6(10) кВ / Р. Г. Хузяшев, И. Л. Кузьмин, В. Д. Васильев, С. М. Тукаев // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2019. – № 2(53). – С. 98-107. – EDN ZBXMGТ.
2. PSCAD [Электронный ресурс] // URL: <https://www.pscad.com> (дата обращения: 10.09.23).
3. Шалыт Г. М. Определение мест повреждения в электрических сетях. – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 312 с.
4. Смирнов А. Н. Волновой метод двухсторонних измерений для определения места повреждения воздушной линии электропередачи 110–220 кВ: автореф. дисс. канд. наук. – Иваново, 2015. – 209 с.
5. Matlab [Электронный ресурс] // URL: <https://www.mathworks.com> (дата обращения: 02.10.23).

УДК 621-311

## ВЛИЯНИЕ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ СЕТИ 6/10 КВ НА ПОКАЗАТЕЛИ SAIDI И SAIFI

Азат Ильгизович Фарраев<sup>1</sup>, Виктор Владимирович Максимов<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>farraev99@mail.ru, <sup>2</sup>viktor.maksimov.1968@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассматривается способ улучшения показателей SAIDI и SAIFI путем внедрения системы автоматического восстановления сети 6/10 кВ (САВС).

**Ключевые слова:** система автоматического восстановления сети, САВС, реконструкция распределительных сетей, восстановление электроснабжения, автоматизация энергосистемы, надежность электроснабжения.

## THE IMPACT OF THE IMPLEMENTATION OF THE AUTOMATIC NETWORK RECOVERY SYSTEM ON THE SAIDI AND SAIFI INDICATORS

Azat I. Farraev<sup>1</sup>, Viktor V. Maksimov<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>farraev99@mail.ru, <sup>2</sup>viktor.maksimov.1968@mail.ru

**Abstract.** The article discusses a way to improve the SAIDI and SAIFI indicators by implementing an automatic network recovery system (ANRS).

**Keywords:** automatic network restoration system, ANRS, reconstruction of distribution networks, restoration of power supply, automation of the power system, reliability of power supply.

В настоящее время в распределительных электрических сетях имеются участки со сложной топологией. Большое количество КЛ 10(6) кВ расположено в труднодоступных местах, что существенно затрудняет поиск поврежденных участков линии и в совокупности с низким уровнем автоматизации (телемеханики) приводит к продолжительности аварийных отключений и значительному недоотпуску электроэнергии. Улучшение показателей SAIDI (System Average Interruption Duration Index) и SAIFI (System Average Interruption Frequency Index) в распределительных сетях является одной из наиважнейших задач [1]. Одним из методов улучшения данных показателей является внедрение систем автоматического восстановления сети (CABC) [2].

В Казани в 2019 году была принята программа реализации умных сетей «Smart-grid». Программой предусмотрена организация системы автоматической восстановления сети 6/10 кВ в городе Казани. Система должна анализировать и восстанавливать питание в наиболее короткие сроки и с минимальным количеством отключенных потребителей.

Изменение показателей SAIFI и SAIDI после внедрения CABC в объекты г. Казани

Год выполнения модернизации	РЭС	РП	SAIFI до	SAIDI до	SAIFI после	SAIDI после	% улучшения SAIFI	% улучшения SAIDI
2020	РЭС-1	РП-1	0,46	47	0,39	16,25	15,217%	65,43%
2020	РЭС-1	РП-2	0,41	38,2	0,35	16,96	14,634%	55,60%
2021	РЭС-1	РП-3	0,6	47,89	0,37	24,16	38,333%	49,55%
2022	РЭС-1	РП-4	0,67	43,75	0,5	26,6	25,373%	39,20%

Данная система положительно влияет на ключевые показатели SAIDI и SAIFI. Как видно из приложенной таблицы, во внедрённых участках сети крайне сильно растёт показатель SAIDI, за счет возможности в наикротчайшие сроки осуществить дистанционные переключения. Во время проведения натуральных испытаний система показала, что при

однофазном замыкании на землю, она способна восстановить питание потребителей менее чем за 3 минуты со времени возникновения аварии в сети, а при ликвидации аварии при помощи оперативного персонала среднее время продолжительности аварийного отключения была 1,5-2 часа [3].

Также за счет быстрой локализации при ОЗЗ, система не позволяет данной аварии перерасти в межфазное замыкание и повредить большее количество оборудования, что положительно влияет на показатели SAIFI [4]. Так же на данный показатель влияет реконструкция и замена оборудования при автоматизации сети [5].

В среднем показатель SAIDI по одному из РЭС г. Казани после внедрения САВС улучшилось на 52%, а показатель SAIFI на 23%.

Также за счет меньшего простоя при переключениях за счет автоматизации, улучшаются показатели недоотпуска электроэнергии ENS.

Стоит отметить также, что из-за возможности дистанционного оперирования оборудованием с диспетчерского пункта, повышается безопасность эксплуатационного персонала.

### **Источники**

1. Технические и технологические проблемы распределительных электрических сетей. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2014/C82/067.pdf>. (дата посещения 06.11.2023).

2. Юдин А.Ю., Шауркин М.О., Малых А.В., Окладников К.К. Система автоматического восстановления электроснабжения как интеллектуальное решение для распределительной сети 10кВ // International Journal of Humanities and Natural Sciences,. - 2022. - №11-4 (74)

3. Система автоматического восстановления электроснабжения (САВС) СЕТЕЙ 6кВ, 10кВ, 20кВ (FLISR/FDIR) // Инженерная компания ООО «Прософт-Системы» URL: <https://prosoftsystems.ru/solution/show/sistema-avtomaticheskogo-vosstanovlenija-jelektrosnabzhenija-savs-setej-6kv-10kv-20kv-flisrfdir> (дата обращения: 06.11.2023).

4. Фарраев А.И. Система автоматического восстановления сети 6/10 кВ // ТИНЧУРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2023 «ЭНЕРГЕТИКА И ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ». - Казань: КГЭУ, 2023. - С. 148-151

5. Система автоматического восстановления электроснабжения сетей 6–10 кВ на базе ПТК «Цифровой РЭС» // Инженерный центр Энергосервис URL: [https://enip2.ru/Publication/public\\_art\\_SAVS\\_2020.pdf](https://enip2.ru/Publication/public_art_SAVS_2020.pdf) (дата обращения: 06.11.2023).

## ВЛИЯНИЕ СИЛОВЫХ МОМЕНТОВ НА ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ

Никита Александрович Шипиловских  
Науч. рук. асс. Евгений Васильевич Клейн  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
retman41@mail.ru

**Аннотация.** Влияние силовых моментов на электроустановки является одной из важных проблем в области электротехники. Силовые моменты, возникающие в результате механического воздействия на электроустановки, могут вызывать различные негативные последствия, включая повреждение оборудования, нарушение работы систем и даже возгорание.

**Ключевые слова:** силовые моменты, механика, силы, безопасность, электроустановки, электрооборудование, нагрузки

## INFLUENCE OF FORCE TORQUES ON ELECTRICAL INSTALLATIONS

Nikita A. Shipilovskikh  
KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
retman41@mail.ru

**Abstract.** The influence of force moments on electrical installations is one of the important problems in the field of electrical engineering. Force moments resulting from mechanical impact on electrical installations can cause various negative consequences, including damage to equipment, disruption of systems, and even fire.

**Keywords:** power moments, mechanics, electrical installations, electrical equipment, forces, safety, loads

В современном мире электроэнергетика [1] является одной из ключевых отраслей, обеспечивающих комфорт и развитие общества. Сегодня под термином "электрические электроустановки" понимаются разнообразные электрические устройства, которые необходимы для использования электроэнергии на различных объектах. Но при создании и эксплуатации электроустановок существует ряд проблем, связанных с воздействием силовых моментов.

Силовой момент - это физическая величина, которая характеризует вращательное движение тела вокруг определённой оси или точки. Силовые моменты представляют собой внешние воздействия, вызванные работой электрических машин и устройств. Они могут привести к различным повреждениям и даже авариям в электроустановках.

Происхождение силовых моментов [2] связано со следующими факторами: приложение силы на расстоянии, направление силы, взаимодействие сил

Силовой момент играет важную роль в механике и динамике систем. Он может вызывать вращение тела вокруг оси, изменять его угловую скорость и влиять на стабильность и поведение системы вращения.

Изучение влияния силовых моментов на электроустановки имеет большое значение [3] по нескольким причинам:

1. Безопасность: Силовые моменты могут вызывать вращательные движения и непредвиденные силы, которые могут повлиять на стабильность и безопасность работы электроустановок.

2. Проектирование и конструирование: Изучение силовых моментов позволяет инженерам и проектировщикам учесть их воздействие на электроустановки при их разработке.

3. Повышение эффективности и долговечности: Анализ силовых моментов помогает оптимизировать работу электроустановок, уменьшить износ и повысить их эффективность.

Правильное распределение нагрузок в электроустановках [4] является важным для обеспечения безопасной и эффективной работы системы. Оно помогает предотвратить перегрузку и неравномерное распределение сил, что может вызывать появление силовых моментов, повреждение оборудования и аварийные ситуации.

Благодаря расчёту нагрузок [5], можно предварительно рассчитать силовые моменты перед установкой электрооборудования, чтобы определить достаточную ёмкость и габариты системы, выбор подходящего материала. Это значительно уменьшает риск того что электрическое оборудование или электростанции выйдут из строя. Знание о влиянии силовых моментов на электроустановки является важным при проектировании, монтаже и эксплуатации электрооборудования.

В заключение, ознакомление с вопросами влияния силовых моментов на электроустановки позволит участникам отрасли внести свой вклад в повышение безопасности и эффективности работы электроэнергетики. Осознание рисков и возможностей позволит найти

оптимальные решения для электроустановок в различных сферах применения.

### Источники

1. ENERGY-SYSTEMS [Электронный ресурс]. <https://energy-systems.ru/main-articles/electrolaboratoriy/4753-osobennosti-i-naznachenie-elektrostanovok?ysclid=loit6hgbgy119856792> (дата обращения: 30.10.2023).

2. Allasamsonova [Электронный ресурс]. <https://allasamsonova.ru/moment-sily-i-plecho-sily/?ysclid=loits54f8o978310992> (дата обращения: 30.10.2023).

3. TRUDOHHRANA [Электронный ресурс]. <https://www.trudohhrana.ru/article/103482-m12-organizatsionnye-i-tehnicheskie-meropriyatiya-po-elektrobezopasnosti?ysclid=loivco4hsu192487235> (дата обращения: 31.10.2023).

4. ЭлектроСтрой [Электронный ресурс]. [https://ues-company.ru/dom/tok-peregruzki-2.html?utm\\_referrer=https%3A%2F%2Fya.ru%2F](https://ues-company.ru/dom/tok-peregruzki-2.html?utm_referrer=https%3A%2F%2Fya.ru%2F) (дата обращения: 02.11.2023).

5. Молодой Ученый [Электронный ресурс]. <https://moluch.ru/archive/339/76123/> (дата обращения: 03.11.2023).

УДК 621.311.19

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО МОДЕРНИЗАЦИИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Шамиль Рустамович Яхин, Ильгиз Фанзилевич Галиев  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия  
yahinshr@mail.ru

**Аннотация.** В тезисе приведен анализ методов оценки эффективности мероприятий по модернизации участков распределительной сети 6(10) кВ с целью повышения надёжности электроснабжения, выявлены их основные преимущества и недостатки, предложена методика оптимального секционирования сети.

**Ключевые слова:** распределительная сеть, модернизация сети, надёжность электроснабжения, секционирование, реклоузер.

# ANALYSIS OF METHODS FOR EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF MEASURES TO MODERNIZE DISTRIBUTION NETWORKS

Shamil R. Yakhin, Ilgiz F. Galiev  
KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
yahinshr@mail.ru

**Abstract.** The thesis provides an analysis of methods for evaluating the effectiveness of measures to modernize sections of the 6(10) kV distribution network in order to increase the reliability of power supply, their main advantages and disadvantages are identified, and a method for optimal network partitioning is proposed.

**Keywords:** distribution network, network modernization, reliability of power supply, partitioning, recloser.

При использовании электрических систем распределительных сетей (РС), они подвергаются разнообразным внешним факторам, рабочим условиям и обслуживанию, которые трудно имитировать. Согласно ГОСТ 27.002-2015, надежность электроустановок оценивается через набор показателей надежности (ПН), таких как безотказность, долговечность, ремонтпригодность, стабильность и других [1]. Оценка этих показателей включает статистический метод, который состоит из сбора и анализа эксплуатационных данных.

К основополагающими документами, которые сейчас используются для выбора оптимального места секционирования распределительной сети (РС), являются стандарты электросетевых компаний [2]. Стандарт ПАО «Россети» определяет выбор мест установки реклоузеров по критерию минимального значения показателя SAIFI. Минимальное значение SAIFI достигается при равенстве произведения количества потребителей (N) на протяжённость фидера (L) со всеми отпайками на каждом из участков сети.

$$N_i \cdot L_i \approx const, \quad (1)$$

где  $N_i$  - количество потребителей, подключённых к участку  $i$ ;  $L_i$  - суммарная протяжённость фидера с отпайками на участке  $i$ . После применения данного критерия места установки реклоузеров должны быть скорректированы:

- по условиям близости к дорогам;
- по условию отсутствия связи;

- по условиям неравномерности распределения потребителей по фидеру;
- по иным причинам невозможности установки реклоузера в конкретном месте.

Похожая, но дополненная методика секционирования РС с помощью реклоузеров существует у предприятия «Таврида-электрик» [3]. Данный способ выбора места установки реклоузеров и их количества основывается на индексах SAIFI, ARAE, RNRE.

Данный стандарт и методика является в настоящее время единственной используемой в практике эксплуатации, при этом она характеризуется следующими недостатками:

- при выборе места установки не осуществляется учет нагрузок потребителей электрической сети, подключенных к разным участкам в результате установки реклоузера;
- не учитываются показатели надежности электрической сети;
- отсутствует четкий критерий выбора наиболее оптимального места установки реклоузера, а эффективность его размещения определяется после установки путем сравнения показателей аварийных и плановых отключений электрической сети до и после установки.

Общая методика выбора, помимо расчетов надежности, должна содержать в себе расчет экономической эффективности мероприятий, включая учет нагрузочных потерь при оптимизации точки размыкания сети. При этом точка размыкания должна удовлетворять условию, что во всех режимах сдвоенного фидера уровни напряжения в точках отпуска ЭЭ не должны отклоняться более чем на 10% от номинального. При этом стоимость затрат на мероприятия должна быть в пределах допустимых сроков окупаемости при выбранной стратегии финансирования [4].

Секционирование не является единственным мероприятием повышения надежности электроснабжения. При отсутствии экономической целесообразности в секционировании или недостаточного бюджета на установку дорогостоящего оборудования, возможно повысить надежность уменьшив количество факторов, влияющих на отключения. Так, расчистив просеку воздушной линии (ВЛ) от растительности, можно избежать большого количества отключений. Заменяя неизолированные провода на проблемных участках на самоизолированные, также можно избежать некоторого количества однофазных замыканий на землю.

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод что каждое мероприятие в общем реестре таковых, должно иметь определенное весовое значение - ранжироваться в комплексе надёжных и

стоимостных показателей для каждого иерархического уровня сети: магистраль, протяженное ответвление, ТП.

### **Источники**

1. ГОСТ 27.002-2015 “Надежность в технике. Термины и определения” / В.А. Нетес, В.Л. Шпер, Ю.И. Тарасьев, Г.Ф. Ковалев, Г.А. Федотова и др. - М.: Стандартинформ, 2016. - 29 с.

2. СТО 34.01-2.2-033-2017. СБОРНИК ТИПОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПАО «РОССЕТИ». Линейное коммутационное оборудование 6-35 кВ - секционирующие пункты (реклоузеры) Том 1.2 «Секционирующие пункты (реклоузеры)»

3. Вакуумный реклоузер. REC15. REC25. Техническая информация. ТЕР. Таврида Электрик. // URL: [https://www.tavrida.ru/upload/iblock/13b/nhmv9yffjzskaeo9ca4hdd5aj8qoff0o/TER\\_RecDoc\\_PG\\_5.pdf](https://www.tavrida.ru/upload/iblock/13b/nhmv9yffjzskaeo9ca4hdd5aj8qoff0o/TER_RecDoc_PG_5.pdf) (дата обращения 03.11.2023 г).

4. Разработка алгоритма и модели оптимизации числа и мест установки активно-адаптивных элементов секционирования с оценкой эффективности мероприятий в распределенной сети / И. Ф. Галиев, Ш. Р. Яхин, А. А. Пигалин, М. Ш. Гарифуллин // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2023. – № 5(80). – С. 90-97.

## СЕКЦИЯ 3. ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ

УДК 621.31

### ЭФФЕКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ НАГРУЗКОЙ КАК ИНСТРУМЕНТ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Владислав Валентинович Антипов

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент Георгий Евгеньевич Марьин

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

vlad.antipov.2003@yandex.ru

**Аннотация.** Данная статья исследует влияние цифровизации на эффективность производства в энергетической сфере. Авторы анализируют, как цифровые платформы позволяют более точное управление оборудованием, оптимизацию производства и распределения электроэнергии, а также улучшение надежности системы электроснабжения. Одновременно статья рассматривает вызовы, такие как кибербезопасность, связанные с внедрением цифровых технологий. Подводя итог, статья подчеркивает важность цифровизации в современной энергетике и ее роль в обеспечении устойчивости и эффективности энергоснабжения.

**Ключевые слова:** цифровизация, энергетическая сфера, компьютерное моделирование, цифровые системы управления, оптимизация, электроэнергия.

### EFFECTIVE LOAD MANAGEMENT AS A TOOL FOR POWER SUPPLY SYSTEM OPTIMIZATION

Vladislav V. Antipov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

vlad.antipov.2003@yandex.ru<sup>1</sup>

**Abstract.** This article explores the impact of digitalization on production efficiency in the energy sector. The authors analyze how digital platforms enable more precise equipment management, optimization of production and electricity distribution, and improvements in the reliability of the power supply system. Simultaneously, the article addresses challenges such as cybersecurity associated with the adoption of digital technologies. In conclusion, the article underscores the significance of digitalization in modern energy, emphasizing its role in ensuring sustainability and efficiency in power supply.

**Keywords:** digitalization, energy sector, computer modeling, digital control systems, optimization, electricity.

Современная электроэнергетика сталкивается с уникальными вызовами, включая быстрый рост источников возобновляемой энергии (ВИЭ) в общем энергетическом балансе, увеличение электрической мобильности с электромобилями и динамические изменения в образах потребления. Эти трансформации оказывают давление на энергетические сети, делая традиционные методы управления менее эффективными.

Согласно Международному энергетическому агентству (МЭА), доля ВИЭ в глобальном производстве электроэнергии выросла более чем на 20% за последнее десятилетие [1]. Такие источники, как солнечная и ветровая энергия, обладают переменными характеристиками, что приводит к колебаниям в производстве энергии. Это представляет собой значительное испытание для стабильности энергетических сетей. Доклад Всемирного экономического форума (ВЭФ) за 2021 год указывает, что изменчивость в производстве ВИЭ может увеличить вероятность сбоев в подаче электроэнергии [2].

Эффективное управление спросом предоставляет механизм для балансирования этой переменной генерации. Исследования Управления энергетической информации США (EIA) подчеркивают существенное снижение нагрузки в периоды пикового спроса с использованием современных систем управления спросом. Эти системы способствуют сглаживанию пиков потребления, уменьшая необходимость в дополнительном оборудовании, таком как резервные генераторы, и в конечном итоге сэкономят на инфраструктурных затратах [3].

Интеграция электрических автомобилей (ЭА) также представляет вызов для энергетических сетей. Согласно исследованию, Bloomberg New Energy Finance, к 2040 году ожидается, что более 50% всех новых продаваемых легковых автомобилей будут электрическими. Это создаст дополнительную нагрузку на систему. Системы управления нагрузкой могут помочь распределить зарядку ЭА во времени, чтобы избежать перегрузок и уменьшить риск снижения качества электропитания [4].

Важным аспектом эффективного управления спросом является интеграция данных о поведении потребителей. Исследования, проведенные Всемирным банком, показывают, что анализ данных о поведении потребителей может помочь в разработке стратегий управления спросом, учитывающих индивидуальные образцы потребления. Это позволяет более эффективно использовать энергию и снижать нагрузку в критические периоды.

## Источники

1. Воротницкий В.Э. Нормирование и снижение потерь электроэнергии в электрических сетях: результаты, проблемы, пути решения // Энергоэксперт. 2007. № 3. С. 10–19.
2. To the question of creation of energy consumer firm theory. Burganov R.A., Yudina N.A. Journal of Entrepreneurship Education. 2018. Т. 21. № 3. С. 1-5.
3. The prevalence of renewable energy in the russian energy market. Konnikov E.A., Osipova K.V., Yudina N.A., Korsak E.P. В сборнике: E3S Web of Conferences. 2019 International Scientific and Technical Conference Smart Energy Systems, SES 2019. 2019. С. 04018.
4. Гиниятов А.Р., Маслов И.Н. Обеспечение качества электроэнергии с помощью оптимизатора энергопотребления В сборнике: Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 170-летию со дня рождения В.Г. Шухова. Сборник докладов. Белгород, 2023. С. 69-71.

УДК 628.97

## АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЯ

Ангелина Рамисовна Гаффанова

Науч. рук. к. ф.-м. н., доцент Наталья Вячеславовна Денисова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

angelinagaffanova@mail.ru

**Аннотация.** В этой статье дается определение автоматизированной системы управления освещением, приведены основные преимущества ее использования, а также рассказывается о том, где применяется автоматизированная система освещения.

**Ключевые слова:** система управления, освещение, энергоэффективность, энергопотребление, безопасность.

## ANALYSIS OF THE APPLICATION OF AN AUTOMATED LIGHTING CONTROL SYSTEM

Angelina R. Gaffanova

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

angelinagaffanova@mail.ru

**Abstract.** This article defines an automated lighting control system, provides the main advantages of its use, and describes where an automated lighting system is used.

**Keywords:** control system, lighting, energy efficiency, energy consumption, safety.

Автоматизированная система управления освещения — современное техническое решение, предназначенное для эффективного и удобного контроля и управления осветительными устройствами в различных помещениях.

Одним из ключевых преимуществ автоматизированной системы управления освещением является возможность гибкого программирования осветительных схем и режимов. Пользователь может самостоятельно настроить параметры освещения в соответствии с конкретными потребностями и предпочтениями. Это позволяет создать оптимальные условия для работы, отдыха или развлечений в зависимости от текущего направления использования помещения. Кроме того, автоматизированная система управления освещением обладает функцией датчиков движения и освещенности. Благодаря им система самостоятельно определяет наличие людей в помещении и регулирует интенсивность освещения в зависимости от необходимости. Это позволяет существенно сэкономить электроэнергию и снизить затраты на обслуживание системы [1].

Интеграция системы управления освещением с другими инженерными системами, такими, как система климат-контроля или система безопасности, позволяет создать целостную среду управления помещением. Такая интеграция обеспечивает эффективную синхронизацию работы системы освещения с другими системами, что дополняет ее функциональность и повышает уровень комфорта и безопасности внутри помещения. Система также обладает возможностью удаленного управления, что позволяет использовать специальное приложение на смартфоне или компьютере, пользователь может контролировать и управлять освещением из любого места, где есть доступ к интернету. Автоматизированные системы освещения нашли широкое применение в различных сферах деятельности, существенно повышая уровень комфорта, энергоэффективность и безопасность. Их функциональность охватывает домашнюю среду, офисные помещения, торговые центры, общественные здания, спортивные объекты и даже уличное пространство [2].

В домашней обстановке автоматическая система освещения позволяет создавать разнообразные настройки и обеспечивать

оптимальное сочетание света в разных комнатах. Она может настраиваться на индивидуальные предпочтения каждого члена семьи, а также управляться через мобильное приложение для максимального удобства. Автоматический контроль яркости и включения/выключения света способствует экономии энергии и продлевает срок службы ламп. В офисном пространстве автоматизированная система освещения может быть настроена на максимально эффективное использование ресурсов и комфортных условий работы. Благодаря сенсорам движения и присутствия, свет автоматически включается при появлении человека в помещении и выключается при его отсутствии. Это позволяет снизить энергопотребление и сократить затраты на электричество [3]. Торговые центры и общественные здания также воспринимают преимущества автоматизированных систем освещения. Они позволяют создавать атмосферу, соответствующую специфике конкретного заведения, а также обеспечивать комфорт и безопасность посетителей. Опциональные возможности, такие как изменение цвета света или динамическое освещение, могут использоваться для выделения определенных зон или акцентирования внимания на определенных объектах. Спортивные объекты требуют особого подхода к освещению, и автоматизированные системы вполне соответствуют этим потребностям. Они способны обеспечивать правильное освещение спортивных площадок, учитывая различные виды спорта и соответствующие требования к интенсивности света. Высокая точность настроек и возможность регулировки яркости и направления света в режиме реального времени делает эти системы незаменимыми для спортивных мероприятий любого уровня [4].

Не ограничиваясь помещениями, автоматизированные системы освещения находят применение и на улицах городов. Уличное освещение может быть организовано таким образом, чтобы адаптироваться к окружающим условиям и обеспечить безопасность движения.

В результате изучения данного вопроса можно заключить, что автоматизированные системы освещения не только улучшают качество жизни людей, но также способствуют энергосбережению и повышению уровня безопасности в различных сферах применения. Их преимущества и гибкость в настройке делают их неотъемлемым компонентом современного общества [5]. В целом, автоматизированная система управления освещения предоставляет множество преимуществ для оптимизации энергопотребления, обеспечения комфортного освещения и повышения безопасности в помещениях. Ее использование является

актуальным решением в современных условиях, где эффективность и удобство играют важную роль.

### **Источники**

1. Султонов Р. А. У., Кодиров Х. М. У., Мирзалиев Б. Б. Выбор механических двигателей электрического тока, используемых в системе электропривода //Проблемы современной науки и образования. 2019. №. 11-2 (144).

2. Nosirovna N. N. et al. Energy saving technologies and problems of their implementation //Проблемы современной науки и образования. 2019. №.12-2 (145).

3. Mukhammadjonov M. S., Tursunov A. S., Abduraximov D. R. Automation of reactive power compensation in electrical networks //ISJ Theoretical & Applied Science. 2020. Т. 5. №. 85. С. 615-618.

4. Mukhammadjonov M. S., Tursunov A. S., Abduraximov D. R. Automation of reactive power compensation in electrical networks //ISJ Theoretical & Applied Science, 05 (85). 2020. С. 615-618.

5. O'G'Li A. D. R., O'G'Li R. I. N. Problems of using alternative energy sources //Проблемы современной науки и образования. 2019. №. 12-1(145).

УДК 621.31

## **ПРЕИМУЩЕСТВА УСТАНОВКИ УСТРОЙСТВ ЗАЩИТЫ ОТ ДУГОВЫХ ПРОБОЕВ И ИСКРОВЫХ ПРОМЕЖУТКОВ В ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЯХ**

Артур Георгиевич Гусаров<sup>1</sup>, Владимир Иванович Солуянов<sup>2</sup>

Науч. рук. канд.техн.наук, доцент Азат Ринатович Ахметшин

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>2</sup>АО «Татэлектромонтаж», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>arthur.gusarov@mail.ru<sup>1</sup>

**Аннотация.** На сегодняшний день одна из основных причин возникновения пожаров – это дуговой пробой в электрических сетях зданий, возникающий вследствие повреждения изоляции проводки, плохого контакта, внутреннего повреждения электротехнических изделий или некачественных монтажных работ. Основным защитным аппаратом от возгорания в таких случаях является устройство защиты от дуговых пробоев и искровых промежутков. В статье рассмотрен пример по интеграции

устройств защиты от дуговых пробоев во внутренние электрические сети действующего дошкольного образовательного учреждения. Практическое внедрение устройств защиты от дуговых пробоев в эксплуатируемом здании выявило преимущества и сложности, возникшие при их эксплуатации. Накопленный опыт найдет свое отражение при разработке изменений в Федеральный свод правил, в котором будут разработаны требования по установке и эксплуатации данных устройств в жилых и общественных зданиях.

**Ключевые слова:** УЗДП, устройства защиты, дуговой пробой, искровые замыкания, предупреждение пожаров, проектирование электрических сетей, электромонтаж.

## **ADVANTAGES OF INSTALLING DETECTION DEVICES AGAINST ARC-FAULT AND SPARK GAPS IN FUNCTIONING RESIDENTIAL AND PUBLIC BUILDINGS**

Artur G.Gusarov<sup>1</sup>, Vladimir I.Soluyanov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>2</sup>JSC «Tatelektromontazh», Kazan, Republic of Tatarstan

arthur.gusarov@mail.ru<sup>1</sup>

**Abstract.** Nowadays one of the main causes of fires is an arc-fault in the electrical networks of buildings, resulting from damage to the insulation of wiring, poor contact, internal damage to electrical products or substandard installation work. The main protective apparatus against fire in such cases is an arc-fault detection device and spark gaps. The practical implementation of arc fault protection devices in an operating building has revealed the advantages and difficulties that arose during their operation. The accumulated experience will be reflected in the development of amendments to the Federal Code of Regulations, which will develop requirements for the installation and operation of these devices in residential and public buildings.

**Keywords:** AFDD, protection devices, arc fault, spark gaps, fire prevention, design of electrical networks, electrical installation.

За 2022 год на территории Российской Федерации произошло 54 492 пожара из-за аварийного режима работы электрических сетей и оборудования (37,4% от общего числа всех пожаров), в том числе: 44 573 пожара в зданиях жилого назначения, 223 пожара в зданиях образовательных организаций и 205 в зданиях здравоохранения и социального обслуживания [1].

Основной причиной этих пожаров является дуговой пробой (искрение), которое может распознать устройство защиты от дуговых пробоев (УЗДП) [2, 3].

Для предупреждения подобной категории пожаров в качестве эксперимента в 2022 году силами АО «Татэлектромонтаж» УЗДП, соответствующие требованиям ГОСТ ИЕС 62606-2016, были установлены в дошкольном образовательном учреждении (ДОУ) г. Казани, в котором в 2018 г. сторонней организацией был произведен ремонт электропроводки с заменой электрооборудования (электрощиты, светильники, розетки, выключатели). Перед установкой УЗДП была проведена диагностика сетей на наличие дуговых пробоев и искровых промежутков с помощью переносного тестера с встроенным УЗДП, протестированным на сертифицированном стенде в лаборатории Казанского пуско-наладочного управления АО «Татэлектромонтаж» [4, 5]. Далее были демонтированы существующие распределительные электрические щиты (рис. 1а) с последующей заменой на модернизированные с УЗДП (рис. 1б). УЗДП устанавливались на каждую фазу после аппаратов защиты отдельных линий розеточной и осветительной сетей (рис. 2).

В течение первого месяца проведения эксперимента были неоднократные срабатывания УЗДП в актовом зале на группе освещения. На данной группе были подключены 8 светодиодных и 4 ламповых светильников.

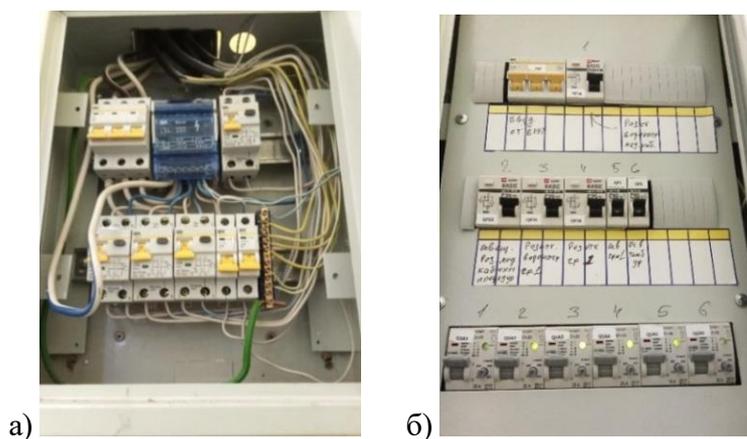


Рис. 1. Иллюстрация электрического щита  
а) до модернизации; б) после модернизации с установленными УЗДП

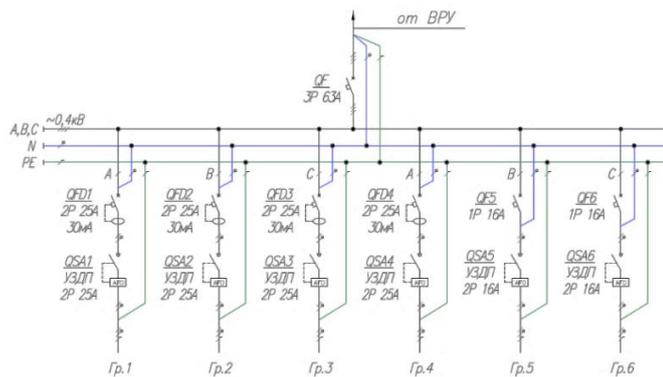


Рис. 2. Однолинейная схема модернизированного щита

Для определения причины срабатывания защитного аппарата специалистами Казанского пуско-наладочного управления АО «Татэлектромонтаж» была снята осциллограмма, которая показала, что синусоида напряжения далека от нормативной. Выяснилось, что соединения светодиодных светильников выполнено путем скручивания многопроволочных (мягких) жил кабелей с цельнотянутыми (жесткими) жилами, что недопустимо, так как приводит к возникновению пожара [6,7]. После устранения данного дефекта, путем установки наконечников на многопроволочные проводники, а также замены дефектных светильников, добились несрабатывания УЗДП.

Помимо отключения группы освещения в актовом зале имели место отключения и в других помещениях, все дефекты были выявлены и устранены.

Данный эксперимент выявил необходимость применения УЗДП, соответствующих требованиям ГОСТ ИЕС 62606-2016, позволяющих выявлять пожароопасные дефекты электрических цепей имеющие большие переходные сопротивления и не распознаваемые другими средствами защиты, нарушения технологии при выполнении электромонтажных работ, а также применение некачественных (дефектных) электроприемников.

## Источники

1. Анализ обстановки с пожарами и их последствиями на территории Российской Федерации за 12 месяцев 2022 г. Статистический сборник// Москва: ВНИИПО МЧС РФ, 2023.

2. И. В. Ившин, Ю. Н. Ерашова, А. Н. Тюрин Особенности внедрения устройств защиты от дугового пробоя в электрических сетях до 1 кВ // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-

энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве: Материалы VI Национальной научно-практической конференции. В двух томах, Казань, 10–11 декабря 2020 года. Том 1. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2020. – С. 370-374. – EDN PPUWSD.

3. Ю. Н. Ерашова, И. В. Ившин, И. И. Ившин, А. Н. Тюрин Испытания устройства защиты от дугового пробоя и искровых промежутков на срабатывание // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2021. – Т. 23, № 3. – С. 168-180. – DOI 10.30724/1998-9903-2021-23-3-168-180. – EDNKZRCME.

4. Тюрин, А. Н. Оценка эффективности работы устройств защиты от дугового пробоя в жилых и общественных зданиях // Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири: Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Иркутск, 19–23 апреля 2023 года. Том 2. – Иркутск: Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2023. – С. 426-429. – EDN RNCCKH.

5. Тюрин А.Н., Солуянов Ю.И., Шмуклер М.И., Ившин И.В. Устройство для проверки аппаратов защиты от дугового пробоя и искровых промежутков. Патент на полезную модель № 200084 от 05.10.2020 г. Заявка № 2020116982 от 22.05.2020 г.

6. Yuri Soluyanov, Alexander Tyurin, AzatAkhmetshin, Test of Arc Fault Detection Devices for Operation from Spark Gaps and Arc Fault in an Electric Circuit of 0.4 kV // 2023 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon), Publisher: IEEE, DOI: 10.1109/UralCon 59258.2023.10291069.

7. Ю. Н. Ерашова, А. И. Вассунова, И. И. Ившин, А. Н. Тюрин Генератор электрической дуги для диагностики аппаратов защиты от дугового пробоя // Тинчуринские чтения – 2021 «Энергетика и цифровая трансформация» : Материалы Международной молодежной научной конференции. В 3 томах, Казань, 28–30 апреля 2021 года. Том 1. – Казань: ООО ПК «Астор и Я», 2021. – С. 104-108. – EDN KGNOQW.

## ОСВЕЩЕНИЕ МНОГОКВАРТИРНЫХ ДОМОВ

Алена Анатольевна Зотина

Науч. рук. канд. физ.-мат. наук, доцент Наталья Вячеславовна Денисова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

Zotina\_Alena@mail.ru

**Аннотация.** В современном мире, где экология и энергоэффективность становятся все более важными, использование интеллектуального светодиодного освещения в многоквартирных энергоэффективных домах является одним из наиболее перспективных решений. В связи с чем в данной статье рассматривается такое понятие как освещение многоквартирных домов, а также приводятся особенности применения интеллектуального светодиодного освещения в многоквартирных энергоэффективных домах.

**Ключевые слова:** Освещение, светодиоды, многоквартирные дома, интеллектуальное светодиодное освещение, энергозатраты.

## LIGHTING OF APARTMENT BUILDINGS

Alena A. Zotina

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

Zotina\_Alena@mail.ru

**Abstract.** In the modern world, where ecology and energy efficiency are becoming increasingly important, the use of intelligent LED lighting in energy-efficient apartment buildings is one of the most promising solutions. In this connection, this article discusses such a concept as the lighting of apartment buildings, and also provides features of the use of intelligent LED lighting in energy-efficient apartment buildings.

**Keywords:** lighting, LEDs, apartment buildings, intelligent LED lighting, energy consumption.

Освещение многоквартирных домов играет важную роль в обеспечении комфорта и безопасности жильцов. Надлежащее освещение не только создает уютную атмосферу, но и способствует повышению уровня безопасности на территории жилого комплекса. Первым шагом при обеспечении освещения в многоквартирных домах является разработка проекта освещения, учет особенностей данной территории и потребностей

ее жителей. Проектирование должно учитывать разные зоны на территории жилищного комплекса, такие как подъезды, дворы, парковки и другие общедомовые пространства.

Основной принцип освещения многоквартирных домов - это обеспечение достаточного уровня света для нормального восприятия, а также предотвращения возможных преступлений и несчастных случаев на территории жилого комплекса. Для этого использование энергосберегающих источников света, таких как светодиоды, становится все более популярным. Светодиодные лампы обладают высокой эффективностью, долгим сроком службы и малым энергопотреблением, что позволяет снизить эксплуатационные расходы на освещение [1].

Особое внимание следует уделить освещению общедомовых пространств, таких как коридоры, лестничные клетки и подъезды. Здесь важно, чтобы освещение было равномерным и ярким, чтобы люди чувствовали себя комфортно и уверенно в темное время суток. Часто в многоквартирных домах применяют автоматические системы управления освещением, которые регулируют яркость света в зависимости от времени суток и наличия людей в помещении, что дополнительно экономит электроэнергию и обеспечивает безопасность жильцов [2].

Рассмотрим подробнее особенности применения интеллектуального светодиодного освещения в многоквартирных энергоэффективных домах.

Светодиоды – это полупроводниковые приборы, которые при небольшом энергопотреблении вырабатывают яркий и качественный свет. В отличие от традиционных источников освещения, таких как лампы накаливания и энергосберегающие лампы, светодиоды обладают рядом уникальных особенностей. Одна из особенностей применения интеллектуального светодиодного освещения в многоквартирных энергоэффективных домах заключается в его экономии энергии. Светодиоды потребляют значительно меньше электроэнергии по сравнению с традиционными источниками света, что позволяет снизить затраты на электричество. Это особенно актуально для многоквартирных домов, где необходимо обеспечивать освещение на протяжении длительного времени. Благодаря энергоэффективности светодиодов можно снизить энергетическую нагрузку на дом и улучшить его общую энергетическую эффективность [3].

Кроме того, интеллектуальное светодиодное освещение имеет возможность управления и программирования. Благодаря этому, можно настроить различные режимы освещения, которые учитывают внешние условия, потребности пользователей и требования по безопасности. Такое

освещение может быть интегрировано с системами умного дома, позволяя автоматически контролировать и регулировать уровень яркости в зависимости от времени суток, наличия людей в помещении или даже погодных условий.

Другой важной особенностью использования интеллектуального светодиодного освещения в многоквартирных энергоэффективных домах является его долговечность. Светодиоды имеют значительно больший срок службы по сравнению с традиционными лампами. Это позволяет сократить затраты на замену и обслуживание осветительных устройств. Более того, светодиоды обладают высокой степенью устойчивости к механическим повреждениям, вибрациям и внешним воздействиям, что делает их идеальным выбором для использования в общественных помещениях и местах с большим потоком людей [4].

В заключение, использование интеллектуального светодиодного освещения в многоквартирных энергоэффективных домах представляет собой многообещающее направление развития современной светотехники. Экономия энергии, возможность управления и программирования, долговечность – все эти особенности делают светодиодное освещение идеальным выбором для создания комфортных и энергоэффективных условий проживания в многоквартирных домах. Внедрение интеллектуального светодиодного освещения способствует не только сокращению энергозатрат и повышению эффективности, но и созданию экологически чистой и безопасной среды для жизни и работы [5].

Таким образом, правильно спроектированное и организованное освещение многоквартирных домов является неотъемлемой частью комфорта и безопасности для жильцов. Оно не только обеспечивает достаточный уровень света для нормального функционирования, но также приумножает эстетическую привлекательность жилого комплекса. Выбор энергосберегающих технологий позволяет сэкономить ресурсы и уменьшить экологическую нагрузку, делая освещение многоквартирных домов более эффективным и ответственным.

## **Источники**

1. Киричок, А. И. Автоматизация наружного освещения как инструмент энергосбережения / А. И. Киричок // Мир дорог. 2022. № 63. С. 38-40.

2. Чебан А.Н. Система интеллектуального управления освещением в учебных зданиях // Наука, образование и экспериментальное проектирование. 2020. №1.

3.M.R. Alam, M.B.I. Reaz, M.A.M. Ali A Review of Smart Homes—Past Present, and Future IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews), 42 (6) (2022), pp. 1190-1203.

4. C. Kaiwen, et al. An Intelligent Home Appliance Control-based on WSN for Smart Buildings. in IEEE International Conference on Sustainable Energy Technologies (ICSET). Hanoi, Vietnam, 14-16 November 2018, pp. 282-287.

5. K. Gill, et al. A Zigbee-based Home Automation System IEEE Transactions on Consumer Electronics, 55 (2) (May, 2019), pp. 422-430.

УДК 681.5.03

## **ЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АВТОМАТИЗАЦИИ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ**

Азат Илшатович Калимуллин

Науч. рук. канд.техн.наук, доцент Вадим Александрович Гаврилов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

2s19gavr@gmail.com

**Аннотация.** Электроэнергетика играет важную роль в современном обществе, и оптимизация процессов в этой отрасли имеет огромное значение для обеспечения стабильного и надежного энергоснабжения. В настоящей статье рассматривается эффективное использование автоматизации в электроэнергетике с целью оптимизации процессов. Подробно анализируются различные аспекты автоматизации, такие как системы управления, мониторинг и диагностика оборудования, прогнозирование нагрузки и управление энергосистемами.

**Ключевые слова:** автоматизация, система управления, управление нагрузки, искусственный интеллект, оптимизация.

## **EFFECTIVE USE OF AUTOMATION TO OPTIMIZE PROCESSES IN THE POWER INDUSTRY**

Azat I. Kalimullin

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

2s19gavr@gmail.com

**Abstract.** The electric power industry plays an important role in modern society, and optimization of processes in this industry is of great importance to ensure a stable and reliable energy supply. This article examines the effective use of automation in the electrical power industry to optimize processes. Various aspects of automation such as control systems, equipment monitoring and diagnostics, load forecasting and power system management are analyzed in detail.

**Keywords:** automation, control system, load management, artificial intelligence, optimization.

Электроэнергетика является сложной и распределенной системой, включающая в себя производство, передачу и распределение электроэнергии. Оптимизация процессов в электроэнергетике требует эффективного управления и контроля над различными компонентами системы. Современные технологии автоматизации предоставляют мощные инструменты для улучшения производительности и надежности электроэнергетических систем [1]. Одним из таких технологий автоматизации в сфере электроэнергетики является система управления. Система управления (СУ) – это программно-аппаратный комплекс, используемая для контроля и управления различными процессами и системами в определенной области. В электроэнергетике системы управления широко используются для управления электроэнергетическими сетями, в процессе производства электроэнергии и распределением нагрузки. Системы управления зачастую используются с разнообразными датчиками и сенсорами, способными отслеживать состояние оборудования, температуру, химический состав и т.д. и передавать данные программному обеспечению для осуществления контроля за процессами [2]. Уже сейчас системы управления пользуются популярностью у крупных энергетических компаний благодаря высоким показателям эффективности. Так, компания General Electric использует систему управления DMS для управления распределительными сетями. DMS (Система управления распределением) – это система, которая используется для управления распределительными сетями электроэнергии. Она обеспечивает контроль и управление нагрузкой, распределение электрической энергии, оптимизацию работы сети и обнаружение и устранение сбоев. Еще одним примером можно назвать компанию Газпром энергоснабжение [3]. Она является дочерним предприятием группы Газпром, занимающегося поставкой электроэнергии. Компания использует

систему управления SCADA для мониторинга и управления своими электроэнергетическими активами.

Немаловажной проблемой в электроэнергетике является эффективное производство и реализация электроэнергии. В целях решения данной проблемы энергетические компании применяют множество решений, одним из которых является прогнозирование нагрузки электроэнергии на разных этапах его реализации для устранения источника потери электроэнергии или её минимизации. При росте энергопотребления и необходимости оптимизации ресурсов, автоматизация процессов прогнозирования нагрузки становится ключевым инструментом для эффективного планирования и управления энергетическими системами [4]. IT-продукты, такие как алгоритмы машинного обучения, статистические модели и системы управления базами данных, предоставляют средства для сбора, анализа и прогнозирования данных о потреблении электроэнергии. Благодаря автоматизации процессов прогнозирования нагрузки, энергетические компании могут принимать более обоснованные решения, повышая эффективность и надежность своих систем, а также снижая затраты и негативное воздействие на окружающую среду.

Таким образом, автоматизация в сфере электроэнергетики является одним из важнейших задач для достижения эффективности производства и реализации электроэнергии. Наиболее эффективным решением автоматизации в сфере электроэнергетики является внедрение систем управления и прогнозирования нагрузки электроэнергии на разных этапах её реализации. Современные энергетические компании, такие как General Electric и Газпром энергоснабжение уже внедрили системы управления, позволяющие эффективно автоматизировать процессы управления и отслеживания состояния оборудования и нагрузки [5]. Также, эффективным решением является внедрение специализированных систем прогнозирования нагрузки с использованием статистических моделей и искусственного интеллекта. Данные технологии позволяют автоматизировать сложные процессы, тем самым достигая её оптимизации.

## **Источники**

1. Моргоева А.Д. Автоматизация технологических процессов в электроэнергетике: состояние и перспективы // Сборник статей III Международной научно-практической конференции. – Петрозаводск:

Международный центр научного партнерства «Новая Наука» (ИП Ивановская И.И.), 2023. – С. 221-224.

2. Насонов А.А., Кравченко О.А. Искусственный интеллект: тенденции государственного регулирования и интеграции в цифровую среду предприятий электроэнергетики // Первый экономический журнал. – 2023. – №2 (332). – С. 75-81.

3. Бубнов А.В., Дайнович А.М., Дайнович О.П. 1. Измерение показателей качества электроэнергии в автоматизированных системах диспетчерского управления объектами электроэнергетики // Труды IX Всероссийской научно-практической конференции. – Новокузнецк: Сибирский государственный индустриальный университет, 2013. – С. 194-197.

4. Коновалов Ю.В., 1. Вайгачёв А.Е., Уваров А.А. Автоматизация и цифровизация объектов электроэнергетики // Вестник ангарского государственного технического университета. – 2021. – №15. – С. 51-55.

5. Сандрейкин Ю.В., Александров А. Х. Разработка приложения для автоматизации расчетов в сфере электроэнергетики с использованием микросервисной архитектуры // сборник научных трудов. – Чебоксары: Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, 2021. – С. 230-235.

УДК 620.77

## **РОЛЬ И ЗНАЧИМОСТЬ СМАРТ-СЕТЕЙ В СОВРЕМЕННОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ**

Ильназ Азатович Латыпов

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент Вадим Александрович Гаврилов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

ilnaz\_latypov\_99@mail.ru

**Аннотация.** С развитием технологий и увеличением потребления энергии смарт-сети становятся все более важным элементом современной электроэнергетики. Они представляют собой сети, оснащенные современными информационно-коммуникационными технологиями, позволяющие эффективно управлять и контролировать энергию. В данной статье рассматривается роль и значимость смарт-сетей в современной электроэнергетике и их влияние на повышение энергоэффективности, надежности и устойчивости системы.

**Ключевые слова:** электроэнергетика, смарт-сети, потребление энергии, оптимизация, перераспределение.

## **ROLE AND IMPORTANCE OF SMART NETWORKS IN MODERN ELECTRIC POWER INDUSTRY**

Ilnaz A. Latypov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

ilnaz\_latypov\_99@mail.ru

**Abstract.** As technology advances and energy consumption increases, smart grids are becoming an increasingly important element of the modern power industry. They are networks equipped with modern information and communication technologies that allow efficient management and control of energy. This article discusses the role and significance of smart networks in the modern electric power industry and their impact on increasing energy efficiency, reliability and sustainability of the system.

**Keywords:** electric power industry, smart networks, energy consumption, optimization, redistribution.

Смарт-сети играют центральную роль в современной электроэнергетике, предоставляя возможность интеграции различных источников энергии и энергетических устройств. Они позволяют эффективно сбалансировать спрос и предложение энергии, обеспечивая гибкость и гарантируя поставку энергии в нужных местах и в нужное время [1]. Одной из ключевых особенностей смарт-сетей является возможность перераспределения энергии с помощью интеллектуальных счетчиков и устройств. Это позволяет оптимизировать расход энергии и снизить нагрузку на электросеть, что в свою очередь снижает потребность в строительстве новых электростанций [2].

Смарт-сети имеют огромную значимость в современной электроэнергетике по нескольким причинам. Первым из причин можно назвать способность к повышению энергоэффективности системы. С использованием смарт-сетей становится возможным оптимизировать потребление электричества и уменьшить потери энергии в процессе передачи и распределения [3]. Таким образом, данная технология позволяет экономить множество электроэнергии, расходуемое из-за высокого напряжения системы и перерасхода электроэнергии на отдельных её участках. Второй причиной является значительное повышение надежности электроснабжения электрической сети. Благодаря

мониторингу и управлению энергией в режиме реального времени, смарт-сети предотвращают возникновение сбоев и обеспечивают оперативное реагирование на непредвиденные и чрезвычайные ситуации. По этой причине снижается вероятность простоев и повышается надежность распределительной сети [4]. Третьей причиной является способность интеграции данной технологии в различные системы, включая системы возобновляемых источников энергии. Благодаря данной особенности процесс перехода энергетики на возобновляемые источники энергии становится гораздо проще благодаря контролю процесса производства электроэнергии на каждом её этапе [5]. Заключительной причиной важности смарт-сетей в электроэнергетике можно назвать самостоятельность системы. Смарт-сети способны самостоятельно отслеживать показатели каждого пользователя электросети и форматировать отчет, предоставляя полную информацию о произведенной и переданной электроэнергии по любым показателям: эффективность, потери или экономическая выгода. Благодаря этому появляется возможность проводить детальный анализ всей системы, что приведет к минимизации экономических потерь и разработку новых более оптимальных стратегических решений по управлению электрическими сетями [6].

Таким образом, смарт-сети играют важную роль в современной электроэнергетике. Они обеспечивают улучшенное управление энергоресурсами, повышают её надежность и устойчивость, способствуют улучшению экономической ситуации и предлагают возможности интеллектуальной аналитики и участия потребителей. Внедрение смарт-сетей в электроэнергетику позволяет эффективно использовать ресурсы и снизить негативное влияние на окружающую среду.

### **Источники**

1. Коробченко Д.А., Котов С.В. Опыт применения SmartGrid в России и за рубежом // сборник научных статей III Международного конгресса. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2020. – С. 179-192.
2. Куршев М.Р., Минаев Д.Е., Гордиенко К.С., Загилов З.А. Системы измерения, сбора и передачи информации в электроэнергетике // сборник статей II Международной научно-практической конференции. – Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2023. – С. 59-61.

3. Ходжиматов Д.Р.У. Технологии энергосбережения и энергоэффективности в электроэнергетике // сборник статей XIII Международной научно-практической конференции. – Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2023. – С. 72-75.

4. Гаврилова А.А., Кузнецова С.Ю. Повышение энергоэффективности в России: внедрение интеллектуальной сети электроснабжения Smart Grid // Молодежный вестник ИРГТУ. – 2018. – №3. –С. 118-121.

5. Ма Ш. Особенности "экологизации" энергетики в Индии в рамках внедрения технологий Smart Grid // Сборник материалов Апрельской научно-практической конференции молодых учёных. – Владивосток: Дальневосточный федеральный университет, 2019. – С. 366-372.

6. Кокоев А.А., Марзоев С.А., Сидоров Д.В. Реализация элементов концепций Smart Grid и Smart Metering в установках распределенной генерации и распределительных сетях // Сборник докладов II Всероссийской научно-практической конференции. – Владикавказ: Северо-Кавказский горно-металлургический институт (Государственный технологический университет), 2021. – С. 134-136.

УДК 621.316

## **УЧЕТ ПРОФИЛЯ НАГРУЗКИ ПРИ РАСЧЕТЕ ПОВЫШАЮЩИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СООТНОШЕНИЯ АКТИВНОЙ И РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ**

Вадим Михайлович Исаков<sup>1</sup>, Дамир Рустамович Мазитов<sup>2</sup>, Раиса Усмановна Галеева<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>isakovvadim1901@mail.ru, <sup>2</sup>mazitovish@gmail.com, <sup>3</sup>raisa\_gal.52@mail.ru

**Аннотация.** Законодательство Российской Федерации определяет повышающие (понижающие) коэффициенты к тарифам на услуги по компенсации реактивной мощности в зависимости от коэффициента мощности. Учет факторов, влияющих на эти коэффициенты, позволит выявить для потребителя наиболее выгодные условия ценообразования к тарифам на услуги по компенсации реактивной энергии в специальных договорах с гарантирующим поставщиком.

**Ключевые слова:** повышающие (понижающие) коэффициенты, тариф, учет, ценовая категория, отпускная цена, профиль, профиль нагрузки, услуги по передаче.

# ACCOUNTING THE LOAD PROFILE WHEN CALCULATING INCREASING FACTORS DEPENDING ON THE RATIO OF ACTIVE AND REACTIVE POWER

Vadim M. Isakov<sup>1</sup>, Damir R. Mazitov<sup>2</sup>, Raisa U. Galeeva<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>isakovvadim1901@mail.ru, <sup>2</sup>mazitovish@gmail.com, <sup>3</sup>raisa\_gal.52@mail.ru

**Abstract.** The legislation of the Russian Federation determines increasing (decreasing) coefficients for tariffs for reactive power compensation services depending on the power factor. Taking into account the factors influencing these coefficients will make it possible to identify for the consumer the most favorable pricing conditions for tariffs for reactive energy compensation services in special contracts with the guaranteeing supplier.

**Keywords:** increasing (decreasing) coefficients, tariff, accounting, price category, selling price, profile, load profile, transmission services.

Законодательство в области электроэнергетики предусматривает необходимость оплаты потребителю в адрес территориальной сетевой организации (ТСО) реактивной мощности (РМ) [1]. Фактически, такая оплата в настоящее время не производится, так как повышающие (понижающие) коэффициенты к тарифам на услуги на передаче электроэнергии (ЭЭ) в зависимости от соотношения потребления активной и реактивной мощности установлены только для потребителей, подключенных к единой национальной (общероссийской) электрической сети [1]. Для потребителей ТСО контроль за потреблением РМ осуществляется только на этапе технологического присоединения.

С другой стороны, потребители обязаны оплачивать в составе тарифа за услуги по передаче электрической энергии исключительно нормативные потери, возникающие при передаче электрической энергии по сети ТСО, с которой соответствующими лицами заключен договор [2].

В Договорах энергоснабжения (ДЭ) между «Потребителем» и «Гарантирующим поставщиком» (ГП) потребители обязаны соблюдать соотношение потребления активной и реактивной мощностей и устанавливать средства компенсации реактивной мощности (КРМ), что является существенным условием ДЭ [3].

Кроме того, в ДЭ указывается, что стоимость электроэнергии может меняться с поправкой на изменение тарифа на передачу ЭЭ. ГП в специальных договорах (СД) учета и оплаты вводит тарификацию на РМ, потребленную сверх установленных значений. Почасовая корректировка

дополнительного тарифа на реактивную энергию может стимулировать установку управляемых компенсирующих устройств (КУ) [4].

В данной работе был проведен сравнительный анализ тарификации на РМ в дополнительном компоненте ценообразования при учете профиля нагрузки. В расчетах был использован среднесуточный план нагрузки предприятия с двухсменными рабочими циклами. В качестве тестовой модели использовалось ценообразования тарифа за сверхнормативное потребление РМ. Вычисления проводились по суточному плану работы потребителя и актуальным тарифным ставкам компании «Татэнергосбыт».

В специальных договорах максимальное значение коэффициента реактивной мощности для электрической сети в часы пиковой нагрузки  $\text{tg}\varphi_{\text{макс}} = 0,4$ , в часы минимальных нагрузок  $\text{tg}\varphi_{\text{маск}} = 0,6$ . Уровень тарифного напряжения составляет 10 кВ, а максимальная активная мощность – 5 МВт. Время максимальных нагрузок определено в СД с 8.00 ч до 17.00 ч. Потребитель не участвует в регулировании РМ. Среднее фактическое значение коэффициента реактивной мощности в часы пиковой мощности, определенное по показаниям приборов учета,  $\text{tg}\varphi_{\text{ф}} = 0,956$ . Расчеты проводились с учетом профиля нагрузки и по среднесуточным показателям.

Уравнение для расчета составляющей повышения тарифа за использование реактивной мощности в пиковые часы сверх установленного максимума  $\text{tg}\varphi$  [5].

$$P_i = \pm 0,2(\text{tg}\varphi_{\text{фи}} - \text{tg}\varphi_{\text{при}})d_i;$$

где  $\text{tg}\varphi_{\text{фи}}$  – фактическое значение коэффициента реактивной мощности в  $i$ -ый час;  $\text{tg}\varphi_{\text{при}}$  – предельное значение коэффициента реактивной мощности;  $d_i$  – отношение потребленной ЭЭ к общему объему потребления за расчетный период; знак «+» применяется, когда происходит потребление, а знак «-» - когда происходит генерация реактивной мощности.

Исследования показали, что превышение коэффициента реактивной мощности на 2 % в пиковые часы позволяет снизить оплату на 3% с помощью учета плана нагрузки. Это может быть экономическим обоснованием для установки компенсирующих устройств.

## **Источники**

1. Приказ Минэнерго РФ N 380 «О порядке расчета соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных групп энергопринимающих устройств потребителей электрической энергии.
2. Постановление Правительства РФ N 861 (ред. от 31.08.2023) "Об утверждении Правил недискриминационного доступа к услугам по передаче электрической энергии и оказания этих услуг».
3. Постановление Правительства РФ N 442 (ред. от 28.09.2023) «О функционировании розничных рынков электрической энергии, полном и (или) частичном ограничении режима потребления электрической энергии».
4. В.М. Ефременко, Р.В. Беляевский. О совершенствовании механизмов взаимоотношений энергоснабжающих организаций и потребителей в области компенсации реактивной мощности. Журнал Электротехнические комплексы и системы. КузГТУ, № 1 2012, с 59-62.
5. Приказ ФСТ РФ от 31.08.2010 N 219-э/6 «Об утверждении Методических указаний по расчету повышающих (понижающих) коэффициентов к тарифам на услуги по передаче электрической энергии» (Зарегистрировано в Минюсте РФ 06.10.2010 N 18637).

УДК 621.311

## **СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И ДИАГНОСТИКИ ВОЗДУШНЫХ ЛЭП**

Алия Ленаровна Нагимуллина

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент Зумейра Мунировна Шакурова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

89178864876@mail.ru

**Аннотация.** В этой статье рассматриваются вопросы, связанные с определением состояния воздушных линий электропередач. В настоящее время исследования по диагностике воздушных линий электропередач ведутся в нескольких направлениях. Решение этой проблемы включает в себя несколько ключевых этапов, включая раннее обнаружение источников аварийных ситуаций и непрерывный мониторинг эффективности работы сети, передачи электроники.

**Ключевые слова:** воздушные линии электропередач, диагностика, безопасность, надежность.

## CABLE LINE MONITORING AND DIAGNOSTIC SYSTEMS

Alia L. Nagimullina

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

89178864876@mail.ru

**Abstract.** This article discusses issues related to determining the condition of overhead power lines. Currently, research into the diagnostics of overhead power lines is being conducted in several directions. Solving this problem involves several key steps, including early detection of emergency sources and continuous monitoring of network performance and electronics transmission.

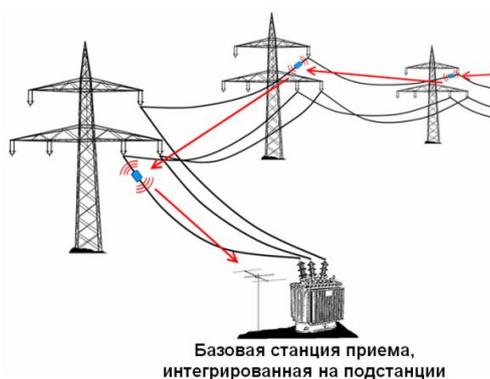
**Keywords:** power transmission, diagnostics, safety, reliability.

Исследования в области состояния воздушных линий электропередач весьма актуальны по типичным причинам. Во-первых, это связано с обеспечением безопасности электроэнергетических систем, поскольку повреждение линий может привести к авариям, перебоям в электроснабжении. Во-вторых, исследования в этой области позволяют экономить ресурсы, так как своевременное обнаружение и ремонт поврежденных участков позволяет избежать дополнительных затрат на ремонт оборудования и потенциальных штрафов за неисправности в работе электроэнергетических систем. В-третьих, важным аспектом являются экологические вопросы, поскольку повреждение воздушных линий может привести к выходу из строя насосных объектов и водохранилищ, что может привести к неблагоприятным экологическим последствиям.

На сегодняшний день существует множество вариантов создания диагностических комплексов для оценки состояния воздушных линий электропередач [1]. Одним из основных фокусов является разработка эффективных подходов к диагностике и мониторингу линий, в том числе с помощью применения сенсоров и современных технологий. Другое направление связано с улучшением технологий и оборудования для инспекции и обслуживания воздушных линий, включая разработку роботов-инспекторов и беспилотных летательных аппаратов (дронов).

Устаревшие методы оценки состояния линий теперь заменены широко применяемой системой мониторинга воздушных линий

электропередач. Эта система способна эффективно решать несколько задач, таких как отслеживание нагрузок от льда, снега и ветра на линии электропередач. Избыточное напряжение в кабеле может вызвать его повреждение и, в конечном итоге, обрыв линии. Необходимо тщательно следить за допустимой токовой обмоткой кабеля. Воздействие факторов окружающей среды, таких как температура, дождь и ветер, может привести к перегреву или охлаждению проводов, что, в свою очередь, может привести к повышению токовой нагрузки. Поэтому необходимо внимательно следить за максимально допустимой температурой проводов. Система состоит из модулей, которые устанавливаются непосредственно на воздушные линии электропередач [2].



Место положения модуля

Модули устанавливаются на проводах преимущественно около траверса опор в пределах одного пролета и располагаются на расстоянии примерно 500 м друг от друга. Измерение и передача данных происходит в заданный период времени (например, каждые 10 секунд, 15 минут и т.п.).

Возможны различные способы передачи данных: 1. Использование ячеистой топологии сети (MESH). Данные измерений передаются от модуля к модулю и далее на шлюз (базовую станцию), который передает данные на сервер (GPRS, 3G, LTE). 2. Данные передаются с использованием модема LoRa на базовую станцию далее на сервер (GPRS, 3G, LTE) [3]. Данная система мониторинга обеспечивает следующие параметры в линии электропередачи: температуру проводов, угол провисания, местоположение обрыва, вибрацию проводов и текущее значение тока. Внедрение этой системы позволяет заранее выявить возможные причины отключения линий электропередачи, предотвращающую возможность возникновения аварий и повышающую эффективность энергосистемы [4].

Таким образом, анализ состояния кабельных линий является ключевым элементом обеспечения надежности, безопасности и эффективности электроэнергетических систем. Эта система не только позволяет применять свои методы, но также способствует умеренному потреблению ресурсов и уменьшению негативного воздействия на окружающую среду.

### **Источники**

1. Ярославский Д.А. Аналитические модели движения проводов воздушных высоковольтных линий электропередачи. Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2022;24(4):154-164.

2. Ахмедова О.О., Сошинов А.Г. Система мониторинга воздушных линии электропередач Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 11 (часть 4) – С. 533-536

3. Левченко И.И., Засыпкин А.С., Аллилуев А.А. Диагностика, реконструкция и эксплуатация воздушных линий электропередачи в гололедных районах: учеб. пособие: Издательский дом МЭИ, 2007. С. 448.4.

4. Коваленко И.В. Система мониторинга воздушных линий электропередач как средство для оценки состояния лэп// Вестник магистратуры. 2021. №6-2 (117).

УДК 621.316

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ATS НА ОСНОВЕ RTU**

Алия Ленаровна Нагимуллина<sup>1</sup>, Вадим Александрович Гаврилов<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>89178864876@mail.ru, <sup>2</sup>s19gavr@gmail.com

**Аннотация.** В этой статье рассматриваются вопросы, связанные с автоматизацией распределительных сетей. На сегодняшний день создание «интеллектуальных электрических сетей» является актуальной задачей в сфере энергетики в связи с проблемой низкой надежности и высоких потерь у распределительных электрических сетей 0,4 – 10 (6) кВ.

**Ключевые слова:** автоматизация, контроль, управление, система.

# AUTOMATION OF DISTRIBUTION NETWORKS USING RTU-BASED ATS TECHNOLOGY

Alia L. Nagimullina<sup>1</sup>, Vadim A. Gavrilo<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>89178864876@mail.ru, <sup>2</sup>2s19gavr@gmail.com

**Abstract.** This article examines issues related to automation of distribution networks. Today, the creation of “smart electrical networks” is an urgent issue in the energy sector due to the problem of low reliability and high losses in electrical distribution networks of 0.4 – 10 (6) kV.

**Keywords:** automation, control, management, system.

Электроснабжение должно работать непрерывно для поддержки работы технологических процессов промышленности. Задача всех коммунальных предприятий состоит в том, чтобы грамотно по правилам регулирования обеспечить доступную подачу электроэнергии для потребителей [1].

На сегодняшний день существуют современные технологии такие, как удаленные терминалы (RTU) и автоматизированные системы переключения (ATS), помогающие поддерживать принятие решений автоматически. Для того, чтобы понять технологию, необходимо разобраться что представляют из себя эти системы.

Удаленные терминалы (RTU) — это микропроцессорные устройства, отслеживающие и управляющие оборудованием, находящиеся на большом расстоянии, а после автоматически подключаются и передают информацию в диспетчерское управление предприятия, которые, следовательно, обработают информацию [2].

Что касается автоматизированных систем переключения (ATS), то это те устройства, которые автоматически переключат питание с основного на резервный источник, если тот обнаружит аварийный сбой или отключение основного источника [3].

Благодаря такой автоматизированной распределительной сети, при отслеживании и контроле выключателей ВЛ ЭП и подстанций, можно существенно уменьшить время на реагирования на сбой, а также своевременно обнаружить неисправности и получить полный отчет о ней.

Концепция хранения энергии из возобновляемых источников, таких как солнечная энергия, ветер и геотермальная энергия, меняется в современных условиях. Раньше газ, нефть и уголь могли храниться на

протяжении месяцев, но теперь требуется разработать новые методы накопления энергии.

В современных цифровых системах все большую роль играет информационно-коммуникационная инфраструктура. Устойчивость таких систем означает их способность обеспечивать основные функции даже при отсутствии доступа к этой инфраструктуре.

Система автоматического переключения (ATS) на базе RTU считается первым шагом к созданию автоматически восстанавливающейся системы. Она эффективна при устранении длительных перерывов в подаче электроэнергии на низком и среднем напряжении, и широко используется в различных секторах, включая промышленные объекты, центры обработки данных, транспортные сети, коммунальные услуги и общественные здания.

Функциональность ATS, основанная на оборудовании RTU, включает переключение с задержкой по времени в аварийном освещении, системах охлаждения и аварийной вентиляции, а также анализ и мониторинг аварийных сигналов. Это обеспечивает непрерывность электроснабжения с помощью генератора или аккумуляторной системы.

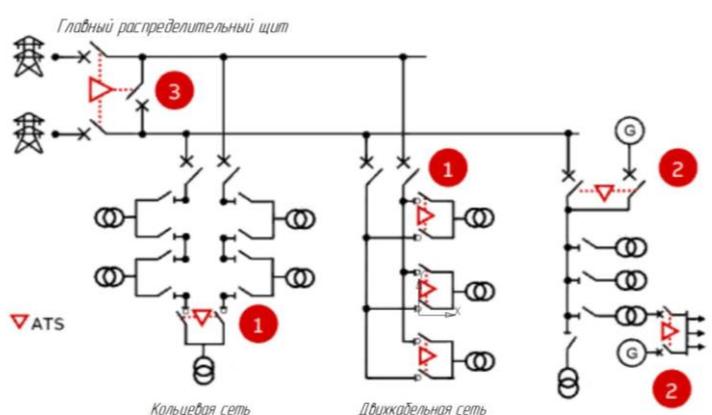


Схема основных типов применения ATS

1. Один тип обычно используется в случае двойной подачи питания, например, в двухкабельной или кольцевой структурированной сети. В этом случае один из входящих фидеров будет являться основным источником энергии, а вторая входящая линия - резервным источником в резервном режиме.

2. Альтернативный вариант применения АВР поддерживает также резервный генератор в качестве аварийного источника, вместо которого используется второй фидер.

3. Третий вариант подразумевает расположение ATS на первичной подстанции. Два независимых и активных источника питания подключены к шинам, разделенным шиносоединительным выключателем.

При модернизации объектов распределительных электрических сетей применение современной технологии, такой как система ATS на основе RTU, требует нового подхода к решению задач управления и снижения аварийности этих сетей. Эти новые подходы будут способствовать беспрепятственному внедрению технологии Smart Grid на этих объектах распределительных сетей. Это откроет новые перспективы и возможности в области эффективного управления электроэнергией. Технология ATS на основе RTU, взаимодействуя с другими системами и устройствами, позволяет собирать и анализировать большие объемы данных о состоянии электрических сетей. Это позволяет оперативно выявлять и предотвращать возможные аварийные ситуации. В результате внедрение технологии ATS на основе RTU в объектах распределительных электрических сетей существенно улучшает их производительность и безопасность.

#### **Источники**

1. Бердников М.С. Современные средства автоматизации распределительных электрических сетей // Наука и образование сегодня: сб. тр. Междунар. науч.-техн. конф., 2018. С. 118-120.

2. Hitachi ABB Power Grids, Self-healingdistributiongrid RTU500 [Электронный ресурс]. <https://clck.ru/35uuVb> (дата обращения: 28.09.23).

3. Hitachi ABB Power Grids, Automatic transfer System [Электронныйресурс]. <https://clck.ru/35uuQP> (дата обращения: 28.09.23).

УДК 621.311.21:004.896

## **ОПТИМАЛЬНАЯ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИЯ КАСКАДНЫХ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

Лейсян Махмутовна Назмутдинова

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент Вадим Александрович Гаврилов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

[Leysyan.nazmutdinova@mail.ru](mailto:Leysyan.nazmutdinova@mail.ru)

**Аннотация.** В данной работе предложено совместное распределение вероятностей отклонения прогноза выработки периодически возобновляемых источников энергии и нагрузок. Описана оптимальная модель диспетчеризации,

учитывающая гибкий спрос и предложение гидроэлектростанции, что позволит улучшить работу энергосистемы.

**Ключевые слова:** диспетчеризация, прерывистые возобновляемые источники энергии, адаптивный метод, АСУТП.

## OPTIMAL DISPATCHING OF CASCADE HYDROELECTRIC POWER PLANTS

Leisyan M. Nazmutdinova  
KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
Leisyan.nazmutdinova@mail.ru

**Abstract.** In this paper, a joint probability distribution of intermittent renewable generation and load forecast deviation is proposed. An optimal dispatch model that takes into account the flexible supply and demand of the hydroelectric power plant is described, which will improve the operation of the power system.

**Keywords:** dispatching, intermittent renewable energy sources, adaptive method, automated control system.

Возобновляемая энергетика играет важную роль в снижении выбросов углекислого газа [1]. Многие страны увеличивают установленную мощность возобновляемых источников энергии, поскольку это дает огромные преимущества в плане сокращения выбросов и экономии энергии. Однако с развитием возобновляемой энергетики постепенно появились такие недостатки, как отставание в регулировании пиковых нагрузок и недостаточная устойчивость системы. Подключенные к сети высокие масштабы возобновляемой энергетики приводят к усложнению объектов управления и затруднению многоуровневой координации. В частности, большие масштабы ветровой и фотоэлектрической энергии, подключенной к сети, являются серьезной проблемой развития возобновляемой энергетики. Поскольку мощность ветра и фотоэлектрической энергии трудно точно спрогнозировать, исследователи называют их прерывистыми возобновляемыми источниками энергии [3], которые обладают явными погрешностями.

Эффективными мерами борьбы с данной проблемой являются повышение точности прогноза, увеличение емкости накопителей энергии и улучшение работы энергосистемы [2]. К примеру, существует двухступенчатый метод снижения влияния ресурсных колебаний напряжения, где посредством оптимизации, при помощи диспетчеризации

можно ограничить риски для ветроинтегрированного интеллектуального энергоузла с несколькими несущими, а также возможность оценить его работу в сочетании с накопителями энергии предоставив данные с систему АСУТП [4].

Чтобы построить оптимальную диспетчерскую модель для адаптивного управления электроснабжением в энергосистеме, связанной с большим количеством прерывистых возобновляемых источников энергии, для этого необходимо указать погрешности, вызванные колебаниями нагрузки и мощности, и построить оптимальную диспетчерскую модель [5]. Использование такой модели диспетчеризации позволяет повысить гибкость работы энергосистемы и безопасность сети.

В данной работе выявлены сложности регулирования спроса энергосистемы, обусловленная совместным влиянием неопределенности выходного сигнала прерывистых возобновляемых источников энергии и отклонений прогноза нагрузки [6]. Для решения данной проблемы было предложено совместное распределение, учитывающее погрешность выходного сигнала и прогноза нагрузки. И на основе полученных результатов предложена модель оптимального диспетчерского управления для повышения гибкости гидроэнергетики.

### **Источники**

1. Новиков Г.В. Частотное управление асинхронными электродвигателями // Известия высших учебных заведений. ЭНЕРГЕТИКА СИЛОВАЯ. 2017. Т. 8. № 1. С. 21-23.
2. Liu, H.; Xie, T.; Ran, J.; Gao, S. An Efficient Algorithm for Server Thermal Fault Diagnosis Based on Infrared Image 2017, p. 910.
3. Яруллин Р.С., Салихов И.З., Черезов Д.С., Нурисламова А.Р. Перспективы водородных технологий в энергетике и в химической промышленности // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021. Т. 23. № 2. С. 70-83.
4. Реймген Ю.Г. Автоматизированные системы управления технологическими процессами 2014, р.3-7.
5. Huo, Z.; Zhang, Y.; Sath, R.; Shu, L. Self-adaptive fault diagnosis of roller bearings using infrared thermal images 2017, p. 124-127.
6. Проектирование систем и средств автоматизации и управления : учебное пособие / О. В. Дмитриева, Н. Б. Сбродов, Е. К. Карпов, М. В. Неизвестных. — Курган : КГУ, 2019. — 112 с.

## ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОТЕРЬ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Филипп Юрьевич Олейник<sup>1</sup>, Ольга Евгеньевна Куракина<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>ФГБОУ «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>jrekt@bk.ru, <sup>2</sup>Random\_jj@mail.ru

**Аннотация.** В данном тезисе обсуждается проблема потерь электроэнергии, при передаче её в электроэнергетических системах, а так же подробно рассматриваются причины и факторы, воздействующие на процесс передачи электроэнергии, такие как сопротивление проводов, реактивная мощность, трансформаторы и другие компоненты электроэнергетической системы.

**Ключевые слова:** потери электроэнергии, передача электроэнергии, сопротивление проводов, трансформаторы, качество электроэнергии.

## REASONS FOR LOSSES DURING ELECTRICITY TRANSMISSION

Filipp Y. Oleynik<sup>1</sup>, Olga E. Kurakina<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>jrekt@bk.ru, <sup>2</sup>Random\_jj@mail.ru

**Abstract.** This thesis discusses the problem of electricity losses during its transmission in electrical power systems, and also discusses in detail the causes and factors affecting the process of electricity transmission, such as wire resistance, reactive power, transformers and other components of the electrical power system.

**Keywords:** power losses, power transmission, wire resistance, transformers, power quality.

Электричество играет ключевую роль в нашей современной жизни, обеспечивая питание для многочисленных устройств, промышленных процессов и домашних потребителей. Однако при передаче электроэнергии от места её производства (генерации) к месту потребления, существуют определенные потери, которые могут оказывать значительное воздействие на эффективность и стоимость энергоснабжения.

Потери электроэнергии - это явление, при котором часть электрической энергии, произведенной в генераторах электростанций, теряется в процессе передачи и распределения до места её фактического

потребления. Эти потери возникают из-за различных физических и технических процессов в электроэнергетических системах и имеют несколько основных причин [1].

Первая и самая распространенная - сопротивление проводников. Электрический ток при передаче энергии проходит через проводники, которые имеют определенное сопротивление. Именно оно приводит к потере энергии, за счет выделения тепла в процессе её передачи.

Второй, немало важной причиной, являются индуктивные и емкостные потери. В электроэнергетических системах, содержащих катушки индуктивности (индукторы) и емкостные элементы (конденсаторы), возникают реактивные потери мощности. Эти потери, в свою очередь, происходят из-за изменений магнитных и электрических полей внутри системы и также приводят к тепловым потерям [5].

Далее магнитные потери и потери в трансформаторах. В трансформаторах и других магнитных устройствах возникают магнитные потери в виде выделения тепла, они связаны с колебаниями магнитных полей, вызванных магнитными вихрями. В процессе трансформации напряжения и тока в трансформаторах также возникают потери из-за расхода энергии на нагрев его компонентов и процессов, происходящих внутри устройства.

Следующей причиной будут потери ЛЭП и кабелей. Электроэнергия передается на большие расстояния с использованием линий электропередач и кабелей. Эти элементы также имеют собственное сопротивление и потери, которые становятся больше с увеличением расстояния передачи [4].

К этим причинам еще относят неэффективное использование энергии и напряженность в сети. Это означает, что если электроэнергия тратится или расходуется неоптимальным образом, это может привести к ненужным расходам и потерям. Что касается напряженности, то в некоторых случаях, слишком высокая или низкая напряженность в электросети может привести к потерям энергии, неэффективной передаче, и даже к повреждению оборудования.

Так же, важно отметить плохое качество электроэнергии. Оно является одной из самых значимых причин возникновения потерь энергии. Если напряжение сильно колеблется, возникают скачки, помехи, перебои в питании, перенапряжение, то это может привести к большим потерям электроэнергии и повреждению оборудования. Еще важно стабильно поставлять электроэнергию, в противном случае это приведет к сбою оборудования и дополнительным потерям энергии. И вдобавок к этому,

здесь стоит отметить, что низкое качество электроэнергии может привести к нерациональному использованию реактивной мощности, при этом большая часть потребляемой энергии превращается в реактивную мощность, что увеличивает потери в системе передачи. Отсюда так же вытекает передача гармонических искажений. Электроэнергия должна соответствовать ожидаемым стандартам и быть свободной от гармонических искажений, потому что, гармоники могут вызвать нагрев и дополнительные потери в проводах и оборудовании [2].

Еще, можно упомянуть, фазовые несоответствия, ведь в результате неправильной настройки оборудования или несоответствия в распределительной сети влечет за собой несоответствия в фазах напряжения и тока, которые также могут вызывать потери.

А так же отклонения в напряжении и частоте. Отклонение этих параметров влияет на эффективность работы электрооборудования. Слишком низкое или высокое напряжение может увеличивать потери из-за неправильной работы оборудования и повышенного сопротивления проводников [3].

Снижение потерь при передаче электроэнергии остается приоритетной задачей в современной энергетике. Разработка и внедрение новых технологий, оптимизация систем управления и мониторинга, а также образование и сознательное потребление энергии играют важную роль в достижении этой цели. С учетом растущего спроса на энергию и важности устойчивости и эффективности энергетических систем, уменьшение потерь при передаче электроэнергии является критическим элементом современной энергетической стратегии.

### **Источники**

1. Фурсанов М.И. Определение и анализ потерь электроэнергии в электрических сетях энергосистем. — Мн.: УВИЦ при УП «Белэнергосбережение», 2005. — С. 6-15.

2. Железко Ю.С., «Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство для практических расчетов». Москва: ЭНАС, 2009. — С.6-15.

3. Артемьев А. В., Савченко О. В. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях: Руководство для практических расчетов. — М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004. — С. 5-20.

4. Петров, Н. С. Потери электроэнергии в распределительных сетях / Н. С. Петров, О. В. Наумов // Актуальные проблемы общества, экономики

и права в контексте глобальных вызовов : Сборник материалов XII Международной научно-практической конференции, Москва, 2022 года С. 106-113.

5. Железко Ю. С., Артемьев А. В., Савченко О. В. Расчёт, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях. - М.: НЦ ЭНАС, 2005.-280 с.

УДК 621.311

## **АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ МАГНИТНЫХ ПУСКАТЕЛЕЙ ВНУТРИЦЕХОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

Алмаз Радикович Петров

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. Елена Ивановна Грачева

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

petroval13@mail.ru

**Аннотация.** В статье проведено исследование основных эксплуатационных характеристик низковольтных магнитных пускателей, приведен сравнительный анализ коммутационных аппаратов отечественного и зарубежного изготовителя.

**Ключевые слова:** низковольтная сеть, магнитные пускатели, циклы коммутации, надежность, отказ аппаратов.

## **ANALYSIS OF RELIABILITY INDICATORS OF MAGNETIC STARTERS OF IN-SHOP POWER SUPPLY**

Almaz R. Petrov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

petroval13@mail.ru

**Abstract.** The article conducts a study of the main operational characteristics of low-voltage magnetic starters and provides a comparative analysis of switching devices from domestic and foreign manufacturers.

**Keywords:** low-voltage network, magnetic starters, switching cycles, reliability, device failure.

Проведем исследование параметров надежности магнитных пускателей на напряжение 0,4 кВ различных фирм-производителей.

Вычислим значения основных параметров надежности исследуемых низковольтных электрических аппаратов.

В качестве расчета наработки на отказ принимается экспоненциальный закон распределения [1, 2]. Для магнитных пускателей ПМЛ (КЭАЗ), СТХ (Legrand), Easy Pact TVS (Schneider Electric) определим закон изменения вероятности безотказной работы  $P(t)$  [3].

При испытании 5 образцов магнитных пускателей ПМЛ на номинальный ток 50 А после  $30 \cdot 10^6$  циклов зарегистрировано 15 отказов.

Для примера вычислим среднюю наработку на отказ аппарата ПМЛ по выражению [4, 5]:

$$t_{cp} = \frac{n_x \Delta t}{\Delta n_x} \quad (1)$$
$$t_{cp} = \frac{5 \cdot 30 \cdot 10^6}{15} = 10 \cdot 10^6$$

где  $n$  – общее количество магнитных пускателей, за которым производится наблюдение;  $\Delta n_x$  – число отказов за наработку.

Средняя интенсивность отказов ПМЛ определяется по выражению:

$$\lambda = \frac{1}{t_{cp}} \quad (2)$$
$$\lambda = \frac{1}{10 \cdot 10^6} = 0,1 \cdot 10^{-6}$$

где  $t_{cp}$  - средняя наработка на отказ аппаратов.

$P(t)$  для магнитных пускателей ПМЛ:

$$P(t) = e^{-\lambda t} \quad (3)$$
$$P(t) = e^{-0,1 \cdot 10^{-6} \cdot 0,1 \cdot 10^6} = 0,9900$$

Результат расчета для аппаратов различных заводов-изготовителей приведен в таблице 1.

Таблица 1

Вероятность безотказной работы  $P(t)$  магнитных пускателей различных заводов-изготовителей с  $I_H=50A$  для разного количества циклов.

Кол-во циклов $N \cdot 10^6$	0,1	0,5	1	5	10	15	20
P(t) ПМЛ	0,9900	0,9512	0,9048	0,6065	0,3679	0,2231	0,1353
P(t) СТХ	0,9940	0,9704	0,9418	0,7408	0,5488	0,4066	0,3012
P(t) EasyPact TVS	0,9920	0,9608	0,9231	0,6703	0,4493	0,3012	0,2019

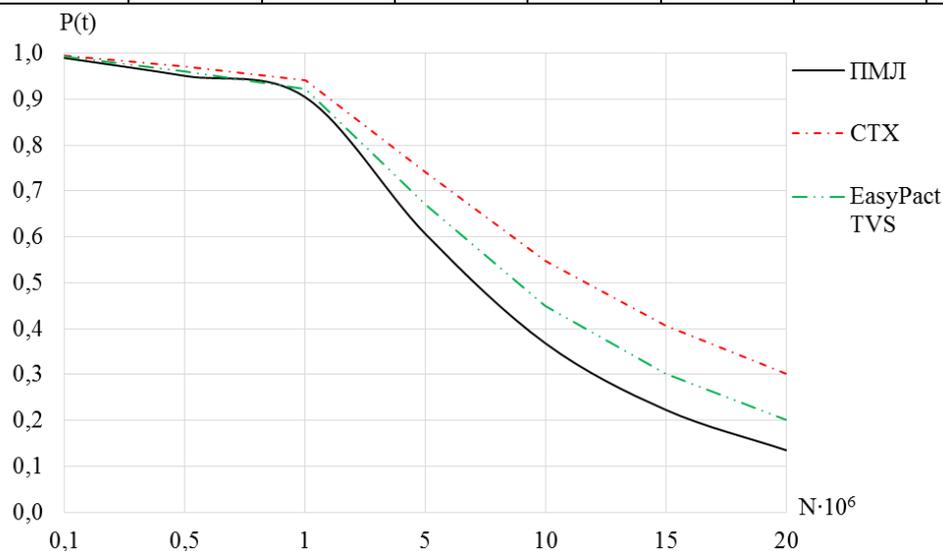


График зависимости вероятности безотказной работы магнитных пускателей с  $I_n=50A$  от количества циклов включения-отключения

Результаты исследования в дальнейшем могут быть использованы для расчетов режимов систем электроснабжения и рационального выбора электрооборудования.

### Источники

1. Грачева Е.И., Сафин А.Р., Садыков Р.Р. Исследование и оценка функциональных параметров низковольтных аппаратов // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2018. №5-6.

2. Петров А. Р., Грачева Е. И. Моделирование потерь мощности в контактных системах низковольтных коммутационных аппаратов // Омский научный вестник. 2023. № 2 (186). С. 126–133. DOI: 10.25206/1813-8225-2023-186-126-133.

3. Грачева Е. И., Горлов А. Н., Шакурова З. М. Анализ и оценка экономии электроэнергии в системах внутризаводского электроснабжения // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2020. №2.

4. Грачева Е.И., Наумов О.В., Горлов А.Н, Шакурова З.М. Алгоритмы и вероятностные модели параметров функционирования внутризаводского электроснабжения // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021. Т. 23. № 1. С. 93-104. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-1-93-104.

5. Хорольский В.Я., Таранов М.А. Надёжность электроснабжения. Ростов-на-Дону: Терра Принт, 2017.

УДК 621.311

## **ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТЬ НИЗКОВОЛЬТНОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ, МАГНИТНЫХ ПУСКАТЕЛЕЙ И КОНТАКТОРОВ**

Рената Маратовна Петрова

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. Елена Ивановна Грачева

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

1998renata@mail.ru

**Аннотация.** В статье приведен анализ основных отказов для автоматических выключателей, магнитных пускателей и контакторов 0,4 кВ на основе крупных производственных предприятий г. Казань. Данные по отказоустойчивости в дальнейшем помогут повысить надежность системы электроснабжения в целом.

**Ключевые слова:** надежность, отказоустойчивость, низковольтное электрооборудование, система электроснабжения, автоматический выключатель, магнитный пускатель, контактор.

## **FAULT TOLERANCE OF LOW-VOLTAGE ELECTRICAL EQUIPMENT BY THE EXAMPLE OF CIRCUIT BREAKERS, MAGNETIC STARTERS AND CONTACTORS**

Renata M. Petrova

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

1998renata@mail.ru

**Abstract.** The article presents the analysis of the main failures for circuit breakers, magnetic starters and contactors 0.4 kV on the basis of large manufacturing enterprises of

Kazan. The data on fault tolerance will further help to improve the reliability of the power supply system as a whole.

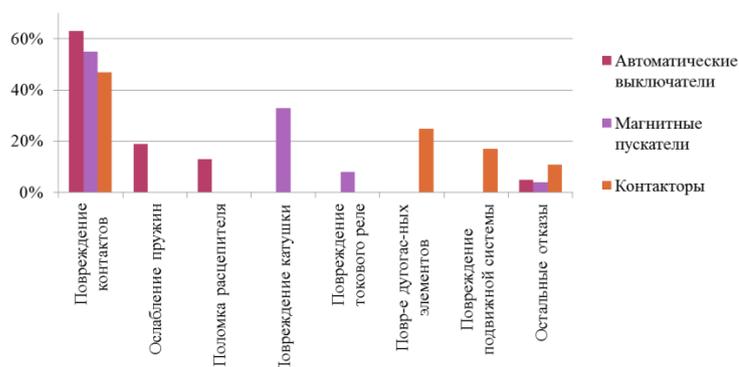
**Keywords:** reliability, fault tolerance, low-voltage electrical equipment, power supply system, circuit breaker, magnetic starter, contactor.

В настоящее время требуется актуализировать подходы к оценке надежности всей системы электроснабжения промышленных предприятий, а также к отказоустойчивости отдельных элементов электрооборудования [1, 4]. В проведенных исследованиях авторами Петровой Р.М., Грачевой Е.И. и др. [1, 3] определены законы изменения вероятностных характеристик надежности основного низковольтного электрооборудования, произведена проверка на соответствие вероятностных характеристик электрооборудования нормальному закону распределения с использованием критериев Колмогорова и Пирсона.

Рассмотрим отказоустойчивость на примере автоматических выключателей ВА51, магнитных пускателей ПМЛ-1100 и контакторов КТ-6000 завода-изготовителя «Курский электроаппаратный завод» (КЭАЗ, г. Курск).

Для необходимого уровня оценки отказоустойчивости, как одного из параметров надежности, как электрического, так и технологического оборудования, немаловажными параметрами служат временные характеристики длительностей устранения отказов, а также анализ отказов в процентном соотношении [2].

На рисунке приведено процентное соотношение отказов автоматических выключателей, магнитных пускателей и контакторов низковольтных систем электроснабжения.



Процентное значение отказов для автоматических выключателей, магнитных пускателей и контакторов 0,4 кВ

Данные рисунка получены на основе анализа данных по отказам крупных производственных предприятий г. Казани.

Для автоматических выключателей ВА51 основными отказами являются повреждения контактов – 63%, что включает обгорание и износ контактов (45%), повреждение механизма свободного расцепления и регулировки контактов (18%). Остальные отказы связаны с ослаблением пружин – 19% и поломкой расцепителя – 13%, прочие отказы – 5%.

Большинство отказов магнитных пускателей ПМЛ-1100 связаны с повреждением контактов (57%) и катушки (33%). Повреждение теплового реле занимает 8% от общего количества и не выявлено 4% отказов. Для контакторов КТ-6000 – повреждение контактов (47%), дугогасительных элементов (25%) и подвижной системы (17%). Иные отказы – 11%.

Таким образом, полученные данные могут быть использованы для дальнейших расчетов надежности схем, а именно для оценки необходимого уровня надежности как электрического, так и технологического оборудования, а также для прогнозирования длительности устранения отказов и вероятности безотказной работы системы электроснабжения.

### **Источники**

1. Петрова Р.М, Абдуллазянов Э.Ю., Грачева Е.И., Valtchev S., Youseffbragim. Исследование вероятностных характеристик надежности электрооборудования внутрицеховых систем электроснабжения // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2023. Т. 15. No1 (57). С. 93-105.

2. Родзин С. И. Повышение отказоустойчивости распределенных систем в электроэнергетике // Известия ЮФУ. Технические науки. 2005. №11.

3. E. Gracheva, R. M. Petrova, S. Valtchev and T. Sinyukova, «Study of Probability Characteristics of the Reliability of Electrical Equipment in Internal Power Supply Systems» 2023 5th Global Power, Energy and Communication Conference (GPECOM), Nevsehir, Turkiye, 2023, pp. 460-465, doi: 10.1109/GPECOM58364.2023.10175821.

4. Грачева Е.И. Оптимизация проектирования систем электроснабжения с учетом возможных ситуаций и вероятностных параметров надежности / Е.И. Грачева, Р.Р. Садыков // Вести высших учебных заведений Черноземья. Электроэнергетика. 2017. № 2(48). С. 22-26.

## ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ КРУПНЫХ ГОРОДОВ И МЕГАПОЛИСОВ

Денис Иванович Пинин

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. Елена Ивановна Грачёва

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

pinin4denis@mail.ru

**Аннотация.** В данной статье проанализированы основные проблемы электроснабжения крупных городов и мегаполисов, выявлены основные проблем электроснабжения с учетом роста населения и энергопотребления.

**Ключевые слова:** электроснабжение, потребление энергии, городская электросеть, энергоэффективность.

## PROBLEMS OF ELECTRIC SUPPLY TO LARGE CITIES AND MEGA CITIES

Denis I. Pinin

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

pinin4denis@mail.ru

**Abstract.** This article analyzes the main problems of power supply to large cities and megalopolises, identifying the main problems of power supply taking into account population growth and energy consumption.

**Keywords:** electricity supply, energy consumption, city power grid, energy efficiency.

В последние годы скорость роста городского населения возрастает. В городах и мегаполисах наблюдается высокая плотность электрических нагрузок до 20—30 МВА/км<sup>2</sup> в центральных районах города и большим количеством различных потребителей. Теперь большинство электроприемников относятся к первой категории электроснабжения, при этом число таких приемников постоянно растет. К потребителям первой категории теперь относятся также вычислительные комплексы крупных банков, федеральные организации [1].

Крупные города и мегаполисы являются местами массового проживания людей, расположением промышленности, центров управления всеми видами коммуникациями, имеют развитую и энергоемкую систему

жизнеобеспечения, которая включает централизованное электроснабжение и теплоснабжение, котельные, инженерные сети, городского автодорожного и рельсового транспорта, вокзалы и железные дороги, аэропорты, больницы, детские учреждения, школы, а в мегаполисах такие как метро, высотные здания с лифтами и другими системами жизнеобеспечения [2]. Нарушение электроснабжения городов и промышленных предприятий сопровождается опасными для жизни и здоровья людей исходом.

Проблемы электроснабжения крупных городов и мегаполисов могут быть разнообразными и включать в себя следующие аспекты:

1. Потребление энергии: с ростом населения и увеличением числа жилых и коммерческих зданий возрастает потребление электроэнергии. Это может приводить к проблемам с перегрузкой сети, особенно во время пиковых нагрузок, таких как летние периоды с высоким спросом на кондиционирование воздуха.

2. Старение инфраструктуры: многие крупные города и мегаполисы имеют старую или устаревшую электросетевую инфраструктуру. Это может приводить к авариям, перебоям в электроснабжении и повышенным затратам на обслуживание и ремонт системы [3].

3. Отсутствие резервных систем: в случае отключения электроэнергии крупные города и мегаполисы могут столкнуться с проблемой отсутствия резервных систем, недостаточного количества генераторов или неправильной организации аварийного электроснабжения, что может повлечь за собой серьезные последствия для населения и бизнеса [4].

4. Энергетическая зависимость: крупные города и мегаполисы могут зависеть от энергетических систем, расположенных на больших расстояниях, что может повышать риск возникновения проблем в случае сбоев в поставках электроэнергии.

5. Потребность в устойчивых решениях: растущий интерес к устойчивому развитию и использованию возобновляемых источников энергии создает необходимость внедрения новых технологий и инфраструктуры, чтобы справиться с растущими потребностями городской электросети [5].

Для решения данных проблем, возможны следующие решения:

-Расширение и модернизация электросетей и другой инфраструктуры.

-Инвестиции в альтернативные источники энергии, такие как солнечная и ветровая энергия.

- Улучшение систем управления нагрузкой и энергоэффективностью.
- Создание резервных и аварийных планов для ликвидации отключений.
- Обновление системы предупреждения и мониторинга для раннего выявления проблем.
- Развитие инфраструктуры транспортировки топлива.
- Обучение персонала и повышение осведомленности о потреблении энергии в городах.

В целом, решение проблем электроснабжения в крупных городах и мегаполисах требует комплексного подхода, включающего модернизацию инфраструктуры, улучшение энергоэффективности и разработку устойчивых источников энергии.

### **Источники**

1. Электроэнергетика России 2030: целевое видение. / Под общ. ред. Б.Ф. Вайнзихера. — М.: Альпина Бизнес Букс, 2008. — 360 с.
2. Концепция надежности в электроэнергетике. — М.: РАО «ЕЭС России», 2004. — 48 с.
3. Пинин, Д. И. Способы оптимизации работы силовых трансформаторов (по материалам зарубежных источников) / Д. И. Пинин // XXVI Всероссийский аспирантско-магистерский научный семинар, посвященный дню энергетика: материалы докладов: в 3 т., Казань, 06–07 декабря 2022 года. Том 3. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2023. – С. 519. – EDN PRLYVP.
4. Грачева Е.И., Горлов А.Н., Шакурова З.М. Анализ и оценка экономии электроэнергии в системах внутризаводского электроснабжения. Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2020;22(2):65-74. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2020-22-2-65-74>.
5. Абдуллазянов Э.Ю., Грачева Е.И., Альзаккар А., Низамиев М.Ф., Шумихина О.А., Valtchev S. Прогнозирование и анализ электропотребления и потерь электроэнергии на промышленных объектах. Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2022;24(6):3-12. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2022-24-6-3-12>.

## ПОВЫШЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ В ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ (ЛЭП)

Артур Игоревич Сафин

Науч. рук. канд. пед. наук, доцент Леонид Владимирович Долومانюк

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

artur.safin.1996@mail.ru

**Аннотация.** В данной статье проанализированы способы оптимизации работы ЛЭП. Рассмотрены новые конструктивные особенности повышения пропускной способности в линиях электропередач.

**Ключевые слова:** модернизация электроснабжения, ограничения, воздушная линия.

## POWER TRANSMISSION CAPACITY UPGRADE OF OVER HEAD LINES

Artur I. Safin

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

artur.safin.1996@mail.ru

**Abstract.** This article analyzes the ways to optimize the operation of power lines. New design features of increasing capacity in power transmission lines are considered.

**Keywords:** powerupgrading, constraints, overhead line.

На данный момент стоимость новых или усовершенствование существующих высоковольтных линий электропередач продолжает расти, помимо вышеперечисленного и возрастает роль увеличения пропускной способности. Связано это прежде всего из-за высокой потребности в качественной электроэнергии.

Цель исследования: рассмотреть возможные пути увеличения пропускной способности линий электропередач с использованием современных технологий.

Человечество всегда проявляло интерес к концепции получения «чистой энергии» на выходе. Целесообразным решением является установка различных устройств либо в одиночном исполнении, либо

комплексно, которые в свою очередь будут поддерживать оптимальную планку передачи электроэнергии с наименьшими ее потерями.

С технической точки зрения пропускная способность электрической сети - это максимально допустимое значение передаваемой мощности с учетом условий эксплуатации и параметров, влияющих на надежность электроэнергетической системы. Пропускная способность зависит от нескольких факторов: напряжения в начале и в конце линии; длины линий ЛЭП и волновых характеристик [1].

Для поддержания нормального уровня напряжения на всем протяжении ЛЭП различают следующие варианты увеличения электротехнических характеристик, которые хорошо себя показали в эксплуатации [2]:

1. Реконструкция воздушных линий ЛЭП путем увеличения площади поперечного сечения кабеля для сохранения номинального напряжения по всей его длине. Однако есть и недочеты как с финансовой, так и с механической точки зрения на стальные/железобетонные конструкции ЛЭП, линейную арматуру. Помимо этого стоит ограничение на протяженность такой линии;

2. Увеличение номинального напряжения в начале линии. Но с нововведением такого варианта следует помнить, что вся электрическая «начинка» будет требовать модернизации, начиная от изоляторов и заканчивая распределительными трансформаторными подстанциями, не говоря уже об электрических схемах, которые также потребуют изменений;

3. Установка конденсаторной батареи в месте потребления. Хорошим показателем будет уменьшение реактивной мощности. Преимущества конденсаторных установок можно определить по следующим критериям: простота установки и эксплуатации, отсутствие шума и вибрации во время работы по сравнению с окружающей средой, относительно низкая стоимость вложений [3].

В зависимости от подключения существуют следующие типы компенсации:

1. Индивидуальная компенсация: индуктивная мощность стабилизируется в тех местах, где она есть.

2. Групповая компенсация: конденсатор подключен к нескольким потребителям и работает одновременно.

3. Централизованная компенсация: количество конденсаторов, подключенных к основному или групповому распределительному шкафу.

Устройство используется в мощных электроустановках с различными нагрузками[4].

4. Вольтодобавочный трансформатор (ВДТ), другими словами, силовой трансформатор с возможностью регулировки напряжения под нагрузкой — используется для регулировки напряжений в отдельных или нескольких магистралах ЛЭП. [5] Установка такого типа трансформатора позволяет: выравнять напряжение в электросети; устранять несимметрию напряжения на определенном участке цепи; снизить опасные последствия отгорания нулевого проводника. [6]. ВДТ обеспечивает регулирование уровня напряжения в пределах  $\pm 15\%$  .

5. Существуют также устройства, так называемые FACTS. Это электропередачи переменного тока, оснащенные устройствами современной силовой электроники. Данная система позволяет отслеживать мгновенные характеристики энергообмена и преобразует функцию электрической сети из существующей «пассивной» в «активную». Метод подключения - шунт. Она работает как управляемый источник тока. Устройства, реализующие такую технологию: статические преобразователи напряжения на основе современной силовой электроники; электромашиноинвертные комплексы (машины переменного тока со статическими преобразователями частоты); микропроцессорные средства управления(регулирования) устройствами. К его преимуществам относят: многофункциональность; высокое быстродействие; малое содержание высших гармоник; малые размеры, занимаемые полезную площадь в сравнении со статическими тиристорными компенсаторами; показывает куда меньшую вероятность появления резонансных явлений, а при снижении напряжения переходит в режим постоянного источника тока, обеспечивая постоянное выходное напряжения.

Рассмотрев все вышеизложенные варианты, можно сделать вывод, что на сегодняшний день интерес к системам FACTS связан с наращиванием интеллектуально-развитой энергосистемы. В активно-адаптивных сетях такие характеристики, как широкие рабочие диапазоны регулирования и высокое быстродействие, минимизация использования полезного пространства становятся особенно востребованными.

## **Источники**

1. Информационно-измерительная система для контроля технического состояния работающих механизмов по параметрам вибрации / И. В. Ившин, Ю. В. Ваньков, В. А. Гаврилов [и др.] // Известия высших

учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2012. – № 3-4. – С. 127-134. – EDNNPQVQR.

2.Саитбаталова Р.С., Гибадуллин Р.Р., Загидуллин Р.Г. Ступенчатое регулирование батарей конденсаторов для обеспечения устойчивости нагрузки промышленных предприятий// Вестник КГЭУ. 2019. Том 11. № 1(41). С. 79-84.

3.БирюлинВ.И., Куделина Д.В. Разработка модели для анализа способов снижения несимметрии напряжений в системах электроснабжения // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2022. Том 24. №2. С. 72-85.

4.БородинМ.В., Виноградов А.В., Букреев А.В., Панфилов А.А. Структура времени определения источника искажений показателей качества электрической энергии и программно-аппаратный комплекс для его сокращения//Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021. Том 23. № 6. С. 29-41.

5.Боярская Н.П., Довгун В.П., Егоров Д.Э., Новиков В.В., ШандрыгинД.А. Минимизация потерь мощности в пассивных силовых фильтрах // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021. Том 23. №6. С. 42-52.

6.Перминов Р.В., Потапов В.С., Трофимов Н.А., Джулакян М.В. Способы повышения пропускной способности линии электропередачи2019 [Электронный ресурс]. <https://cyberleninka.ru/article/n/sposoby-povysheniya-propusknoy-sposobnosti-linii-elektroperedachi>(дата обращения 01.11. 2023).

УДК 621.311

## **ВЛИЯНИЕ ТОКОГРАНИЧЕНИЯ НА СИММЕТРИЧНЫЙ ПЕРЕХОДНОЙ ПРОЦЕСС В КАБЕЛЬНОЙ ЛИНИИ**

Александр Шамилевич Сафонов<sup>1</sup>, Раиса Усмановна Галеева<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>samarkand.987@mail.ru, <sup>2</sup>raisa\_gal.52@mail.ru

**Аннотация.** Моделирование объектов системы электроснабжения в среде Matlab Simulink позволяет исследовать переходные процессы и их влияние на объекты этой системы с целью улучшения характеристик аппаратов и электрооборудования. Актуальной задачей является применение токоограничивающих выключателей и их работа во время переходного процесса. Моделирование реального объекта системы

электроснабжения актуально для проектирования и эксплуатации системы электроснабжения.

**Ключевые слова:** моделирование, система электроснабжения, устройство защиты, процесс короткого замыкания, токоограничивающий выключатель, тепловой импульс, MATLAB.

## INFLUENCE OF CURRENT LIMITATION ON THE SYMMETRICAL TRANSIENT PROCESS IN A CABLE LINE

Aleksandr Sh. Safonov<sup>1</sup>, Raisa U. Galeeva<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>samarkand.987@mail.ru, <sup>2</sup>raisa\_gal.52@mail.ru

**Abstract.** Modeling power supply system objects in the Matlab Simulink environment allows to study transient processes and their impact on the objects of this system in order to improve the characteristics of devices and electrical equipment. An urgent task is the use of current-limiting circuit breakers and their operation during the transient process. Modeling of a real power supply system object is relevant for the design and operation of the power supply system.

**Keywords:** modeling, power supply system, protection device, short circuit process, current-limiting switch, thermal impulse, MATLAB.

Использование защитных устройств, отключающая способность которых ниже, чем фактические существующие, разрешено международной электротехнической комиссией (МЭК) и многими национальными стандартами при выполнении определенных условий [1]. Одно из условий предполагает, что если на верхнем уровне цепи есть другое защитное устройство, которое имеет необходимые параметры срабатывания при коротких замыканиях (КЗ), ток и время срабатывания этого устройства, т.е. количество передаваемой энергии ( $I^2t$ ), поступающей в расположенную за ним установку (устройства защиты, кабели, оборудование), должны или может быть меньше, чем может выдержать оборудование защищаемой установки [2].

На практике такое расположение аппаратов используется при соединении выключателей в каскаде, т.е. в режиме последовательного включения. Высокие показатели по ограничению тока некоторых выключателей эффективно снижают токи КЗ ниже по цепи [3-4].

Защитное устройство должно удовлетворять условиям и требованиям правил электроустановок [5].

Тестовая модель представлена силовым трансформатором мощностью 16 МВА с коэффициентом трансформации 110/10 кВ и кабельной линией марки ААШв-3х240. Схема соединения обмоток трансформатора – «звезда с нулем» - «звезда».

Моделирование электрической сети в системе MATLAB Simulink осуществлялось с помощью библиотеки Simscape Power Systems [6]. КЗ фаз моделируется вначале кабельной линией с помощью блока Breaker, который нормально замкнут и создает аварийный режим через 0,05 с после запуска модели. Используются блоки: «Трансформатор 110/10 кВ, Y0/Y», «Линия с сосредоточенными параметрами», «Активная нагрузка».

Структурная схема тестовой модели приведена на рис.1.

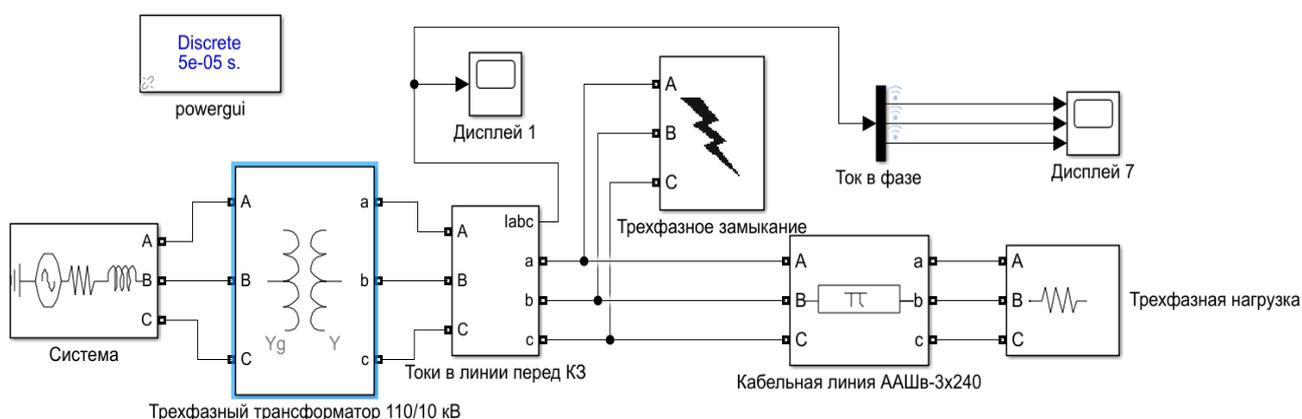


Рис.1. Тестовая модель симметричного переходного режима КЗ системы в MATLAB

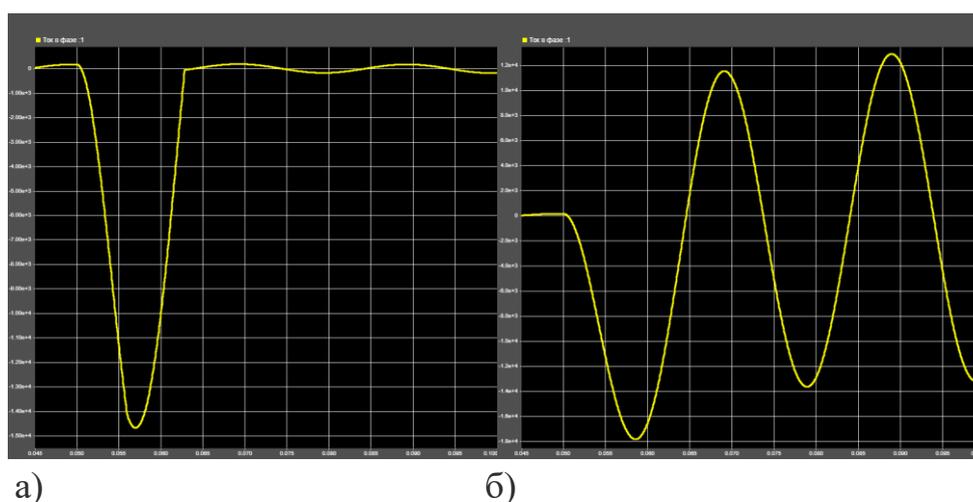


Рис.2. Осциллограмма тока КЗ фазы А: а) - с токоограничением; б) - без токоограничения на промежутке времени от 0,045сек. до 0,1 сек.

Ударный ток КЗ во всем периоде переходного процесса КЗ будет присутствовать (рис. 2). Это означает, что влияние на отключающую способность высоковольтных выключателей его быстроедействие оказывает не столь сильное влияние, как на тепловой импульс от тока КЗ. Исследования показали, что тепловое воздействие от тока КЗ на кабель, защищаемый выключателем с токоограничением, уменьшится на 24,5 %.

### **Источники**

1. ГОСТ Р МЭК 60949-2009. Национальный стандарт РФ. Расчет термически допустимых токов короткого замыкания с учетом неадиабатического нагрева.
2. Руководство по устройству электроустановок 2019. SchneiderElectric[Электронныйресурс].URL:<https://www.se.com/kz/ru/download/document/МКР-САТ-ELGUIDE-19> (Дата обращения: 26.10.2023)
3. Сверхбыстродействующие выключатели ВВ/TEL [Электронный ресурс]. URL:<https://forca.ru/stati/podstancii/sverhbystrodeystvuyushchie-vyklyuchateli-vv-tel.html>(Дата обращения 29.10.2023)
4. Высоковольтныевыключатели вакуумные серии ВБЛК-10 Руководство по эксплуатации. ЕЛУК.674152.091 РЭ.
5. Правила устройства электроустановок. Издание 7[Электронный ресурс].URL: <https://tech-expo.ru/pue/> (Датаобращения:30.10.2023)
6. Черных И. В. «Моделирование электротехнических устройств в MATLAB SimPowerSystems и Simulink» - М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008, 288 с.

УДК 621.311

## **РОЛЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СОВРЕМЕННОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ**

Артем Салаватович Хайруллин

Науч. рук. канд. пед. наук, доцент Екатерина Валерьевна Артамонова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

[hartum01@gmail.com](mailto:hartum01@gmail.com)

**Аннотация.** В данной статье рассматривается роль информационных технологий в электроэнергетике и подчеркивается их важность в обеспечении эффективности и контроля в энергетической отрасли. Особое внимание уделяется роли автоматизированных систем управления и ее компонентов, таких как SCADA-системы,

EMS, DMS-системы и EMS-системы. Также, дается обзор преимуществ и недостатков представленных технологий.

**Ключевые слова:** электроэнергетика, современные технологии, информационные технологии, управление, эффективность.

## **THE ROLE OF INFORMATION TECHNOLOGY IN MODERN ELECTRIC POWER INDUSTRY**

Artem S. Khairullin

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

hartum01@gmail.com

**Abstract.** This article examines the role of information technology in the electricity industry and highlights its importance in ensuring efficiency and control in the energy industry. Particular attention is paid to the role of automated control systems and its components, such as SCADA systems, EMS, DMS systems and EMS systems. Also, an overview of the advantages and disadvantages of the presented technologies is given.

**Keywords:** electric power industry, modern technologies, information technologies, management, efficiency.

Современная электроэнергетика имеет большое значение в обеспечении нашей повседневной жизни электроэнергией. Однако, в связи с растущими потребностями и вызовами, становится все более важным использование информационных технологий для оптимизации процессов в энергетической отрасли.

Управление и контроль энергетических процессов представляют собой одно из основных направлений применения IT-технологий в электроэнергетике. Для автоматизации управления данных процессов современные энергетические компании применяют автоматизированные системы управления (АСУ) [1]. Автоматизированные системы управления – это комплекс программных и аппаратных компонентов, разработанных для управления и контроля различных процессов в промышленности и других областях, включая электроэнергетику. Данный комплекс включает в себя различные виды программных компонентов, такие как SCADA-системы (Supervisory Control and Data Acquisition), EMS (Energy Management Systems), DMS-системы (Distribution Management Systems), EMS-системы (Energy Monitoring Systems), а также разнообразные типы датчиков и сенсоров. С помощью них операторы получают возможность дистанционно считывать физические и химические показания

технического оборудования, контролируя процессы и оперативно реагируя на возникающие отклонения и аварийные ситуации, что обеспечивает стабильную работу энергосистем. Также, АСУ способствуют повышению эффективности экономии электроэнергии путем мониторинга ее расходов на различных этапах её реализации [2]. Стоит отметить возможность АСУ свободно интегрироваться в другие системы. Например, благодаря технологии анализа данных с применением искусственного интеллекта (ИИ) в совокупности с АСУ становится возможным проводить анализ и прогнозирование данных с высокой точностью и скоростью. АСУ позволяет принимать данные с включенных в него датчиков и устройств и проводить анализ полученных данных с помощью интегрированного ИИ, что существенно оптимизирует процесс анализа данных и контроля производства электроэнергии. АСУ обеспечивают взаимодействие и передачу информации между различными элементами электроэнергетической системы, включая удаленные пункты управления, сети передачи данных и коммуникационные системы. Они позволяют операторам быстро обмениваться данными и командами для эффективного управления системой.

Как и у любой другой технологии, у автоматизированных систем управления (АСУ) также есть свои недостатки. Одним из таких недостатков является зависимость от технологии и инфраструктуры предприятия. АСУ требуют хорошо разработанных и надежных технологических решений и инфраструктуры для своей работы. Если в системе произойдет сбой в технологических компонентах или в инфраструктуре связи, это может привести к проблемам в функционировании АСУ [3]. Также, стоит отметить, что СУ подвержены угрозам безопасности, таким как кибератаки или вирусы. Нарушители могут попытаться получить несанкционированный доступ к системе и воздействовать на ее работу или похищать конфиденциальную информацию. Правильная защита от киберугроз требует постоянного обновления и мониторинга системы безопасности. Реализация и поддержание систем автоматизированного управления могут потребовать значительных затрат. Это включает в себя инвестиции в закупку оборудования, разработку программного обеспечения, обучение персонала и проведение регулярного обслуживания [4]. Это может создавать высокие затраты для организаций на первых этапах внедрения, однако в последующем затраты на внедрение данной технологии окупаются.

Таким образом, значимость ИТ-технологий в сфере электроэнергетики не подлежит сомнению. Это связано с большими

возможностями, которые возникают благодаря продуктам сферы информационных технологий. Современные компании активно применяют автоматизированные системы управления, включающие в себя множество систем и технических устройств, что значительно улучшает эффективность управления и контроля на предприятиях энергетической отрасли, и несмотря на существующие недостатки АСУ, такие как зависимость от технологии и инфраструктуры, подверженность кибер-атакам и высокая стоимость внедрения, данная технология является рентабельной, а также имеет отличные перспективы развития.

### **Источники**

1. Жоробаев М.Г. Развитие информационных технологий в управленческом учете на предприятиях электроэнергетики // Наука. Образование. Техника. – 2020. – №2 (68). – С. 39-48.

2. Насонов А.А., Кравченко О.А. Искусственный интеллект: тенденции государственного регулирования и интеграции в цифровую среду предприятий электроэнергетики // Первый экономический журнал. – 2023. – №2 (332). – С. 75-81.

3. Калганов В.С. Применение интегрированных автоматизированных систем управления в электроэнергетике // Студенческий. – 2021. – №2-4 (130). – С. 27-29.

4. Ющенко Д.С. Применение интегрированных автоматизированных систем управления в электроэнергетике // сборник научных статей 2-й Международной научно-технической конференции. – Курск: Закрытое акционерное общество «Университетская книга», 2023. – С. 252-254.

УДК 621.311

## **АНАЛИЗ ЗАРУБЕЖНЫХ И ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ НИЗКОВОЛЬТНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ**

Тагир Азатович Хасанов<sup>1</sup>, Александр Шамилевич Сафонов<sup>2</sup>  
Науч. рук. канд. пед. наук, доцент Зумейра Мунировна Шакурова  
<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
<sup>1</sup>tagir02@bk.ru, <sup>2</sup>sashauchastkin@gmail.com

**Аннотация.** В тезисе рассмотрены системы контроля выключателей до 1 кВ, их возможности, степень автоматизации. Проанализированы российские и зарубежные решения от производителей электротехнической продукции.

**Ключевые слова:** низковольтные выключатели, программируемые выключатели, ABB CMS, IEK, система мониторинга цепей, автоматизация систем электроснабжения.

## **ANALYSIS OF FOREIGN AND DOMESTIC DIGITAL CONTROL SYSTEMS FOR LOW-VOLTAGE CIRCUIT BREAKERS**

Tagir. A. Khasanov<sup>1</sup>, Aleksandr Sh. Safonov<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>tagir02@bk.ru, <sup>2</sup>sashauchastkin@gmail.com

**Abstract.** The thesis discusses the control systems of circuit breakers up to 1 kV, their capabilities, the degree of automation. The Russian and foreign solutions from manufacturers of electrical products are analyzed in this thesis.

**Keywords:** low-voltage circuit breakers, programmable circuit breakers, ABB CMS, IEK, circuit monitoring system, automation of power supply systems.

Важной задачей при автоматизации систем электроснабжения зданий является построение системы контроля и мониторинга электрических сетей, коммутационного состояния выключателей [1-3]. В общем случае считается, что система состоит из управляющего ПЛК, выключателей, датчиков параметров электрической сети и сети связи.

Зарубежными вариантами систем мониторинга являются ABB CMS Smisline, Schneider Electric Power Monitoring Expert, EKF ePRO. Российские производители систем автоматизации электроснабжения – IEK, OWEN, Систэм Электрик.

Для сравнения систем контроля будут рассмотрены решения от ABB и IEK.

ABB CMS Smisline – система мониторинга электрических цепей по протоколу ModBus. Система состоит из управляющего модуля, датчиков и выключателей [4]. Особенностью ABB CMS Smisline является установка датчиков тока втычным образом (рис. 1) на автоматические выключатели.



Рис.1. Установленные датчики тока от АВВ на автоматические выключатели

Управляющий модуль может быть выполнен в компактном корпусе с дисплеем для мониторинга параметров электрической сети или же в закрытом исполнении, но с возможностью обработки большего количества информации с датчиков и передачей данных на веб-сервер.

Решение от российской электротехнической компании IEK используется только в воздушных автоматических выключателях с электронным расцепителем IEK ARMAT.



Рис.2. Домашняя страница дисплея выключателя *IEK ARMAT*

На воздушных автоматических выключателях IEK ARMAT установлен дисплей (рис. 2) для мониторинга параметров электрической сети, просмотра истории, программирования логики отключения и диагностики износа контактов. Позволяет измерять линейные и фазные напряжения, токи по фазам, ток замыкания на землю, полную мощность,

cos φ и частоту [5]. Также все параметры выключателя и управляющие сигналы могут передаваться по протоколу ModBus RTU.

Решение от ИЕК предназначено для промышленных предприятий, где нужен автономный контроль каждого выключателя.

Преимуществами АBB CMS Smisline является возможность установки в жилых и общественных зданиях, простота установки измерительных датчиков и передача данных на веб-сервер. Недостатком является, что система не может дистанционно производить коммутацию автоматических выключателей и задавать логику отключения.

Система контроля выключателей ИЕК обладает большей перспективностью для российского рынка, так как слабо зависит от поставок импортной продукции в Россию и позволяет производить коммутации низковольтных выключателей, но система АBB CMS Smisline более простая и автоматизированная для использования в бытовых нуждах.

### **Источники**

1. Грачева Е.И., Горлов А.Н., Шакурова З.М., Логачева А.Г. Влияние низковольтных электрических аппаратов и параметров электрооборудования на потери электроэнергии в цеховых сетях. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021. Т. 23. № 3. С. 313. doi:10.30724/199899032021233313.

2. Киреева, Эльвира Александровна. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий : учебное пособие для вузов / Э. А. Киреева. - 2-е изд., стер. - Москва : КноРус, 2016. - 368 с. : ил., табл. - (Бакалавриат).; ISBN 978-5-406-05089-7.

3. Автоматизация и диспетчеризация систем электроснабжения [Текст] / Смурнов Е. С. - Москва : Лаборатория Книги, 2010. - [102] с. : ил., табл.; ISBN 978-5-905785-02-3.

4. Система мониторинга цепей CMS [Электронный ресурс]. URL: <https://blogforconsultants.ru/wp-content/uploads/2019/11/CMS.pdf> (Дата обращения: 31.10.2023).

5. Выключатель автоматический воздушный ИЕК АРМАТ. Руководство по эксплуатации [Электронный ресурс]. URL: <https://cdn-01.iek.ru/media/original/9869dc711aa0f33c0ab0b1b43a376fc1f1b1a38134d7048f87c166936ebd5b41.pdf> (Дата обращения 02.11.2023).

## РАЗРАБОТКА И ЭФФЕКТИВНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ДУГОГАСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ РАЗЪЕДИНИТЕЛЯ

Ильсаф Илфакович Хусаинов

Науч. рук, к.т.н., доцент Тимур Игоревич Петров  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
husainovilsaf@mail.ru

**Аннотация.** В статье спроецирована дугогасительная система для разъединителя, описан его принцип работы. Приведены критерии принятия решения. Предложено эффективное применение такого технического решения.

**Ключевые слова:** разъединитель, дугогасительная система, выключатель нагрузки.

## DEVELOPMENT AND EFFECTIVE APPLICATION OF AN ARC SUPPRESSION SYSTEM FOR DISCONNECTORS

Ilsaf I. Khusainov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
husainovilsaf@mail.ru

**Abstract.** The paper projects an arc-quenching system for an isolator and describes its principle of operation. The decision criteria are given. Effective application of such technical solution is suggested.

**Keywords:** disconnecter, arc suppression system, load disconnecter.

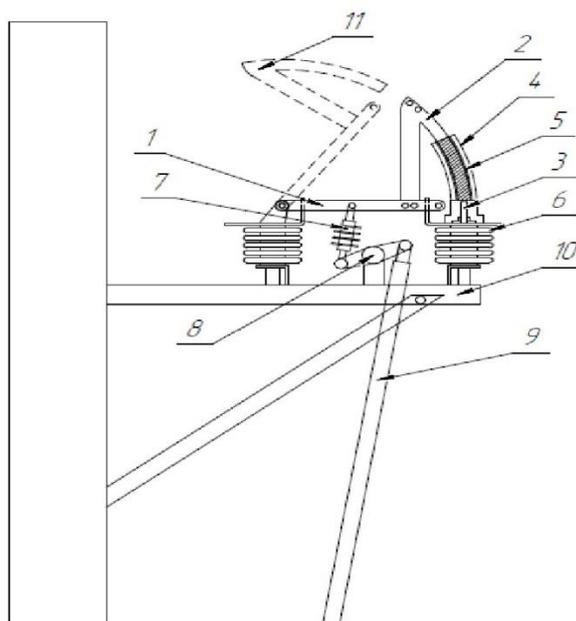
На сегодняшний день в мире ведутся работы по совмещению функций выключателя и разъединителя [1]. В данной статье описана предлагаемое мной техническое решение по объединению функции выключателя и разъединителя.

За основу изобретения взял разъединитель с рубящим типом контакта [2]. Траектория движения контактов разъединителя этого типа осуществляется в плоскости, перпендикулярной плоскости основания. Элементы контактной системы каждого полюса закрепляются на двух опорных изоляторах и управляются приводом при помощи тяги [3].

Проанализировав способы гашения дуги в коммутационных аппаратах, для разъединителя с рубящим типом контакта самым

приемлемым будет являться дугогасительная камера подобная как у выключателя нагрузки [4]. Данная камера выполнена из двух пластмассовых пластин, внутри пластин имеются вкладыши из органического стекла [5].

На основе разъединителя с рубящим типом контакта и дугогасительной камеры выключателя нагрузки схематично спроецировал разъединитель с дугогасительной системой на опоре (см. рисунок).



Разъединитель с дугогасительной системой

Обозначение основных элементов конструкции: 1 - главные ножи; 2 - подвижные дугогасительные ножи; 3 - неподвижные дугогасительные ножи; 4- дугогасительная камера; 5 - вкладыш из органического стекла; 6 - изолятор; 7 - изоляционная тяга; 8 - вал; 9 - привод; 10 - рама; 11 - положение разъединителя в разомкнутом состоянии.

Основными критериями принятия выше описанного технического решения являются возможность отключения воздушных линий электропередач под нагрузкой, повышение безопасности персонала, выполняющего переключения.

### Источники

1. Будущее коммутационной аппаратуры высокого напряжения [Электронный ресурс]. <http://www.bester54.ru/cms.php?type=page&id=26> (дата обращения: 20.09.2023).

2. Разъединитель РМНСА на 6-10 кВ [Электронный ресурс]. <https://npo-pribor.ru/catalog/sistemy-i-ustroystva-dlya-energetiki/razediniteli-rmnsa-na-6-10-kv-s-avtomatizirovannym-privodom-i-indikatorami-korotkogo-zamykaniya/> (дата обращения: 19.09.2023).

3.Степкина, Ю.В. Электрооборудование станций и подстанций предприятий: учеб.пособие / Ю.В. Степкина, В.В. Вахнина. –Тольятти: ТГУ, 2009. – С.4-8.

4. Марков В. С. Электрические схемы трансформаторных подстанций и распределительных пунктов сети 6 –10 кВ: учебное пособие для вузов / В. С. Марков; под редакцией Л. В. Вайтеленок. — Санкт-Петербург: Лань, 2023. — 108 с.

5. Выключатель нагрузки ВН-11УЗ [Электронный ресурс]. <https://leg.co.ua/info/razediniteli/vyklyuchatel-nagruzki-vn-11uz-tz.html> (дата обращения: 19.09.2023).

УДК 621.314.23

## **АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ В ЭЛЕКТРОСЕТЯХ РАЗНОГО КЛАССА НАПРЯЖЕНИЯ**

Егор Игоревич Чернов

Науч. рук. канд. физ-мат. наук, доцент Наталья Вячеславовна Денисова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

wertyguer@gmail.com

**Аннотация.** В данной статье проанализированы современные технологии, позволяющие снизить потери в цеховых трансформаторных подстанциях. Рассмотрена эффективность применения трансформаторов с магнитопроводом из аморфной стали.

**Ключевые слова:** снижение потерь, цеховые трансформаторные подстанции, накопители электроэнергии, аморфные сплавы, аморфные трансформаторы, несимметрия нагрузок.

## **TECHNOLOGIES FOR REDUCING LOSSES IN POWER GRIDS DIFFERENT VOLTAGE CLASS**

Egor I. Chernov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

wertyguer@gmail.com

**Abstract.** This article analyzes modern technologies that reduce losses in shop transformer substations. The efficiency of the use of transformers with a magnetic core made of amorphous steel is considered.

**Keywords:** loss reduction, shop transformer substations, power storage, amorphous alloys, amorphous transformers, load asymmetry.

Наша жизнь невозможна без потребления электричества. Ее используют все, начиная от подзарядки телефона, заканчивая заводами. Электроэнергия проходит тысячи километров, прежде чем поступит к потребителю. По данным разных источников, потери электроэнергии в распределительной сети в МРСК/РСК ПАО «Россети» в разных ее частях составляют от 3 до 23% [1]. В масштабах целой страны это существенные показатели.

Цель данного исследования: выявить возможные способы улучшения систем электроснабжения и энергосбережения.

Мероприятия по снижению потерь электроэнергии делятся на: организационные, технические, мероприятия по улучшению учета электроэнергии.

К организационным мероприятиям относятся оптимизация схем электроснабжения, выравнивание загрузки фаз и т.п. В сетях 6-20 кВ несимметрия загрузки фаз увеличивает потери, по сравнению с загруженной сетью, к тому же, с увеличением несимметрии резко возрастают и потери электроэнергии. Для их снижения в данных сетях следует применять выравнивание величин нагрузок по фазам с их последующим мониторингом и компенсация токов обратной последовательности. Этого можно достичь распределением общей мощности конденсаторных батарей между фазами так, чтобы они создавали ток обратной последовательности равный направленный противоположно току обратной последовательности нагрузки [2].

К техническим относится компенсация реактивной мощности. Этого можно добиться, используя установки компенсации реактивной мощности, конденсаторные батареи и синхронные двигатели. Благодаря своим техническим свойствам они снижают потери реактивной мощности и повышают коэффициент мощности [3]. Другим техническим мероприятием является замена недогруженного трансформатора на трансформатор меньшей номинальной мощности. При недогрузке трансформатора его коэффициент мощности может снизиться до значений 0,1-0,2, так как потери холостого хода в нем постоянны. У

трансформаторов меньшей номинальной мощности значения потерь холостого хода ниже [4].

Так же для снижения потерь на холостой ход в трансформаторах можно применять сердечники из аморфной стали. Трансформатор на протяжении всех 24 часов в течение дня теряет энергию на создание магнитного потока, который не зависит от его загрузки [5]. Атомы в аморфных материалах расположены хаотично и близко друг к другу. Данное свойство повышает их электрическое сопротивление. Потери на холостой ход возникают вследствие намагничивания сердечника. Далее в сердечнике возникают токи. Благодаря своему большему сопротивлению, в аморфных сердечниках возникающие токи значительно ниже, чем в традиционных трансформаторах [6].

Следующим мероприятием является внедрение системы накопления электроэнергии в электросети [7]. Их применение обосновано тем, что потребители не используют энергию по одному графику. Есть часы максимума и минимума использования энергии. В часы максимума возникают провалы напряжения, которые влекут повышение потерь энергии. Если же в эти часы использовать накопители энергии, чтобы они отпускали энергию, то это приведет к снижению провалов напряжения и потерь электроэнергии. Система накопления в средние часы потребления энергии не будет работать, а в часы минимума потребления будет потреблять из сети электроэнергию, чтобы в будущем в часы максимума ее отдавать.

Все перечисленные мероприятия можно использовать для снижения потерь электроэнергии и снижения затрат на ее поставку потребителю. Использование трансформаторов с сердечниками из аморфной стали позволит промышленным предприятиям и энергоснабжающим организациям снизить потери энергии, внедрение систем накопления энергии позволит стабилизировать электроснабжение предприятий и бытовых потребителей.

### **Источники**

1. В.Э. Воротницкий. Анализ динамики, структуры и мероприятий по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях России и за рубежом// Энергоэксперт. 2017.С. 1-21.

2. Геркусов А.А., Грачева Е.И., Шумихина О.А. Влияние несимметричной нагрузки на потери электроэнергии в распределительных сетях 0,4-20 кв// Вестник казанского государственного энергетического университета. 2022. С. 15-28.

3. Хрольский В.Я., Ефанов А.В., Ершов А.Б., Ястребов С.С. Технические мероприятия по снижению потерь электроэнергии в сельских электрических сетях // Сборник научных статей II Международного молодежного конгресса. 2017. С. 215-225.

4. Лукьянов М.Р. Определение целесообразности замены незагруженных силовых трансформаторов // Современные научные исследования и разработки. 2018. С. 555-556.

5. Atabak Najafi, Ires Iskender. Comparison of core loss and magnetic flux distribution in amorphous and silicon steel core transformers // Electrical Engineering. 2017. P. 1125-1131.

6. B.Sai Ram, A.K.Paul, S.V.Kulkarni. Soft magnetic materials and their application in transformers. 2021.

7. Бахтеев К.Р. Создание гибридного накопителя электроэнергии большой мощности для предотвращения кратковременных нарушений электроснабжения промышленных потребителей // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2017. Т. 20. № 3-4. С.36-44. doi: 10.30724/1998-9903-2018-20-3-4-36-44.

УДК 629.064.5

## АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Айрат Гусманович Шафигуллин

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент Вадим Александрович Гаврилов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

shafigullinairat@mail.ru

**Аннотация.** В данной статье рассматривается роль автоматизации систем электроснабжения в современных промышленных и коммерческих объектах. Особое внимание уделяется различным аспектам автоматизации и их преимуществам как для самих объектов, так и для окружающей среды.

**Ключевые слова:** система электроснабжения, автоматизация, оптимизация потребления, управление, надежность.

## AUTOMATION OF POWER SUPPLY SYSTEMS

Airat G. Shafigullin

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

shafigullinairat@mail.ru

**Abstract.** This article examines the role of automation of electrical power systems in modern industrial and commercial facilities. Particular attention is paid to the various aspects of automation and their benefits both for the facilities themselves and for the environment.

**Keywords:** power supply system, automation, consumption optimization, management, reliability.

Автоматизация систем электроснабжения является неотъемлемой частью современных промышленных и коммерческих объектов. Она позволяет эффективно управлять потреблением электроэнергии, обеспечивая надежную работу электрооборудования и оптимизируя энергетические ресурсы. Автоматизация систем электроснабжения – это процесс использования современных технологий и систем управления для повышения эффективности и надежности электроэнергетической инфраструктуры[1]. В современном мире, где зависимость от электроэнергии становится все больше, автоматизация систем электроснабжения играет ключевую роль в обеспечении стабильной и бесперебойной поставки электроэнергии.

Одним из ключевых элементов автоматизации систем электроснабжения являются автоматические выключатели и распределительные щиты. Они обеспечивают контроль и защиту электрических цепей, регулируя подачу и переключение электроэнергии в зависимости от потребности. Автоматические выключатели оснащены различными защитными функциями, такими как защита от перегрузки, короткого замыкания и заземления. Это позволяет предотвратить повреждение оборудования и обеспечивает безопасность персонала.

Другим важным аспектом автоматизации систем электроснабжения является использование системы управления электроэнергией, например, такой как система автоматического управления нагрузкой (АУН). АУН позволяет контролировать и регулировать нагрузку в реальном времени, оптимизируя потребление электроэнергии в зависимости от текущих потребностей, что позволяет сократить затраты на электроэнергию и повысить энергоэффективность системы.

Еще одним важным аспектом автоматизации систем электроснабжения является мониторинг и диагностика электрических сетей. Современные системы мониторинга позволяют постоянно отслеживать работу электрических цепей, обнаруживать возможные проблемы и предотвращать аварии [2]. Они предоставляют информацию о напряжении, токе, мощности и других параметрах системы, что позволяет оперативно реагировать на любые отклонения.

Автоматизация систем электроснабжения также включает в себя использование релейной защиты. Релейная защита обеспечивает быстрое и точное обнаружение и отключение электрических цепей при возникновении неисправностей. Она играет важную роль в предотвращении повреждения оборудования и предоставляет высокий уровень безопасности для системы электроснабжения.

Кроме того, автоматизация систем электроснабжения обеспечивает надежную работу электрооборудования, оптимизирует потребление электроэнергии и повышает безопасность системы. За счет автоматизации можно снизить энергопотребление, улучшить энергоэффективность и упростить управление системой электроснабжения, что позволяет сэкономить ресурсы и снизить экологическую нагрузку на окружающую среду [3]. Автоматизация систем электроснабжения также способствует повышению надежности работы системы и сокращению времени простоя при возникновении неисправностей.

Один из значимых аспектов автоматизации систем электроснабжения – это возможность оптимизации потребления электроэнергии. С помощью системы управления электроэнергией можно эффективно контролировать и регулировать потребление, осуществлять планирование нагрузки и реагировать на изменения в энергетическом спросе, что позволяет сэкономить энергоресурсы и снизить затраты на электроэнергию.

Автоматизация систем электроснабжения также способствует улучшению энергоэффективности. Благодаря автоматическому контролю нагрузки и оптимизации работы электрооборудования, можно достичь оптимального использования энергии, избегая излишней или неэффективной потребности. В результате система становится более эффективной в использовании энергоресурсов и способствует снижению выбросов парниковых газов.

Упрощение управления системой электроснабжения – еще одно преимущество автоматизации. Системы автоматического управления позволяют централизованно контролировать и управлять различными аспектами системы, такими как подача электроэнергии, регулирование нагрузки и диагностика состояния оборудования, что сокращает ручной труд и повышает эффективность работы персонала, уменьшая возможность ошибок и сокращая время на обслуживание системы.

Таким образом, автоматизация систем электроснабжения обеспечивает надежность, энергоэффективность, упрощенное управление и снижение нагрузки на окружающую среду. Поэтому, внедрение

автоматизации в системы электроснабжения является важным шагом в повышении эффективности и устойчивости инфраструктурных объектов.

### **Источники**

1. Большев В.Е., Виноградов А.В. Перспективные коммуникационные технологии для автоматизации сетей электроснабжения // Вестник КГЭУ. 2019. №2(42). С. 65-82.

2. Попова, И. Э. Улучшение работы систем электроснабжения за счет применения новых технических устройств / И. Э. Попова // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. 2021. № 1(57). С. 27-34.

3. Гилязиева, Э. А. К вопросу о современных методах снижения потерь в электрических сетях / Э. А. Гилязиева // Энергия молодежи для нефтегазовой индустрии: Сборник материалов V Международной научно-практической конференции молодых ученых, Альметьевск, 13 ноября 2020 года. Альметьевск: Альметьевский государственный нефтяной институт, 2020. С. 592-595.

## СЕКЦИЯ 4. ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА И СВЕТОТЕХНИКА. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ

УДК 629.33

### СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ КОРРЕКТИРОВКИ СВЕТОТЕНЕВОЙ ГРАНИЦЫ АВТОМОБИЛЬНЫХ ФАР

Эдгар Айдарович Аминов

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Равиль Рафисович Шириев

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

edga.aminov.02@gmail.com

**Аннотация.** В статье предложено сравнение двух наиболее надежных и популярных корректоров автомобильных фар, а именно автоматического и электромеханического. Представлены схематические примеры возможного выполнения устройств.

**Ключевые слова:** сравнение, автомобильная фара, электромеханический способ управления, автоматический способ управления, регулирование головного света автомобиля.

### COMPARISON OF DIFFERENT WAYS TO ADJUST THE BLACK- AND-WHITE BORDER OF CAR HEADLIGHTS

Edgar A. Aminov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

edga.aminov.02@gmail.com

**Abstract.** The article offers a comparison of the two most reliable and popular correctors of car headlights, namely automatic and electromechanical. Schematic examples of possible execution of devices are presented.

**Keywords:** comparison, car headlight, electromechanical control method, automatic control method, car head light regulation.

Возможность регулирования светотеневой границы (СТГ) появилась в следствие попыток автопроизводителей повысить безопасность на автомобильных дорогах. СТГ делит пространство перед автомобилем на освещенную и не освещенную части, при правильной настройке СТГ это

способствует улучшению видимости дорожной обстановки водителем, двигающимся по встречному направлению, благодаря отсутствию прямого луча света в глаза. Следует сказать, что возможность регулирования светотеневой границы присутствовала и раньше (60-90-е годы), однако для изменения границы освещенности дороги водителям приходилось выходить из автомобиля и настраивать угол фар с помощью регулировочных винтов, установленных в подкапотном пространстве.

В последнем десятилетии двадцатого века началось внедрение корректоров автомобильных фар. Их основной принцип действия остается неизменным до настоящего времени. В современном мире проблема безопасности свободного передвижения населения является актуальной, в следствие чего на данный момент ни один европейский автопроизводитель не выпускает свою продукцию без корректоров фар. На данный момент в корректорах фар применяется множество различных вариантов передачи сигнала от действий водителя или от входящих данных в ЭБУ (электронный блок управления) с датчиков до исполняющего механизма. В представленной работе мы рассмотрели электромеханический способ регулировки фар и автоматический [1].

Водитель вращает колёсико регулировки положения СТГ, за которым чаще всего скрывается регулируемый резистор. Изменение сопротивления в сети считывает ЭБУ, после чего на основе изменения сопротивления и считывания напряжения на контактах медных пластин, расположенных после червячного редуктора, ЭБУ приводит в действие исполняющий механизм, в данном случае механизмом является сервопривод, который в свою очередь изменяет углы направлений источника света и (-или) рефлектора фары одновременно, сама фара остается неподвижной (см. рис. 1а) [2]. Главный недостаток данной схемы заключается в том, что сам водитель должен следить за СТГ. В случае если водитель не изменяет светотеневую границу при изменении загрузки осей автомобиля, данная схема перестает выполнять главную функцию, а именно оберегать встречный поток от ослепления.

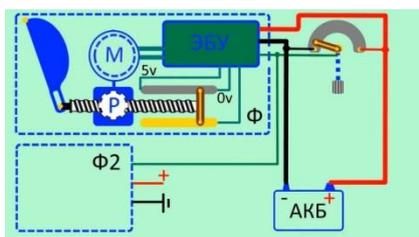


Рис. 1а. Схематическое устройство

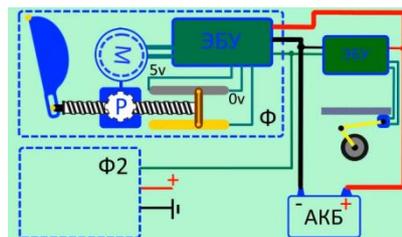


Рис. 1б. Схематическое устройство

электромеханического корректора фар                      автоматического корректора фар

В случае при установленном на автомобиле автоматическом корректоре фар, СТГ изменяется исходя из данных, полученных ЭБУ от датчиков загруженностей осей, датчики в свою очередь установлены на рычагах подвески, и работают по принципу Холла (см. рис. 1б) [3, 4].

Подводя итог вышеизложенного, можно сделать вывод, что основной проблемой электромеханического типа регулировки фар является человеческий фактор. В настоящий момент большую популярность набирает вариант полностью автоматического регулирования СТГ, благодаря своей автоматизации, также положительным фактором этого типа является то, что при установки данного типа регулировки фар во многих странах, в том числе и в России, разрешено устанавливать автопроизводителям на свою продукцию более мощные источники головного освещения, однако вариант автоматического регулирования СТГ предусматривает внедрение дополнительного электронного блока для усреднения входящих данных с датчиков, что значительно повышает конечную цену для потребителя и понижает надежность продукции [5].

### **Источники**

1. Иванов А.А. Принципы работы и ремонт автомобильных фар. М.: Транспорт, 2009. 57 с.
2. Смирнов В.В. Техническое обслуживание систем коррекции света автомобилей. М.: Автотранспорт, 2012. 112 с.
3. Петров И.И. Электромеханические системы автомобилей. СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2008. 219 с.
4. Кравченко В.А., Белозеров Ю.А. Конструкция и принципы работы автомобильных светоотражателей. М.: Машиностроение, 2011. 234 с.
5. Лихачев А.В., Кузнецов И.В. Испытание и регулировка автомобильных фар. М.: Изд-во «Техносфера», 2016. 290 с.

## ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ С ПОМОЩЬЮ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА AVR

Максим Алексеевич Баганов

Науч. рук. канд. пед. наук, доц. Ляля Вахитовна Ахметвалеева

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

baganovm@mail.ru

**Аннотация.** Данная работа посвящена изучению аналого-цифрового преобразователя, его особенностей и принципа работы. А также изучению микроконтроллера AVR и его применения при разработке устройства обработки аналогового сигнала.

**Ключевые слова:** АЦП, микроконтроллер, датчик температуры, ЖК дисплей, температура.

## TEMPERATURE MEASUREMENT USING AVR MICROCONTROLLER

Maxim A. Baganov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

baganovm@mail.ru

**Abstract.** This work is devoted to the study of an analog-to-digital converter, its features and operating principle. And also the study of the AVR microcontroller and its use in the development of an analog signal processing device.

**Keywords:** ADC, microcontroller, temperature sensor, LCD display, temperature.

В этой статье мы увидим схему измерения температуры на базе микроконтроллера ATmega32 (семейство AVR) и датчика LM35 [1]. LM35 – датчик линейного напряжения. Как известно, температура измеряется в градусах Цельсия или Фаренгейта. Выходной сигнал датчика LM35 калибруется в градусах Цельсия.

Как и транзистор, датчик LM35 имеет три контакта: VCC (напряжение постоянного тока), GND (земля) и OUTPUT (выход). Датчик обеспечивает переменное напряжение в зависимости от измеренной температуры [2].

На каждый дополнительный градус Цельсия датчик увеличивает выходное напряжение на 10 мВ. Таким образом, когда температура равна 0 градусам, выход датчика равен 0 В, когда она равна 10 градусам, выход датчика составляет +100 мВ, когда температура составляет 25 градусов, выход датчика составляет +250 мВ [3].

Теперь мы можем измерить значение температуры, анализируя выходное напряжение датчика LM35. Мы можем добиться этого, используя цифро-аналоговый преобразователь микроконтроллера ATmega32A. После преобразования полученное цифровое значение (аналого-цифровое преобразование) отображается на жидкокристаллическом дисплее (ЖКД) 16×2 – это и есть значение температуры.

В показанной на рисунке схеме порт PORTB микроконтроллера ATmega32 подключен к порту данных ЖК-дисплея. Обратите внимание, что интерфейс JTAG микроконтроллера на порту PORTC необходимо отключить, изменив защитные байты, чтобы использовать PORTC в качестве обычного порта ввода-вывода. В ЖК-экране (если мы не используем черный цвет) мы можем использовать только 14 контактов: 8 контактов передачи данных (7-14 или D0-D7), 2 контакта питания (1&2 или VSS&VDD или GND&+5V), 3 – управление контрастностью, 3 управляющих контакта (RS, RW и E) [4].

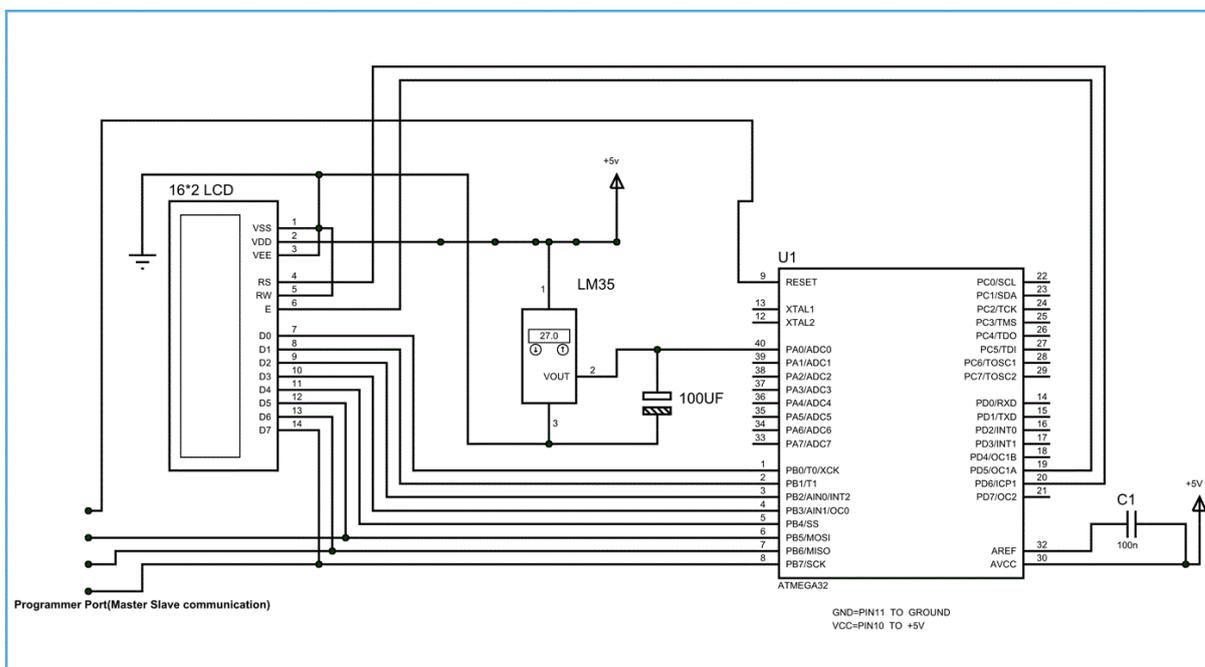


Схема подключения микроконтроллера с ЖК дисплеем и датчиком температуры

В показанной схеме мы использовали только 2 контакта для управления ЖК-дисплеем, чтобы лучше понять работу схемы. Части Contrast и READ/WRITE используются редко, поэтому их можно свести к минимуму. Это делает ЖК-экран более контрастным и облегчает чтение. Теперь нам нужно проверить ENABLE и RS для отправки символов и данных на ЖК-дисплей.

Следует отметить, что выходное напряжение датчика LM35 не совсем равномерное, оно зашумлено. Для удаления этого шума используется конденсатор, подключенный к выходу датчика.

Поскольку мы измеряем только комнатную температуру, нам не нужны низкие значения напряжения (значение более 1000 мВ на выходе датчика LM35). Следовательно, мы можем установить максимальное значение опорного напряжения АЦП равным 2,5 В.

АЦП микроконтроллера в нашей схеме начинает работать под внешним воздействием (а не действием пользователя), поэтому нам приходится переводить его в режим непрерывного преобразования (free running mode): в этом режиме преобразование запускается непрерывно в определенное время [5].

В данной работе проведены исследования встроенного модуля аналого-цифрового преобразователя микроконтроллера ATmega32, изучены его характеристики и принцип работы с использованием датчика температуры.

### **Источники**

1. Мортон Дж. Микроконтроллеры AVR. Вводный курс. /Пер. с англ. М.: Издательский дом «Додэка&XXI», 2010. 272 с.
2. Васильев А.Е. Встраиваемые системы автоматики и вычислительной техники. Микроконтроллеры. М.: Горячая линия-Телеком, 2021. 590 с.
3. Данилин А.А. Измерения в радиоэлектронике: учеб. пособие. СПб: Лань, 2017. 408 с.
4. Цветков А.Н., Корнилов В.Ю., Сафин А.Р., Логачева А.Г., Петров Т.И., Кувшинов Н.Е. Управляющая измерительно-информационная система экспериментального стенда // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2020. № 22(4). С. 88–98.
5. Дворников С.В. Устройства приема и обработки сигналов: учебник. СПб: Лань, 2020. 512 с.

## ИЗМЕРЕНИЕ И ОТОБРАЖЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ ПРИ ПОМОЩИ КОНТАКТНОГО ДАТЧИКА С *LCD*-ДИСПЛЕЕМ

Павел Михайлович Быков

Науч. рук. канд. физ.-мат. наук, доц. Антон Владимирович Семенников

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

bykov.pavel.2020@yandex.ru

**Аннотация.** В статье описан метод получения информации о состоянии высоковольтных изоляторов посредством определения количества и интенсивности возникающих в них частичных разрядов. В качестве измерительного устройства использован контактный датчик. Блок обработки данных основан на микроконтроллере *STM32F103RET6* и оснащен *LCD*-дисплеем. Исследование параметров частичных разрядов, возникающих на объемных и поверхностных дефектах диэлектрических элементов, позволяет судить о степени работоспособности высоковольтной изоляции и делать выводы о дальнейшей эксплуатации оборудования.

**Ключевые слова:** частичные разряды, высоковольтные изоляторы, *STM32F103RET6*, *LCD*-экран.

## MEASUREMENT AND DISPLAY OF PARTIAL DISCHARGE PARAMETERS USING A CONTACT SENSOR WITH AN *LCD* DISPLAY

Pavel M. Bykov

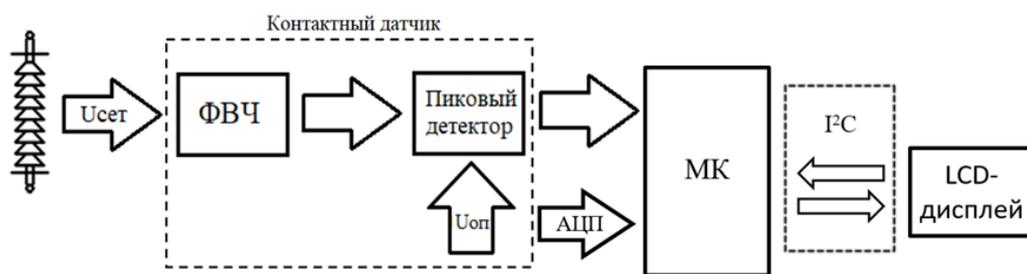
KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

bykov.pavel.2020@yandex.ru

**Abstract.** The article describes a method for obtaining information about the state of high-voltage insulators by determining the number and intensity of partial discharges occurring in them. A contact sensor is used as a measuring device. The data processing unit is based on the *STM32F103RET6* microcontroller and is equipped with an *LCD* display. The study of the parameters of partial discharges occurring on bulk and surface defects of dielectric elements allows us to judge the degree of operability of high-voltage insulation and draw conclusions about the further operation of the equipment.

**Keywords:** partial discharges, high-voltage insulators, *STM32F103RET6*, *LCD* screen.

При проведении экспериментальных исследований степени дефектности полимерных высоковольтных изоляторов (ВИ) на установке, разработанной на кафедре «Промышленная электроника», использовались различные виды датчиков. Поступающую с каждого отдельного датчика информацию необходимо было накапливать, анализировать и представлять в удобной для восприятия оператором форме [1]. Была разработана специальная система анализа характеристик частичных разрядов (ЧР) (см. рисунок), которая могла одновременно выводить информацию в удобной для восприятия форме и была компактной и удобной в использовании. Наиболее подходящей для восприятия оператором формой представлялась цифровая зависимость количества ЧР за временной период проведения измерения от порогового значения срабатывания контактного датчика на детектирование импульсов ЧР [2].



Структурная схема системы анализа данных

Для обработки и вывода данных с контактного датчика были выбраны микроконтроллер (МК) *STM32F103RET6* от *STMicroelectronics* и *LCD*-экран 1602. Выбор именно этого решения был связан с его доступностью, многофункциональностью, удобством программирования.

Для связи МК с дисплеем используется интерфейсная шина  $I^2C$ . Связь организована с помощью микросхемы *PCF8574T*. Она получает по  $I^2C$  интерфейсу байт и присваивает выводам, которые идут на дисплей, значения соответствующего бита. *STM32F103RET6* посылает байт адреса, а *LCD*-дисплей, подключенный к шине, сверяет его со своим [3]. Если происходит совпадение, то модуль начинает «общение» с микроконтроллером. Для настройки *LCD*-дисплея в первую очередь необходимо определить, откуда будет идти отсчет символов и в какую сторону, а также как будет вести себя курсор. После настройки станет возможна передача на *LCD*-дисплей информации для отображения. Необходимо учесть еще и то, что можно использовать только 4 бита для передачи информации, т.е. данные необходимо разбивать на две части.

Опорное напряжение  $U_{оп}$  задается потенциометром и с помощью встроенного в МК аналого-цифрового преобразователя (АЦП) выводится на дисплей. В *STM32F103RET6* присутствует встроенный 12-битный АЦП. При такой разрядности становится возможным получение достаточно точных значений опорного напряжения. Но максимальное напряжение, подаваемое на АЦП МК, не должно превышать напряжение питания 3,3 В.

Описанная система в течение каждого фазового интервала приложенного к ВИ напряжения подсчитывает количество ЧР, интенсивность которых превышает значение опорной амплитуды, и выводит на *LCD*-дисплей следующую информацию: количество ЧР, период времени измерения и величину опорного напряжения [4]. Предложенный способ предназначен для использования в системе неразрушающего контроля состояния ВИ, основанной на методе поверхностного мониторинга параметров ЧР [5]. Разработанный метод является удобным и масштабируемым и может быть легко усовершенствован для подключения большего количества датчиков, что будет способствовать дополнительному повышению степени достоверности определения дефектных ВИ.

### Источники

1. Голенищев-Кутузов А.В., Голенищев-Кутузов В.А., Марданов Г.Д. и др. Дистанционная диагностика высоковольтных изоляторов // Дефектоскопия. 2016. № 6. С. 75–82.
2. Wong R.L. Application of very high frequency method to ceramic insulators // IEEE Transactions of Dielectrics and Electrical Insulation. 2004. V. 11. P. 1057-1064.
3. Noviello C., Mastering STM32, a step-by-step guide to the most complete ARM Cortex – M platform, using a free and powerful development environment based on Eclipse and GCC, 2015–2016.
4. Голенищев-Кутузов А.В., Голенищев-Кутузов, В.А., Иванов Д.А. и др. Дистанционная диагностика дефектов в высоковольтных изоляторах в процессе эксплуатации // Дефектоскопия. 2018. № 10. С. 10–14.
5. Голенищев-Кутузов А.В., Ахметвалеева Л.В., Еникеева Г.Р. и др. Дистанционная диагностика дефектов в высоковольтных изоляторах // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2020. Т. 22. №2. С. 117–127.

## МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ИЗОЛЯТОРА НА ОСНОВЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Айдар Ильшатович Вагапов

Науч. рук. д-р техн. наук, доц. Дмитрий Алексеевич Иванов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

aydar.vagapoff@yandex.ru

**Аннотация.** Изолятор – важная часть электроэнергетической системы, предотвращающая протекание тока. Соответственно, мониторинг состояния изолятора является важной составляющей в стабильной работе электросистемы. В данной работе показан пример мониторинга поверхности изолятора на примерах штыревых и стержневых изоляторов. Для обработки и интерпретации результата используется машинное обучение в основе которого лежит TensorFlow – библиотека с открытым исходным кодом.

**Ключевые слова:** изоляторы, пробой изоляции, мониторинг, машинное обучение, обработка изображений.

## MONITORING THE SURFACE CONDITION OF A HIGH VOLTAGE INSULATOR BASED ON MACHINE LEARNING

Aidar I. Vagapov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

aydar.vagapoff@yandex.ru

**Abstract.** An insulator is an important part of an electrical power system that prevents the flow of current. Accordingly, monitoring the condition of the insulator is an important component in the stable operation of the electrical system. This paper shows an example of monitoring the surface of an insulator using the examples of pin and rod insulators. To process and interpret the result, machine learning is used, which is based on TensorFlow - an open source library.

**Keywords:** insulators, insulation breakdown, monitoring, machine learning, image processing.

Процесс выхода из строя изолятора, который вызывает огромные потери в экономическом и энергетическом плане, обуславливается двумя

асpekтами: поверхностным – наличием тока утечки по поверхности изолятора и объёмным – понижением диэлектрических свойств изолятора [1, 2]. Появление данных аспектов существенно увеличивает шанс пробоя.

Стандартный метод обнаружения поверхностных дефектов – осмотр изолятора напрямую, определяющий лишь явные дефекты. Но для более точного выявления повреждений используется цифровая обработка изображения изолятора с применением методов машинного обучения [3].

В данной работе используется библиотека TensorFlow, необходимая для обработки состояния высоковольтных изоляторов [4, 5]. Процесс начинается с ввода изображения изолятора с последующей обработкой в виде сортировки данных повреждённой и нарушенной изоляцией (рис. 1). Далее исходя из обучения делается ввод. Результат сравнивается с тренированной моделью (блок «Параметры»), выдаётся оценка: дефектный изолятор или нет. Для дальнейших исследований производится запись в базу данных.

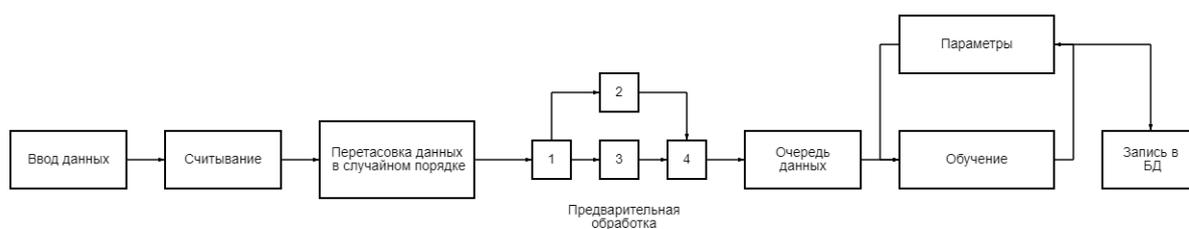


Рис. 1. Работа библиотеки TensorFlow

Проверка изолятора осуществляется посредством анализа изображения. Для обнаружения неисправности была подготовлена база данных с изображениями дефектных и рабочих изоляторов (рис. 2).



Рис. 2. Рабочий (слева) и дефектный (справа) изоляторы

Результаты тестирования приведены в таблице 1. На рисунке 2 показаны изоляторы, используемые в качестве примера. Помимо состояния изоляторов приведены оценки точности результата (1 – максимум, 0 – минимум).

Таблица 1

Результаты тестирования

№	Состояние	Точность	
		Рабочий	С дефектом
1	Рабочий	0,97186	0,02814
2	С дефектом	0,02431	0,98397

Таким образом, благодаря мониторингу состояния поверхности изолятора на основе машинного обучения есть возможность определить работоспособность изолятора до возникновения аварийной ситуации.

### Источники

1. Голенищев-Кутузов В.А. и др. Контроль высоковольтных полимерных изоляторов по измерению частичных разрядов // Электричество. 2008. №. 12. С. 11–14.
2. Несенюк Т.А. Диагностирование изолирующих конструкций // Транспорт Урала. 2011. №3 (30). С. 69–71.
3. Методические указания по дистанционному оптическому контролю изоляции воздушных линий электропередачи и распределительных устройств переменного тока напряжением 35 - 1150 кВ. СТО 56947007-29.240.003-2008.
4. Основы машинного обучения с TensorFlow [Электронный ресурс]. <https://www.tensorflow.org/resources/learn-ml/basics-of-machinelearning?hl=ru> (дата обращения: 25.10.23).
5. Шакла Н. Машинное обучение и TensorFlow. СПб.: Питер, 2019. 336 с.

## РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Адиля Нургазизовна Гараева

Науч. рук. канд. пед. наук, доц. Ляля Вахитовна Ахметвалеева

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

garaevaadila@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассматривается разработка цифрового термометра на базе 8-ми разрядного AVR-контроллера. Основное внимание уделяется элементам, которые необходимы в разработке цифрового термометра на базе микроконтроллера серии AVR. В работе описаны функциональность, преимущества и недостатки, а также принцип работы данного устройства.

**Ключевые слова:** цифровой термометр, программирование, микроконтроллер, температура.

## DEVELOPMENT OF A DIGITAL TEMPERATURE METER

Adilya N. Garaeva

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

garaevaadila@mail.ru

**Abstract.** The article discusses the development of a digital thermometer based on an 8-bit AVR controller. The main attention is paid to the elements that are necessary in the development of a digital thermometer based on the AVR series microcontroller. The paper describes the functionality, advantages and disadvantages, as well as the principle of operation of this device.

**Keywords:** digital thermometer, programming, microcontroller, temperature.

В настоящее время широко используются 8-ми разрядные AVR-контроллеры на базе RISC-архитектуры. Эти современные микроконтроллеры позволяют людям с разным уровнем знаний – от новичков до опытных программистов и инженеров-электронщиков, – разрабатывать цифровые, управляющие и измерительные программы. Данные программы не ограничиваются экранами мобильных устройств и компьютеров, а могут функционировать независимо как контрольно-измерительные системы и блоки управления [1, 2].

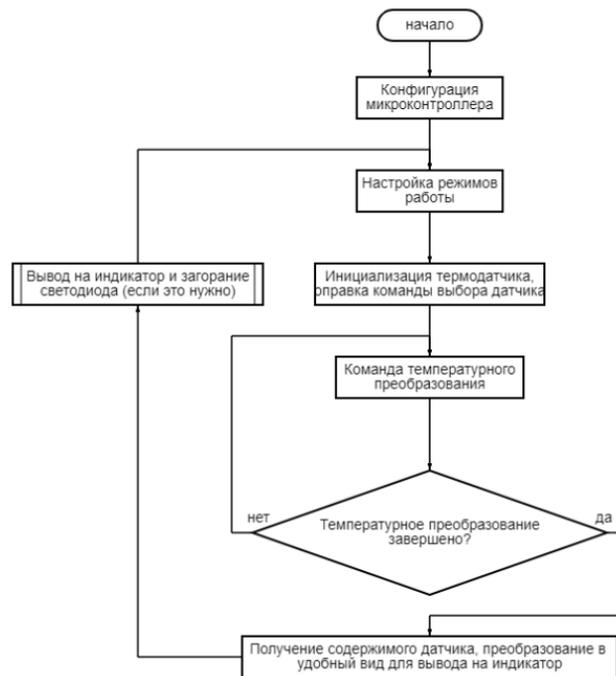
Измерение и контроль температуры являются важными видами деятельности во многих областях. Они включают в себя точное определение температуры объектов или окружающей среды и принятие мер по поддержанию или корректировке температуры по мере необходимости.

Для определения температуры в помещении нами разработан цифровой термометр с заданной областью измерения. Проектирование выполнено на основе платформы *Arduino*. В нашей разработке используется 8-ми разрядный микроконтроллер *ATmega328*, который управляет всей системой, а точнее, периодически опрашивает температурный датчик, обрабатывает полученные данные, преобразует полученную информацию в удобный вид для вывода на дисплей. Для визуализации выбран семисегментный *LED*-индикатор *HDSM-560G* [3].

Датчик температуры определяет температуру как аналоговое значение. По запросу микроконтроллера датчик преобразует это аналоговое значение в цифровой формат и сохраняет его в своей памяти. Затем он сигнализирует микроконтроллеру о завершении преобразования температуры. Значение температуры отображается на четырехразрядном семисегментном индикаторе. Если температура отклоняется от ожидаемого диапазона, загорается светодиод.

Основной программной средой для написания кода и его отладки была выбрана программа *Arduino*, которая является одним из эталонных средств разработки кода для *AVR*-систем [4–6]. Программное обеспечение реализовано на языке *C*, блок-схема управляющей программы приведена на рисунке.

Ключевым преимуществом использования цифрового термометра является возможность удаленного контроля температуры. В отличие от традиционных ртутных или механических термометров, которые требуют частой проверки шкалы при физическом выходе из помещения, цифровые термометры позволяют контролировать температуру в отдаленных помещениях, таких как подвалы, чердаки или подсобные помещения.



Блок-схема управляющей программы

### Источники

1. Васильев А.Е. Встраиваемые системы автоматике и вычислительной техники. Микроконтроллеры. М.: Горячая линия – Телеком, 2021. 590 с.
2. Ахметвалеева Л.В., Мозес А.Т., Акинола А.О.С. Устройство обнаружения объектов на RISC-контроллере // Информационные технологии в электротехнике и электроэнергетике: материалы 11-й Всерос. научн.-техн. конф. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2018. С. 462–463.
3. Петин В.А. Проекты с использованием контроллера Arduino – 2-е изд., перераб. и доп. СПб.: БХВ-Петербург, 2017. 464 с.
4. Ахметвалеева Л.В., Вардумян Х.С., Галимов Г.З., Сафин И.И. Разработка отладочного комплекса для проектирования систем управления на микроконтроллере // Информационные технологии в электротехнике и электроэнергетике: материалы 11-й Всерос. научн.-техн. конф. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2018. С. 460–462.
5. Блум Дж. Изучаем Arduino: инструменты и методы технического волшебства. СПб: БХВ – Петербург, 2021. 544 с.
6. LMT01 datasheet [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lmt01.pdf> (дата обращения: 27.10.23).

## **ВЫБОР ДАТЧИКОВ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ МОНТАЖА В СТЕНД «СИЛОВОЙ ТРАНСФОРМАТОР»**

Максим Денисович Елфутин

Науч. рук. асс. Кирилл Валерьевич Николаев

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

boombardiro@mail.ru

**Аннотация.** В статье представлено применение микроконтроллера и датчиков переменного тока и переменного напряжения Arduino как способ измерения физических величин в реальном времени.

**Ключевые слова:** микроконтроллер, датчик тока, датчик напряжения, демонстрационно-образовательный стенд.

## **SELECTION OF CURRENT AND VOLTAGE SENSORS FOR INSTALLATION IN THE “POWER TRANSFORMER” STAND**

Maksim D. Yelfutin

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

boombardiro@mail.ru

**Abstract.** The article presents the use of a microcontroller and Arduino AC current and AC voltage sensors as a way to measure physical quantities in real time.

**Keywords:** microcontroller, current sensor, voltage sensor, demonstration and educational stand.

В рамках проектной работы по созданию демонстрационно-образовательного стенда «Силовой трансформатор» предполагалась визуализация трансформации электрической энергии одного класса напряжения в другой. Одна из основных задач заключалась в подборе датчиков измерения таких величин, как ток и напряжение на сторонах высшей и низшей обмоток и дальнейшим выводом данных на экран [1-2]. Критерии для выбора измерительных приборов были следующими: удобство монтажа, простота эксплуатации, возможность совмещения с микроконтроллером для вывода данных на дисплей, относительно низкая цена и безопасность эксплуатации.

Отличными кандидатами оказались датчики тока ACS712 и напряжения ZMPT101B от Arduino. Так как в стенде будет использоваться реальный понижающий трансформатор бытового применения (ТБП) ОСО-0,25 УХЛ 3 с номинальным напряжением первичной обмотки 220 В и вторичной – 36 В, то выбранные датчики отлично подходят по диапазону измерений [3].

Датчик тока ACS712 основан на эффекте Холла: в проводнике, помещенном в электрическое поле возникает напряжение, линейно зависящее от силы тока, индикатором которого и будет служить напряжение. К особенностям данного датчика можно отнести возможность измерения как постоянного, так и переменного тока, низкий ток потребления (менее 13 мА), широкий диапазон эксплуатационной температуры. Данные датчики классифицируются по максимальному измеряемому току 5, 20 и 30 А, также не менее важным аспектом является и чувствительность датчика, зависящая от классификации [4].

После предварительных расчетов стали известны возможные токи, которые будут протекать по обмоткам ТБП, в соответствии с этим, было принято решение о выборе датчиков тока с максимальным током измерения на 5 А (чувствительность при этом будет составлять 185 мВ/А).

Датчик напряжения ZMPT101B имеет гальваническую развязку и основан на маломощном трансформаторе, что делает работу с ним безопасной. К особенностям отнесем широкий диапазон измерения от 0 до 1000 В, высокую изоляцию и малый ток в обмотках (2 мА), к тому же небольшие габариты придают удобства размещению его внутри стенда [5].

Так же для работы необходимо подобрать плату для сборки схемы измерения данных. Осуществить это возможно при помощи разводки макетной платы вручную, однако, это более трудоемкий и материалозатратный процесс, поэтому было принято решение использовать микропроцессор Arduino Uno с выдаваемым питанием 5 В, что отлично подходит для питания датчиков.

Подключение датчиков производим следующим образом: на сторонах высшей и низшей обмоток ТБП подключаем по датчику тока (последовательно с обмоткой) и по датчику напряжения (параллельно с обмоткой), каждый датчик подключаем к питанию от микроконтроллера, сам микроконтроллер будет питаться от 12-вольной батареи. Питание датчика тока производится через выводы VCC (5 В) и GND, затем подключаем аналоговый выход OUT к аналоговому входу микроконтроллера Uno, например, A0. Выводы IP+ и IP- необходимы для

подключения ветви, ток в которой нас интересует. Аналогично с датчиком напряжения.

Данная работа будет оказывать помощь в изучении и применении на практике измерительных приборов и микроконтроллеров школьникам и студентам.

### Источники

1. Грачева Е.И., Наумов О.В., Федотов Е.А. Влияние нагрузочной способности силовых трансформаторов на их эксплуатационные характеристики // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2017. Т. 19. № 7-8. С. 71–77.

2. Грунтович Н.В., Грунтович Н.В., Жук Е.А. Типовые ошибки при техническом диагностировании силовых маслонаполненных трансформаторов // Вестник КГЭУ. 2021. Т. 13. № 4. С. 28–36.

3. ЭТМ, Трансформатор напряжения понижающий ОСО-0,4-09 УХЛ 3 220/36 (ОС0000009275) [Электронный ресурс]. <https://www.etm.ru/cat/nn/5186111> (дата обращения 30.10.2023).

4. Duino [Электронный ресурс]. <https://duino.ru/> (дата обращения 30.10.2023).

5. Измерение переменного напряжения с помощью ZMPT101B и Arduino [Электронный ресурс]. <https://robotchip.ru/izmerenie-peremennogo-napryazheniya-s-pomoshchyu-zmpt101b-i-arduino/> (дата обращения 13.11.22).

УДК 004.421

## ОБРАБОТКА ДАННЫХ ПЛАТОЙ ARDUINO UNO С ДАТЧИКОВ ИЗМЕРЕНИЯ СИЛЫ ТОКА И ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Максим Денисович Елфутин

Науч. рук. асс. Кирилл Валерьевич Николаев

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

[boombardiro@mail.ru](mailto:boombardiro@mail.ru)

**Аннотация.** В статье представлен способ измерения физических величин в реальном времени, предполагающий программирование микроконтроллера Arduino с применением датчиков переменного тока и переменного напряжения.

**Ключевые слова:** программирование микроконтроллера, датчик тока, датчик напряжения, демонстрационно-образовательный стенд.

# DATA PROCESSING BY THE ARDUINO UNO BOARD FROM CURRENT AND VOLTAGE MEASUREMENT SENSORS

Maksim D. Yelfutin

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

boombardiro@mail.ru

**Abstract.** The article presents a method for measuring physical quantities in real time, which involves programming an Arduino microcontroller using AC current and AC voltage sensors.

**Keywords:** programming the microcontroller, current sensor, voltage sensor, demonstration and educational stand.

В рамках проектной работы по созданию демонстрационно-образовательного стенда «Силовой трансформатор» предполагалась визуализация трансформации электрической энергии одного класса напряжения в другой [1, 2]. Были выбраны датчики для измерения таких величин, как ток и напряжение и дальнейшим выводом данных на экран: датчик тока ACS712 и датчик напряжения ZMPT101B. Программирование производилось на микроконтроллере Arduino Uno на платформе Arduino ide [3].

Датчик тока ACS712 способен измерять как постоянный, так и переменный ток, однако, мы будем замерять ток в обмотках трансформатора бытового применения (ТБП). Общение с микроконтроллером происходит через выход  $V_{out}$  на который подается напряжение, прямо пропорциональное силе тока в интересующей нас ветви. Подключаем этот вывод на аналоговый вход контроллера, с которого мы и будем в дальнейшем считывать данные в скетче. У выбранной платы АЦП имеет разрядность 10 бит, поэтому мы будем получать значения от 0 до 1024 ( $2^{10}$ ). Нами выбран датчик с диапазоном измерения от -5 А до +5 А и чувствительностью 185 мВ/А. Это значит, что на 1 А приходится 185 мВ или 38 единиц измерения АЦП. Также мы должны учесть, что при отсутствии измеряемого АЦП будет выдавать значение середины шкалы измерения, то есть  $1024/2=512$  или напряжение на входе 2,5 В. От этой величины мы и будем отстраиваться при написании кода. Для ее вычисления мы внесем в код калибровку, подразумевающую вычисление среднего значения нуля шкалы при отсутствии тока в ветви. Следовательно, логика будет следующей: полученное количество

условных единиц от АЦП (если оно не равно нулю) умножаем на вольтаж (5 В) и делим на длину шкалы АЦП (1024), затем вычитаем значения, находящиеся ниже нуля шкалы (2,5 В) и делим на чувствительность. Стоит отметить, что так мы получим амплитудное значение тока, чтобы получить действительное значение, нужно разделить полученное значение на  $\sqrt{2}$ .

Для измерения напряжения используем датчик ZMPT101B. Подключение контактов производится аналогично тому, как мы это делали с датчиком тока. Логика конвертирования значений АЦП в реальное значение напряжения аналогична логике с датчиком тока [4].

Однако учитывая то, что данные с датчиков напрямую мы получить не сможем, а только через АЦП, очевидно мы будем получать погрешность в измерениях из-за неполной линейности взаимосвязи напряжений, получаемых с АЦП и реальными значениями. Поэтому можно повысить точность путем набора значений с АЦП и реальных напряжений и построения графика, на основе которого можно получить коэффициент, а с его помощью уже вычислять более точные показания [5].

До программно полученных значений они были замерены непосредственно мультиметром. Данные оказались максимально приближенными, что говорит нам о правильности написания кода. Далее они были выведены на жидкокристаллический дисплей.

Таким образом, данный метод можно использовать для показа значений в реальном времени, например, на стенде, собранном нами.

## Источники

1. Грачева Е.И., Наумов О.В., Федотов Е.А. Влияние нагрузочной способности силовых трансформаторов на их эксплуатационные характеристики // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2017. Т. 19. № 7-8. С. 71–77.

2. Грунтович Н.В., Грунтович Н.В., Жук Е.А. Типовые ошибки при техническом диагностировании силовых маслонаполненных трансформаторов // Вестник КГЭУ. 2021. Т. 13. № 4. С. 28–36.

3. Duino [Электронный ресурс]. <https://duino.ru/> (дата обращения 30.10.2023).

4. Измерение переменного напряжения с помощью ZMPT101B и Arduino [Электронный ресурс]. <https://robotchip.ru/izmerenie-peremennogo-napryazheniya-s-pomoshchyu-zmpt101b-i-arduino/> (дата обращения 13.11.22).

5. Ваттметр на Arduino [Электронный ресурс].  
<https://microkontroller.ru/arduino-projects/vattmetr-na-arduino-izmerenie-napryazheniya-toka-i-moshhnosti/> (дата обращения 30.10.2023).

УДК 621.311.6

## МОДЕРНИЗАЦИЯ УЗЛА УЧЕТА ГАЗА НА БАЗЕ РАСХОДОМЕРА ИРВИС-УЛЬТРА

Фаниль Фанисович Закиев

Науч. рук. д-р ф.-м. наук, проф. Александр Вадимович Голенищев-Кутузов  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
zakiev@mail.ru

**Аннотация.** В статье предложен проект модернизации узла учета газа на базе расходомера ИРВИС-Ультра. Представлены результаты технического решения по обеспечению учета и контроля расхода газа и продукции, вырабатываемой с использованием газа, а также тепловой и электрической энергии.

**Ключевые слова:** расходомер газа, контроль параметров, учет и контроль расходования, топливо, схема газоснабжения, узел учета расхода газа.

## MODERNIZATION OF A GAS METERING UNIT BASED ON THE IRVIS-ULTRA FLOW METER

Fanil F. Zakiev

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
zakiev@mail.ru

**Abstract.** The article proposes a project for modernizing a gas metering unit based on the IRVIS-Ultra flow meter. The results of a technical solution to ensure metering and control of gas consumption and products produced using gas, as well as thermal and electrical energy, are presented.

**Keywords:** gas flow meter, parameter control, accounting and control of consumption, fuel, gas supply scheme, gas flow metering unit.

Рассмотрен вариант замены существующего измерительного комплекса СГ-ЭК-Вз-Р на базе ротационного счетчика RVG G-250 и установка измерительного комплекса ИРВИС-Ультра ПП16-80-ВП-ГПТ. Применяемый первичный прибор счетчика полнопроходной, при выходе из

стройка не препятствует потоку газа. В связи с этим байпасная линия в узле учета не предусматривается. Поток газа на объекте не реверсивный [1]. Для обеспечения точности измерения заводом - изготовителем предусмотрено устройство подготовки потока Тр-У-Эндо до расходомера. Устройство прямых участков до счетчика не требуется. Устройство подготовки потока со встроенным эндоскопом для контроля засорения счетчика. Рассчитываем максимальный и минимальный объемные расходы газа при рабочих условиях по формуле [2]:

$$Q_{p \text{ min}} = Q_{\text{min}} \frac{T_{\text{min}} \cdot P_c}{T_c \cdot P_{\text{max}}},$$

где  $P_c$ ,  $T_c$  – стандартные давление и температура газа;  $P_{\text{max}}$ ,  $T_{\text{min}}$  – максимальное давление и минимальная температура газа, соответствующие минимальному потреблению газа;  $P_c = 0,1013$  МПа,  $T_c = 20^\circ\text{C} = 293,15$  К.

Диапазон изменения температуры газа составляет - 23...+ 38 $^\circ\text{C}$ .

Диапазон возможного изменения избыточного давления газа согласно техническому заданию, выданному Газпром «Газомоторное топливо» составляет 0,3-0,6 МПа, диапазон изменения барометрического давления 101-103 кПа. Таким образом, диапазон изменения абсолютного давления газа в газопроводе:  $P_{\text{max}} = 0,6+0,103=0,703$  МПа,  $P_{\text{min}} = 0,6+0,103=0,703$  МПа.

Максимальный расход газа, приведенный к стандартным условиям  $Q_{\text{max}} = 1200$  м<sup>3</sup>/ч. Подставляя в формулы, имеем:

$$Q_{p \text{ min}} = 1200 \cdot \frac{250,15 \cdot 0,1013}{293,15 \cdot 0,703} = 147,55 \text{ м}^3/\text{ч},$$

$$Q_{p \text{ max}} = 1200 \cdot \frac{311,15 \cdot 0,1013}{293,15 \cdot 0,401} = 321,75 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

По найденным расходам выбирается не реверсивный расходомер – счетчик ультразвуковой ИРВИС-Ультра ПП16-80-ВП-ГПТ, у которого:  $Q_{\text{наиб.}} = 805$  м<sup>3</sup>/ч,  $Q_{\text{наим.}} = 1,28$  м<sup>3</sup>/ч в рабочих условиях.

На подводящем газопроводе для учета расхода газа установлен измерительный комплекс ИРВИС-Ультра ПП16-80-ВП-ГПТ с выводом параметров на первичный преобразователь. После преобразователей установлена существующая продувочная свеча, выведенная на 4,0 м.

Запорная арматура на газопроводе высокого давления соответствует классу А герметичности и климатическим условиям строительства объекта. Диаметр проводящего газопровода принят согласно пропускной способности, необходимой для полноценной работы существующих компрессоров. Давление газа присоединение – 0,3-0,6 МПа. Компрессора работают в автоматическом режиме без постоянного наблюдения со стороны обслуживающего персонала [3]. Для безопасной его работы предусмотрены следующие мероприятия: предусмотрена установка БИП, предназначенного для освещения по каналу радиосвязи об отказе оборудования [4]; монтируемое оборудование защитить от атмосферных осадков и заземлить [5]; монтаж узла учета, проведение пуско-наладочных работ и его сервисное обслуживание должно осуществляться предприятием, имеющим свидетельство о допуске к работам, на право производства указанных видов работ и подготовленных специалистов.

### **Источники**

1. Деревягин А.М. Современный узел учета газа: новые подходы // Газовая промышленность. 2007. № 5. С. 27–29.
2. Аристова Н.И. Новости автоматизации для нефтегазового комплекса // Автоматизация в промышленности. 2006. № 8. С. 64–68.
3. Захаренков А.В., Дегтерев В.Н., Усанов В.В., Шкурин А.А., Ефимов А.А., Иванова Г.М. Автоматизированная система учета газа на ТЭЦ-26 МОСЭНЕРГО // Теплоэнергетика. 2006. № 10. С. 13–16.
4. Рахматуллин С.С., Мифтахов А.Р., Голенищев-Кутузов А.В. Современные цифровые технологии в сфере разработки нефтегазовых месторождений. В сборнике: Актуальные проблемы научного знания. Новые технологии ТЭК-2022. Материалы VI Международной научно-практической конференции. Тюмень, 2022. С. 138–141.
5. Соломичев Р.И., Слонько А.Н., Сарваров Л.В. Разработка автоматизированной измерительной системы на базе ультразвуковых расходомеров TURBO FLOW UFG с функцией определения плотности природного газа // Газовая промышленность. 2021. № S2 (818). С. 34–43.

## СРАВНЕНИЕ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ И ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ФОТОЭЛЕМЕНТОВ

Егор Дмитриевич Климов

Науч. рук. канд. тех. наук, доц. Равиль Рафисович Шириев

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

rijamaenotika@yandex.ru,

**Аннотация.** В данной статье приводится сравнение двух видов фотоэлектрических модулей. В работе рассматриваются два вида солнечных панелей – монокристаллические и поликристаллические.

**Ключевые слова:** фотоэлектрические модули.

## COMPARISON OF MONOCRYSTALLINE AND POLYCRYSTALLINE SOLAR CELLS

Egor D. Klimov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

rijamaenotika@yandex.ru

**Abstract.** This article presents a comparison of two types of photovoltaic modules. The paper considers two types of solar panels – monocrystalline and polycrystalline.

**Keywords:** photovoltaic modules.

Разница между монокристаллическими и поликристаллическими ячейками определяется многими параметрами. В таблице представлено сравнение вышеперечисленных элементов [1].

Параметры монокристаллических и поликристаллических солнечных элементов

Параметр	Монокристаллические солнечные элементы	Поликристаллические солнечные элементы
Кристаллическая структура	Все кристаллы ориентированы в одном направлении, зерна кристаллов параллельны	Кристаллы ориентированы в разных направлениях, зерна кристаллов не параллельны
Технология производства	Монокристаллические	Поликристаллические

	цилиндры кремния нарезаются на пластины, затем пластины обрезаются до почти квадратной формы	заготовки прямоугольной формы режутся на пластины.
Температуры изготовления	1400°C	800-1000°C
Форма	Прямоугольная, с обрезанными углами (квазипрямоугольные)	Прямоугольные или квадратные, различной формы
Толщина	300µm	300-500µm
Цвет	Черный	Темно-синий
КПД	15%-23%	12%-17%
Стабильность параметров	Высокая стабильность	Высокая стабильность, но ниже, чем у монокристаллических элементов
Цена	Относительно высокая	Относительно высокая, но ниже, чем у монокристаллических элементов
Окупаемость по энергии	2 года	2-3 года

В пасмурную погоду, наиболее эффективными являются кремниевые поликристаллические ячейки. Обусловлено это тем, что кристаллы кремния в поликристаллических элементах ориентированы хаотически, а не упорядоченно. В результате, это значительно снижает эффективность батареи при прямом солнечном излучении, однако слабо влияет на ее производительность при рассеянном освещении, что характерно для пасмурной погоды [2].

Проведем сравнение солнечной панели Энерговольт 275 Вт поликристалл с солнечной панелью Восток ФСМ 100 Вт PERC M3 монокристалл по основным параметрам.

Эффективность преобразования: обе панели используют разные типы кристаллов – поликристаллический для Энерговольт и монокристаллический для Восток ФСМ. Важно учитывать, что обычно панели монокристаллического типа имеют более высокую эффективность по сравнению с поликристаллическими [3].

Мощность: солнечная панель Энерговольт 275 Вт имеет большую номинальную мощность по сравнению с Восток ФСМ 100 Вт. Это

означает, что панель от Энерговольт способна генерировать больше электроэнергии при равных условиях.

Температурный коэффициент также играет немаловажную роль в системе. Низкий температурный коэффициент означает, что панель будет лучше работать при повышенных температурах и иметь меньшее падение производительности [4].

Выбор и установка солнечных панелей – индивидуальная работа для каждого проекта. При выборе между двумя солнечными батареями от разных производителей рекомендуется обратить внимание на: эффективность преобразования, мощность, температурный коэффициент, гарантию, сертификации и стандарты [5].

### **Источники**

1. Выбор солнечных панелей: Моно или поли? [Электронный ресурс]. URL: <https://www.solarhome.ru/basics/solar/pv/mono-or-poly-solar-panels.htm> (дата обращения: 12.10.2023).

2. Андрианова Л.П., Хазиева Р.Т., Васильев П.И., Голубев Д.М. Аспекты проектирования электрических схем фотоэлектрических батарей для наземных фотоэлектрических систем // Сборник статей Международного научно-исследовательского конкурса. Петрозаводск, 2021. С. 145–157.

3. Виссарионов В.И., Дерюгина Г.В., Кузнецова В.А., Малинин Н.К. Солнечная энергетика. М.: изд-во МЭИ, 2008. 276 с.

4. Asimov R.M., Valevich S.V., Kruse I., Asipovich V.S. Digital twin for PV plant's power generation analysis // BIG DATA AND ADVANCED ANALYTICS, 2020. С 78–79.

5. Капингана А.А.Ж. Фотоэлектрическая энергия: эффективность преобразования, модуль и фотоэлектрические системы // Молодой ученый. 2021. С. 22–25.

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗРЯДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ ИЗОЛЯЦИИ ОПТИЧЕСКИМ (УФ) МЕТОДОМ

Азалия Адиповна Кочеткова<sup>1</sup>, Марат А. Шакирзянов<sup>2</sup>

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Дмитрий Алексеевич Иванов

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>azalkakarimova.16@mail.ru, <sup>2</sup>maratlol2@mail.ru

**Аннотация.** Качество передачи электроэнергии с каждым годом снижается, ввиду того, что повышается ее потребление. Аварийные режимы вводятся из-за того, что увеличивается эксплуатационная нагрузка на объекты электроэнергии, а также ввиду ремонтов и замены изношенного оборудования. Аварийные режимы чреваты электрическими пробоями, искровыми и коронными разрядами.

**Ключевые слова:** оптический детектор, УФ камера, разрядные процессы, высоковольтная изоляция.

## INVESTIGATION OF DISCHARGE PROCESSES IN HIGH-VOLTAGE INSULATION BY OPTICAL (UV) METHOD

Azaliya A. Kochetkova<sup>1</sup>, Marat A. Shakirzyanov<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>azalkakarimova.16@mail.ru, <sup>2</sup>maratlol2@mail.ru

**Abstract.** The quality of electricity transmission decreases every year due to the fact that its consumption increases. Emergency modes are introduced due to the fact that the operational load on electricity facilities increases, as well as due to repairs and replacement of worn-out equipment. Emergency modes are fraught with electrical breakdowns, spark and corona discharges.

**Keywords:** optical detector, UV camera, discharge processes, high-voltage insulation.

Для начала нужно сказать, что коронный разряд – это самостоятельный газовый разряд, который резко возникает в неоднородных полях у электродов. При резкой неоднородности электрического поля возникает коронный разряд. Вышеуказанное явление вызывает дефекты и повреждения в высоковольтной изоляции. Поэтому, диагностика и дефектоскопия, при последующем анализе данных и разработки портативного оптического детектора разрядных процессов в

высоковольтной изоляции на основе полученных данных является актуальной задачей нашего исследования.

Целью исследования является изучение разрядных процессов в высоковольтной изоляции оптическим методом для разработки портативного оптического детектора разрядных процессов в высоковольтной изоляции [1].

В данном исследовании была осуществлена диагностика с помощью ультрафиолетовой камеры *CoroCAM7*, которая визуализировала разряды, выдавая их на дисплей камеры. Таким образом, мы могли точно фиксировать коронные разряды [2].

Лабораторная установка, изображенная на рисунке 1, состоит из: игольчатого электрода, источника высокого напряжения с повышающим трансформатором 70 кВ. Условия эксперимента: влажность в лаборатории составляла 35 %, температура: 25°C [3].

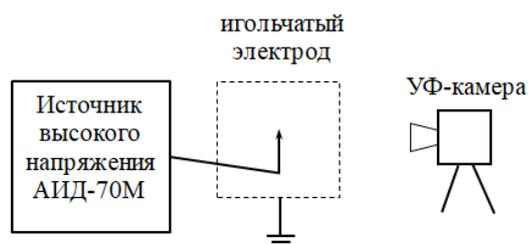


Рис. 1. Схема установки

Повышая напряжение на трансформаторе от 1 кВ до 50 кВ было отмечено увеличение разрядов. На рисунке 2 представлен график зависимости числа фотонов от напряжения [3].

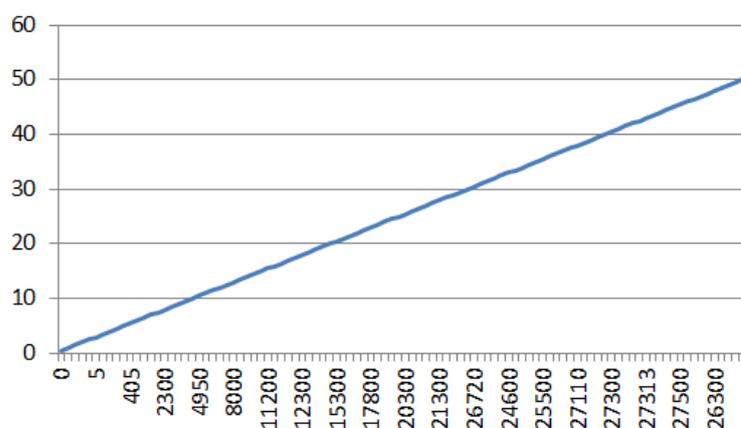


Рис. 2. График зависимости числа фотонов от напряжения

Ультрафиолетовая камера фиксировала разряды, как мы видим на

рисунке 3, в виде красных «пятен». Фиксирование разрядов с выводом изображения дефектов на дисплей камеры представлено ниже.

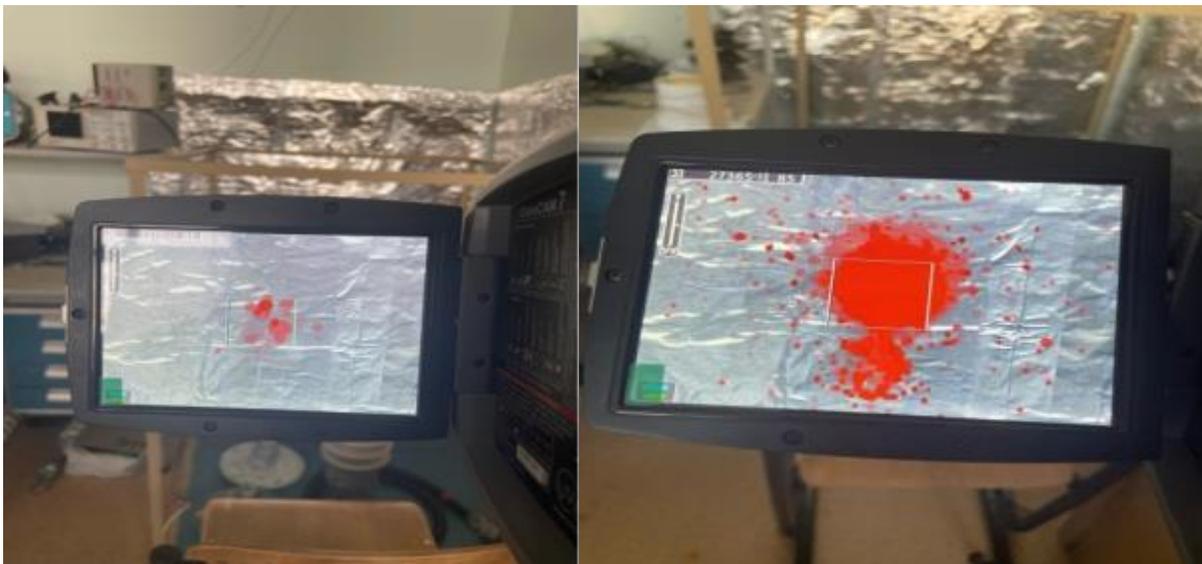


Рис. 3. Разряды при 10 кВ (слева) и 40 кВ (справа)

### Источники

1. Получение и интерпретация изображений электрических разрядов для дефектоскопистов. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.corosamuv.ru/menu\\_6\\_1.html](http://www.corosamuv.ru/menu_6_1.html) (дата обращения: 25.11.22).

2. Голенищев-Кутузов В.А., Голенищев-Кутузов А.В., Семенников А.В. и др. Лазерно-электрический метод контроля дефектности высоковольтных диэлектрических элементов // Известия РАН. Серия физическая. 2022. Т. 86. № 11. С. 1660–1663.

3. Иванов Д.А. Экспериментальная система мониторинговой диагностики высоковольтных изоляторов в процессе эксплуатации // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2022. № 6. С. 15–23.

## **ОБЩИЙ ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ УЧЕБНЫХ СТЕНДОВ ПО ИЗУЧЕНИЮ РАБОТЫ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ НА БАЗЕ ФОН-НЕЙМАНОВСКОЙ СТРУКТУРЫ**

Савелий Юрьевич Маслов

Науч. рук. д-р тех. наук, доц. Дмитрий Алексеевич Иванов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

saveli2000@gmail.com

**Аннотация.** Важной частью учебного процесса при подготовке квалифицированных инженеров служат практические занятия. Используя их, студенты получают необходимые для освоения своей специальности знания и умения. Данная статья посвящена рассмотрению структуры учебных стендов по изучению основ программирования и работы микроконтроллерных систем на базе фон-Неймановской структуры.

**Ключевые слова:** учебный стенд, структура, периферийные устройства, микроконтроллер, программа.

## **A GENERAL APPROACH TO BUILDING TRAINING STANDS FOR STUDYING THE OPERATION OF MICROCONTROLLERS BASED ON THE VON NEUMANN STRUCTURE**

Saveliy Yu. Maslov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

saveli2000@gmail.com

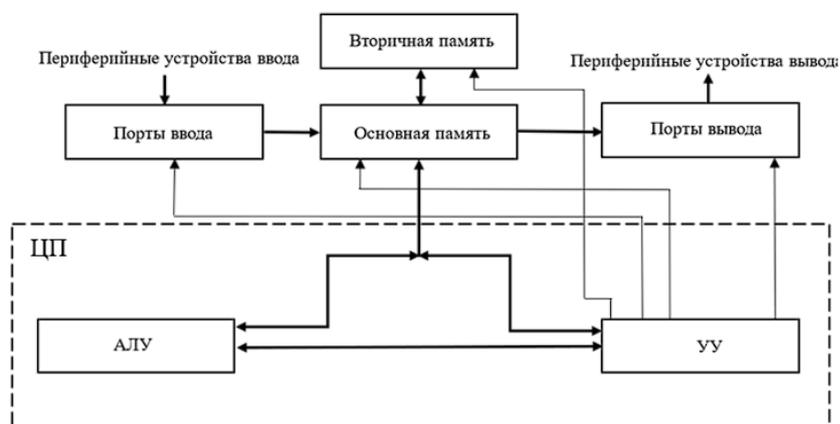
**Abstract.** Practical exercises are an important part of the educational process in the training of qualified engineers. By using them, the student receives the knowledge and skills necessary for mastering their specialty. This article is devoted to the consideration of the structure of training benches for studying the basics of programming and operation of microcontroller systems based on the von Neumann structure.

**Keywords:** training stand, structure, peripherals, microcontroller, program.

В настоящее время происходит активное развитие науки и техники, растут вычислительные мощности, разрабатываются новые инновационные технологии. В связи с этим возрастает необходимость в квалифицированных кадрах, способных осуществлять работы по

эксплуатации и обслуживанию новых устройств [1]. В результате возникает необходимость в создании специализированных учебных стендов по изучению отдельных дисциплин. В данной работе рассмотрена основная концепция построения стендов по изучению работы микроконтроллеров на базе фон-Неймановской структуры [2].

В большинстве случаев учебный стенд состоит из пяти основных частей: микроконтроллер (ЦП), память, устройство управления (УУ), арифметико-логическое устройство (АЛУ) и устройства ввода и вывода (см. рисунок) [3-4].



Структура фон-Неймановской вычислительной машины

Рассмотрим данную схему подробнее. Периферийные устройства (ПУ) подключаются к микроконтроллеру посредством портов ввода/вывода, которые конфигурируются самим пользователем. В качестве ПУ могут выступать различного рода датчики, кнопки, переключатели и т.д.

Далее данные передаются в основную память МК, где информация запоминается, после чего отправляется во вторичную память для длительного хранения. Для функционирования программы необходимо чтобы ее команды и данные хранились в основной памяти.

Следующим шагом является обработка информации центральным процессором (ЦП), в который входят арифметико-логическое устройство и устройство управления (УУ).

АЛУ реализует арифметическую и логическую обработку полученных данных, в результате формируется выходная переменная.

УУ служит для формирования сигналов управления, которые в требуемом порядке, установленном программой, извлекают команды из памяти МК, и выполняют их.

Полученные после обработки данные передаются на выходные порты, к которым подключены периферийные устройства вывода (дисплей, индикаторы и т.д.). После чего цикл выполнения программы заканчивается [5].

Следовательно, учебная аппаратно-программная платформа на микроконтроллере с периферийными модулями должна включать микроконтроллер с необходимой обвязкой, периферийные устройства ввода вывода, а также разъем для программирования и питания.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что для понимания работы учебного стенда, необходимы не только знания языка программирования, но и внутренней структуры микроконтроллерной системы [6, 7], на которой происходит процесс обучения.

### **Источники**

1. Кривченко И., Ламбер Е., Золотухов Р. Микроконтроллеры семь ярких лет становления. Что дальше? Часть 2. Ядро и периферийные блоки AVR второго поколения // Компоненты и Технологии. 2004. №37. С. 120–126.

2. Масленникова С.И., Ситников А.В., Ситников И.А. Универсальный микропроцессорный блок с открытыми каналами ввода-вывода // Радиостроение. 2015. №2. С. 47–68.

3. Шаров В.А. Устройство и программирование микроконтроллеров. Электронное учебное пособие // Научные проблемы водного транспорта. 2015. № 45. С. 103–106.

4. Бродин В., Перевозчиков П. Аппаратно-программный комплекс на базе универсального лабораторного стенда для изучения 8, 16 и 32-разрядных микроконтроллеров // Компоненты и Технологии. 2008. № 85. С. 154–160.

5. Ключев А.О., Ковязина Д.Р., Петров Е.В., Платунов А.Е. Интерфейсы периферийных устройств: учебное пособие. СПб: НИУ ИТМО, 2010. С. 8–13.

6. Yaroslavsky D.A., Ivanov D.A., Sadykov M.F. [et al.] Real-time operating systems for wireless modules // Journal of Engineering and Applied Sciences. 2016. Vol. 11. No. 6. P. 1168–1171.

7. Иванов Д.А. Экспериментальная система мониторинговой диагностики высоковольтных изоляторов в процессе эксплуатации // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2022. № 6. С. 15–23.

## ЦИФРОВОЙ ОСЦИЛЛОГРАФ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ МЕДЛЕННО ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ СИГНАЛОВ

Ильдар Ильшатович Муратов

Науч. рук. канд. физ.-мат. наук, доц. Андрей Александрович Потапов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

[muratildar@mail.ru](mailto:muratildar@mail.ru)

**Аннотация.** В работе приводится описание компактного цифрового осциллографа, позволяющего измерять медленно изменяющиеся сигналы.

**Ключевые слова:** осциллограф, микроконтроллер, измерение напряжения, периодические сигналы.

## DIGITAL OSCILLOSCOPE FOR MEASUREMENT OF SLOWLY CHANGING SIGNALS

Idar I. Muratov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

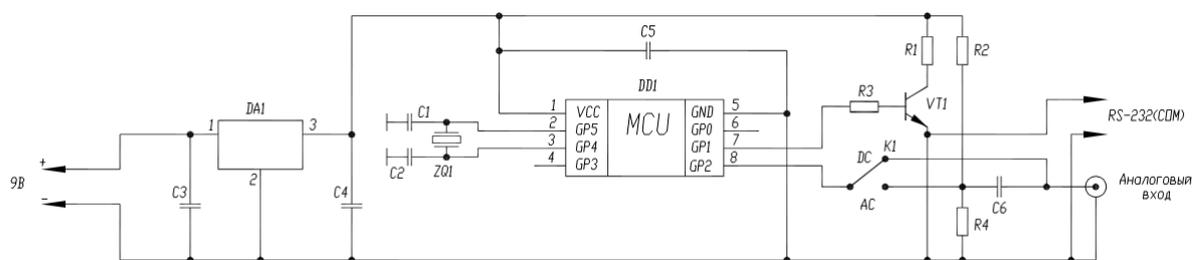
[muratildar@mail.ru](mailto:muratildar@mail.ru)

**Abstract.** The paper describes a compact digital oscilloscope that allows you to measure slowly changing signals.

**Keywords:** oscilloscope, microcontroller, voltage measurement, periodic signals.

В данной работе рассматривается миниатюрный цифровой осциллограф для измерений медленно протекающих периодических процессов [1].

При создании цифрового компьютерного осциллографа (см. рисунок) существует возможность передавать измеренные данные на компьютер, например, через СОМ-порт и отображать осциллограммы на экране. Устройство можно построить на базе восьмиразрядного микропроцессора PIC12F675 [2]. Процессор работает на частоте 20 МГц. Микроконтроллер непрерывно измеряет входное напряжение, преобразовывает его и отправляет цифровое значение на последовательный порт компьютера. Скорость передачи данных последовательного порта – 115 кБит. При этом данные могут сканироваться и отправляться с частотой около 7,5 кГц (134 мкс).



Осциллограф с выводом данных на компьютер через COM-порт

Основа схемы – микроконтроллер PIC12F675 (микросхема DD1) который работает с тактовой частотой 20 МГц кварцевого резонатора ZQ1. Питание осциллографа может быть от 9 до 12 В. Поступающее напряжение стабилизируется с помощью микросхемы DA1 до 5 В для питания процессора.

После DD1 в схеме включен простой преобразователь TTL уровня для работы с последовательным портом персонального компьютера. Преобразователь построен на базе транзистора BC337 (VT1) и резисторов R1 и R3. Вход 5 микроконтроллера подключен к переключателю K1, который позволяет переключать режимы измерения осциллографа – измерение переменного входного напряжения без постоянной составляющей и с постоянной составляющей. В первом режиме осциллограф способен отображать входной сигнал 0 – 5 В. Во втором – от -2,5 до +2,5 В [3].

Напряжение питания схемы составляет 12 В. Из этого напряжения, в дальнейшем получается еще 2 напряжения: + 9 В для формирования искусственного ноля для микросхем DA1 и DA2 с помощью резистора R13 и напряжения + 5 В для микросхем DA1, DA2, DD1 и индикатора HG1. С помощью переключателя SB6 можно выбирать тип входного тока: постоянный или переменный. При этом устройство может измерять входное напряжение от + 2,5 В до -2,5 В или от 0 до + 5 В. Основой конструкции является микроконтроллер DD1. В данном случае для отображения всех точек индикатора, а их  $128 \times 64 = 8192$  необходимо 8 Кбит памяти. Поэтому был выбран микроконтроллер, у которого flash-память равна 8 Кбайт [4].

В осциллографе используется автоматический режим синхронизации. Это означает, что если входной сигнал повторяющийся, то синхронизация работает хорошо. Но если форма сигнала постоянно меняется, то для фиксации изображения необходимо нажать кнопку SB5.

Повторное нажатие SB5 переключает синхронизацию в автоматический режим [5].

В результате выполнения данной работы можно сказать, что для исследований медленно протекающих периодических процессов с частотой до 10 кГц имеется возможность построить компактный и недорогой цифровой осциллограф, который можно использовать для построения и налаживания как любительских, так и промышленных конструкций электроники.

### **Источники**

1. Бородин В.Б., Калинин А.В. Системы на микроконтроллерах и БИС программируемой логики. М.: Изд-во «Эком», 2002. 400 с.

2. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника: справочное руководство. Пер. с нем. М.: Мир, 2018. 512 с.

3. Сидоров И.Н., Биннатов М.Ф., Васильев Е.А. Устройства электропитания бытовой РЭА: справочник. М.: Радио и связь, 2018. 472 с.

4. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. В 3 т. Т 3. Пер. с англ. 4-е изд. перераб. и доп. М.: Мир, 2018. 367 с.

5. Иванова В.Р., Иванов И.Ю., Новокрепцов В.В. Структурный и параметрический синтез алгоритмов противоаварийного управления для реализации адаптивной частотной делительной автоматики электротехнических систем // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2019. Т. 21. №4. С. 66–76.

УДК 338.45

## **СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РОССИЙСКОЙ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ**

Анастасия Юрьевна Помысова

Науч. рук. канд. пед. наук, доц. Ляля Вахитовна Ахметвалеева

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

pomissova@gmsil.com

**Аннотация.** В последние пятьдесят лет российская микроэлектроника испытывала значительное отставание от зарубежных конкурентов. Тем не менее, в последние годы наметились положительные сдвиги, и разрыв между технологическими возможностями отечественных и зарубежных микроконтроллеров начал сокращаться.

В статье представлен обзор текущего состояния российской микроэлектроники, а также анализ перспектив её развития.

**Ключевые слова:** микроконтроллеры, российский рынок, тенденции, импортозамещение, микроэлектроника.

## THE STATE AND PROSPECTS OF RUSSIAN MICROELECTRONICS

Anastasia Yu. Pomysova  
KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
pomissova@gmsil.com

**Abstract.** In the last fifty years, Russian microelectronics has experienced a significant lag behind foreign competitors. Nevertheless, there have been positive developments in recent years, and the gap between the technological capabilities of domestic and foreign microcontrollers has begun to shrink. The article presents an overview of the current state of Russian microelectronics, as well as an analysis of its development prospects.

**Keywords:** microcontrollers, Russian market, trends, import substitution, microelectronics.

За последние полвека наша страна по ряду причин упустила множество технологических возможностей в сфере микроэлектроники. Российские микроконтроллеры не соответствуют требованиям новых технологий, в то время как зарубежные аналоги предлагают передовые решения, что сказывается на развитии робототехники в России [1]. Несмотря на то, что в последнее время этот разрыв несколько сократился, отечественные разработчики все еще предпочитают использовать импортные микроконтроллеры вместо российских. Однако наблюдается рост спроса на российские микроконтроллеры среди потребителей.

В стране по результатам 2022 г. было продано 335 млн. процессоров и контроллеров, из которых 95% составили импортные, следует из данных *BusinesStat* [2].

В России несколько компаний занимаются разработкой и производством микроконтроллеров. Вот некоторые из них.

АО «ПКК Миландр» – компания производит микроконтроллеры на базе архитектуры *MIPS* и *ARM*, а также системы на кристалле с применением этих контроллеров [3].

Их последним, из разработанных на данный момент, микроконтроллером является *K1986BK01GI* – это 32-битный микроконтроллер на основе двух ядер *ARMCortex-M4F*, работающих на

частоте до 160 МГц, и одного ядра *Cortex-M0*, работающего на частоте до 130 МГц. Он имеет 256 КБ оперативной памяти с *ECC*, 1 МБ флеш-памяти с *ECC* и контроллер внешней шины. Ядро *Cortex-M0* имеет 128 КБ оперативной памяти. Контроллер *Ethernet* 10/100 МБ, два МКПД-контроллера, два *CAN*-интерфейса и другие периферические устройства входят в состав микроконтроллера [4].

ОАО "НИИМЭ и завод "Микрон" – крупнейший производитель интегральных схем в России, выпускает микроконтроллеры и системы на кристалле. В данный момент их основной разработкой является *RISC-V* микроконтроллер *MIK 32 «Амур»*. Это первый отечественный микроконтроллер на открытой архитектуре *RISC-V*. Микроконтроллер обладает ядром *RISC-V*, различными интерфейсами и датчиком температуры. Также в нём имеются 12-битные АЦП и ЦАП, поддерживающие частоту дискретизации до 1 МГц и работу с 8 и 4 каналами соответственно. В микроконтроллер встроены часы реального времени и сторожевой таймер. Варианты памяти включают 16 КБ ОЗУ, 256-битную однократно программируемую ПЗУ и 8 КБ *EEPROM*. Имеются 16-битные и 32-битные таймеры с поддержкой ШИМ. Важной особенностью является аппаратная поддержка российских алгоритмов шифрования ГОСТ [5].

В заключении, можно сказать, что российская микроэлектроника все еще отстает от ведущих мировых производителей, но наблюдается тенденция к сокращению этого разрыва. Некоторые российские компании, такие как "ПКК Миландр", активно разрабатывают и производят микроконтроллеры и другую микроэлектронную продукцию. Вместе с тем, спрос на российские микроконтроллеры со стороны потребителей растет, что может способствовать развитию этой отрасли в будущем. Серийное производство отечественных микроконтроллеров может помочь снизить зависимость от импортных компонентов и лицензионных технологий в производстве устройств и оборудования.

## Источники

1. Ахметвалеева Л.В., Галимуллин Н.Р. Обзор отрасли робототехнических систем // Динамика нелинейных дискретных электротехнических и электронных систем: материалы XIV Всерос. науч.-практ. конф. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2021. С.491–493.

2. Анализ рынка процессоров и контроллеров России [Электронный ресурс] [https://businessstat.ru/images/demo/processors\\_and\\_controllers\\_russia\\_demo\\_businessstat.pdf](https://businessstat.ru/images/demo/processors_and_controllers_russia_demo_businessstat.pdf) (дата обращения: 25.10.2023).

3. Астапкович А. Микроконтроллерные платформы "МИЛАНДР" и "МУЛЬТИКОР" // Компоненты и технологии. 2020. № 4. С. 68–75.

4. Внуков Д.С. Изучение микроконтроллера НИИЭТ К1921ВК01 // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: сб. тр. Междунар. науч.-техн. конф., Москва, 2021. С. 449

5. Федонин А. Новые разработки и проекты НИИ молекулярной электроники // Электроника: Наука, технология, бизнес. 2021. № 2. С. 68–69.

УДК 004.021

## ОБЗОР БИБЛИОТЕК ДЛЯ ПРОГРАММИРОВАНИЯ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ СЕРИИ STM32

Анастасия Юрьевна Помысова

Науч. рук. канд. пед. наук, доц. Ляля Вахитовна Ахметвалеева

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

pomissova@gmsil.com

**Аннотация.** В статье рассматриваются различные библиотеки, используемые для программирования микроконтроллеров серии *STM32*. Основное внимание уделяется наиболее популярным библиотекам: *CMSIS*, *HAL* и *SPL*. Описывается их функциональность, преимущества и недостатки, а также рекомендации по выбору подходящей библиотеки для конкретной задачи.

**Ключевые слова:** микроконтроллеры, библиотеки, программирование, регистры, STM32.

## OVERVIEW OF LIBRARIES FOR PROGRAMMING MICROCONTROLLERS OF THE STM32 SERIES

Anastasia Yu. Pomysova

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

pomissova@gmsil.com

**Abstract.** The article discusses various libraries used for programming microcontrollers of the *STM32* series. The main focus is on the most popular libraries:

CMSIS, HAL and SPL. It describes their functionality, advantages and disadvantages, as well as recommendations for choosing a suitable library for a specific task.

**Keywords:** microcontrollers, libraries, programming, registers, STM32.

Написание кода с использованием прямых названий регистров при работе с микроконтроллером *STM32* может быть сложной задачей, и даже малейшие изменения в коде могут вызвать большие трудности, что сильно отражается на процессе отладки работы микроконтроллерных устройств [1]. Поэтому разработчики часто используют библиотеки, которые предоставляют множество готовых решений. Эти библиотеки позволяют управлять микроконтроллером без необходимости знать все детали о его внутренней структуре. Однако это не исключает возможность работы с регистрами напрямую, если это необходимо.

Для работы с микроконтроллерами серии *STM32* существует несколько наиболее популярных библиотек: *CMSIS*, *HAL*, *SPL* [2].

*CMSIS Cortex Microcontroller (Software Interface Standard)* – стандартная библиотека для микроконтроллеров *Cortex-M*. Она облегчает работу с устройствами и программными интерфейсами, включает функции для работы с ядром, периферией, операционными системами, используется для прямой записи в регистры. Для работы с данной библиотекой требуется чтение «даташитов». Модули библиотеки предоставляют стандартизированные *API* для системных функций. Библиотека содержит функции для работы с ядром *Cortex-M*, обработки сигналов, создания и управления потоками выполнения в многозадачных системах реального времени. Библиотека содержит файлы описания периферийных устройств микроконтроллера *STM32* в формате *SVD (System View Description)*. Они описывают регистры, биты и поля для каждого периферийного устройства, что позволяет разработчикам использовать эти устройства без необходимости изучения документации на уровне битовых операций [3].

*HAL (Hardware Abstraction Layer)* – это библиотека для *STM32*, которая упрощает работу с аппаратными ресурсами микроконтроллера. Она предоставляет унифицированный интерфейс для различных ресурсов, скрывает детали работы с оборудованием, ускоряет разработку приложений. Поддерживает различные серии микроконтроллеров *STM32*. Полностью интегрирована с *Keil MDK* и *STM32CubeIDE*. *HAL* обеспечивает функции управления энергопотреблением, которые позволяют оптимизировать работу микроконтроллера в различных режимах. Это особенно полезно для приложений, требующих низкое энергопотребление или работу от батарейного питания [4].

Сравнивая библиотеки *CMSIS* и *HAL* можно сказать, что *CMSIS* обеспечивает быстрый и компактный код, но требует изучения документации и работы с регистрами, *HAL* предоставляет более высокий уровень абстракции, но требует изучения функций и работы с ними.

*SPL (Standard Peripheral Library)* – это библиотека для работы с периферией микроконтроллеров компании *STMicroelectronics*. Она разработана для упрощения переносимости кода, в первую очередь ориентирована на начинающих разработчиков. *SPL* предоставляет унифицированный интерфейс для работы с различной периферией, такой как *GPIO*, *UART*, *I<sup>2</sup>C*, *ADC* и др. Она скрывает детали работы с периферией и делает код более понятным и легким для чтения. Однако *SPL* не была адаптирована для работы с операционными системами, поэтому ее использование становится затруднительным в некоторых случаях. Сейчас *STMicroelectronics* работает над заменой *SPL* на более универсальную и гибкую библиотеку – *Low Layer (LL)* [5].

*CMSIS* облегчает работу с устройствами и программными интерфейсами, содержит функции для ядра, периферии и операционных систем. *HAL* упрощает работу с аппаратными ресурсами микроконтроллера, предоставляет унифицированный интерфейс и ускоряет разработку приложений. *SPL* предназначена для работы с периферией микроконтроллеров, упрощает переносимость кода и подходит для начинающих разработчиков.

## Источники

1. Ахметвалеева Л.В., Калимуллин Р.И., Галимов Г.З. Методы и средства отладки микроконтроллерных устройств // V Национальная научно-практическая конференция «Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве»: сб. тр. Нац. науч.-техн. конф. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2019. С. 450–452.

2. Торгаев С.Н., Тригуб М.В., Мусоров И.С., Чертихина Д.С. Практическое руководство по программированию STM-микроконтроллеров: учебное пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. 111 с.

3. Ефимов А.И. Микропроцессорные системы. Программирование микроконтроллеров ARM CORTEX-M3: учебное пособие. Москва: Издательство «КУРС», 2018. 128 с.

4. Сафиуллин Б.И. Разработка микроконтроллерных устройств управления электротехническими системами с использованием библиотеки HAL // II Всероссийская научно-практическая конференция «Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники»: сб. тр. конф. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2020. С. 97-100.

5. STM32 Standard Peripheral Library [Электронный ресурс]. <https://www.st.com/en/embedded-software/stm32-standard-peripheral-libraries/documentation.html#> (дата обращения: 27.10. 2023).

УДК 621-313.3

## ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ ДИОДНЫХ ОПТРОНОВ С ОПТИЧЕСКИМ КАНАЛОМ ОТКРЫТОГО ТИПА

Антон Сергеевич Романов<sup>1</sup>, Ильяс Илнурович Шакиров<sup>2</sup>

Науч. рук. канд. физ.-мат. наук, доц. Алексей Михайлович Синицин

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>ya.rom1502091096@mail.ru, <sup>2</sup>shakirov230402@gmail.com

**Аннотация.** В статье рассматривается принцип действия и применение оптронов с оптическим каналом открытого типа.

**Ключевые слова:** оптрон, диодный оптрон, электромагнитный сигнал, оптический сигнал, излучатель, светодиод, фотоприёмник, фотодиод, оптический канал.

## PRINCIPLE OF OPERATION AND APPLICATION OF DIODE OPTOCOUPERS WITH AN OPEN-TYPE OPTICAL CHANNEL

Anton S. Romanov<sup>1</sup>, Ilyas I. Shakirov<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>ya.rom1502091096@mail.ru, <sup>2</sup>shakirov230402@gmail.com

**Abstract.** The article discusses the principle of operation and application of open-type optical channel optocouplers.

**Keywords:** Optocoupler, diode optocoupler, electromagnetic signal, optical signal, emitter, LED, photodetector, photodiode, optical channel.

Оптрон, или же оптопара, является электронным прибором, состоящим из излучателя и фотоприёмника, связанных оптическим каналом [1].

Принцип действия диодной оптопары заключается в преобразовании электрического сигнала излучателем, в качестве которого выступает светодиод видимой, инфракрасной или ультрафиолетовой области спектра [2], в оптический сигнал (световой), носителями которого выступают электрически нейтральные фотоны, его передачи через оптический канал с дальнейшим преобразованием в электрический сигнал фотоприёмником, которым является фотодиод.

Отличие оптрона с оптическим каналом открытого типа от оптрона с оптическим каналом закрытого типа заключается в его открытой конструкции, где наличие корпуса прибора является необязательным, а также в среде передачи фотонов, так как в оптопарах закрытого типа средой передачи фотонов могут выступать и воздух, и вакуум, и стекло, но в случае оптопары открытого типа средой передачи могут выступать только воздух или вакуум.

Внутренняя структура диодного оптрона с оптическим каналом открытого типа представлена на рисунке 1 [3]:

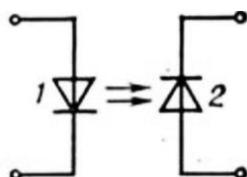


Рис. 1. Внутренняя структура диодного оптрона с оптическим каналом открытого типа

Внешний вид диодного оптрона данного типа представлен на примере инфракрасного датчика препятствия LM393 [4], изображённого на рисунке 2.

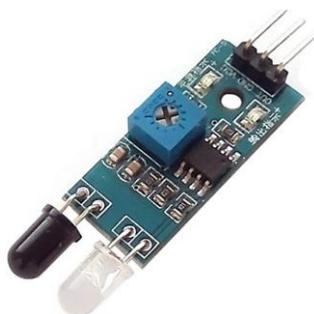


Рис. 2. Датчик препятствия LM393

Диодные оптопары с оптическим каналом открытого типа используют для фиксации механического воздействия. Применяются следующие устройства, оснащённые оптическим каналом открытого типа, который можно перекрыть (оказать механическое воздействие), а значит, само устройство можно использовать как сенсор) [5]:

1. детекторы наличия. К примеру: детекторы наличия или отсутствия бумаги в принтере;
2. детекторы начальной и (или) конечной точки;
3. дискретные спидометры;
4. счётчики;
5. датчики приближения и датчики препятствий.

### **Источники**

1. Полупроводниковые приборы (повторение). Презентация [Электронный ресурс]. <https://lms.kgeu.ru/mod/resource/view.php?id=173201> (дата обращения: 02.11.2023).

2. Кузнецов Д.В., Сидоров А.В. Оптоэлектроника: учебно-методическое пособие для подготовки к лабораторным и практическим занятиям. Елец: Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, 2020. 91 с.

3. ОПТРОН [Электронный ресурс]. [https://dic.academic.ru/dic.nsf/enc\\_physics/4121/ОПТРОН](https://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_physics/4121/ОПТРОН) (дата обращения: 02.11.2023).

4. Обзор инфракрасного модуля препятствия, LM393 [Электронный ресурс]. <https://robotchip.ru/obzor-infrakrasnogo-modulya-prepyatstviya-lm393/> (дата обращения: 02.11.2023).

5. Виды и устройства оптронов (оптопар) [Электронный ресурс]. <https://electroinfo.net/poluprovodniki/vidy-i-ustrojstvo-optrovnoy-optopar.html#i-2> (дата обращения: 02.11.2023).

## **МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ ДЕФЕКТОВ РАЗОМКНУТОГО КОНТУРА В ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ**

Эмиль Раисович Сагитов

Науч. рук. канд. пед. наук, доц. Ляля Вахитовна Ахметвалеева

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

sagitovve@yandex.ru

**Аннотация.** В связи с бурным ростом производства энергии и ее передачи, а также промышленного оборудования, электромобилей, железнодорожного транспорта и других развивающихся отраслей, область силовой электроники стала ключевой в сфере преобразования энергии. В настоящее время силовая преобразовательная техника широко используется в электроэнергетических и аэрокосмических системах, источниках бесперебойного питания, для компенсации реактивной мощности, при передаче постоянного тока, в распределенной энергетике и т.д., а вопросы их надежности стали предметом исследований в научных и промышленных кругах. Надежность силовых электронных систем имеет решающее значение, поэтому для повышения надежности силовых электронных аппаратов важно изучить методы диагностики неисправностей силовых устройств и своевременно их устранять.

**Ключевые слова:** силовая электроника, промышленность, диагностика неисправностей.

## **METHODS FOR DIAGNOSING OPEN-LOOP DEFECTS IN POWER ELECTRONICS CONVERTERS**

Emil R. Sagitov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

sagitovve@yandex.ru

**Abstract.** With the rapid growth of power generation and transmission, as well as industrial machinery, electric vehicles, railway transport and other emerging industries, the field of power electronics has become a key area in power conversion. Nowadays, power conversion equipment is widely used in electric power and aerospace systems, uninterruptible power supplies, reactive power compensation, DC transmission, distributed power generation, etc., and their reliability has become a subject of research in academia and industry. The reliability of power electronic systems is crucial, so to improve the reliability of power

electronic devices, it is important to study the methods of diagnosing power device faults and eliminate them in a timely manner.

**Keywords:** power electronics, industry, fault diagnosis.

Несмотря на то, что существуют различные средства повышения надежности силовых электронных систем [1-3], условия эксплуатации устройств силового электронного преобразования становятся все более сложными, особенно на них влияют экстремальные условия эксплуатации, такие как чрезвычайно высокие или низкие температуры, высокая влажность, сильная коррозия, высокое давление и т. д. Эти факторы увеличивают вероятность отказов, поэтому необходимы исследования по мониторингу состояния и диагностике неисправностей силовых электронных преобразователей для оперативного обнаружения неисправностей и проведения обработки отказоустойчивости или переключения на резервное оборудование, что в свою очередь позволяет избежать простоев, влияющих на производство [4], и предоставить обслуживающему персоналу информацию о неисправностях оборудования.

Отказы силовых электронных преобразователей чаще всего связаны с неисправностями полупроводниковых приборов, в основном обусловленных короткими замыканиями и обрывом [5, 6].

Короткие замыкания в основном вызваны лавинным пробоем, перегревом, пробоем из-за перенапряжения и ошибочными управляющими сигналами [7]. К примеру, основной особенностью отказов от короткого замыкания *IGBT* являются огромные пусковые токи за очень короткий промежуток времени, что является очень разрушительным и легко приводит к перегоранию других компонентов силовой электроники устройства. Защита от короткого замыкания *IGBT* обычно реализуется аппаратными средствами, включая метод обнаружения десатурации, метод обнаружения сети с резистивно-емкостным делителем напряжения, метод определения индуктивности, метод защиты цепи поглощения, метод определения тока коллектора, метод точного измерения падения напряжения насыщения и метод защиты от медленного отключения *IGBT*.

Устройства электронного преобразования мощности в основном состоят из силовых полупроводниковых приборов, но система, содержащая силовые полупроводниковые приборы, не является линейной. Следовательно, теория линейных систем и математическая модель идеальной полупроводниковой коммутации не в полной мере применимы при изучении неисправностей разомкнутой цепи силовых электронных преобразователей, тем самым ограничивая применение методов,

основанных на математической модели неисправности. Применительно к данной проблеме, технология машинного обучения отличается способностью моделировать любую непрерывную нелинейную функцию и способностью адаптивно обучаться на примерах неисправностей. В основном она использует специальные алгоритмы, работающие на сопоставлении данных о неисправности и состояний. В результате обучения и сбора исторических данных получается зрелый классификатор диагностики неисправностей, который затем используется для реализации онлайн-диагностики неисправностей в системах силовых электронных преобразователей.

### Источники

1. Стребков Д.С. Источники и способы передачи энергии – глобальные решения // Окружающая среда и энерговедение. 2021. №1. С. 52–59.
2. Шеметов А.Н. Надежность электроснабжения: учебное пособие для студентов специальности 140211 «Электроснабжение». Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2006. 135 с.
3. Китушин В.Г. Надежность энергетических систем. Часть 1. Теоретические основы: Учебное пособие. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. 256 с.
4. Абдуллазянов Э.Ю., Грачева Е.И., Ибатуллин Э.Э., Петрова Р.М., Синюкова Т.В. Анализ основных показателей промышленного производства объектов средней мощности // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2023. Т. 15. №2 (58). С. 93–108.
5. Ершов А.М. Надежность систем электроснабжения промышленных предприятий. Учебное пособие для студентов заочников. Ч.1. Челябинск: ЧПИ, 1987. 50 с.
6. Ершов А.М. Надежность систем электроснабжения промышленных предприятий. Учебное пособие для студентов заочников. Ч.2. Челябинск: ЧПИ, 1988. 50 с.
7. Слышалов В.К. Основы расчета надежности систем электроснабжения: учеб. пособие. Иваново: Изд-во ГОУВПО «Ивановский государственный университет имени В.И. Ленина», 2012. 80 с.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТОЧНОГО РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ АВТОНОМНОГО ИНВЕРТОРА НАПРЯЖЕНИЯ И ПРИБЛИЖЕННОГО МЕТОДА ОСНОВНОЙ ГАРМОНИКИ

Ралина Рамилевна Саидгараева

Науч. рук., канд. физ.-мат. наук, доц. Владимир Иванович Кротов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

ralina.yung@bk.ru

**Аннотация.** В данной статье был проведен сравнительный анализ точного расчета параметров автономного инвертора напряжения и приближенного метода основной гармоники, было выяснено, что первый обеспечивает более точные результаты, но требует значительных вычислительных ресурсов. Второй, в свою очередь, является более простым и быстрым способом расчета с погрешностью не более 10%, что вполне приемлемо при проектировании инверторов.

**Ключевые слова:** автономный инвертор напряжения, метод основной гармоники, точный расчет параметров инвертора.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF THE ACCURATE CALCULATION OF PARAMETERS OF AN AUTONOMOUS VOLTAGE INVERTER AND THE APPROXIMATE FUNDAMENTAL HARMONICS METHOD

Ralina R. Saidgaraeva

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

ralina.yung@bk.ru

**Abstract.** In this article, a comparative analysis of the exact calculation of the parameters of an autonomous voltage inverter and the approximate fundamental harmonic method was carried out; it was found that the first provides more accurate results, but requires significant computing resources. The second, in turn, is a simpler and faster method of calculation with an error of no more than 10%, which is quite acceptable when designing inverters.

**Keywords:** autonomous voltage inverter, fundamental harmonic method, accurate calculation of inverter parameters.

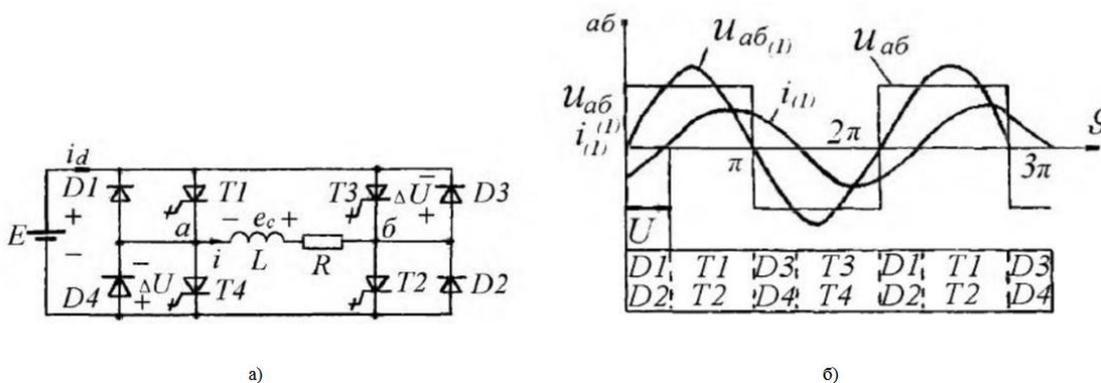
В современном мире электроэнергия является неотъемлемой частью нашей жизни. Автономные инверторы напряжения (АИН), преобразующие

постоянный ток в переменный, часто применяются для питания различных электроустройств в отсутствие стандартной сети электроснабжения [1].

Приближенный метод основной гармоники является более простым и быстрым способом расчета параметров инвертора [2]. Он основан на предположении, что выходное напряжение инвертора состоит только из основной гармоники, игнорируя все остальные гармоники. Этот метод позволяет получить приближенные значения токов в различных элементах инвертора, но эта неточность результатов (не более 10%) может быть учтена при выборе элементов для инвертора.

Точный расчет изменения тока нагрузки и в других элементах инвертора находится из уравнения Кирхгофа для замкнутого контура в дифференциальном виде [3]. В данной работе в двух методах используется активно-индуктивная нагрузка. Следует отметить, что точный расчет требует большого количества времени и ресурсов, особенно для сложных систем.

В качестве примера будем использовать однофазный мостовой инвертор на двухоперационных тиристорах, изображенный на рисунке.



а) Однофазный мостовой инвертор на двухоперационных тиристорах;  
 б) Кривые тока и напряжения инвертора [2]

Для расчета токов инвертора по методу основной гармоники воспользуемся следующими формулами:

$$i_{(1)} = \frac{4E}{\pi z} \sin(\vartheta - \varphi), \text{ где } \varphi_{(1)} = \arctg \frac{\omega L}{R}, z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$$

выражение для первой гармоники тока;

$$I_D = \frac{2E}{\pi^2 Z} (\cos \varphi - 1); \quad I_T = \frac{2E}{\pi^2 Z} (1 + \cos \varphi); \quad I_d = \frac{8E}{\pi^2 Z} \cos \varphi$$

средние значения соответственно для токов диодов, тиристоров и источника питания.

В основе точного расчета угловая зависимость тока нагрузки имеет вид

$$i_n = \frac{E}{R} \left( 1 - \frac{2e^{-9/(\omega\tau)}}{1 + e^{-\pi/(\omega\tau)}} \right), \text{ где } \tau = \frac{L}{R}.$$

Для  $f$ ,  $L$ ,  $R$  и  $E$  возьмем следующие значения соответственно: 50 Гц, 0,1 Гн, 50 Ом и 300 В. Полученные результаты расчетов представлены в таблице.

Результаты расчета параметров АИН

	$I_D$	$I_T$	$I_d$
Метод основной гармоники	0,157 А	1,903 А	3,492 А
Точный расчет	0,168 А	1,984 А	3,632 А
Погрешность	6,6%	4,1%	3,9%

В заключение можно сказать, что выбор метода расчета параметров АИН зависит от конкретной задачи и доступных ресурсов. Если требуется быстрый и простой расчет, то метод основной гармоники станет более подходящим. Важно учитывать все ограничения и особенности системы при выборе метода расчета параметров АИН [4, 5].

### Источники

1. Гельман М.В., Дудкин М.М., Преображенский К.А. Преобразовательная техника: учебное пособие. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2009. 425 с.
2. Кулик В.Д. Силовая электроника. Автономные инверторы, активные преобразователи. Учебное пособие. СПб: Изд-во ГОУВПО СПбГТУРП, 2010. 90 с.
3. Попков О.З. Основы преобразовательной техники; учеб. пособие для вузов. М.; Издательский дом МЭИ, 2007. 200 с.

4. Томашевский Д.Н. Автономные инверторы: учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2019. 120 с.

5. Петушков М.Ю. Автономные инверторы: учебное пособие для среднего профессионального образования. 2-е изд., доп. Москва: Изд-во «Юрайт», 2023. 125 с.

УДК 681.527.72

## ОБЗОР ОСОБЕННОСТЕЙ КОНТРОЛЛЕРА TM1637 ПРИ ЕГО ПОДКЛЮЧЕНИИ К 32-Х РАЗРЯДНЫМ МИКРОКОНТРОЛЛЕРАМ

Ралина Рамилевна Саидгараева

Науч. рук. канд. пед. наук, доц. Ляля Вахитовна Ахметвалеева

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

ralina.yung@bk.ru

**Аннотация.** В данной статье рассматриваются ключевые особенности 32-х разрядного микроконтроллера и дисплея *TM1637*, их сочетание и возможности, а также функционирование такого дисплея на микроконтроллере *STM32F103C8T6*.

**Ключевые слова:** микроконтроллер, дисплей, *TM1637*, *STM32F103C8T6*.

## OVERVIEW OF FEATURES OF THE TM1637 CONTROLLER WHEN CONNECTED TO 32-BIT MICROCONTROLLERS

Ralina R. Saidgaraeva

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

ralina.yung@bk.ru

**Abstract.** This article discusses the key features of the 32-bit microcontroller and *TM1637* display, their combination and capabilities, as well as the operation of such a display on the *STM32F103C8T6* microcontroller.

**Keywords:** microcontroller, display, *TM1637*, *STM32F103C8T6*.

32-разрядный микроконтроллер (МК) является мощным устройством, которое объединяет процессор, память и периферийные блоки в одной интегральной схеме. Он предоставляет более высокую вычислительную мощность и больший объем памяти по сравнению с 8- или 16-разрядными микроконтроллерами [1-3].

Контроллер TM1637 – это специализированный контроллер дисплеев семисегментного типа, который обеспечивает удобное управление и отображение чисел, символов и иных графических элементов. Он имеет свой собственный драйвер и обеспечивает простой интерфейс для подключения с МК.

К ключевым особенностям 32-разрядного МК относятся:

- высокая производительность: 32-разрядная архитектура обеспечивает более высокую производительность и обработку данных в сравнении с более низко разрядными МК;

- большой объем памяти: обычно такие МК имеют большой объем памяти (как программной, так и оперативной), что позволяет разработчикам создавать более сложные программы и хранить большие объемы данных;

- расширенные периферийные блоки: широкий набор периферийных блоков, таких как АЦП, ЦАП, таймеры, интерфейсы связи и другие, что обеспечивает большую гибкость и возможности при проектировании различных систем.

Следует выделить следующие особенности контроллера TM1637:

- управление дисплеем семисегментного типа: контроллер TM1637 обладает способностью управлять дисплеями, состоящими из семи сегментов, что позволяет отображать числа, символы и другую текстовую информацию;

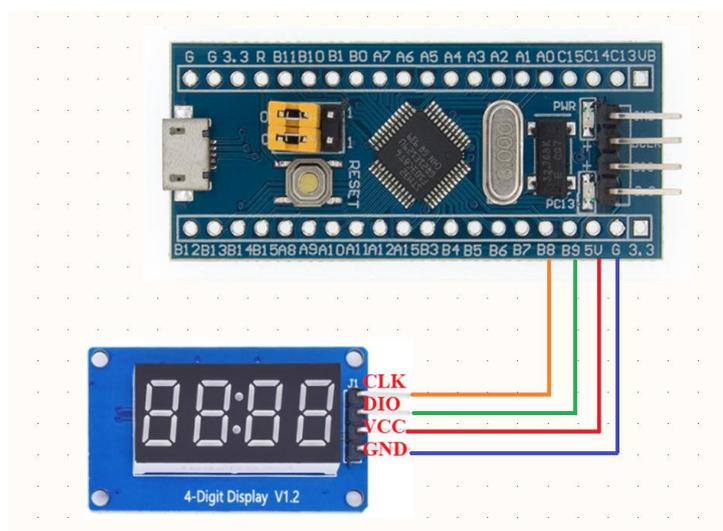
- интегрированный драйвер: он включает в себя встроенный драйвер дисплея, что позволяет сократить необходимое количество пинов для подключения и упрощает программное управление дисплеем;

- широкий диапазон применений: TM1637 может использоваться в различных приложениях, включая цифровые часы, таймеры, измерительные приборы, индикаторы и другие устройства, требующие трех- или четырехзначного отображения.

Их взаимосвязь может быть полезна в различных проектах, где требуется отображение чисел, символов или текста на семисегментном дисплее, например, в цифровых часах, измерительных устройствах, устройствах управления временем и других подобных приложениях [4,5].

Функционирование дисплея TM1637 на базе МК осуществляется через использование соответствующей библиотеки и подключение дисплея к нужным пинам. Для начала работы с дисплеем TM1637 необходимо подключить его к МК. Для этого используются два контакта на дисплее: *DIO* для передачи данных и *CLK* для синхронизации. Эти контакты подключаются к двум любым цифровым контактам платы, в случае

микроконтроллера *STM32F103C8T6* это будут *B9* и *B8* соответственно (см. рисунок). Стоит отметить, что, кроме подключения необходимых библиотек, также необходимо настроить системные настройки контроллера *STM32F103C8T6* перед использованием программного кода. Исходя из этого можно легко настроить и отобразить необходимую информацию. Также стоит отметить, что возможность настройки яркости и цвета дисплея делает его универсальным инструментом для различных проектов. Ниже показан способ соединения дисплея *TM1637* с МК *Blue Pill STM32F103C8T6*.



Способ соединения дисплея *TM1637* с МК *Blue Pill STM32F103C8T6*

Таким образом, использование МК *STM32F103C8T6* и дисплея *TM1637* позволяет электронным инженерам и разработчикам создавать эффективные и надежные системы отсчета времени.

### Источники

1. Васильев А.Е. Встраиваемые системы автоматики и вычислительной техники. Микроконтроллеры. М.: Горячая линия - Телеком, 2021. 590 с.
2. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника и микропроцессорная техника (для бакалавров). М.: КноРус, 2015. 1247 с.
3. Общая структура микроконтроллера [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://helpiks.org/8-69874.html> (дата обращения: 10.04.2023).
4. Ахметвалеева Л.В., Галимуллин Н.Р. Обзор отрасли робототехнических систем // Динамика нелинейных дискретных

электротехнических и электронных систем: материалы XIV Всерос. науч.-практ. конф. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2021. С.491–493.

5. Ахметвалеева Л.В., Галимов Р.З. Создание отладочных плат для проектирования и исследования микроконтроллерных устройств // IV Национальная научно-практическая конференция «Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве»: сб. тр. Нац. науч.-техн. конф. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2018. Т. 1. С. 431–433.

УДК 621-313.3

## **РЕКУПЕРАЦИЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ: ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ И ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДВИЖЕНИЯ**

Алмаз Азатович Сатдинов

Науч. рук. канд. физ.-мат. наук, доц. Владимир Иванович Кротов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

satdinov2015@yandex.ru

**Аннотация.** В статье рассказывается о технологии рекуперации электромобилей, которая позволяет повысить энергоэффективность и увеличить пробег автомобиля на электрической тяге. Описывается принцип работы системы, основанный на использовании энергии от тормозных операций для зарядки аккумуляторной батареи. В статье также подчеркиваются преимущества использования рекуперации, такие как увеличение ресурса аккумулятора, а также снижение выбросов вредных веществ в окружающую среду.

**Ключевые слова:** электромобиль, рекуперация, энергия, аккумуляторная батарея, тормозные операции, экологические показатели.

## **RECUPERATION OF ELECTROMOTIVE VEHICLE: RESTORING ENERGY AND INCREASING EFFICIENCY DRIVING**

Almaz A. Satdinov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

satdinov2015@yandex.ru

**Abstract.** The article describes the technology of recovery of electric vehicles, which allows to increase energy efficiency and mileage on an electric car. The principle of the system is based on using braking energy to charge the battery pack. The advantages of

recycling are highlighted, such as increased battery life and reduced harmful emissions into the environment.

**Keywords:** electric car, recycling, energy, battery pack, braking operations, environmental impact.

Рекуперация электромобиля – одна из важных технологий, позволяющая повысить энергоэффективность и увеличить пробег автомобиля на электрической тяге [1].

Основной принцип работы рекуперации основан на использовании силы тормозного усилия. Когда водитель нажимает на тормоз, электронная система автомобиля выделяет электрический ток из замкнутой энергетической цепи, который затем направляется в аккумуляторную батарею для зарядки.

Этот процесс осуществляется благодаря использованию электронного регулятора, который контролирует скорость вращения электродвигателя, а также напряжение и ток, направляемые в батарею. Когда автомобиль замедляется или тормозит, регулятор позволяет электродвигателю работать как генератор, преобразуя кинетическую энергию в электрическую для зарядки батареи [2].

Преимущество системы рекуперации заключается в том, что она позволяет снизить расход электроэнергии, которая в противном случае использовалась бы только для питания электродвигателя. Благодаря этому электромобиль может проехать большую дистанцию на одном заряде аккумулятора. Кроме того, рекуперация позволяет снизить износ тормозных колодок и увеличить срок службы тормозной системы электромобиля [3].

Существует несколько основных технологий рекуперации, которые используются в электромобилях.

1) Рекуперация при помощи электромотора. В большинстве электромобилей рекуперация осуществляется при помощи электромотора, который в этом режиме работает как генератор. Когда водитель отпускает педаль акселератора или применяет тормоза, электромотор начинает преобразовывать кинетическую энергию в электрическую энергию, которая затем направляется в аккумуляторы.

2) Рекуперация с помощью тормозной системы. Некоторые электромобили также используют рекуперацию с помощью тормозной системы. В этом случае, когда водитель применяет тормоза, электронная система автоматически включает регенеративное торможение, которое позволяет использовать кинетическую энергию для зарядки

аккумуляторов. Это позволяет снизить износ тормозных колодок, а также улучшить энергоэффективность автомобиля.

В обоих случаях рекуперативная технология позволяет снизить энергопотребление электромобиля и увеличить его дальность. Кроме того, рекуперация способствует улучшению экологических характеристик автомобиля, поскольку позволяет снизить выбросы вредных веществ и сократить общий уровень шума в городе [4].

Из-за своей энергосберегающей природы, системы рекуперации вносят значительный вклад в улучшение экологических показателей автомобилей. Благодаря использованию рекуперации, электромобили могут быть более чистыми и эффективными в среде городского движения, что способствует снижению выбросов вредных веществ и борьбе с загрязнением воздуха [5].

### Источники

1. Фиронов А.М. Повышение топливной экономичности городского автобуса путем применения рекуператора энергии торможения: дис. канд. техн. наук. Москва, 1987. 188 с.

2. Бахмутов С.В., Селифонов В.В., Филонов А.И. Работы МГТУ «МАМИ» в области автомобилей с гибридными силовыми установками // Транспорт на альтернативном топливе. 2011. № 2 (20). С. 17–21.

3. Бахмутов С.В. Конструктивные схемы автомобилей с гибридными силовыми установками [Электронный ресурс]. <https://zzapomni.com/bahmutov-konstruktivnye-shemy-avto-2007-5798/2?ysclid=lohe0uazfu734629712> (дата обращения: 01.11.2023).

4. Баркова А.А. Маховик как накопитель и аккумулятор энергии // Высокие технологии и инновации в науке: сборник избранных статей Международной научной конференции. СПб, 2020. С. 114–117.

5. ScienceDirect [Электронный ресурс]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146523001369> (дата обращения: 31.10.2023).

## СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СОЛНЕЧНЫМИ ТРЕКЕРАМИ

Альбина Радиковна Сахибгареева

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Равиль Рафисович Шириев

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

alya.saxibgareeva.02@mail.ru

**Аннотация.** Данная статья рассматривает систему управления солнечными трекерами, которая является важным компонентом солнечных энергетических установок. В статье рассматриваются основные компоненты и принципы работы системы, а также ее роль в оптимизации эффективности солнечных батарей. Описываются различные подходы к управлению трекерами, включая использование датчиков, алгоритмов и систем навигации.

**Ключевые слова:** солнечные трекеры, солнечные батареи, системы управления.

## SOLAR TRACKER CONTROL SYSTEM

Albina R. Sakhibgareeva

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

alya.saxibgareeva.02@mail.com

**Abstract.** This article examines the solar tracker control system, which is an important component of solar power plants. The article discusses the main components and operating principles of the system, as well as its role in optimizing the efficiency of solar panels. Various approaches to managing trackers are described, including the use of sensors, algorithms and navigation systems.

**Keywords:** solar trackers, solar panels, control systems.

Солнечный трекер, или Solar tracker, является устройством, которое осуществляет отслеживание положения солнца и направляет несущую конструкцию для достижения максимальной эффективности от солнечных батарей или других установленных на трекере устройств [1]. Основная идея трекера заключается в использовании нескольких датчиков, которые передают информацию контроллеру, который определяет оптимальное положение для солнечной батареи и управляет серводвигателем для поворота платформы с устройством в нужном направлении [2].

Типовой трекер для солнечных панелей содержит следующие комплектующие: несущая конструкция, устройство позиционирования, блок систем безопасности, блок управляющих систем, система навигации, инвертор [3].

По количеству осей солнечные трекеры делятся на два вида:

1. Трекеры одноосные: по вертикали – VSAT, по горизонтали – HSAT, вокруг наклонной оси – TSAT, полярное вращение, относительно стороны света – PASAT.

2. Двухосные солнечные трекеры повышают удельную производительность электростанций на 25-40%, и для систем большой мощности полностью оправдывают дополнительные расходы. Делятся на Tip-Tilt Dual Axis Tracker (TTDAT) и на Azimuth-Altitude Dual Axis Tracker (AADAT) [4].

Существуют три основных подхода к управлению механизмами позиционирования: ручное, автоматическое, полуавтоматическое.

При выборе трекерной системы определенного типа учитываются различные факторы, включая климатические условия в данном регионе, размеры используемых модулей, площадь доступного участка и другие [5].

Солнечные трекеры производят очень разнообразными, примеры от разных производителей указаны в таблице.

Солнечные трекеры

№	Название солнечных трекеров	Производитель	Характеристики
1	UST-AADAT	United Solar Technologies	2-осевой, мощность 19,2 кВт, угол поворота от -180 до 180 град.
2	UST-VSAT	United Solar Technologies	1 ось, мощность 15,48 кВт, угол поворота от -180 до 180 град.
3	STR-32G	EKO Instruments	2-осевой, мощность 25 Вт, угол поворота от -15 до 95 град.
4	TS-S	Jiangsu Weier Metal Co., Ltd.	1 ось, мощность 5-15 кВт, угол поворота от -45 до 45 град.
5	SUN RIDER	MECA SOLAR	1 ось, мощность 26,4 кВт, угол поворота от -55 до 60 град.

Преимущества использования системы управления солнечными трекерами включают повышение эффективности солнечных установок, снижение затрат на энергию и увеличение производительности.

В настоящее время системы управления солнечными трекерами развиваются дальше, что может привести к еще более оптимальному использованию солнечной энергии и повышению эффективности энергетических установок.

### **Источники**

1. «Умные» Солнечные трекеры // Prosolar - чистая энергия: сайт. [Электронный ресурс]. <https://www.prosolar.ru/articles/umnye-solnechnye-trekery/> (дата обращения: 25.10.2023).

2. Митрофанов С.В., Байкаменов Д.К., Немальцев А.Ю. Солнечные электростанции с системами слежения за Солнцем // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: материалы Всероссийской научно-методической конференции. Оренбург: Оренбургский гос. ун-т, 2018. С. 2966–2970.

3. Юрченко А.В., Китаева М.В., Охорзина А.В., Скороходов А.В. Автономная система слежения за Солнцем для солнечной энергосистемы // Контроль, измерение, информатизация: материалы XII Междунар. научно-техн. конф. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2011. С. 179–183

4. MyWatt.ru [Электронный ресурс]. <https://mywatt.ru/poleznaya-informaciya/solnechnye-trekery> (дата обращения: 25.10.2023).

5. Харченко Н.В. Индивидуальные солнечные установки. Москва: Энергоатомиздат, 1991. 208 с.

## ГИБРИДНЫЙ ДАТЧИК ПОЛОЖЕНИЯ ДЛЯ СЕРВОПРИВОДОВ

Владимир Владимирович Федотов

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Вячеслав Владимирович Рожков

Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», г. Смоленск

fedotov.smol67@gmail.ru

**Аннотация.** В статье предложен вариант гибридного датчика положения, расширяющего точностные характеристики инкрементального энкодера. Рассмотрено дополнение к имеющимся на выходе реальных промышленных датчиков цифровым сигналам. Положение механизма рекомендуется определять по интенсивности освещенности фотодиода, входящего в состав конструкции инкрементального энкодера. Описана идея реализации данного типа устройства при допущении идеальности всех процессов, протекающих внутри энкодера.

**Ключевые слова:** энкодер, резольвер, сервопривод, точность, датчик положения, гибридный принцип.

## HYBRID POSITION SENSOR FOR SERVO DRIVE

Vladimir V. Fedotov

Branch of the National Research University Moscow Power Engineering Institute in  
Smolensk

fedotov.smol67@gmail.ru

**Abstract.** The article proposes a version of a hybrid position sensor that expands the accuracy characteristics of an incremental encoder. An addition to the digital signals available at the output of real industrial sensors is considered. It is recommended to determine the position of the mechanism by the intensity of illumination of the photodiode included in the design of the incremental encoder. The idea of implementing this type of device is described, assuming the ideality of all processes occurring inside the encoder.

**Keywords:** encoder, resolver, servo drive, accuracy, position sensor, hybrid principle.

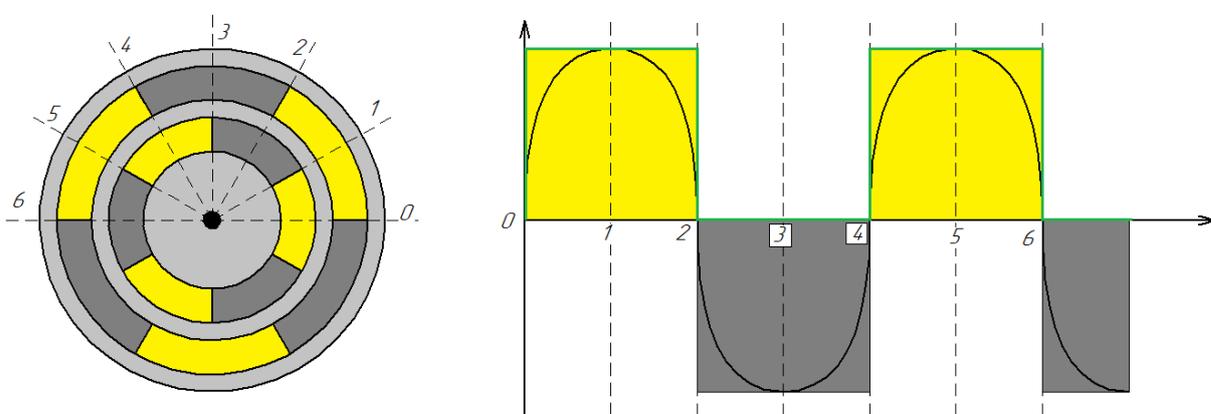
В регулируемом электроприводе в качестве датчиков положения широкое применение получили энкодеры. Построение высокоточной замкнутой позиционной или следящей системы без них невозможно. Энкодеры в технологиях, обслуживаемых электроприводом, выступают также в качестве датчиков скорости. Обработке результатов измеренной

энкодером скорости посвящено большое количество публикаций, к примеру [1], где рассмотрены возможности использования дополнительной информации по уже имеющимся на выходе энкодера данным. Здесь при помощи фильтра высокого порядка используется специальная фильтрация выходного сигнала энкодера. Продемонстрирована эффективность предлагаемого решения при использовании энкодера как датчика скорости для ее измерения на высоких частотах вращения.

Энкодеры претерпели большое количество модификаций, но по сей день они не совершенны, и разработчиками систем промышленной автоматизации предлагаются новые конструкции или методы обработки результатов с целью повышения точности измерения выходной координаты [2-4].

В данной статье предлагается путем доработки только электрической части общепромышленного инкрементального энкодера повысить точность определения положения в пространстве. Для этого можно рассмотреть простую модель энкодера с разрешением 3 импульса на один оборот с двумя позиционными кольцами, смещенными на 90 градусов. Она изображена на рисунке слева. Справа на рисунке тонкой зеленой линией показан цифровой сигнал, который доступен пользователю при вращении ротора энкодера по часовой стрелке.

Выдвигается предложение в дополнение к цифровому сигналу вывести еще и аналоговый сигнал, который пропорционален интенсивности освещенности фотодиода. Таким образом, при определенных допущениях, может быть получен сигнал синусоидального характера, изображенный черной линией на рисунке справа. Данное предположение требует теоретического обоснования и экспериментального подтверждения.



Конструкция импульсного энкодера (слева) и выходной сигнал с внешнего кольца энкодера при его вращении по часовой стрелке (справа)

Такой подход позволит определить положение ротора в диапазонах, когда цифровые импульсы постоянны. Они соответствуют перемещениям в прецизионных электроприводах, когда изменение положения меньше длины сформированного импульса.

В качестве конкурента могут выступать резольверы, исследование которых проводится и по настоящее время [5], но стоимость таких устройств в несколько раз выше, чем общепромышленных инкрементальных энкодеров, даже с доработками в виде выделения аналогового сигнала из электрической схемы энкодера.

Помимо всех рассмотренных плюсов, данный подход имеет и недостатки, самый существенный – высокая чувствительность к вибрациям, демпфирование которых средствами электропривода является отдельной задачей.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-61-00096, <https://rscf.ru/project/22-61-00096/>.

### **Источники**

1. Anuchin A., et al. Speed Measurement for Incremental Position Encoder Using Period-Based Method With Sinc3 Filtering // IEEE Sensors Journal. 2023. Vol. 23. No. 5. PP. 5073–5083.

2. Кулабухов В.С., Цацин А.А., Заец В.Ф., Туктарев Н.А. Гибридный датчик измерения углового положения // Патент РФ № 2019117876, 10.06.2019. Опубликовано 21.07.2020, бюл. № 21.

3. Park J.W., Nguyen H.X., Tran T.N.-C. and Jeon J.W. A Linear Compensation Method for Improving the Accuracy of an Absolute Multipolar Magnetic Encoder // IEEE Access. 2021. Vol. 9. PP. 19127–19138.

4. El-Meadawy S.A., et al. Proposal of Hybrid NOAM-MPPM Technique for Gamma-Gamma Turbulence Channel With Pointing Error and Different Deep Learning Techniques // IEEE Access. 2022. Vol. 10. PP. 10295–10309/

5. Wang K. and Wu Z. Hardware-Based Synchronous Envelope Detection Strategy for Resolver Supplied With External Excitation Generator // IEEE Access. 2019. Vol. 7. PP. 20801–20810.

## ГЕНЕРАТОР СИГНАЛОВ НА МИКРОСХЕМЕ

Ренат Эдуардович Хаметханов

Науч. рук. канд. физ.-мат. наук, доц. Андрей Александрович Потапов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

tyrty1234567@mail.ru

**Аннотация:** данная работа посвящена проектированию высокостабильного генератора высокочастотных колебаний на основе синтезатора частоты TSA6060.

**Ключевые слова:** высокочастотные колебания, генератор колебаний, микроконтроллер, синтезатор сигналов.

## ON-CHIP SIGNAL GENERATOR

Renat E. Khametkhanov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

tyrty1234567@mail.ru

**Abstract.** This work is devoted to the design of a highly stable high-frequency oscillator based on the TSA6060 frequency synthesizer.

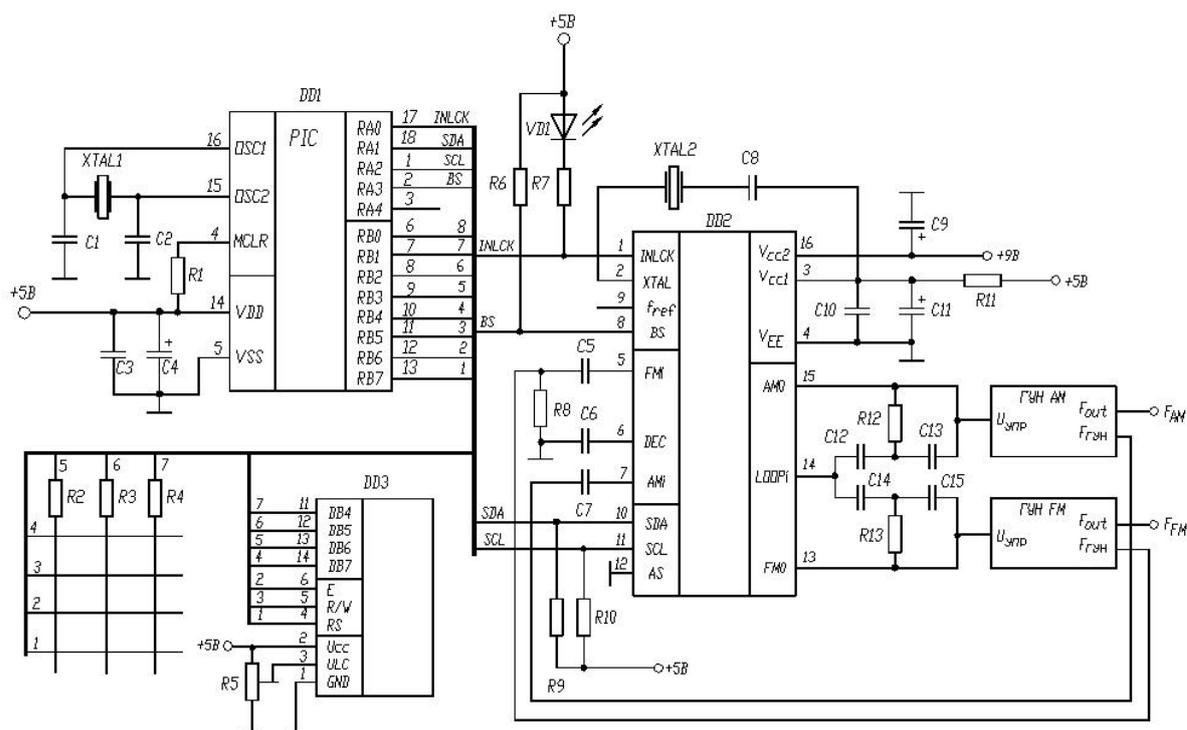
**Keywords:** high-frequency oscillations, oscillator, microcontroller, signal synthesizer.

Задача формирования высокостабильных частот и сигналов крайне важна при построении многих радиосистем, поскольку прецизионность параметров колебаний обеспечивает их высокие характеристики [1].

Генераторы, выпускаемые в промышленности, зачастую имеют высокую стоимость, а также большие габариты и вес. Кроме этого, аналоговым генераторам присущи следующие недостатки: низкая стабильность частоты и амплитуды, невозможность их установки с высокой точностью, большой коэффициент гармоник. Поэтому при современном уровне развития электроники можно разработать относительно несложный генератор (синтезатор) на цифровых принципах синтеза сигналов. Особенно это удобно при использовании современных микросхем цифрового синтеза сигналов (DDS), что позволяет менять временные параметры синтезируемого сигнала [2].

В нашей работе в качестве генератора различных аналоговых сигналов мы используем схему, построенную на цифровом синтезаторе частот и сигналов.

Принципиальная схема разработанного программируемого генератора высокочастотных колебаний представлена на рисунке. Схема содержит следующие элементы: синтезатор частоты TSA6060; микроконтроллер PIC16F84; фильтр нижних частот (ФНЧ); цифровой дисплей; 12-кнопочную клавиатуру.



Принципиальная схема программируемого генератора высокочастотных колебаний

Микросхема цифрового синтезатора TSA6060 (DD2) включена по типовой схеме. Генератор, управляемый напряжением (ГУН), формирует импульсы, фаза которых, передаваемая через программируемый делитель, сравнивается с фазой опорной частоты, возбуждаемой внутренним генератором [3]. Пока разность фаз на входе детектора фазы меньше предельно допустимого значения, выход усилителя тока будет находиться в высокоимпедансном состоянии и петля фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) находится в режиме "захвата". При этом на выходе детектора захвата петли (INLCK) будет присутствовать уровень логической "1" и загорается светодиод VD1 [4].

Для работы внутреннего генератора синтезатора служит частотодающая цепь из кварцевого резонатора XTAL2 и конденсатора С8. Выводы микросхемы SDA и SCL служат для обмена информацией с микроконтроллером с помощью интерфейса I2C.

Петлевые фильтры собраны на элементах: С12, С13, R12 – для амплитудно-модулированного генератора (ГУН АМ) и на С14, С15, R13 – для фазомодулированного генератора (ГУН FM). Конденсаторы С9 – С11 и резистор R11 – фильтрующие по цепи питания [5].

ПИС-микроконтроллер DD1 (PIC16F84) используется для управления синтезатором. На элементах С1, С2, XTAL1 собрана частотодающая цепь для тактового генератора микроконтроллера. 12 кнопочная клавиатура реализована в виде матрицы контактов и подключена к порту В. Также к порту В подключен и ЖКИ – индикатор DD3 (ITM1601). Обмен данными индикатора с микроконтроллером происходит по 4 – разрядной шине. Резистор R5 служит для подстройки контрастности индикатора.

### **Источники**

1. Информационно – технический журнал «Техника охраны», М., НИЦ «Охрана» ВНИИИПО МВД России, 2017. 111 с.
2. Крахмалев А.К. Контроль доступа и интегрированные системы безопасности // «Техника охраны». 2016. №1. М. НИЦ «Охрана» ГУВО МВД России. 286 с.
3. Крахмалев А.К. Принципы построения комплексов технических средств безопасности. // Сб. тезисов докладов VIII Международной конференции «Информатизация правоохранительных систем – 99». М.: Академия управления МВД РФ. 2018. 354 с.
4. Крахмалев А.К. Электронные системы безопасности. Интеграция технических средств // «Живая электроника России. Приборы – Системы – Интегрированные системы». М: Изд-во «Электронные компоненты», 2018. 215 с.
5. Иванова В.Р., Иванов И.Ю., Новокрещенов В.В. Структурный и параметрический синтез алгоритмов противоаварийного управления для реализации адаптивной частотной делительной автоматики электротехнических систем // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2019. Т. 21. № 4. С. 66–76.

## МИКРОКОНТРОЛЛЕРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ НАГРУЗКОЙ В ЭЛЕКТРОННЫХ ЦЕПЯХ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Ильяс Илнурович Шакиров<sup>1</sup>, Антон Сергеевич Романов<sup>2</sup>

Науч. рук канд. пед. наук, доц. Ляля Вахитовна Ахметвалеева

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>shakirov230402@gmail.com, <sup>2</sup>ya.rom1502091096@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассматриваются особенности построения схемы симисторного управления в системах ключевого регулирования с гальванической развязкой от высокого напряжения на основе *RISC*-контроллера. Использована снабберная цепь для коммутации индуктивной нагрузки.

**Ключевые слова:** микроконтроллер, симистор, транзистор, IGBT, гальваническая развязка, ATiny13, *RISC*-контроллер.

## MICROCONTROLLER LOAD CONTROL IN AC ELECTRONIC CIRCUITS

Ilyas I. Shakirov<sup>1</sup>, Anton S. Romanov<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>shakirov230402@gmail.com, <sup>2</sup>ya.rom1502091096@mail.ru

**Abstract.** The article discusses the features of constructing a triac control circuit in key control systems with galvanic isolation from high voltage based on a RISC controller. A snubber circuit is used for switching an inductive load.

**Keywords:** microcontroller, triac, transistor, IGBT, galvanic isolation, Attiny13, RISC controller.

На практике часто возникает необходимость микропроцессорного управления каким-либо мощным электрическим прибором или устройством. Проблема управления высоким напряжением при малых размерах является крайне сложной задачей. Существуют различные методы управления высоким напряжением. Для управления высокой нагрузкой постоянного тока используют транзисторные ключи. Транзисторные ключи могут быть биполярными, полевыми, а так же *IGBT* ключи. Одним из универсальных методов управления является реле,

однако из-за наличия механических частей при их срабатывании может возникать дребезг контактов [1].

Для управления переменным напряжением используются тиристорные или симисторные ключи [1]. При подаче управляющего сигнала симистор пропускает ток в обоих направлениях. Если тиристор имеет конкретные анод и катод, то электроды симистора так охарактеризовать нельзя, поскольку каждый электрод является анодом и катодом одновременно. Поэтому в отличие от тиристора, который проводит ток только в одном направлении, симистор способен проводить ток в двух направлениях. Именно поэтому симистор прекрасно работает в сетях переменного тока. После подключения устройства к сети на один из электродов симистора подаётся переменное напряжение. На электрод, который является управляющим, с диодного моста подаётся отрицательное управляющее напряжение. При превышении порога включения симистор откроется, и ток пойдёт в нагрузку. В тот момент, когда напряжение на входе симистора поменяет полярность, он закроется. Потом процесс повторяется [2].

Управляющий сигнал можно формировать при помощи микроконтроллера (МК). В разработке выбран 8-ми разрядный AVR-микроконтроллер *ATiny13*. *ATiny13* обеспечивает высокую производительность, быстрое действие исполняемого кода при сравнительно низких частотах работы микропроцессорного блока. Благодаря малым размерам использование данного МК позволит поместить его в небольшой корпус [3-5].

Рассмотрим функционирование схемы микропроцессорного управления симистором с гальванической развязкой (см. рисунок). Для согласования блока управления и в целях безопасности МК стоит гальванически разделять его выводы от высокого напряжения [3]. Гальваническая развязка состоит из резистора *R4* и оптоотиристора *V1*.

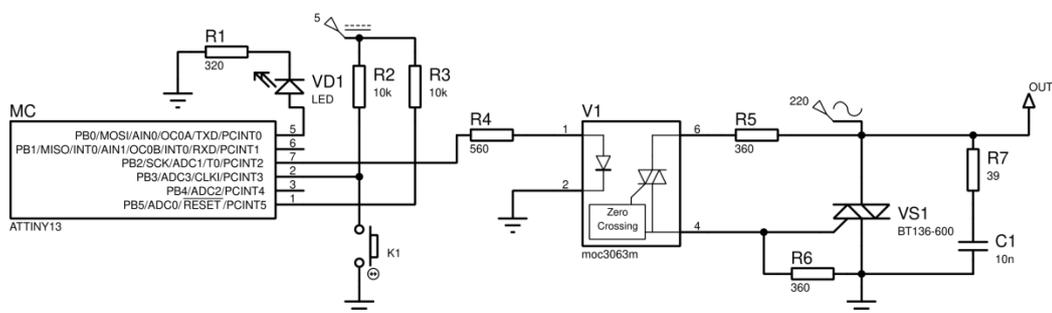


Схема управления симистором

Применение оптотиристора с функцией обнаружения через ноль (*zero crossing*) подходит как для фазного регулирования, так и для включения/выключения нагрузки. Без функции обнаружения нуля фазное регулирование работать не будет. Силовой блок представляет собой симисторный ключ. Резистор R5 представляет собой ограничитель тока, что позволяет защитить оптотиристор от перегрева. Резистор R6 выполняет роль подтягивающего резистора и устраняет ложное открытие симистора при закрытом оптотиригоре. Снабберная цепь, представляющая собой резистор R7 и конденсатор C1, необходима при работе с индуктивной нагрузкой. Снабберная цепь не является обязательной, если симистор не нуждается в снабберной цепи, либо индуктивная нагрузка находится рядом [3-5].

Управление высоким напряжением при малых размерах на МК находит широкое применение как в устройствах бытовой электроники, где требуется его малая компактность и простота использования, так и в системах силовой электроники.

### Источники

1. Рюмик С.М. 1000 и одна микроконтроллерная схема. Вып. 2. М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2011. 400 с.
2. Евстифеев А.В. Микроконтроллеры AVR семейства *Tiny* и *Mega* фирмы *ATMEL*. Мировая электроника. Изд.5. М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2008. 256 с.
3. Голенищев-Кутузов А.В. и др. Дистанционная диагностика дефектов в высоковольтных изоляторах // Известия вузов. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2020. Т. 22. № 2. С. 117–127.
4. Ахметвалеева Л.В., Галимов Р.З. Создание отладочных плат для проектирования и исследования микроконтроллерных устройств // IV Национальная научно-практическая конференция «Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве»: сб. тр. Нац. науч.-техн. конф. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2018. Т. 1. С. 431–433.
5. Ахметвалеева Л.В., Еникеева Г.Р., Галимуллин Н.Р. Технологические особенности автоматизированных систем охлаждения // V Национальная научно-практическая конференция «Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве» сб. тр. Нац. науч.-техн. конф. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2019. Т. 1. С. 447–449.

## МНОГОСЛОЙНЫЕ ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ С ВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТЬЮ КОМПОНЕНТОВ

Диляра Айратовна Юсупова

Науч. рук. канд. физ.-мат. наук, доц. Лилия Витальевна Сироткина

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г.Казань, Республика Татарстан

yusupova\_d18@mail.ru

**Аннотация.** В работе рассматривается применение многослойных печатных плат с высокой плотностью компонентов, изготовленных на основе политетрафторэтилена. Затрагиваются вопросы, связанные с теплораспределением, учетом электромагнитной совместимости и минимизацией сигнальных помех.

**Ключевые слова:** многослойные печатные платы, высокая плотность компонентов, политетрафторэтилен, тефлон.

## MULTILAYER PRINTED CIRCUIT BOARDS WITH HIGH COMPONENT DENSITY

Dilyara A. Yusupova

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

yusupova\_d18@mail.ru

**Abstract.** The paper discusses the use of multilayer printed circuit boards with a high density of components made on the basis of polytetrafluoroethylene. The issues related to heat distribution, consideration of electromagnetic compatibility and minimization of signal interference are touched upon.

**Keywords:** multilayer printed circuit boards, high density components, polytetrafluoroethylene, Teflon.

Высокоплотные компоненты являются ключевым и востребованным элементом в современной электронике, так как возрастает тенденция к миниатюризации и увеличению производительности.

Многослойные печатные платы (МПП) – это специальные конструкции, объединяющие несколько слоев проводящего и диэлектрического материала, соединяющие большое количество электронных элементов на ограниченной поверхности, что позволяет увеличивать плотность компонентов и создавать эффективные устройства,

а также уменьшить размеры электронных устройств, таких как смартфоны и ноутбуки [1]. МПП позволяют инженерам более тщательно работать над функциональными аспектами устройства, благодаря возможности оптимизировать размещение и проведение связей между компонентами [2]. Это позволяет создавать более мощные, быстрые и эффективные устройства, а также снижать их энергопотребление.

Для многослойных печатных плат с высокой плотностью компонентов, где важны эффективная теплопередача и высокие частоты работы, часто применяются материалы на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ) или, по-другому, тефлона.

Целью работы является исследование и представление информации о многослойных печатных платах с высокой плотностью на основе политетрафторэтилена. В работе рассматриваются технические характеристики МПП с политетрафторэтиленом, а также их применение в современной электронике.

Политетрафторэтилен – термопластичный полимер, состоящий из двух химических элементов: углерода и фтора. Данный материал имеет следующие достоинства: высокая химическая инертность; устойчивость ко многим химическим веществам; надежность в различных химически агрессивных средах.

Тефлон обладает выдающейся термической стойкостью и может работать при высоких температурах без расплавления или выделения токсичных газов. Рабочая температура варьирует от -200 градусов Цельсия (-328 градусов Фаренгейта) до примерно 260 градусов Цельсия (500 градусов Фаренгейта) без потери своих химических и физических свойств. [3].

Тепловые характеристики высокоплотных печатных плат на основе ПТФЭ играют важную роль в обеспечении электромагнитной совместимости (ЭМС) и помехозащищенности устройства. МПП с политетрафторэтиленом обычно имеют хорошую теплопроводность, ее коэффициент составляет 0,25 Вт/(м·К), что позволяет более эффективно распределять и удалять тепло от мощных компонентов. Это особенно важно в устройствах с высокой плотностью компонентов, где перегрев может быть серьезной проблемой [4].

Политетрафторэтилен обеспечивает высокую помехозащищенность в радиолокационных системах за счет низких диэлектрических потерь и высокой диэлектрической проницаемости, равной 2,0, что минимизирует электромагнитные помехи между проводниками и внутри устройства. МПП имеют низкие потери на высоких частотах до 5 ГГц, которые делают

передачу сигналов эффективной без потерь энергии в виде тепла [5]. Эти свойства делают их подходящими для передачи высокочастотных сигналов для устройств, где требуется минимизация потерь сигнала.

Многослойные печатные платы на основе тефлона находят широкое практическое применение в различных областях. МПП с высокой плотностью компонентов могут быть связаны с разработкой радиофронтальных модулей (RFM) для беспроводных базовых станций в сотовой связи. В медицине многослойные печатные платы на основе ПТФЭ применяют в аппаратах для МРТ, т.к. тефлон помогает снизить электромагнитные помехи, что важно для получения высококачественных изображений и точной диагностики.

Таким образом, на основе анализа литературных данных рассматриваемая тема важна и перспективна для будущих исследований.

Рассмотренные характеристики политетрафторэтилена делают его привлекательным материалом для многослойных печатных плат с высокой плотностью компонентов, благодаря своим уникальным свойствам: надежности в сложных условиях, эффективной теплопередачи и прочности.

#### **Источники**

1. Пилипосян П.М., Райсин И.Б., Тысячник О.Н. Способ изготовления многослойной печатной платы. Авторское свидетельство № 1508947 А1 СССР, МПК H05K 3/44.: опубл. 20.04.1995.

2. Денисаев А.А., Штейнберг А.С., Берлин А.А. Особенности механического инициирования слоевых композиций тефлон-алюминий // Горение и взрыв. 2011. № 4. С. 324–329.

3. Круглова Ю.А. Анализ основных методов изготовления многослойных печатных плат // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2017. № 6-2. [Электронный ресурс]. <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-osnovnyh-metodov-izgotovleniya-mnogosloynnyh-pechatnyh-plat> (дата обращения: 04.11.2023).

4. Эрик М., Питер Х.З. Способ изготовления многослойных печатных плат и многослойная печатная плата. Патент № 2126612 С1 Российская Федерация, МПК H05K 1/03, H05K 3/38, H05K 3/46.: опубл. 20.02.2018; заявитель АМП Акцо ЛинЛам ВОФ.

5. Артемьев А.А., Медведев И.А., Пейсахович А.И. Способ изготовления многослойных печатных плат. Патент № 2056704 С1 Российская Федерация, МПК H05K 3/46.: опубл. 20.03.2018.

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОНИКИ В МИРЕ

Ксения Юрьевна Яникаева

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Андрей Николаевич Борисов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

ksuy.yanikaeva@mail.ru

**Аннотация.** Статья представляет собой анализ современного состояния и перспектив развития электроники и нанoeлектроники. Рассматриваются ключевые тенденции, технологические достижения и потенциальные влияния на области, такие как информационные технологии, медицина и энергетика. Статья выделяет важность этих областей в современном мире и представляет прогнозы для будущего.

**Ключевые слова:** технологические тенденции, информационные технологии, медицина, наноматериалы, квантовая электроника.

## CURRENT STATE AND PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF ELECTRONICS IN THE WORLD

Ksenia Y. Yanikaeva

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

ksuy.yanikaeva@mail.ru

**Abstract.** The article is an analysis of the current state and prospects for the development of electronics and nanoelectronics. Key trends, technological advances and potential impacts on areas such as information technology, medicine and energy are considered. The article highlights the importance of these areas in the modern world and provides forecasts for the future.

**Keywords:** technological trends, information technology, medicine, nanomaterials, quantum electronics.

Электроника и нанoeлектроника представляют собой важные области науки и технологии, которые имеют значительное воздействие на современное общество. Эти области активно развиваются и играют ключевую роль в различных секторах, включая информационные технологии, медицину, энергетiku и другие.

Современное состояние электроники отражается в нескольких ключевых аспектах:

- **Миниатюризация:** технологические достижения позволили существенно уменьшить размеры электронных компонентов, что привело к созданию более компактных и мощных устройств, таких как смартфоны и ноутбуки.
- **Интеграция:** интегральные схемы стали более сложными и функциональными, что способствует разработке многофункциональных устройств и систем. Ниже приведена таблица, в которой представлена сравнительная характеристика интегральных схем 1980-х и современности.

Эволюция интегральных схем: сравнение 1980-х и современности

Характеристика	1980-е годы	Текущее состояние
Количество транзисторов	Несколько тысяч	Десятки миллионов
Размер технологического процесса	До 2 мкм	Менее 10 нм
Скорость работы	Несколько МГц	Несколько ГГц
Энергопотребление	Высокое	Низкое
Функциональность	Ограничена	Высокая
Интеграция компонентов	Несколько функциональных элементов на одной ИС	Множество функциональных элементов на одной ИС

- **Беспроводная связь и интернет вещей:** с развитием технологий беспроводной связи, устройства стали способными обмениваться данными между собой и с внешними системами. Это привело к развитию таких областей как умный дом, носимая электроника, медицинская электроника и другие.

Наноэлектроника фокусируется на создании и использовании наномасштабных структур и компонентов. Основные тенденции и перспективы в этой области включают:

- **Новые материалы:** исследования в области наноматериалов, таких как углеродные нанотрубки и графен, открывают новые перспективы для создания устройств с улучшенными свойствами, такими как высокая проводимость и механическая прочность [1].
- **Квантовая электроника:** развитие квантовых точек, кубитов и других квантовых устройств открывает перспективы для создания более мощных и быстрых компьютеров, а также систем квантовой связи [2].

- Наномедицина: применение нанoeлектроники в медицине, включая доставку активных лекарственных веществ, новые методы и средства лечения на нанометровом уровне [3].

Сфера электроники и нанoeлектроники обещает ряд значительных перспектив в будущем:

- Квантовые вычисления: возможность создания квантовых компьютеров, которые могут решать сложнейшие задачи и революционизировать информационные технологии. В настоящее время уже существуют их прототипы, но они еще не готовы для массового использования из-за своих небольших размеров и низкой точности вычислений [4].

- Наномедицина: улучшение диагностики и лечения заболеваний с помощью нанороботов и наночипов [5].

- Нанoeлектроника в энергетике: разработка эффективных нанoeлектронных компонентов для снижения энергопотребления и повышения производительности в солнечных батареях и хранилищах энергии [6].

Электроника и нанoeлектроника играют важную роль в научных и технологических достижениях. С их постоянным развитием и инновациями они будут продолжать формировать наше будущее, предоставляя новые возможности и решения для множества отраслей. Понимание современного состояния и перспектив развития этих областей является критически важным для научного сообщества и инженеров, работающих в электронике и нанoeлектронике.

### **Источники**

1. Юсупов А.Р., Кондратьев Д.В. Материалы и методы нанотехнологий. Уфа: Изд-во БГПУ, 2020. 49 с.

2. Xingyuan Ch., Wei L., Peiyu G., et al. Quantum Dots and Quantum Dot-Based Quantum Computing: Recent Progress and Open Challenges // Advanced Science, 2018.

3. Джардималиева Г.И., Кыдралиева К.А., Метелица А.В., Уфлянд И.Е. Наноматериалы. Свойства и сферы применения. СПб: Лань, 2021. 10 с.

4. Quantum Computing Progress and Prospects. Grumblin E., and Horowitz M. Editors. Washington: The National Academies Press, 2019. 272 p.

5. Sarath kumar S, Beena P Nasim, Elessy Abraham. Nanorobots a future Device for Diagnosis and Treatment // Journal of Pharmacy and Pharmaceutics. 2018. Vol. 5. No. 1. PP. 44–49.

6. Беззубцева М.М., Волков В.С. Современные проблемы науки и образования. СПб.: СПбГАУ, 2018. 220 с.

УДК 621.315.592

## О ПРИМЕНЕНИИ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК В НАНОЭЛЕКТРОНИКЕ

Ксения Юрьевна Яникаева

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Андрей Николаевич Борисов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

ksuy.yanikaeva@mail.ru

**Аннотация.** Важным элементом нанoeлектроники являются квантовые точки, которые обладают уникальными свойствами и находят применение в различных областях, включая квантовые компьютеры, солнечные батареи, биомедицину и многие другие. Статья представляет исследование о применении квантовых точек в нанoeлектронике, освещая их свойства, синтез и перспективы применения в различных технологических областях.

**Ключевые слова:** квантовые точки, нанoeлектроника, солнечные батареи, светодиоды, квантовые компьютеры.

## ABOUT APPLICATION OF QUANTUM DOTS IN NANO-ELECTRONICS

Ksenia Y. Yanikaeva

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

ksuy.yanikaeva@mail.ru

**Abstract.** An important element of nanoelectronics are quantum dots, which have unique properties and are used in various fields, including quantum computers, solar panels, biomedicine and many others. The article presents a study on the application of quantum dots in nanoelectronics, highlighting their properties, synthesis and prospects for application in various technological fields.

**Keywords:** quantum dots, nanoelectronics, solar panels, LEDs, quantum computers.

Нанoeлектроника продолжает привлекать внимание исследователей благодаря своей способности создавать миниатюрные электронные компоненты и устройства. В последние годы квантовые точки стали предметом особого интереса из-за их уникальных свойств, которые делают их перспективными кандидатами для использования в различных областях нанoeлектроники.

Квантовые точки представляют собой нанометровые структуры полупроводников, обладающие трехмерными квантовыми ограничениями. Они обычно имеют размеры в диапазоне от 2 до 10 нм и могут быть созданы из различных полупроводниковых материалов [1]. Размеры квантовых точек определяются их электронной структурой и конформационными потенциалами, что приводит к квантовым явлениям [2]. В таблице приведены характеристики четырех типов квантовых точек.

Характеристики различных типов квантовых точек

Тип квантовых точек	Оптимальная длина волны излучения (нм)	Преимущества	Недостатки
Квантовые точки CdSe	~530–640	Яркая флуоресценция, узкий спектр	Чувствительность к окружающей среде, токсичность кадмия
Квантовые точки PbS	~800–1600	Хороший приемник инфракрасного света	Менее яркая флуоресценция, чувствительность к влажности
Квантовые точки InAs	~1000–3000	Эффективность в ближнем инфракрасном спектре	Токсичность индия
Квантовые точки ZnO	~380–400	Более безопасны, высокая стабильность	Проблемы с дефектами, меньшая флуоресценция

Квантовые точки могут быть синтезированы из различных материалов, включая полупроводники, металлы и даже полимеры. Один из наиболее распространенных методов синтеза – это химический способ, который позволяет контролировать размеры и свойства квантовых точек. Другие методы включают лазерный и электронный литографический способы, а также механическое измельчение [3].

Квантовые точки обладают множеством уникальных свойств, включая:

- **Размерные квантовые эффекты:** размеры квантовых точек определяют их электронные и оптические свойства, и когда их размер становится сравнимым с величиной волн электронов, проявляются квантовые эффекты.

- **Туннелирование электронов:** квантовые точки могут служить квантовыми барьерами или ямами для электронов, что делает их полезными для создания квантовых точечных транзисторов.

- **Оптические свойства:** квантовые точки имеют широкий спектр оптических свойств и могут использоваться для создания светоизлучающих диодов, лазеров и фотодетекторов.

- **Магнитные свойства:** в зависимости от материала и размеров, квантовые точки могут обладать магнитными свойствами, что позволяет использовать их в магнитных наносенсорах [4].

Применение квантовых точек в нанoeлектронике:

- Квантовые точки могут служить важными элементами в квантовых компьютерах, благодаря своей способности сохранять квантовую информацию. Они могут быть использованы в качестве кубитов, которые являются аналогами классических битов в квантовых вычислениях.

- Использование квантовых точек в солнечных батареях позволяет значительно повысить эффективность захвата и преобразования солнечной энергии. Это связано с их уникальными оптическими свойствами, которые позволяют им поглощать свет в широком спектральном диапазоне.

- Квантовые точки также находят применение в биомедицине, как маркеры для маркировки клеток и тканей, а также в области образования изображений и диагностики [5].

Развитие квантовых точек и их применение в нанoeлектронике представляют собой захватывающую область исследований. С их уникальными свойствами и потенциалом для широкого спектра приложений, квантовые точки остаются активной и перспективной областью в области нанoeлектроники и нанотехнологий.

## **Источники**

1. Гладышев П.П., Новикова С.А., Андреев Е.В., Грибова Е.Д., Кинев В.А. Квантовые точки: синтез, свойства и методы их характеристики. Дубна: Изд-во гос. ун-та «Дубна», 2021. 5 с.

2. Игнатов А.Н. Оптоэлектроника и нанофотоника. СПб: Лань, 2020. 451 с.

3. Билалов А.В., Галяметдинов Ю.Г., Осипова В.В., Романова К.А., Шамилов Р.Р. Теоретические и экспериментальные методы исследования в химии. Казань: Изд-во КНИТУ, 2022. 38 с.

4. Давыдов В.Н. Полупроводниковая оптоэлектроника: учебное пособие. Томск: Изд-во Томского гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники, 2022. 73 с.

5. Кирчанов В.С. Физические основы нанотехнологий фотоники и оптоинформатики. Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2020. 268 с.

## СЕКЦИЯ 5. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ФИЗИКИ, ХИМИИ, МАТЕМАТИКИ

УДК 534.843.1

### РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ИНТЕРФЕРИРОВАНИЯ ЗВУКОВЫХ ВОЛН В АВТОЗВУКЕ

Данил Витальевич Аракчеев

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Наталия Владимировна Богданова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

xfocus99990075@gmail.com

**Аннотация.** В данной статье рассмотрен один из простейших способов решения проблемы интерферирования высокочастотных звуковых волн в автомобильных аудиосистемах. Описана актуальность проблемы на основе опроса автовладельцев, причина возникновения данной проблемы, рассмотрена интерференционная картина, два пути решения проблемы.

**Ключевые слова:** аудиосистема, звуковая волна, интерференция, автозвук, твиттер.

### SOLVING THE PROBLEM OF SOUND WAVE INTERFERENCE IN CAR AUDIO

Danil V. Arakcheev

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

xfocus99990075@gmail.com

**Abstract.** This article discusses one of the simplest ways to solve the problem of interference of high-frequency sound waves in automotive audio systems. The urgency of the problem is described on the basis of a survey of car owners, the cause of this problem, the interference pattern is considered, two ways to solve the problem.

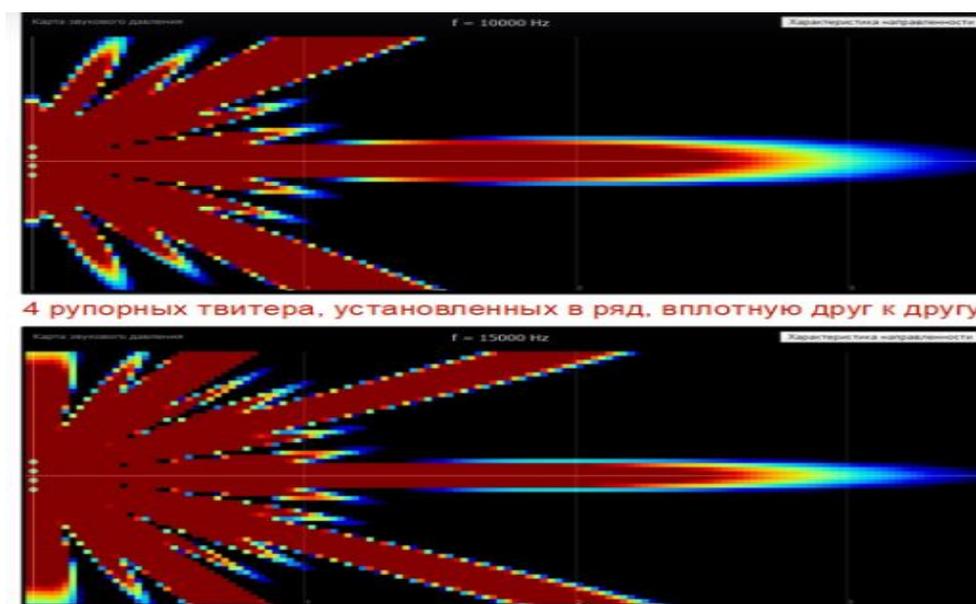
**Keywords:** audio system, sound wave, interference, car audio, twitters.

Большинство производителей автомобилей бюджетного и среднего класса не вкладываются в качественную аудиосистему автомобиля, чтобы снизить его себестоимость. Проведя собственный опрос среди автовладельцев и проанализировав статистику в интернете, около 50% ответили, что штатная аудиосистема не удовлетворяет их при

прослушивании любимой музыки. Отсюда возникает потребность более качественной аудиосистемы, что неоспоримо имеет индивидуальный подход к выбору компонентов и их установки.

Автор подробно изучил одну из самых частых ошибок при установке аудиосистемы, она наблюдается не только у людей, что хотят собрать все самостоятельно, но и ко многим известным студиям автозвука, которые совершают подобную ошибку в сборке своих и клиентских проектов – не придают внимание интерференции звуковых волн с высокой частотой.

Существует два вида высокочастотных динамиков: так называемые “пищалки” и рупорные твиттеры. Пищалки имеют интерференционную картину в виде сферы, а вот твиттера имеют более узконаправленную картину, словно световой луч фонарика. Именно поэтому в автозвуке чаще используются твиттеры, что бы звуковые волны проходили большее расстояние. Но отсюда и возникают ошибки в их установке, рассмотрим интерференционную картину четырех твиттеров расположенных вплотную друг другу по горизонтали[5].



Интерференционная картина при 10 и 15 кГц.

От чего зависит интерференционная картина?

1. От количества звуковых излучателей
2. От расстояния между звуковыми излучателями. В автозвуке принято устанавливать расстояния между осями динамиков меньше, чем половина длины самой маленькой излучаемой частоты[1].

Отсюда следует— динамики необходимо устанавливать, как можно плотнее (как большинство людей и делает), для того чтобы согласовать их излучение между собой и сделать их подобием одного большого излучателя.

Но необходимо отметить, если для других видов динамиков соблюдения условия правильного расстояния между излучателями не сложно, из-за размеров динамиков и длины волны. Для среза твиттера на 5 кГц расстояние между осями твиттеров должно быть меньше 3,5 см[2], что невозможно в силу размера рупорных твиттеров и формы излучения. Поэтому на высоких частотах проблема с интерференционной «хризантемой» проявляется наиболее выражено[3].

Автор нашел два пути решения данной проблемы:

1. Располагать твиттеры вплотную по вертикали, такой вариант решения, позволит направить зону сложения волн на уровень головы водителя, либо на средний рост человека, если музыкальная сцена больше рассчитана на прослушивание при открытых дверях. Таким образом получится улучшить качество звучания, потому что при передвижении человека по горизонтали волны не будут вычитаться и вызывать отвращения при прослушивании[4].

2. Подобрать более мощный и дорогой твиттер, таким образом можно целиком избавиться от данной проблемы, но не во всех случаях этого может хватать, и вариант достаточно затратный.

## Источники

1. Отани Тамаки. К вопросу об интерференции в интонации вопросительных предложений на примере русско-английской интерференции / Отани Тамаки // Вопросы филологических наук. – 2011. – № 2. – С. 83-89. – EDN NNATJF.

2. Прикладная акустика : Межвузовский тематический научный сборник / Таганрогский радиотехнический институт имени В. Д. Калмыкова. Том Часть 6. – Таганрог : Таганрогский радиотехнический институт имени В. Д. Калмыкова, 1974. – 252 с. – EDN OXJLCV.

3. Есипов, И. Б. Семинар "Актуальные проблемы акустики – Успехи акустики 2019" Научного совета РАН по акустике / И. Б. Есипов // Акустический журнал. – 2019. – Т. 65, № 6. – С. 861-862. – DOI 10.1134/S0320791919060030. – EDN ZNZMUV.

4. Баев, А. В. О решении обратной задачи рассеяния для уравнения акустики в трехмерных средах / А. В. Баев // Журнал вычислительной

математики и математической физики. – 2016. – Т. 56, № 12. – С. 2073-2085. – DOI 10.7868/S0044466916120036. – EDN XGWCNX.

5. Лободин, И. Е. Определение границы по частоте применимости лучевой акустики / И. Е. Лободин, А. И. Машошин // Морская радиоэлектроника. – 2022. – № 1(79). – С. 36-37. – EDN QMQQET.

УДК 621.315.592

## АНТИФЕРРОМАГНЕТИКИ В ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

Амир Рашидович Билалов<sup>1</sup>, Арман Серикович Секенов<sup>2</sup>

Науч. рук. канд. физ.-мат. наук, доцент Е.В. Шмидт

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>Ev-shmidt@mail.ru, <sup>2</sup>amirbilalov7054@gmail.com

**Аннотация.** В работе кратко рассмотрены многокомпонентные антиферромагнитные соединения системы Cu-Fe-S для термоэлектрической энергетики. Отмечены результаты исследования в этих соединениях тепловых спиновых эффектов.

**Ключевые слова:** антиферромагнитные соединения, термоэлектрическая добротность, спиновые волны.

## ANTIFERROMAGNETS IN THERMOELECTRIC ENERGY

Amir R. Bilalov, Arman S. Sekenov

<sup>1,2</sup> KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>Ev-shmidt@mail.ru, <sup>2</sup>amirbilalov7054@gmail.com

**Abstract.** The work briefly examines multicomponent antiferromagnetic compounds of the Cu-Fe-S system for thermoelectric energy. The results of studies of thermal spin effects in these compounds are noted.

**Keywords:** antiferromagnetic compounds, thermoelectric figure of merit, spin waves.

В основе современной термоэлектрической энергетики находятся такие эффекты, как эффект Зеебека, эффект Пельтье, и их спиновые аналоги [1]. Целью представленной работы является рассмотрение антиферромагнитных соединений системы Cu-Fe-S со структурой халькопирита как перспективных термоэлектрических материалов [2]. Основным элементом термоэлектрической энергетики являются

полупроводниковые материалы, называемые термоэлектриками. Эффективность термоэлектрического преобразования энергии определяется безразмерной величиной - термоэлектрической добротностью используемых термоэлектриков[1]:

$$ZT = (\sigma S^2) \frac{T}{k} = \frac{PT}{k} \quad (1)$$

где  $\sigma$ ,  $S$ ,  $k$  – коэффициенты электропроводности, термоэдс и теплопроводности.  $T$  – рабочая или средняя температура. Термоэдс и электрическая проводимость определяются только электронными свойствами материала, и поэтому их объединяют в величину, которую называют фактором мощности [5]:

$$P = \sigma S^2 \quad (2)$$

При анализе термоэлектрических экспериментов для коэффициента Зеебека ( $S$ ) часто используется следующая формула [3]:

$$S = \left[ \frac{8\pi^2 k_B^2}{3eh^2} \right] \left( \frac{\pi}{3n} \right)^{2/3} m^* T \sim m^* \quad (3)$$

где  $m^*$ ,  $n$  - эффективная масса и концентрация зарядовых носителей, соответственно. Теплопроводность является суммой электронного вклада  $k_e$  и решеточного  $k_L$ :

$$k = k_e + k_L \quad (4)$$

Отметим, что согласно закону Видемана-Франца проводимость связана с электронной теплопроводностью:

$$\frac{k_e}{\sigma} = L_0 \quad (5)$$

где  $L_0$  - постоянная Лоренца.

Из приведенных формул видно, что высокоэффективный термоэлектрический материал должен одновременно иметь высокую электропроводность, большую термоэдс и низкую теплопроводность, но добиться одновременного сочетания таких свойств является весьма непростой задачей. Значение  $ZT$  коммерческих материалов находится

сейчас в районе единицы. Ранее предсказывалось заметное увеличение ZT до  $2 \div 4$ , что значительно расширило бы область применения термоэлектриков.

В последнее время интерес к разработкам ТПЭ заметно возрос и это связано в первую очередь с поиском новых термоэлектрических материалов, при этом особое внимание привлекают исследования тепловых спиновых эффектов. К ним относятся спиновый эффект Зеебека (СЭЗ), эффект магنونного увлечения и спиновый эффект Пельтье (СЭП), они образует область, которую принято называть спиновой калоритроникой (Spin Caloritronics). Эффективность тепловых спиновых эффектов приблизительно на порядок ниже соответствующих классических аналогов. Тем не менее, предлагаются различные варианты использования тепловых спиновых эффектов для генерации магнонов и создания различных термоэлектрических устройств [4].

Известно, что в антиферромагнитных термоэлектриках также наблюдается эффект магنونного увлечения и в них рассеяние электронов спиновыми волнами может носить сравнительно более эффективный характер, чем в ферромагнитных термоэлектриках [5]. Для исследования этого явления в антиферромагнитных соединениях  $\text{Cu}_{1+x}\text{Fe}_{1-x}\text{S}_2$  была разработана теория магنونного увлечения и полученные экспериментальные результаты для коэффициента Зеебека (S) рассмотрены на основе этой теории [6]. Выполненные исследования указывают на доминирующее значение в зависимости  $S(T)$  электронмагنونного рассеяния. Благодаря этому возникает большая величина эффективной массы носителей ( $m^*$ ), что приводит к высоким значениям коэффициента Зеебека и фактора мощности (2,3). Следует отметить, что экспериментальные данные зависимости  $S(T)$  хорошо описываются электрон-магنونным рассеянием вплоть до температуры 200 К и отклоняются от теоретических зависимостей при более высоких температурах. Для выявления особенностей механизма магنونного увлечения в антиферромагнитных термоэлектриках представляют интерес сведения о релаксации системы ядерных спинов в этих материалах. В представленной работе рассмотрены результаты исследований ядерной спиновой релаксации в природных образцах антиферромагнитных термоэлектрических соединений системы Cu-Fe-S методом ЯМР  $^{63,65}\text{Cu}$  в локальном поле.

### Источники

1. Дмитриев А.В., Звягин И.П. Современные тенденции развития физики термоэлектрических материалов. УФН. 2010. т.180. №8. с.821.
2. Платонов Н.Д., Гарькавый С.О., Гавриленко А.Н., Шмидт Е.В., Матухин В.Л. Ядерная спиновая релаксация в термоэлектриках. Тезисы докладов XVIII Межгосударственной Конференции «Термоэлектрики и их применения». Санкт-Петербург. 2023. с.53.
3. Liu S., Chen M., Fu C., Zhu T. Adv. Physics Res. 2023, 2300015.
4. Safranski C, Barsukov I., Lee H. K. et al. Nat. Comm. 2017. Vol. 8. No. P. 1-7.
5. Polash Md. M. H., Mohaddes F., Rasoulianboroujeni M., Vashae D. J. Mater. Chem. C. 2020. 8, 4049.
6. Ang R., Khan A.U., Tsujii N., Takai K., Nakamura R., Mori T. Angew. Chem., Int. Ed., 2015. 54, 12909.

УДК 620.22

## СИНТЕЗ, СТРУКТУРА И ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ БИФАЗНЫХ ГИБРИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ БЕТОНА

Роберт Тимурович Дибаяев

Науч. рук. Артем Евгеньевич Бунтин

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

robertdibaev03@gmail.com

**Аннотация.** В работе проанализированы исследования возможностей создания бифазных гибридных полимерных композиций на основе природного ионита (бентонит) и структур его интеркалированного комплекса с ферроцианидом меди и редкосшитым сополимером акриламида и акриловой кислоты. С использованием различных аналитических методов, таких как РСА, РФА, ИК Фурье-спектроскопия и кривые «напряжение—деформация», был проанализирован механизм формирования этих композиций. Основным фактором, влияющим на деформационную стабильность композита, является адгезионная прочность на границе раздела минерального наполнителя и полимерной матрицы.

**Ключевые слова:** Гибридные композиционные материалы (ГКМ), in-situ полимеризация, матрица, интеркалированный комплекс (ИКК), перколированный комплекс (ПКК), взаимопроникающая сетка (ВПС).

# SYNTHESIS, STRUCTURE AND FEATURES OF FORMATION OF BIPHASE HYBRID COMPOSITIONS BASED ON CONCRETE

Robert T. Dibaev

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

robertdibaev03@gmail.com

**Abstract.** The paper analyzes the possibilities of creating biphasic hybrid polymer compositions based on natural ionite (bentonite) and the structures of its intercalated complex with copper ferrocyanide and a rare-cross-linked copolymer of acrylamide and acrylic acid. The mechanism of formation of these compositions was analyzed using various analytical methods, such as XRD, IR Fourier spectroscopy and stress-strain curves. The main factor affecting the deformation stability of the composite is the adhesive strength at the interface of the mineral filler and the polymer matrix.

**Keywords:** Hybrid composite materials (HCM), in-situ polymerization, matrix, intercalated complex (ICC), percolated complex (PCC), interpenetrating mesh (UPC).

В современной научно-технической литературе большое внимание уделяется разработке новых гибридных материалов на основе природных и синтетических полимеров. Чтобы улучшить их свойства, полимеры армируют наполнителями разных размеров и природы, такими как слоистые силикаты, углеродные нановолокна и наночастицы кремнезема. [1,2]. Существует большое количество обзорных статей, посвященных синтезу и производству гибридных материалов. Выбор технологии синтеза зависит от природы компонентов и условий их смешения, что влияет на структуру и свойства материалов. Одно из ограничений при синтезе гибридных материалов прямым физическим смешением полимера и слоистых силикатов связано с возможным фазовым разделением компонентов [6]. Плохое взаимодействие наполнителей и полимеров приводит к низким механическим характеристикам, в то время как сильное взаимодействие может способствовать равномерному распределению наполнителей в полимерной матрице. В зависимости от компонентов и метода приготовления можно получить различные виды гибридных материалов [3,4].

Мономеры акриловой кислоты (АК), акриламида (АА) и сшивающий агент метиленбисакриламид (МБА) были использованы без дополнительной очистки. Bentonит, медный купорос и ферроцианид калия также используются в исследовании. Синтез композиционных материалов проводился путем смешивания различных химических реагентов при

перемешивании и проведении реакции полимеризации. Исследование было проведено с использованием рентгенодифракционного анализа, сканирующей электронной микроскопии и инфракрасной спектроскопии. Механические свойства образцов анализировались с помощью анализатора текстуры.

Было проведено изучение исследования по получению глинистых композитов с использованием бентонита, мономеров и модификаторов. Одним из интересных классов композитов являются ферроцианидные комплексы, которые обладают хорошими свойствами сорбции металлов. Для анализа структуры и морфологии композитов можно использовать рентгеноструктурный анализ и сканирующую электронную микроскопию. Предыдущие исследования также рассматривали механизм формирования гидрогелей и гидрогелевых композиций на основе полисахарида агар-агара и поливинилпирролидона. В данной работе будет рассмотрен механизм формирования структур в объеме полимерной матрицы при синтезе глинистых композитов методом *in-situ* полимеризации. Основными компонентами бентонита являются минералы группы смектита, такие как монтмориллониты, а также могут содержаться другие глинистые минералы [5].

Видно, что без наполнителей прочность на разрыв составляет 8,7 кПа при деформации 1291%. Добавление бентонита приводит к снижению деформации до 1136% и росту прочности до 22,8 кПа. При использовании ПКК прочность достигает 30,514 кПа, но упругость снижается до деформации 643%, при которой происходит разрыв материала. Основным фактором, характеризующим деформационную стабильность гибридной композиции, является адгезионная прочность между минеральным наполнителем и полимерной матрицей.

Вывод: Исходя из исследования, можно сказать, что структура гибридных композиций в основном зависит от кристаллического строения минерального наполнителя бентонита, а также от интеркаллированного комплекса с ферроцианидом меди смешанного состава, но морфологическое строение определяется топологией перколлированной трехмерной полимерной матрицы.

### **Источники**

1. Calvert P. A recipe for strength // *Nature*. – 1999. – Vol.399. – P.210-211.

2. Liu M., Jia Z., Jia D., Zhou C. Recent advance in research on halloysite nanotubes-polymer nanocomposite // Progress in Polymer Science. – 2014. – Vol.39, Is.8. – P. 1498-1525.

3. Mark J.E. Ceramic-reinforced polymers and polymermodified ceramics // Polymer Engineering and Science. – 1996. – Vol.36. – P.2905-2920.

4. Herron N., Thorn D.L. Nanoparticles: Uses and relationships to molecular cluster compounds // Advanced Materials. – 1998. – Vol.10, Is.15. – P.1173-1184.

5. Narod A, Sarsheshova AM, Beisebekov MM, Kairalapova GZ, Iminova RS et al (2012) Chem Bull Kaz Nat Univ 3:209-213. (In Russian).

6. Transformation of the structure and adsorption properties of bentonite during physical and chemical treatment Buntin A., Agliullin V. Journal of Physics: On methods for quantifying the effect of composition on the components of mixed types of chemical bonds in some substances, their structure and properties Sirotkin O., Sirotkin R., Buntin A.

## КВАНТОВЫЕ СЕНСОРЫ В МЕДИЦИНЕ

Георгий Николаевич Дмитриев<sup>1</sup>, Равиль Рафисович Шириев<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>dmitriev.gera@mail.ru, <sup>2</sup>shrr@list.ru

**Аннотация.** В статье рассмотрено перспективное направление в квантовой физике, а именно квантовые сенсоры и их сравнение в медицине для увеличения эффективности работы людей.

**Ключевые слова:** квантовая физика, квантовый сенсор, медицина.

## QUANTUM SENSORS IN MEDICINE

Georgiy N. Dmitriev<sup>1</sup>, Ravil R. Shiriev<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>dmitriev.gera@mail.ru, <sup>2</sup>shrr@list.ru

**Abstract.** The article considers a promising direction in quantum physics, namely quantum sensors and their comparison in medicine to increase the efficiency of people's work.

**Keywords:** quantum physics, quantum sensor, medicine.

Квантовые сенсоры - современные сенсоры, использующие квантовую механику для измерения физических величин [1]. Они точны,

чувствительны, могут использовать неклассические состояния и измерять широкий спектр величин. Позволяют проводить параллельные измерения. Идеальны для научных исследований. Применение квантовых сенсоров в медицине основано на использовании магнитоэнцефалографии. Этот метод изучает активность мозга, измеряя магнитные поля, возникающие в результате его электрической активности. В отличие от других методов, основанных на электрических сигналах, магнитные поля проходят через ткани без изменений, что позволяет получить более полную информацию. Однако магнитные сигналы мозга очень слабые и трудно обнаружимы. Квантовые сенсоры обладают высокой чувствительностью и могут регистрировать эти слабые магнитные поля. Использование сенсоров позволяет диагностировать различные заболевания мозга, такие как опухоли, синдром Альцгеймера и эпилепсия. Квантовые сенсоры особенно полезны, когда необходимо определить маленькие очаги активности, которые трудно обнаружить другими методами и требуют хирургического вмешательства.

В магнитоэнцефалографии (МЭГ) используются различные типы квантовых сенсоров. Некоторые из них включают:

1. Джозефсоновские переходы (Josephson Junctions): Это один из наиболее распространенных типов квантовых сенсоров в МЭГ. Они основаны на явлении квантового туннелирования и используются для измерения слабых магнитных полей, создаваемых активностью мозга.

Производители - Mages, KIT/Yokogawa (Neuromag), CTF Systems.

2. Квантовые точки (Quantum Dots): Квантовые точки представляют собой небольшие полупроводниковые наночастицы, которые могут быть использованы для обнаружения и измерения магнитных полей. Они обладают высокой чувствительностью и могут обнаруживать очень слабые сигналы, что делает их привлекательными для применения в МЭГ.

Производители - MEGIN (neuroMag), QuSpin, QuSpin, Inc.

3. Квантовые создатели изображений (Quantum Imaging Detectors): Эти сенсоры используют квантовые явления, такие как квантовые интерференции и эффекты одиночных фотонов, для измерения магнитных полей. Они обеспечивают высокую чувствительность и способность регистрировать одиночные фотоны.

Производители - CTF Systems, KIT/Yokogawa (Neuromag).

4. Квантовые датчики (Quantum Sensors): Это новое поколение квантовых сенсоров, которые используются для измерения магнитных полей. Они основаны на принципе квантовой интерферометрии и обеспечивают высокую чувствительность и точность измерений.

Производители - QuSpin, QuSpin, Inc.

Сравнение этих квантовых сенсоров может быть сложным, так как они часто разработаны разными производителями и могут иметь различные характеристики. Однако, можно провести общее сравнение основных характеристик этих сенсоров:

Джозефсоновские переходы[1],[3]:

1. Широко используются в МЭГ и обладают высокой чувствительностью.
2. Удобны в использовании и имеют хорошую стабильность.
3. Они могут использоваться для измерения слабых магнитных полей, связанных с активностью мозга.

Квантовые точки[4]:

1. Обладают высокой чувствительностью и могут обнаруживать слабые сигналы.
2. Могут быть использованы для измерения и обнаружения магнитных полей.
3. Привлекательны для применения в МЭГ из-за своей высокой чувствительности.

Квантовые создатели изображений[2]:

1. Используются квантовые явления для измерения магнитных полей.
2. Обеспечивают высокую чувствительность и могут регистрировать одиночные фотоны.
3. Могут быть удобными для использования в МЭГ.

Квантовые датчики[5]:

1. Основаны на принципе квантовой интерферометрии.
2. Обладают высокой чувствительностью и точностью измерений.
3. Используются для измерения магнитных полей.

В конечном счете, выбор квантового сенсора в МЭГ зависит от конкретных требований и возможностей исследования. Каждый тип сенсора имеет свои преимущества и ограничения, и выбор определенного сенсора зависит от конкретных потребностей исследования.

## **Источники**

1. Галахов, Э. И., Сулимович, В. В., Фарзоллаев, М. М. Квантовая телепортация и ее применение к созданию квантовых сенсоров. // Квантовая электроника, 2012. Том 42. Выпуск 11. Стр. 999-1005.

2. Иванов, А. А., Миногин, В. Г., Курушин, С. Д., и др. Квантовые сенсоры с использованием атомных веществ. // Оптика и спектроскопия, 2017. Том 122. Выпуск 6. Стр. 905-910.

3. Самарский, А. А., Прилипко, В. Ю. Квантовые сенсоры на основе квантовых точек и нанопроводов. // Физика твердого тела, 2016. Том 58. Выпуск 12. Стр. 2283-2290.

4. Седетов, Ю. А., Шпаков, В. И. Квантовые сенсоры на основе квантовых точек. // Вестник Московского университета. Серия 3. Физика. Астрономия, 2014. Том 55. Выпуск 6. Стр. 42-44.

5. Фролков, Д. В., Залатов, В. В. Квантовые сенсоры в измерительных системах. // Труды Московского физико-технического института, 2000. Том 3. Выпуск 2. Стр. 152-160.

УДК 620.98

## **О ПЕРСПЕКТИВАХ ПРИМЕНЕНИЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА ДЛЯ ПИТАНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ**

Максим Валентинович Кедяров

Науч. рук. проф. Рафаил Хасьянович Тукшаитов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

kediarov\_m-v@mail.ru

**Аннотация.** В статье описана история перехода с постоянного тока на переменный, а также открывающаяся большая возможность перехода на постоянный ток в наши дни в связи с разработкой и применением высоковольтных преобразователей типа DC/DC.

**Ключевые слова:** постоянный ток (англ. Direct Current – DC), переменный ток (англ. Alternating Current – AC), преобразователь напряжения, потери электроэнергии.

## **ON THE PROSPECTS OF USING DIRECT CURRENT TO POWER ELECTRICAL EQUIPMENT**

Maksim V. Kediarov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

kediarov\_m-v@mail.ru

**Abstract.** The article describes the history of the transition from direct current to alternating current, as well as the great possibility of switching to direct current these days in connection with the development and use of high-voltage DC/DC converters.

**Keywords:** Direct Current systems (Direct Current – DC), alternating Current systems (Alternating Current – AC), voltage converter, power loss.

В конце 1880-х годов произошло противостояние больших ученых Томаса Эдисона и Николы Теслы, вместе с Джорджем Вестингаузом, в борьбе за предпочтении использованию переменного и постоянного тока. Постоянный ток принято связывать с именем Томаса Эдисона, а переменный с Джорджем Вестингаузом и Николой Теслы [1, 2].

После активного строительства электрической инфраструктуры, производство электроэнергии упало на долю теплоэлектростанций и гидроэлектростанций, которые располагались вдали от потребителя. Так, к концу 19 века была создана концепция электрической сети, с многочисленными электростанциями на постоянном токе. Основной задачей стало возможность создания протяженных сетей с обеспечением минимальных потерь электроэнергии. Лишь при расстоянии до потребителя не более 1500 метров, достигалась максимальная эффективность. Поэтому приходилось использовать толстые медные провода, что сильно удорожало построение электрических сетей. Во избежание этого возникла необходимость перехода на передачу переменного напряжения с повышением его уровня с помощью нового устройства – трансформатора. Единственное, что сдерживало внедрение переменного тока, так это его большая опасность для человека. Успешное использование источников переменного тока продолжалось почти 100 лет.

Вместе с тем, наряду с переменным током для питания электрооборудования и установок долгие годы в некотором объеме применяется постоянное напряжение. На источниках постоянного напряжения работает городской транспорт - это троллейбусы, трамваи, поезда метро, железнодорожный транспорт, станции зарядки электромобилей системы телекоммуникации и альтернативной энергетики.

В настоящее время все большее применение находит постоянный ток путем использования единого преобразователя переменного тока в постоянный. В Европе уже в целом ряде гипермаркетов питание электрооборудования осуществляется постоянным током. Это предпринимается с целью снижения потери электроэнергии. Это становится возможным в тех случаях, когда основное оборудование

питается постоянным током. Для питания отдельного оборудования можно использовать преобразователи типа DC/AC [3, 4].

Определенные перспективы открывает производство высоковольтных преобразователей типа DC/DC, позволяющих понижать напряжение с 1500 В до 12-48 В. Такие преобразователи, выпускаемые фирмой MEAN WELL. Ранее выпускаемые типовые преобразователи DC/DC предназначались для работы только в низковольтных сетях. Примечательно, что выпускаемые фирмой MEAN WELL преобразователи способны работать при изменении входного напряжения в очень широких пределах – от 150 до 1500 В [5].

Основываясь на этих данных можно сказать, что постоянный ток – это ток будущего, поскольку открываются возможности все большего перехода к питанию электрооборудования постоянным током. Каждый день создаются новые механизмы облегчающие внедрения постоянного тока в нашу жизнь. При переходе на новую сеть, потери в сетях уменьшатся, а преобразователи AC/DC которые используются почти в каждом бытовом и промышленном механизме вообще будут исключены, что также снизит потери электроэнергии и удешевит в целом производство.

### Источники

1. Зотин О.Т. В преддверии возрождения постоянного тока. DC Rematch Upcoming – URL: [http://www.energsovet.ru/bul\\_stat.php?idd=366](http://www.energsovet.ru/bul_stat.php?idd=366) (дата обращения 02.11.2023).

2. Яковлев Г.Н. Применение постоянного тока в электроснабжении социально-бытового сектора экономики с целью снижения потерь электроэнергии – URL: [http://www.energsovet.ru/bul\\_stat.php?idd=242](http://www.energsovet.ru/bul_stat.php?idd=242) (дата обращения 03.11.2023).

3. Зотин О.Т. 10 причин применять для освещения электрические сети постоянного тока в будущем – URL: <https://www.revolight.ru/partners/learning/reviews/10-prichin-primenyat-dlya-osveshcheniya-elektricheskie-seti-postoyannogo-toka-v-budushchem/> (дата обращения 04.11.2023).

4. Шестифазная звезда и двойной зигзаг. – URL: <https://kratko-obovsem.ru/articles/six-phase-star-and-double-zigzag.html> (дата обращения 05.11.2023).

5. Елисеев И. Новые DC/DC-конвертеры на DIN-рейку MEAN WELL для высоковольтных сетей постоянного тока – URL: <https://www.compel.ru/lib/186450> (дата обращения 05.11.2023).

## ПРОБЛЕМЫ ТЕМПЕРАТУРНОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЯКР ЭКСПЕРИМЕНТОВ В СТИБНИТЕ $Sb_2S_3$

Дмитрий Сергеевич Китанин<sup>1</sup>, Вадим Владимирович Иванов<sup>2</sup>

Науч. рук. канд. физ.-мат. наук, доц. Александр Ильич Погорельцев

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

<sup>1</sup>zak7235@mail.ru, <sup>2</sup>vadim\_2002@list.ru

**Аннотация.** В тезисе произведено описание построение системы стабилизации температуры при проведении экспериментов методом ядерного квадрупольного резонанса в стибните  $Sb_2S_3$ , спектр которого обладает высокой чувствительностью к изменению температуры окружающей среды.

**Ключевые слова:** ядерный квадрупольный резонанс (ЯКР), стибнит, температурная стабилизация, ширина спектра, температурная зависимость ЯКР.

## PROBLEMS OF TEMPERATURE STABILIZATION IN THE PERFORMANCE OF NQR EXPERIMENTS IN $Sb_2S_3$ STIBNITE

Dmitry S. Kitanin<sup>1</sup>, Vadim V. Ivanov<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>zak7235@mail.ru, <sup>2</sup>vadim\_2002@list.ru

**Abstract.** The thesis describes the construction of a temperature stabilization system for nuclear quadrupole resonance experiments in  $Sb_2S_3$  stibnite, whose spectrum is highly sensitive to changes in ambient temperature.

**Keywords:** nuclear quadrupole resonance (NQR), stibnite, temperature stabilization, spectrum width, temperature dependence of NQR.

Пленки узкощелевых полупроводников, включая полупроводники группы  $V_2VI_3$ , привлекают пристальное внимание исследователей благодаря уникальным свойствами в перспективе прикладных применений [1–2]. В частности, пленки  $Sb_2Se_3$  и  $Sb_2S_3$  вызывают интерес с точки зрения их применения в микроволновых, коммутационных и оптикоэлектронных устройствах [3]. Показано, что  $Sb_2S_3$  может быть перспективным при использовании в фотогальванических ячейках для видимой и ближней инфракрасной области спектра, а так же в термоэлектрических устройствах охлаждения [4].

Ранее в работе [5] были исследованы спектры стибнита при 70К и 300К. В работе [6] исследовались температурные зависимости частот ЯКР для разных изотопов и переходов в стибните. Было показано, что стибнит имеет высокий температурный градиент частоты. Так, для изотопа  $Sb^{123}$  на переходе  $\pm 1/2 \leftrightarrow \pm 3/2$  температурный градиент частоты составляет  $dv/dT = 9,1$  кГц/Градус при ширине линии спектра на этом переходе равной  $\Delta\nu=18$  кГц.

В данной работе мы разработали комплекс температурной стабилизации позволяющий решить проблему высокой чувствительности стибнита  $Sb_2S_3$  к изменению температуры при проведении экспериментов ядерного квадрупольного резонанса в комнатной температуре. В ходе разработки системы стабилизации мы столкнулись с рядом особенностей, решение которых позволило достичь стабилизации температуры с точностью  $0,1^\circ C$ .

### Источники

1. S. Messina, M.T.S. Nair, P.K. Nair. Solid Films, 517, 2503 (2009).
2. H. Maghraoui-Meherzi, T. Ben Nasr, N. Kamoun, M. Dachraoui. Physica B, 3101 (2010).405
3. H. Maghraoui-Meherzi, T. Ben Nasr, N. Kamoun, M. Dachraoui. Comptes Rendus Chimie, 14, 471 (2011).
4. Q. Han, J. Chen, J. Lu, X. Yang, L. Lu, X. Wang. Mater. Lett., 62, 2050 (2008).
5. Сафин И.А., Пеньков И.Н., ЯДЕРНЫЙ КВАДРУПОЛЬНЫЙ РЕЗОНАНС В СТИБНИТЕ. Доклады Академии наук СССР. 1962, Том 147, №2, 410-413
6. Абдуллин Р.С., Пеньков И.Н., ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ СПЕКТРА ЯКР  $121, 123Sb$  в  $Sb_2S_3$ . Физика твердого тела. Том № 19, в №9 (1977).

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛЬТ-АМПЕРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОЛИТНО ПЛАЗМЕННОЙ СВАРКИ СТАЛИ И ЕГО СПЛАВОВ

Максим Николаевич Семенов<sup>1</sup>, Айдар Раисович Мухаметзянов<sup>2</sup>, Денис Фирдависович  
Ахунов<sup>3</sup>, Азат Фивзатович Гайсин<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>maxim.snt@inbox.ru, <sup>2</sup>aydar-999@mail.ru, <sup>3</sup>79273521546@mail.ru, <sup>4</sup>gaysinazat@mail.ru

**Аннотация.** Работа посвящена исследованию электролитно-плазменной сварки электротехнической стали и его сплавов. В качестве электролита использовался раствор сульфата аммония  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  с концентрацией 1% и технической воды. Вольт-амперная характеристика была построена с помощью данных, полученных съемкой амперметра и вольтметра и последующим построением графиков в MS Excel.

**Ключевые слова:** электрические разряды, низкотемпературная плазма, газожидкостные потоки, электролитические электроды.

## INVESTIGATION OF THE CURRENT-VOLTAGE CURVE OF ELECTROLYTIC PLASMA WELDING OF STEEL AND ITS ALLOYS

Maksim N. Semenov<sup>1</sup>, Aidar R. Mukhametzyanov<sup>2</sup>, Denis F. Akhunov<sup>3</sup>, Azat F. Gaisin<sup>4</sup>  
<sup>1,2,3,4</sup> KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>maxim.snt@inbox.ru, <sup>2</sup>aydar-999@mail.ru, <sup>3</sup>79273521546@mail.ru, <sup>4</sup>gaysinazat@mail.ru

**Abstract.** The work is devoted to the study of electrolyte-plasma welding of electrical steel and its alloys. A solution of ammonium sulfate  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  with a concentration of 1% and process water was used as the electrolyte. The current-voltage curve was constructed using data obtained by taking an ammeter and voltmeter and then plotting graphs in MS Excel.

**Keywords:** electrical discharges, low-temperature plasma, gas-liquid flows, electrolytic electrodes.

Сварка металлических деталей является одним из самых распространенных процессов, до 2/3 стального проката в мире идут на сварные конструкции. Придуманы множество видов сварки, которые можно применять как для многих целей, так и узконаправленные [1].

Теме исследование электрических разрядов в газожидкостной среде посвящены на переменном и постоянном токе множество работ, в котором изучались параметры протекания плазмы, его характеристики, свойства разрядов при атмосферном и пониженном давлении [2-8].

Данная работа проводилась для исследования развития разряда переменного тока в газожидкостной среде, содержащая пузырьки воздуха и микроаряды. Изначально газожидкостная среда представляет собой однопроцентный раствор сульфата аммония  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  в технической воде. Для создания разности потенциала используется установка, с помощью которой производится ток между металлическими электродами, равный  $60 \div 140$  А, напряжение  $320 \div 500$  В.

Прикладываем выдаваемое напряжение к двум электродам: положительный потенциал – к листу нержавеющей стали и опускаем на дно; отрицательный – к листам нержавеющей стали и соединяем их внахлест и опускаем в электролит на глубину, которую необходимо сварить. Ставим таймер 8 с и производим пуск.

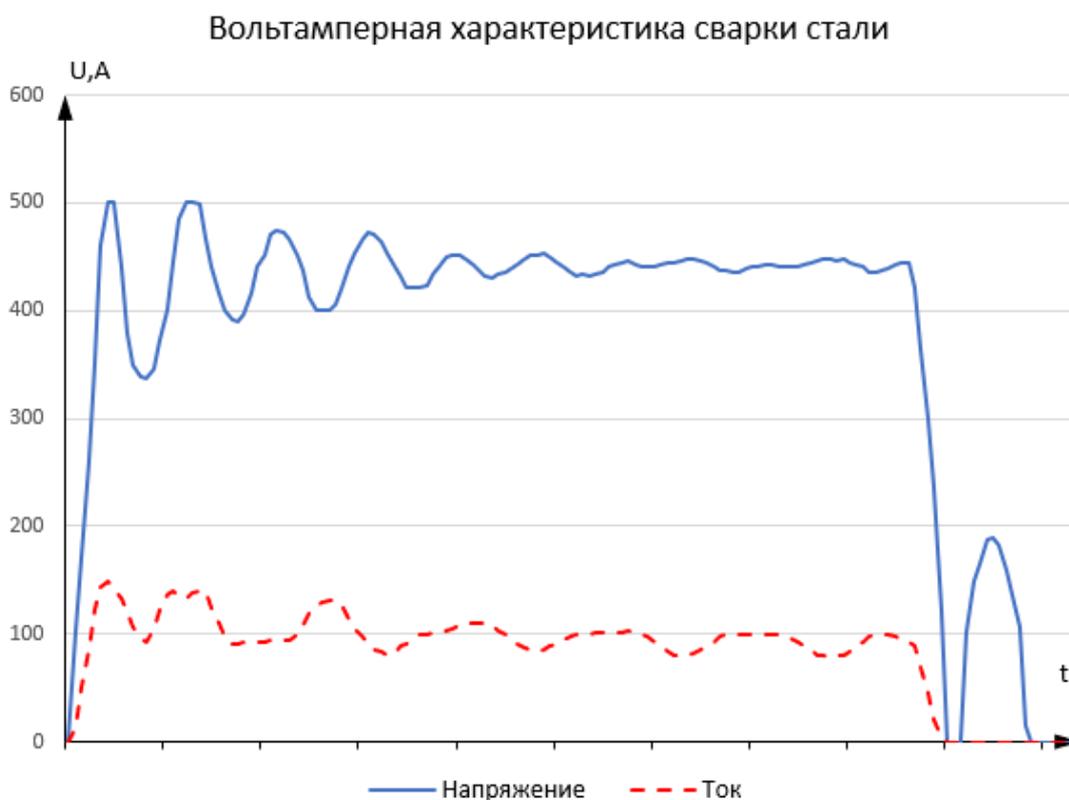


Рис. 1. Вольтамперная характеристика разряда переменного тока

По рисунку видно, что между характеристикой есть определенная корреляция. После первичного импульса происходит несимметричные колебания тока и напряжения. Заканчивается характеристика ручной

остановкой процесса сварки, чтобы листы трансформаторной стали не сгорели полностью при горении дуги, сварка производится за 4 с. Процесс сварки сопровождается сильным световым излучением и испарением жидкости, поэтому необходимо соблюдать меры предосторожности и выключать вентиляцию.

### Источники

1. Современные виды сварки : учеб. пособие для студ. учреждений сред. проф. образования / В. В. Овчинников. – 5-е изд., стер. – М. : Издательский центр «Академия», 2016. – 208 с.
2. Samitova, G.T., Gaisin, Al.F., Mustafin, T.B., Gaisin Az.F., Vesel'Ev, D.A., Gaitsin, F.M. Certain features of multichannel discharge in a tube under atmospheric pressure // High Temperature. 2011. V. 49. Pp. 762 – 765
3. Самитова Г.Т., Гайсин Ал.Ф., Абдуллин И.Ш., Гайсин Ф.М. Характеристики электрического разряда в трубке с пористым электролитом // Вестник Казанского технологического университета. 2011. Т. 14. С. 232 – 235.
4. Fakhrutdinova, I.T., Gaisin, A.F., Son, E.E., Galimzyanov, I.I., Gaisin, F.M., Mirkhanov, D.N. // Peculiarities of electric discharge between jet anode and metal cathode // High Temperature. 2017. V.55. P. 935
5. Фортов В.Е., Сон Э.Е., Бромберг Л., Гайсин Ф.М., Сон К.Э., О Джон Хе, И Хе Йонг. Плазменные технологии (на корейском языке) / Долгопрутный: Изд-во МФТИ, КОФСТ, 2006. 135 с.
6. Bruggeman P., Degroote J., Vierendeels Y., Leys C. DC – excited discharges in vapour bubbles in capillaries Plasma Sources // Plasma Sources Science and Technology. 2008. V. 17. P. 025008.
7. Son E.E., Suvorov I.F., Kakaurov S.V., Gaisin Al.F., Samitova G.T., Solov'eva T.L., Yudin A.S., Rakhletsova T.V. // Electrical Discharges with Liquid Electrodes Used in Water Decontamination // High Temperature. 2014. V. 52. P. 942.
8. Валиев Р.И., Хафизов А.А., Багаутдинова Л.Н., Гайсин Ф.М., Басыров Р.Ш., Гайсин Аз.Ф., Гайсин Ал.Ф. Электрические разряды переменного тока в газожидкостной среде раствора хлорида натрия при атмосферном давлении / Теплофизика высоких температур. 2021. Т. 59. С. 634 - 637.

## СОЗДАНИЕ МОДЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ УРАВНЕНИЙ В COMSOL MULTIPHYSICS

Андрей Артемович Филимонов

Науч. рук. д.ф.-м.н., доцент Айрат Салимович Ситдигов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

[vip.jokermigel@mail.ru](mailto:vip.jokermigel@mail.ru)

**Аннотация.** В работе в учебных целях рассмотрено пользовательское дифференциальное уравнение в частных производных в графическом интерфейсе и разработан пользовательский физический интерфейс для конкретных приложений по высшей математике.

**Ключевые слова:** пользовательский интерфейс, программное обеспечение, моделирование.

## CREATE MODELS BASED ON CUSTOM EQUATIONS IN COMSOL MULTIPHYSICS

Andrey A. Filimonov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

[vip.jokermigel@mail.ru](mailto:vip.jokermigel@mail.ru)

**Abstract.** In this work, for educational purposes, a partial differential equation in a graphical interface was considered and a user physical interface was developed for specific applications in higher mathematics.

**Keywords:** user interface, software, modeling.

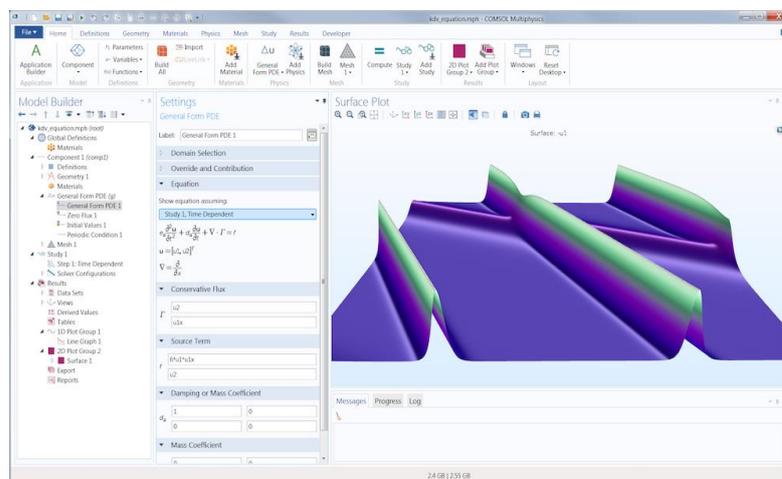
Быстрое развитие технологий, связанное с успехами квантовой инженерии, а также появлением новых перспективных областей в теории информации и искусственного интеллекта, требует разработки новых поколений программного обеспечения для математического моделирования сложных систем. При этом новые возможности программного обеспечения COMSOL Multiphysics открывают перед пользователями уникальные перспективы в области моделирования на основе пользовательских уравнений. Это позволяет создавать комфортные интерфейсы, сохранять и отправлять их другим

пользователям, а также вносить изменения в базовые уравнения модели и рассчитывать широкий диапазон процессов [1].

Одной из главных особенностей COMSOL Multiphysics является возможность создания собственных моделей на основе произвольных математических уравнений прямо в графическом пользовательском интерфейсе (GUI) программы. Это в свою очередь, позволяет устанавливать полный контроль над моделью, и дает возможность усложнять ее по мере необходимости [2].

Для обеспечения гибкости в COMSOL Multiphysics используется встроенный интерпретатор математических уравнений и выражений. Это позволяет пользователям создавать и изменять уравнения в режиме реального времени, а также использовать инструменты Physics Builder для создания собственных физических интерфейсов и Application Builder для разработки новых пользовательских интерфейсов [3]. В данной работе нами в учебных целях рассмотрено пользовательское дифференциальное уравнение в частных производных в графическом интерфейсе (рис.1). Это позволило нам создать собственный продукт и пользовательский физический интерфейс для конкретных приложений по высшей математике.

Необходимо также заметить, что создание физических интерфейсов является одной из захватывающих возможностей COMSOL Multiphysics. Это позволяет адаптировать модели под различные сценарии и исследовать широкий диапазон процессов на стыке важнейших разделов естествознания.



Пример добавления пользовательского дифференциального уравнения в частных производных непосредственно в графическом интерфейсе COMSOL Multiphysics

В целом, моделирование на основе пользовательских уравнений в программном обеспечении COMSOL Multiphysics представляет собой мощный инструмент для инженеров и исследователей. Он позволяет создавать уникальные модели, адаптировать их под специальные требования и оперативно делиться результатами с другими пользователями. Благодаря этому, COMSOL Multiphysics является востребованным и инновационным решением в области моделирования и симуляции.

### **Источники**

1. Дифференциальные уравнения. Примеры и типовые задания [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://kubsau.ru/upload/iblock/e61/e611bdf7c6f06767564f82e79d18b728.pdf> (дата обращения: 28.10.2023).

2. Программное обеспечение для мультифизического моделирования [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.comsol.ru/> (дата обращения: 28.10.2023).

3. Блог COMSOL [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.comsol.ru/blogs/3-examples-of-equation-based-modeling-in-comsol-multiphysics/?ysclid=lobzizkf7x306710495> (дата обращения 28.10.2023).

УДК 117

## **ПРОБЛЕМЫ ПОНЯТИЯ МАТЕРИИ**

Никита Александрович Шипиловских

Науч. рук. доц Альфред Ильдарович Шакиров

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

retman41@mail.ru

**Аннотация.** В данной статье рассматривается актуальная проблема понимания материи для философов. Основной акцент делается на неоднозначности и сложностях, возникающих при попытке определить сущность материи для философов. Но для того чтобы решить вопрос понимания материи используется квантовая физика, которая позволяет философам на новых открытиях и разработках создавать новые теории о материи.

**Ключевые слова:** материя, понимание, проблема, философия, квантовая физика, фундаментальность, теория, концепция, квантовая биология, процессы.

## **PROBLEMS OF THE CONCEPT OF MATTER**

Nikita A. Shipilovskikh

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

retman41@mail.ru

**Abstract.** In this article the actual problem of understanding of matter for philosophers is considered. The main emphasis is made on the ambiguity and difficulties arising when trying to define the essence of matter for philosophers. But in order to solve the issue of understanding matter quantum physics is used, which allows philosophers to create new theories about matter on new discoveries and developments

**Keywords:** matter, understanding, problem, philosophy, quantum physics, fundamental, theory, concept, quantum biology, processes.

Понимание материи [1] является фундаментальной проблемой для философии. Она вызывает волнующие вопросы о её природе, свойствах и сущности. Философы на протяжении веков пытались исследовать материю, чтобы ответить на эти вопросы и развить глубокое понимание мира вокруг нас.

Одной из основных проблем в понимании материи является её связь с умственным миром [2]. Каким образом физические объекты, такие как камни, воздух или организмы, связаны с нашими мыслями, чувствами и сознанием? Философы проводили дебаты о том, является ли материя первичной и всеобъемлющей, или же есть что-то "другое" вне её границ.

Проблемы понимания материи также вызывают фундаментальные этические вопросы. Если мы считаем, что материя является основой всего сущего, какие последствия это имеет для нашего отношения к природе, животным и другим людям? Как мы должны взаимодействовать с материей и использовать её ресурсы?

Другой проблемой состоит в понимании отношения между материей и реальностью. Что делает материю реальной? Можно ли считать её основой всего существующего или существуют также другие формы реальности, которые не являются материальными?

Для того чтобы решить проблему понимания материи для философов им необходимо изучать новые научные открытия и технологические прогрессы. Например, квантовая физика [3] раскрывает странные и

необычные характеристики материи, которые требуют пересмотра традиционных представлений о ней. Философия сталкивается с вызовами интерпретации этих открытий и интеграции их в свои теории и концепции.

Так перспективные направления развитие в квантовой физике помогут современным философам понять принцип материи. Благодаря исследованиям квантовых материалов позволят философам расширить знания о составе материи. Исследование квантовых материалов [4] позволяет углубить наше понимание о составе и структуре материи на микроскопическом уровне. Философы могут использовать эти новые знания для разработки более точных и подробных теорий о материи и её свойствах. Изучение квантовых материалов помогает философам размышлять о методах научного исследования и о границах нашего познания. Квантовая физика вызывает вопросы о причинности, детерминизме и объективности, которые являются ключевыми темами в философии науки.

Квантовая биология и медицина [5] - это относительно новые области исследований, которые применяют принципы квантовой физики для изучения живых систем и медицинских процессов. Хотя их вклад в понимание материи для философов все ещё развивается. Так Вопросы о связи между сознанием и физиологией: Квантовая биология и медицина вызывают интересные философские вопросы о связи между физиологическими процессами и сознанием. Например, как квантовые процессы в клетках могут влиять на мыслительные процессы и сознательный опыт? Также стоит отметить влияние квантовых процессов на живые системы: Квантовая биология и медицина исследуют влияние квантовых процессов на живые системы, такие как фотосинтез, зрение и реакции на лекарственные препараты. Это может помочь философам понять, как материя в живых системах организована и взаимодействует.

Таким образом, физика может значительно обогатить философские идеи и понимание проблемы материи. Она предоставит философам новые концепции и методы, которые позволят более глубоко и точно исследовать материю и её свойства. Благодаря физике, философы смогут разрабатывать более объективные и научно обоснованные теории о материи и её роли в мире.

## **Источники**

1. Ступопедия [Электронный ресурс]. <https://studopedia.org/8-135253.html> (дата обращения: 28.10.2023).

2. Studbooks [Электронный ресурс]. [https://studbooks.net/644137/filosofiya/ponyatie\\_materii\\_problema\\_materii\\_istorii\\_filosofii](https://studbooks.net/644137/filosofiya/ponyatie_materii_problema_materii_istorii_filosofii) (дата обращения: 28.10.2023).

3. CYBERLENINKA [Электронный ресурс]. <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennaya-filosofiya-i-kvantovaya-fizika> (дата обращения: 30.10.2023).

4. Postnauka [Электронный ресурс]. <https://postnauka.org/longreads/156069> (дата обращения: 30.10.2023).

5. Фалькон научное редактирование [Электронный ресурс]. <https://falconediting.com/ru/blog/dostizheniia-v-issledovaniiax-kvantovoi-biologii/> (дата обращения: 31.10.2023).

## СЕКЦИЯ 6. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ. ЭЛЕКТРОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ И ЗАРЯДНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА

УДК 629.133

### СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК ТЯГОВЫХ АККУМУЛЯТОРОВ В ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТЕ

Роберт Эдуардович Аксенов<sup>1</sup>, Фирад Фатихович Сайфутдинов<sup>2</sup>, Тимур Витальевич Сафин<sup>3</sup>

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. Роберт Накибович Хизбуллин  
<sup>1,2,3</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
<sup>1</sup>axzziz777@mail.ru, <sup>2</sup>firadsajfutdinov@gmai.com, <sup>3</sup>mt\_safin@mail.ru

**Аннотация.** Данная работа посвящена исследованию характеристик тяговых аккумуляторных батарей, которые используются в современном электротранспорте. В ней представлен анализ преимуществ и недостатков различных типов аккумуляторных батарей, а также сделан прогноз их будущего развития.

**Ключевые слова:** тяговая батарея, параметры тяговых аккумуляторов, химические реакции.

### COMPARATIVE EVALUATION OF TRACTION BATTERY CHARACTERISTICS IN ELECTRIC TRANSPORT.

Robert E. Aksenov<sup>1</sup>, Firad F. Sayfutdinov<sup>2, 3</sup>, Timur V. Safin<sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
<sup>1</sup>axzziz777@mail.ru, <sup>2</sup>firadsajfutdinov@gmai.com, <sup>3</sup>mt\_safin@mail.ru

**Abstract.** This work is dedicated to the study of characteristics of traction batteries used in modern electric transport. It presents an analysis of the advantages and disadvantages of various types of battery systems, as well as a forecast of their future development.

**Keywords:** traction battery, parameters of traction batteries, chemical reactions.

Тяговая батарея - это специализированный тип аккумулятора, который используется для питания электрических устройств с высоким энергопотреблением, таких как электрические транспортные средства, подъемники, грузоподъемные машины и другие мобильные машины и оборудование [1].

Тяговые аккумуляторы имеют ряд преимуществ по сравнению со стартерными. К достоинствам тяговым аккумуляторам относятся следующие:

способность выдавать постоянное напряжение на протяжении длительного времени, даже при разрядке до 5% остаточной емкости;

возможность обеспечивать постоянный ток, который ограничен его электрической емкостью;

более устойчивы к глубокой разрядке, их можно безопасно разрядить до 5% остаточной емкости без негативных последствий для самой батареи;

имеют более длительный срок службы по сравнению со стартерными батареями;

Недостатками тяговых аккумуляторов являются:

значительный больший вес и занимают больше места по сравнению с другими типами аккумуляторов;

не предназначены для выдачи большого тока на короткое время;

Существует несколько видов тяговых аккумуляторов:

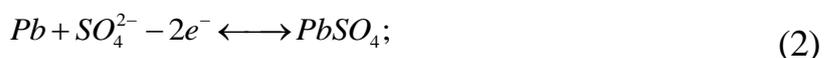
Свинцово-кислотные;

Литий-ионные;

Никель-кадмиевые;

Никель-металлгидридные;

Свинцово-кислотные аккумуляторы широко используются в силу их высокой энергетической плотности, надежности и относительно низкой стоимости. Принцип работы свинцово-кислотных аккумуляторов основан на электрохимических реакциях свинца и диоксида свинца в водном растворе серной кислоты [2]. Электрохимические реакции (слева направо - при разряде, справа налево – при заряде). Реакции на аноде (1), реакции на катоде (2).



Свинцовые аккумуляторы обычно работают в диапазоне температур от -20 до +50 °С. При более низких температурах возникает риск замерзания электролита, что может препятствовать разряду аккумулятора. Работоспособность аккумуляторов при низких температурах может быть обеспечена увеличением концентрации электролита.

По сравнению с свинцово-кислотными аккумуляторами, никель-кадмиевые аккумуляторы имеет преимущество - большое число циклов

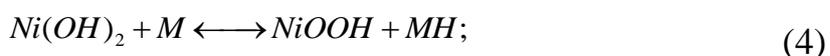
заряд/разряд (при правильной эксплуатации никель-кадмиевые аккумуляторы могут пройти более 1000 циклов заряд/разряд)

Для никель-кадмиевых аккумуляторов рекомендуется периодически проводить полные разряды. Если этого не делать, на пластинах элементов может образовываться крупнокристаллическая структура, что приводит к существенному снижению емкости аккумулятора. Этот эффект известен как "эффект памяти". Общая реакция в никель-кадмиевом аккумуляторе имеет вид (3).



Химическим источником тока в никель-кадмиевых аккумуляторах является гидрат закиси никеля, который используется в качестве активного материала положительного электрода. Графитовый порошок, добавленный в состав аккумулятора (обычно в диапазоне от 5% до 8%), служит как проводник электрического тока и помогает улучшить электрическую проводимость положительного электрода.

Никель-металлгидридные аккумуляторы считаются одними из наиболее экологически безопасных типов аккумуляторов, так как они не содержат таких токсичных компонентов, как свинец, кадмий или ртуть. В этих аккумуляторах в качестве положительного электрода используется оксидно-никелевый электрод, а вместо отрицательного кадмиевого электрода - электрод из сплавов никеля с металлами редкоземельной группы, способных к адсорбции водорода и десорбции его при перемене полярности [3]. Общая реакция в никель-металлгидридном аккумуляторе записывается в следующем виде (4).



Аккумуляторы этого типа имеют емкость на 30—40 % выше емкости других АКБ, и значительно меньше подвержены «эффекту памяти». Однако никель-металлгидридные АКБ также имеют недостатки, более ограниченный температурный диапазон функционирования. Большая часть их емкости становится неработоспособной при температуре ниже -10 °С и выше +40 °С. Никель-металлгидридным аккумуляторным батареям присущ высокий уровень саморазряда, поэтому батареи теряют емкость на 1,5 раза больше за то же самое время.

Современные литий-ионные аккумуляторы имеют высокие удельные показатели: 100-180 Вт·ч/кг. Срок эксплуатации литий-ионных аккумуляторов (АКБ) обычно превышает срок службы других типов аккумуляторов и составляет не менее 1000 циклов заряда-разряда или не менее 10 лет.

Преимущества литий-ионных аккумуляторных батарей является: высокая энергетическая плотность, низкий саморазряд (не более 3%) и отсутствие «эффекта памяти». Процесс разряда и заряда литий-ионного аккумулятора сводится к переносу ионов лития из матричного анода в матричный же катод [3].

Однако у литий-ионных АКБ также есть недостатки. Их рабочая температура составляет от -20 °С до +50 °С, при этом они очень чувствительны к изменениям температуры окружающей среды. Хранение батарей в прохладном месте замедляет процессы старения литий-ионных батарей так же, как и батарей других типов. Производители рекомендуют хранить батареи при температуре 15 °С. При этом батареи должны быть подзаряжены [4].

В принятии решения о выборе типа тягового аккумулятора для электрического транспорта играют роль такие технические характеристики, как напряжение, емкость, масса, сила зарядного и разрядного токов, а также коэффициент полезного действия. В таблице представлены параметры различных типов тяговых аккумуляторов для электротранспорта.

Параметры тяговых аккумуляторов

Тип аккумулятора	Свинцово-кислотные	Никель-кадмиевые	Никель-металлогидридные	Литий-ионный
Энергетическая плотность, Вт/кг	30-50	45-80	60-120	110-160

Число циклов заряд/разряд до снижения емкости на 80 %	200-300	1500	300-500	500-1000
Время быстрого заряда, ч	8-16	1	2-4	2-4
Допустимый перезаряд	высокий	средний	низкий	Очень низкий
Напряжение на элементе, В	2	1,25	1,25	3,6
Диапазон рабочих температур, С	от -20 до +60	От -50 до +60	От -20 до +60	От -20 до +50
Саморазряд за месяц при комнатной температуре, %	5	20	30	10

В настоящее время наблюдается растущая тенденция к производству тяговых аккумуляторных батарей. Современные технологии и инженерные разработки позволяют с каждым годом увеличивать емкость и продолжительность работы аккумуляторов, что приводит к улучшению пользовательских характеристик. Например, компания CATL — известный китайский производитель тяговых аккумуляторных батарей для электромобилей - анонсировала батареи нового поколения под названием Qilin. Они отличаются эффективностью использования объема, а также высокой плотностью энергии — до 255 Вт·ч/кг [5].

В целом, можно сказать, что тяговые аккумуляторные батареи имеют яркое будущее в сфере электротранспорта и постепенно становятся главным источником энергии для движения транспортных средств.

## Источники

1. Тяговая батарея и ее назначение [Электронный ресурс]. <https://cheb-live.ru/interesnoe/view/tagovaa-batarea-i-ee-naznacenie> (дата обращения: 04.11.23).
2. Принцип работы свинцового аккумулятора [Электронный ресурс]. [http://k-a-t.ru/mdk.01.01\\_elektro/2-ab/index.shtml](http://k-a-t.ru/mdk.01.01_elektro/2-ab/index.shtml) (дата обращения: 04.11.23).
3. Таганова А. А., Бубнов Ю. И., Орлов С. Б. Герметичные химические источники тока: Элементы и аккумуляторы. Оборудование для испытаний и эксплуатации: Справочник. - СПб.: ХИМИЗДАТ, 2005. 89-264 с.
4. Хрусталева Д. А. Аккумуляторы. - М.: Изумруд, 2003. 93-224 с.
5. Китай закрепил лидерство в производстве тяговых аккумуляторов и остальным странам будет сложно его догнать [Электронный ресурс]. <https://www.ixbt.com/news/2022/06/25/1000-10-80-10-cat1.html> (дата обращения: 04.11.23).

УДК 681.513.3

## СПОСОБЫ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА РЕГУЛИРОВАНИЯ

Руслан Рашатович Галиев<sup>1</sup>, Данила Маратович Хаткевич<sup>2</sup>  
Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Валерий Михайлович Бутаков  
<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
<sup>1</sup>galiev2002@mail.ru, <sup>2</sup>dan0500@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассматриваются вопросы улучшения качества регулирования скоростного следящего электропривода постоянного тока. Приводятся результаты моделирования с различными корректирующими устройствами для разных видов задающих и возмущающих воздействий.

**Ключевые слова:** электропривод, нерегулируемый электродвигатель электромагнитная порошковая муфта.

## WAYS TO IMPROVE THE QUALITY OF REGULATION

Ruslan R. Galiev<sup>1</sup>, Danila M. Khatkevich<sup>2</sup>  
<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
<sup>1</sup>galiev2002@mail.ru, <sup>2</sup>dan0500@mail.ru

**Abstract.** The article discusses the issues of improving the quality of regulation of a high-speed tracking DC electric drive. The results of modeling with various corrective devices for different types of setting and disturbing influences are presented.

**Keywords:** electric drive, unregulated electric motor electromagnetic powder coupling.

Точность системы автоматического регулирования (САР) определяется формой установившегося процесса и оценивается величиной установившейся ошибки [1]. Среди типовых режимов работы САР, определяющих ее точность, простейшими являются:

– режим постоянных внешних воздействий

$$x(t) = x_0 1(t), f(t) = f_0 1(t) \quad (1)$$

– режим при изменении внешних воздействий с постоянной скоростью

$$x(t) = v_x t, f(t) = v_f t \quad (2)$$

– режим равноускоренных внешних воздействий

$$x(t) = \frac{a_x}{2} t^2, \quad f(t) = \frac{a_f}{2} t^2. \quad (3)$$

Выражение для установившейся ошибки САР по задающему и возмущающему воздействиям имеют вид:

$$\varepsilon_{уст}^x = \lim_{p \rightarrow 0} p \frac{p^\nu}{p^\nu + K} X(p), \quad (4)$$

$$\varepsilon_{уст}^f = \lim_{p \rightarrow 0} p \frac{p^{\nu I} K_f K_{II}}{p^\nu + K} F(p), \quad (5)$$

где  $\nu$  – число интегрирующих звеньев в системе (порядок астатизма),

$K$  – коэффициент передачи системы,  $K_f$  – коэффициент передачи по возмущающему воздействию.

Для обеспечения устойчивости САР и улучшения качества регулирования в структуру САР вводят корректирующие устройства (КУ).

Повышение точности САР в установившемся режиме обеспечивается в основном увеличением коэффициента передачи разомкнутой системы, повышением порядка астатизма САР, применением различных способов комбинированного регулирования, когда наряду с регулированием по ошибке используется регулирование по задающему

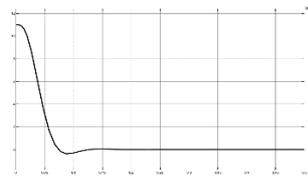
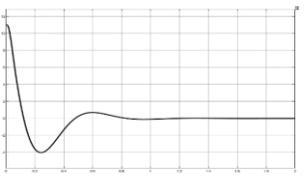
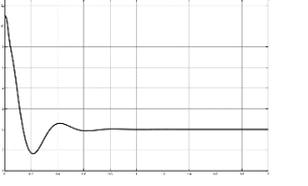
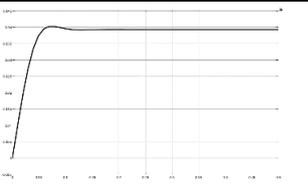
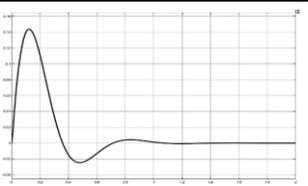
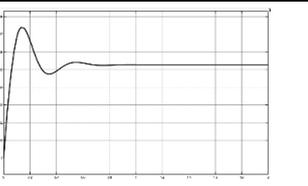
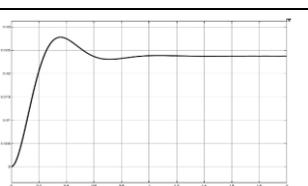
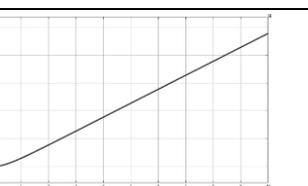
или возмущающему воздействию.

Статические системы в режиме постоянных входных воздействий имеют ошибки не равные нулю, а начиная со скоростного режима, установившиеся ошибки неограниченно возрастают. Для астатических систем установившиеся ошибки зависят от числа и места включения интегрирующих звеньев [2].

Для обеспечения требуемых показателей качества переходного процесса используются последовательные корректирующие устройства (стандартные настройки), параллельные корректирующие устройства, дополнительные обратные связи [3,4,5].

В таблице приведены результаты моделирования скоростного следящего электропривода при различных видах задающих воздействий, в контуре тока (КТ) и в контуре скорости (КС) которого применены комбинации стандартных настроек на оптимум по модулю (ОМ) и симметричный оптимум (СО).

Переходные характеристики скоростного следящего электропривода

	КТ на ОМ, КС на ОМ	КТ на ОМ, КС на СО	КТ на СО, КС на ОМ
Ступенчатое			
Линейное			
Квадратичное			

Основываясь на результатах исследования, можно сделать вывод, что настройка контура тока на технический оптимум и контура скорости на симметричный оптимум будет наилучшей для скоростного следящего электропривода.

## Источники

1. Бутаков В.М., Гатин Б.Ф., Медведев Г.М. Основные этапы проектирования электроприводов // Развитие технических наук в современном мире: Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. № 2. – г.Воронеж, 2015. – с.180-183.
2. Системы автоматического регулирования и управления: Ч 1. Практикум/ В.М. Бутаков, П.П Павлов. – Казань: КГЭУ, 2017–27с.
3. Проектирование электрооборудования электромеханических комплексов и систем: учебно-методическое пособие / составители : В. М. Бутаков, П. П. Павлов, А. Н. Хуснутдинов. – Казань : КГЭУ, 2021. – 55 с.
4. Бутаков В.М., Гатин Б.Ф., Павлов С.В. Стандартные настройки и их применение // Актуальные вопросы науки и техники: Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. № 3. – г.Самара, 2016. – с.141-144.
5. Бутаков В.М., Гатин Б.Ф., Хрисанов А.А. Настройка замкнутого электропривода на симметричный оптимум // Проблемы и достижения в науке и технике: сб. науч. трудов по итогам междун. науч.-практ. конф. №3. Омск, 2016. С. 175–177.

УДК 62-838

## АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В ОБЛАСТИ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ДЛЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ

Данил Вячеславович Кинёв<sup>1</sup>, Денис Александрович Афиногентов<sup>2</sup>

Науч. рук. ст. преп. Лейла Нургалиевна Киснеева

<sup>1,2</sup> ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>danil.kineff@yandex.ru, <sup>2</sup>denisafal@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассматривается тяговой электропривод для электромобилей, который представляет собой важную область разработки и инноваций в автомобильной индустрии. Электромобили становятся все более популярными, и существует несколько технических решений, используемых для создания мощных и эффективных тяговых систем. В данном анализе рассмотрены некоторые из наиболее распространенных технических решений, применяемых в области тягового электропривода для электромобилей

**Ключевые слова:** электромобиль, тяговый электропривод, анализ.

# ANALYSIS OF EXISTING TECHNICAL SOLUTIONS IN THE FIELD OF TRACTION ELECTRIC DRIVE FOR ELECTRIC VEHICLE

Danil V. Kinev<sup>1</sup>, Denis A. Afinogentov<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> KSPEU, Kazan, Russia

<sup>1</sup>danil.kineff@yandex.ru, <sup>2</sup>denisafal@mail.ru

**Abstract.** The paper discusses electric traction drive for electric vehicles, which represents an important area of development and innovation in the automotive industry. Electric vehicles are becoming increasingly popular and there are several technical solutions used to create powerful and efficient traction systems. In this analysis, some of the most common technical solutions used in the field of electric traction drive for electric vehicles are discussed.

**Keywords:** electric vehicle, electric traction drive, analysis.

На электромобилях используются различные типы электродвигателей, но самым распространенным и эффективным типом является электрический мотор с постоянными магнитами (*Permanent Magnet Synchronous Motor, PMSM*) или моторы с переменным током (*AC Induction Motor, IM*) [1]. Вот краткий обзор этих типов двигателей:

Электрический мотор с постоянными магнитами (*PMSM*): Эти моторы используют магниты, которые обычно находятся в роторе (вращающейся части мотора). Они выдают хорошие характеристики эффективности и контроля скорости. Электрические моторы *PMSM* часто используются в электромобилях, так как они обеспечивают высокую мощность и плотность крутящего момента при небольшом размере и весе. При всех достоинствах ТЭП с ТЭД постоянного тока отметим их основной и заметный недостаток – наличие механического контакта в щеточно-коллекторном узле ТЭД.

Моторы с переменным током (*IM*): Эти моторы не требуют постоянных магнитов и обычно проще по конструкции. Они популярны, так как они более устойчивы к перегрузкам и имеют низкую стоимость производства. Однако, для более точного управления ими требуется сложная электроника [2].

Синхронные роторные машины (*Wound Field Synchronous Motor*): Эти моторы предоставляют промежуточную альтернативу между *PMSM* и *AC Induction Motor*. Они имеют магниты в роторе, но их обмотки подключены к статору с переменным током. Это позволяет комбинировать

преимущества обоих типов моторов. Однако, они сложнее по конструкции и, следовательно, дороже [3].

Три машины были спроектированы с одинаковой максимальной производительностью: 350 Нм и 150 кВт. Кривые пиковой производительности для трех машин показаны на рис.1.

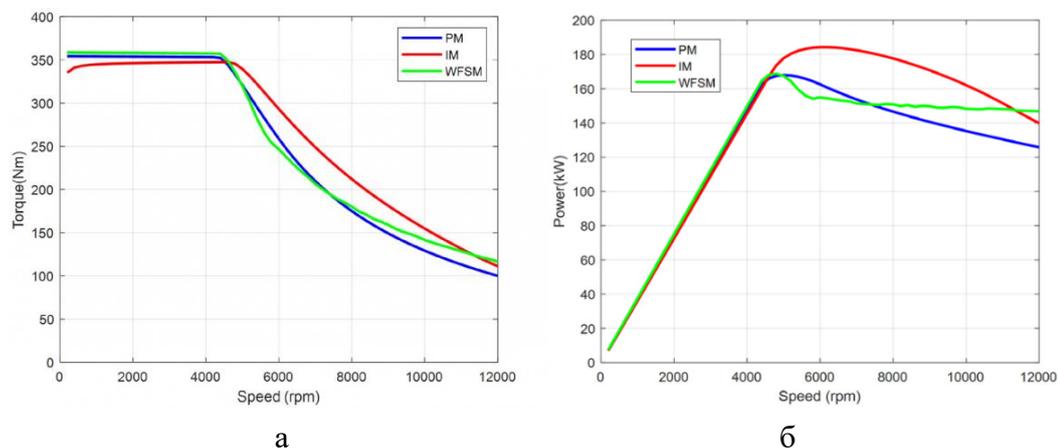


Рис.1. Пиковая производительность. Кривые момент/скорость (а). Кривые мощность/скорость (б)

Пиковая мощность *PMSM* составляет более 160 кВт в диапазоне 4000-6000 оборотов в минуту (rpm), которая затем постепенно снижается с увеличением частоты вращения. Эта характеристика вполне типична для машины с высоким КПД. Максимальная мощность машины *IM* составляет 180 кВт при 6000 оборотах в минуту; однако с увеличением скорости кривая мощности начинает быстро снижаться. *WFSM* имеет меньший пик, прежде чем перейти к более плоской характеристике мощности в 150 кВт после 6000 оборотов в минуту.

Кривые непрерывного крутящего момента/скорости и мощности/скорости для всех трех машин показаны на рис.2 соответственно. Машина *PMSM* имеет наилучший непрерывный крутящий момент при более низкой скорости, по мере увеличения скорости вращения машина *IM* демонстрирует наилучший непрерывный крутящий момент выше 9000 оборотов в минуту. *WFSM* имеет самую низкую производительность в непрерывном режиме, главным образом из-за чрезмерной температуры ротора, и в идеале *WFSM* требует решения для охлаждения ротора [4].

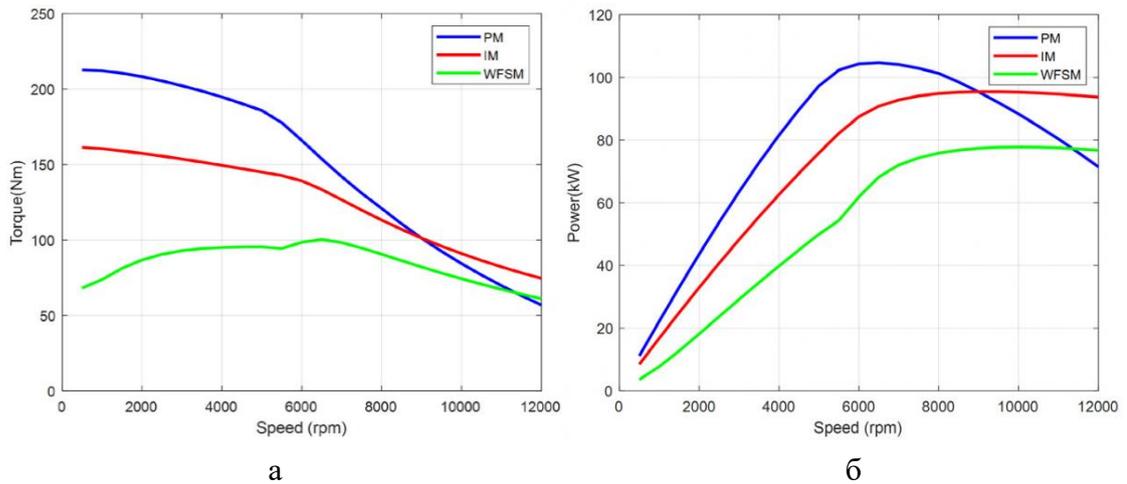


Рис.2. Продолжительная производительность. Кривые момент/скорость (а). Кривые мощность/скорость (б).

Сравнение тяговых электроприводов с различными типами тяговых электродвигателей показывает, что наиболее перспективным является синхронный двигатель на постоянных магнитах, который обеспечивает наивысшую эффективность и лучшие регулировочные характеристики [5].

### Источники

1. Электромобильный и гибридный транспорт: силовые схемы, оборудование, проблемы и перспективы развития / Е.З. Амангалиев, А.С. Сарваров, В.И. Косматов [и др.] // Электротехнические системы и комплексы. - 2022. - № 1(54). - С. 19-28.
2. Куликов И.А., Панарин А.Н., Походаева Е.С., Шорин А.А. Энергоэффективность асинхронного двигателя в качестве тягового электропривода для электротранспорта. Труды НАМИ. 2020;(2):35-43.
3. ООО «ОРИОН-МОТОР». Синхронные тяговые электродвигатели «ОРИОН-18-2М» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://orionmotor.narod.ru/orion\\_18\\_2M.pdf](http://orionmotor.narod.ru/orion_18_2M.pdf) (дата обращения 2023-10-17).
4. Сафиуллин Р.Н., Резниченко В.В., Керимов М.А., Сафиуллин Р.Н. Электротехника и электрооборудование транспортных средств. Учебное пособие. СПб: Лань. 2019 г.
5. Фролов, Ю.М. Проектирование электропривода промышленных механизмов / Ю.М. Фролов. - М.: 2014. – 346с.

## ЭЛЕКТРОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ И ЗАРЯДНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА

Никита Валерьевич Комиссаров<sup>1</sup>, Степан Алексеевич Лобанов<sup>2</sup>,  
Ильнур Ильдарович Мугинов<sup>3</sup>

Науч. рук. ст. преп. Ирина Сергеевна Антипанова

<sup>1,2,3</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>komissarov\_nikita\_175@mail.ru, <sup>2</sup>lobanovstepan39@gmail.com, <sup>3</sup>nice.muginov@list.ru

**Аннотация.** В статье «Электромобильный транспорт и зарядная инфраструктура» рассматривается электромобильный транспорт как тип транспортных средств, который использует электрическую энергию. Кроме этого рассказывается о мифах и реальностях зарядной инфраструктуры электромобилей.

**Ключевые слова:** транспортная система, электромобиль, зарядная инфраструктура, зарядные станции, источник энергии.

## ELECTRIC VEHICLE TRANSPORT AND CHARGING INFRASTRUCTURE

Nikita V. Komissarov<sup>1</sup>, Stepan A. Lobanov<sup>2</sup>, Ilnur I. Muginov<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>komissarov\_nikita\_175@mail.ru, <sup>2</sup>lobanovstepan39@gmail.com, <sup>3</sup>nice.muginov@list.ru

**Abstract.** The article "Electric Vehicle transport and Charging Infrastructure" considers electric vehicle transport as a type of vehicles that uses electric energy. In addition, it tells about the myths and realities of the charging infrastructure of electric vehicles.

**Keywords:** transport system, electric vehicle, charging infrastructure, charging stations, energy source.

В последние десятилетия произошел значительный прогресс в области транспортной системы, за которым последовал рост интереса к альтернативным источникам энергии и экологической устойчивости. В этом контексте электромобили стали одной из главных технологических инноваций в автомобильной промышленности.

Электромобильный транспорт – это тип транспортных средств, оснащенных электрическим двигателем, который использует электрическую энергию, хранящуюся в батареях, для передвижения. В отличие от

традиционных автомобилей, работающих на сжигании горючего, электромобили способны работать без непосредственных выбросов вредных веществ, что делает их более экологически чистыми и устойчивыми [1].

Одним из главных преимуществ электромобилей является значительное снижение загрязнения окружающей среды. Они не производят выбросов вредных газов, таких как углекислый газ и оксиды азота, что снижает негативное воздействие на атмосферу и улучшает качество воздуха в городах. Это играет важную роль в борьбе с изменением климата и сокращении эмиссии парниковых газов.

Кроме того, электромобили значительно тише в работе по сравнению с автомобилями с внутренним сгоранием. Это уменьшает уровень шума в городах и улучшает комфортность жизни для населения, особенно вблизи дорог с интенсивным движением.

Другой важной характеристикой электромобилей является их экономическая эффективность. Владение электромобилем обходится гораздо дешевле в эксплуатации и обслуживании по сравнению с автомобилями на бензине или дизеле. Зарядка батарей электромобиля обычно стоит гораздо дешевле обычного бензина [2].

Зарядная инфраструктура играет все более важную роль в нашей современной жизни, поскольку электромобили становятся все популярнее. Она является неотъемлемой частью развития устойчивой транспортной системы, которая стремится уменьшить загрязнение окружающей среды и снизить зависимость от нефтепродуктов.

В последние годы мы стали свидетелями стремительного роста числа электромобилей на дорогах. Однако многие водители до сих пор испытывают опасения из-за недостаточной зарядной инфраструктуры. Они опасаются, что не найдут ближайшую зарядную станцию во время поездки, что может полностью разрушить их планы [3].

Важно отметить, что развитие зарядной инфраструктуры - это одна из ключевых составляющих успеха электромобильной революции. К счастью, сегодня все больше государств и частных компаний признают эту необходимость и вкладывают средства в развитие сети зарядных станций.

Зарядная инфраструктура включает в себя различные типы станций, которые удовлетворяют нужды разных групп потребителей. Все они предлагают возможности для удобной, безопасной и эффективной зарядки электромобилей. В настоящее время существуют быстрые зарядные станции, которые способны зарядить автомобиль на протяжении нескольких минут, и медленные станции, которые занимают больше времени, но могут быть использованы в течение длительных остановок или ночной парковки.

С целью обеспечения удобства пользователей, многие зарядные станции на сегодняшний день оборудованы различными функциями. Некоторые предлагают бесплатную зарядку, другие имеют систему оплаты через мобильное приложение или кредитную карту. Есть также станции, которые предлагают дополнительные удобства, такие как Wi-Fi, кафе или магазины, чтобы сделать время зарядки более приятным.

Необходимо отметить, что развитие зарядной инфраструктуры - это длительный процесс, который требует сотрудничества между правительством, частным сектором и обществом в целом. Однако, благодаря усилиям всех участников, зарядная инфраструктура постепенно расширяется и улучшается, что позволяет водителям электромобилей смело и комфортно отправляться в путь, зная, что они всегда смогут найти доступную и функциональную зарядную станцию [4].

Возникают различные мифы и представления о том, как это все работает. Далее мы разобьем на мифы и реальность некоторые распространенные утверждения о зарядной инфраструктуре электромобилей.

**Миф:** Зарядная инфраструктура для электромобилей не развита и является преградой для покупки электромобиля.

**Реальность:** Зарядная инфраструктура для электромобилей развивается стремительно. Во многих странах и городах уже установлено большое количество зарядных станций. Крупные компании, такие как Tesla, Nissan, BMW и другие, также активно развивают свои сети зарядных станций. Более того, многие государства и муниципалитеты предоставляют целый ряд мер поддержки для развития зарядной инфраструктуры. Это включает в себя субсидии на установку зарядных станций и удобные условия для их эксплуатации.

**Миф:** Зарядные станции для электромобилей работают медленно, и зарядка занимает слишком много времени.

**Реальность:** Существуют разные типы зарядных станций - от быстрой зарядки до зарядки на обычной электрической розетке. Быстрые зарядные станции способны зарядить автомобиль за 30-60 минут, в зависимости от модели и емкости батареи. Большинство владельцев электромобилей заряжают свои автомобили дома или на работе, где зарядка происходит в течение ночи или рабочего дня. Даже зарядка на обычной розетке может быть полезной, если автомобиль не нужно заряжать полностью.

**Миф:** Зарядные станции для электромобилей вызывают энергетический дефицит и негативно влияют на сетевую нагрузку.

**Реальность:** Зарядные станции для электромобилей могут быть интегрированы в существующие электрические системы и не являются

источником дефицита энергии. Во многих случаях зарядные станции используют электрическую энергию в периоды низкой нагрузки сети, например, ночью, когда потребление энергии обычно снижено. Кроме того, технологии управления сетевой нагрузкой и умные сети позволяют оптимизировать использование энергии и распределение нагрузки между различными зарядными станциями.

**Миф:** Зарядные станции для электромобилей доступны только для определенных марок и моделей.

**Реальность:** Стандарты зарядной инфраструктуры для электромобилей сегодня общеприняты и позволяют заряжать большинство моделей электромобилей. Зарядные станции используют различные типы разъемов, такие как CHAdeMO, CCS или Tesla Supercharger, чтобы совместимость с разными моделями электромобилей. Кроме того, многие зарядные станции также оснащены универсальными разъемами, которые позволяют заряжать разные модели автомобилей.

Зарядная инфраструктура для электромобилей развивается и становится все более доступной и удобной. Мифы о медленной работе и отсутствии совместимости с разными моделями автомобилей не соответствуют действительности. Правильное восприятие и понимание того, как работает зарядная инфраструктура, помогут реализовать потенциал электромобилей и сделать их еще более популярными в будущем [5].

В целом, зарядная инфраструктура является фундаментальным элементом электрической революции, расширяющим возможности владельцев электромобилей и стимулирующим переход к экологически более чистому и устойчивому транспортному будущему. С постоянным ростом числа зарядных станций и развитием новых технологий, мы можем быть уверены, что зарядная инфраструктура будет продолжать совершенствоваться и давать пользователям все больше возможностей.

## **Источники**

1. Евдокимов Д. Ю., Пономарев Ю. Ю. Развитие электрозаправочной инфраструктуры в регионах России: сценарный анализ // Экономическое развитие России. 2022. № 11.
2. Сакульева Т. Н., Сотникова В. В. Роль электротранспорта в городской транспортной системе // Вестник ГУУ. 2022. № 5.
3. Семикашев В. В. Развитие рынка электромобилей в России как необходимое условие получения выгод от глобального тренда на

электрификацию транспорта / В. В. Семикашев, А. Ю. Колпаков, А. А. Яковлев и др. // Проблемы прогнозирования. 2022. № 3 (192).

4. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 23 августа 2021 года № 2290-р «Об утверждении Концепции по развитию производства и использования электрического автомобильного транспорта в Российской Федерации на период до 2030 года» [Электронный ресурс]. URL:[http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_393496/f62ee45faefd8e2a11d6d88941ac66824f848bc2/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_393496/f62ee45faefd8e2a11d6d88941ac66824f848bc2/) (дата обращения: 19.10.2023).

5. Сафин А. Р. Развитие технологии мобильных зарядных станций для электромобилей / А. Р. Сафин, И. В. Ившин, А. Н. Цветков и др. // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2021. № 5.

УДК 620.92

## **КОНЦЕПЦИЯ КОМПЛЕКСНОГО ПРОЕКТА ПО РАЗВИТИЮ ИНФРАСТРУКТУРЫ И ПРИМЕНЕНИЯ ТС НА ВОДОРОДНЫХ ТЭ**

Семён Владимирович Корнилов<sup>1</sup>, Даниил Владимирович Кудинов<sup>2</sup>

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. Эльвира Рафиковна Зверева

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>2</sup>НЧИ (филиал) ФГАОУ ВО «КФУ», г. Набережные Челны, Республика Татарстан

<sup>1</sup>Semen.Kornilov@gmail.com, <sup>2</sup>Dan7936@gmail.com

**Аннотация.** В статье представлена актуальная информация по анализу барьеров, препятствующих развитию водородного транспорта и инфраструктуры, представлено концептуальное предложение для решения проблемы комплексного старта проекта с синергией технологических цепочек процесса производства, добычи, хранения, транспортировке и использования водорода.

Основной идеей решения проблем является создание и развитие пилотного проекта с комплексным решением по его внедрению.

**Ключевые слова:** транспортные средства на водородных топливных элементах, водородные топливные элементы, водородная энергетика, инфраструктура

# CONCEPT OF A COMPREHENSIVE PROJECT FOR THE DEVELOPMENT OF INFRASTRUCTURE AND APPLICATION OF HYDROGEN FUEL CELL VEHICLES

Semyon V. Kornilov<sup>1</sup>, Daniil V. Kudinov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>2</sup>NCHI (branch) KFU, Naberezhnie Chelny, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>Semen.Kornilov@gmail.com, <sup>2</sup>Dan7936@gmail.com

**Abstract.** The article presents relevant information on the analysis of barriers to the development of hydrogen transport and infrastructure, presents a conceptual proposal for solving the problem of integrated project start-up with synergy of technological chains of hydrogen production, extraction, storage, transportation and use.

The main idea to solve the problems is to create and develop a pilot project with a comprehensive solution for its implementation.

**Keywords:** hydrogen fuel cell vehicles, hydrogen fuel cells, hydrogen energy, infrastructure

В ведущих странах мира таких как Япония, Франция, Австралия, Амстердам, Норвегия, Канада, США, Китай приняты стратегии низкоуглеродной нейтральности и ESG (англ. environmental – экология, social – социальное развитие, governance – корпоративное управление) политики. ЕС придерживаются стратегии достижения 55% углеродной нейтральности к 2030 г. Китай нацелен на обеспечение абсолютной низкоуглеродной нейтральности к 2060 г. [1]

На данный момент в автомобильной промышленности Евросоюза, США, Японии и Китая есть 2 перспективных направления в области низкоуглеродного транспорта: электромобили, и электромобили на водородных топливных элементах [2]. Для развития этих направлений к 2050 запланированы совокупные инвестиции в размере 275 трлн \$ в электромобили и 10,2 трлн \$ в электромобили на топливных элементах [3].

Ключевым документом из принятых правительством РФ для водородной энергетики и транспорта на ее основе является – Федеральный проект «Электроавтомобиль и водородный автомобиль». Сроки реализации этого проекта установлены следующие: 01.01.2022 – 31.12.2030.

В этом документе определяются ключевые показатели по созданию: инфраструктуры, в частности количество заправочных станций и объем производства автомобилей по годам, начало активного развития

водородной инфраструктуры с 2027 г., к 2030 году планируется ввести в эксплуатацию 500 водородных заправочных станций.

Цели проекта:

- повышение уровня общей локализации электромобиля до 70 %;
- производство не менее 10 % электромобилей в общем объеме ТС в РФ;

РФ;

- создание водородной заправочной инфраструктуры.

В федеральном проекте «Электромобиль и водородный автомобиль» отсутствует информация о целевых показателях по типам транспортных средств, упоминание об этом есть в «Стратегии развития автомобильной промышленности РФ до 2035 года» (утверждена распоряжением правительства 28.12.2023).

Напрямую целевые показатели по водородному транспорту здесь так же не приводятся, но есть упоминание о возможной доле водородного транспорта от электрического. Из объемов продаж электрических автомобилей, приведенных в данной стратегии можно высчитать целевые показатели по водородному транспорту, оценив их экспертно, опираясь на схожие цифры по миру (global hydrogen review 2022, advanced fuel cells annual report 2018 / 2019), т.к. электрические и водородные автомобили занимают одну нишу.

Результаты экспертной оценки до 2030 г. приведены в таблице.

Экспертная оценка объема водородной инфраструктуры и электромобилей на водородных топливных элементах к 2030 г. в РФ.

	2027 г.	2028 г.	2029 г.	2030 г.
<b>Объем проданных H2 ТС в РФ</b>				
Объем легковых H2 ТС в РФ -	11	128	174	224
Объем легких коммерческих H2 ТС в РФ -	5	289	548	702
Объем грузовых H2 ТС в РФ -	42	245	798	1290
Объем пассажирских H2 ТС в РФ -	11	101	169	459
<b>Объем эксплуатируемых H2 ТС в РФ</b>				
Объем легковых H2 ТС в РФ -	11	139	313	537
Объем легких коммерческих H2 ТС в РФ -	5	294	842	1 545
Объем грузовых H2 ТС в РФ -	42	287	1 085	2 375
Объем пассажирских H2 ТС в РФ -	11	111	280	739
Общее кол-во H2 для всех типов ТС, кг	69	832	2 521	5 197
<b>Расход H2 на 100 км пути, кг</b>				

легкового автомобиля -	0,56			
легкого коммерческого автомобиля -	2,6			
грузового автомобиля -	7,5			
автобуса -	11,5			
Требуемое кол-во H2 на общее кол-во машин на год				
легкового автомобиля -	1 102	14 033	31 586	54 143
легкого коммерческого автомобиля -	25 516	1 529 672	4 380 980	8 033 754
грузового автомобиля -	313 901	2 153 221	8 138 060	17 814 757
автобуса -	149 373	1 537 825	3 870 897	10 201 608
Общее кол-во H2 для всех типов ТС, кг	489 892	5 234 751	16 421 522	36 104 261
Минимальное количество заправок:	5	48	152	334

Анализируя результаты экспертной оценки, к 2030 г. общий объём эксплуатируемых электромобилей в РФ на водородных топливных элементах может достичь пяти тысяч транспортных средств. Для обеспечения топливом такого количества транспортных средств потребуется не менее трехсот тридцати четырех заправок, что в целом соответствует целям по созданию водородной заправочной инфраструктуры заявленным в федеральном проекте «Электромобиль и водородный автомобиль».

На сегодняшний день Правительством РФ утверждены ряд документов по выработке решений и мероприятий по развитию водородной энергетики [4]. Но данные меры поддержки малореализуемы в рамках НИР и НИОКР.

В ходе проведенного анализа барьеров, препятствующих развитию данной отрасли, и оценке возможности перехода к декарбонизации выявлены следующие ограничения для Российской Федерации (РФ):

а) малое количество крупных промышленных корпораций, способных осуществлять НИОКРы, а также обеспечить их финансирование;

б) российские промышленные компании имеют малый опыт инновационного развития в сравнение с лидирующими зарубежными компаниями;

с) недостаточное количество квалифицированного персонала на

рынке труда и малая доля расходов на научные разработки в структуре ВВП.

d) отсутствие актуальной нормативно-технической базы и системы технического регулирования водородной энергетики в РФ. Многие стандарты являются переводом с зарубежных аналогов и требуют доработки.

Отправной точкой достижения углеродной нейтральности в РФ является разработка и актуализация нормативных документов, ГОСТов и прочих стандартов, и документов, определяющих требования к электрическим автомобильным транспортным средствам, в том числе на водородных топливных элементах, а также формирования требований к инфраструктурным решениям [5].

Выводы:

1. Результаты проведенного исследования демонстрируют интерес к водородным технологиям со стороны правительств стран и производителей.

2. На сегодняшний день созданы необходимые программы и планы мероприятий, затрагивающие изменения в нормативной и технических сферах.

3. В РФ сегодня существует необходимый технологический задел для безуглеродного развития экономики. Но существующих мер поддержки развития недостаточно для обеспечения динамики развития водородного транспорта и удовлетворения запросов рынка.

4. Для РФ важно не оставаться в стороне от глобальных тенденций и развития новой отрасли, чтобы не лишиться доли рынка возобновляемых источников энергии, а также иметь технологическое преимущество.

5. Для достижения стратегических инициатив РФ и формирования нового рынка экологических транспортных средств необходимо проработать и реализовать пилотный комплексный проект по подконтрольной эксплуатации электромобилей на водородных топливных элементах. В рамках данного проекта определить перспективные маршруты, возвести заправочную инфраструктуру. Реализация такого проекта поможет создать базу для сбора эксплуатационных данных, определить будущую стратегию развития рынка и сформировать меры поддержки для развития рынка.

## Источники

1. Hydrogen roadmap Europe: a sustainable pathway for the European energy transition. – Текст: электронный // Партнерское объединение Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking. – Люксембург: Publications Office of the European Union, 2019. – ISBN 978-92-9246-332-8. – URL: [https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/Hydrogen%20Roadmap%20Europe\\_Report.pdf](https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/Hydrogen%20Roadmap%20Europe_Report.pdf) (дата обращения: 15.10.2021).

2. Ehsani M., Gao Y., Longo S., Ebrahimi K.M. Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles. 3rd Edition. CRC press, 2018. P. 572 <https://doi.org/10.1201/9780429504884>

3. Wang Y, Seo BJ, Wang BW, Zamel N, Jiao K, Adroher XC. Fundamentals, materials, and machine learning of polymer electrolyte membrane fuel cell technology. Energy AI 2020;1:100014.

4. Корнилов С.В., Зверева Э.Р., Федорова А.А., Гумеров И.Ф., Фардеев Л.И., Ахметова И.Г. Перспективы развития водородной энергетики и рынка транспортных средств на водородном топливе // Вестник КГЭУ. 2022. Т. 14. № 4. С. 3-15.1

5. Д. В. Санатов [и др.] ; под ред. А. И. Боровкова, В. Н. Княгинина. Перспективы развития рынка электротранспорта и зарядной инфраструктуры в России: экспертно-аналитический доклад // Санкт-Петербург : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС. 2021. С. 44.

УДК 621.315.1

## ВЛИЯНИЕ СПОСОБОВ ПРОКЛАДКИ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ НА ИХ ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Ндикурийо Осер

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Данил Александрович Ярославский

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

[ndikuriyooser@gmail.com](mailto:ndikuriyooser@gmail.com)

**Аннотация.** В данной статье мы рассмотрим влияние способов прокладки кабельных линий на их тепловую эксплуатацию, от которой во многом зависит как пропускная способность линии, так и надежность электроснабжения потребителей. Решение этой задачи обеспечит защиту сигнала в жиле кабеля от электромагнитных помех извне, снизит радиационные потери и обеспечит бесперебойное и надежное снабжение потребителей электроэнергией.

**Ключевые слова:** способов прокладки кабельных линий, надежное снабжение, бесперебойное снабжение, электромагнитных помех, жиле кабеля, тепловая эксплуатация.

## **INFLUENCE OF METHODS OF LAYING CABLE LINES ON THEIR THERMAL OPERATION**

Ndikuriyo Oser

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

ndikuriyooser@gmail.com

**Abstract.** In this article we will consider the influence of methods of laying cable lines on their thermal operation, on which both the throughput of the line and the reliability of power supply to consumers largely depend. Solving this problem will protect the signal in the cable core from external electromagnetic interference, reduce radiation losses and ensure an uninterrupted and reliable supply of electricity to consumers.

**Keywords:** methods of laying cable lines, reliable supply, uninterrupted supply, electromagnetic interference, cable core, thermal operation.

Большинство отказов силовых кабелей происходит из-за повышенного тепловыделения в проводящем экране, содержащем проводники под напряжением [1]. Ток, индуцированный в таком экране током в проводнике, может вызвать высокие джоулевые потери и, следовательно, тепловой пробой. транспозиции экранов трехфазных силовых кабелей можно снизить температуру на 20-30 % [2, 3]. Аналогичного эффекта можно добиться, заземлив экран. Однако такое техническое решение можно использовать только для относительно коротких кабелей, у которых потенциал на заземленном конце кабеля не достигает опасных значений [4,5].

Диаграммы на следующих рисунках показывают результаты сравнения максимального тока, который кабель может выдержать без повреждения соответственно для транспонированных и нетранспонированных экранов при максимальной рабочей температуре сшитого полиэтилена 90 °С с линейным током 800 А.

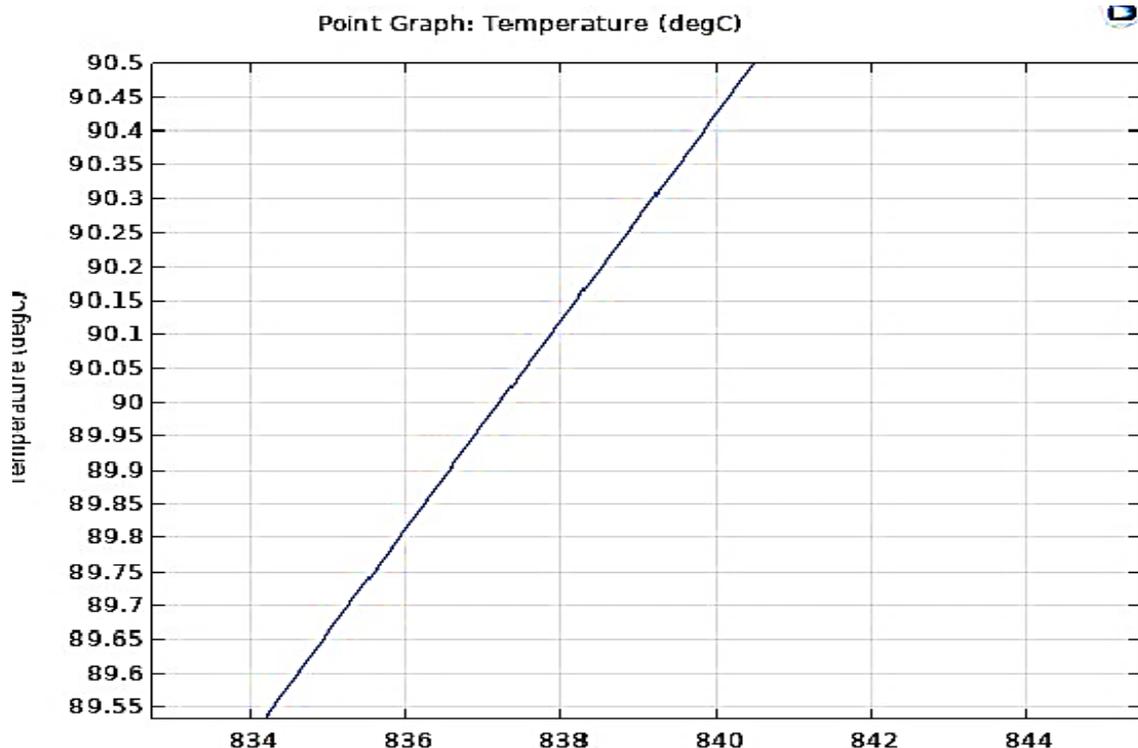


Рис. 1. Максимальный ток с кабелем с нетранспонированным экраном

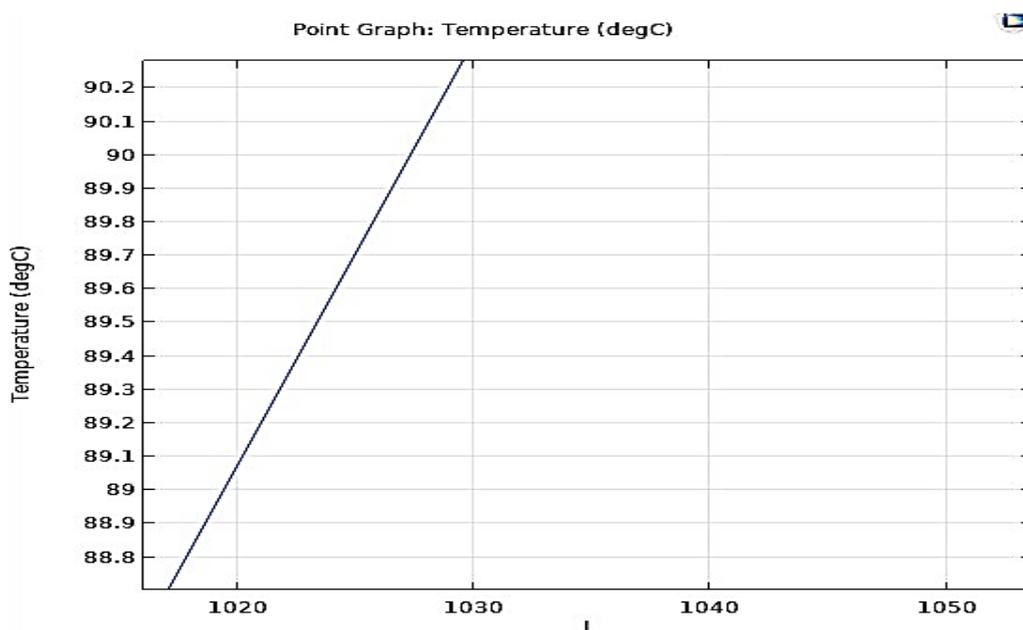


Рис. 2. Максимальный ток с кабелем с транспонированным экраном

Как показано на рисунках выше, при расчете этой задачи с нетранспонированными экранами максимальный ток, который может выдержать кабель при максимальной рабочей температуре сшитого полиэтилена 90 °С, составляет около 837А, но при транспонировании

экранов этот ток составляет около 1025 А. Итак, мы замечаем, что при транспонировании экранов мы можем передавать больший ток. А еще замечено, что при увеличении тока в жиле кабеля увеличивается и температура.

Вывод: Для уменьшения наведенных вихревых токов экраны кабелей необходимо транспонировать.

### Источники

1. Li, Shuaibing, et al. "Review of condition monitoring and defect inspection methods for composited cable terminals." High Voltage (2023).

2. Карапетян, И., & Балдин, М. (2022). Основное оборудование электрических сетей. Litres.

3. Велиханова, К. Э. (2021). Разработка программы расчета параметров силовых кабелей с учетом условий их прокладки.

4. Kherfi, A., & Mimouni, I. (2019). Les défauts dans les câbles électriques souterrains (Doctoral dissertation, UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA).

5. Marín-Genescà, M., García-Amorós, J., Mujal-Rosas, R., Massagués, L., & Colom, X. (2020). Study and characterization of the dielectric behavior of low linear density polyethylene composites mixed with ground tire rubber particles. Polymers, 12(5), 1075.

УДК 62-838

## СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПРИВОДА В СФЕРЕ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

Рафаиль Рамилевич Салыхиев<sup>1</sup>, Ильвир Ильнарович Вильданов<sup>2</sup>

Науч. рук. канд.техн.наук, доц. Азат Назипович Хуснутдинов

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

<sup>1</sup>salyakhiev@mail.ru, <sup>2</sup>vildanov.ilvirr@gmail.com

**Аннотация.** В статье рассмотрены основные формы использования электроприводов в современных электромобилях. Проведен анализ уже существующих электроприводов с выделением основных преимуществ и недостатков каждого.

**Ключевые слова:** характеристики, редкоземельные материалы, асинхронный двигатель, синхронный двигатель, двигатель на постоянных магнитах, компактность.

# CONTEMPORARY TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF ELECTRIC DRIVE SYSTEMS IN THE FIELD OF ELECTRIC VEHICLES

Rafail R. Salyahiev<sup>1</sup>, Ilvir I. Vildanov<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>salyakhiev@mail.ru, <sup>2</sup>vildanov.ilvirr@gmail.com

**Abstract.** The article examines the primary applications of electric drives in contemporary electric vehicles. It conducts an analysis of existing electric drives, highlighting the main advantages and disadvantages of each.

**Keywords:** characteristics, rare earth materials, asynchronous motor, synchronous motor, permanent magnet motor, compactness.

С увеличением популярности электромобилей возникает необходимость в эффективных электроприводах, являющихся ключевыми компонентами электрических автомобилей. Типы электроприводов определяют производительность, эффективность, надежность и удобство использования электромобилей [1].

Асинхронные электродвигатели одни из наиболее распространенных типов электродвигателей. Они характеризуются простой конструкцией, надежностью и устойчивостью к перегрузкам. Основным преимуществом асинхронных электродвигателей является их надежность при работе в условиях переменной нагрузки [2]. Однако они имеют некоторые ограничения в эффективности при низких скоростях вращения.

Синхронные электродвигатели с постоянными магнитами обеспечивают высокую эффективность и производительность. Они имеют постоянные магниты в роторе, что обеспечивает более точное управление скоростью и моментом. Синхронные электродвигатели считаются одними из наиболее эффективных в преобразовании электрической энергии в механическую [3]. Они широко используются в электрических и гибридных автомобилях, и других транспортных средствах.

В синхронном электродвигателе на постоянных магнитах в качестве статора используются магниты из редкоземельных металлов, что существенно уменьшает габариты [4]. Коэффициент полезного действия такого двигателя колеблется в пределах от 93% до 95%. Он отличается от асинхронного двигателя тем, что обладает высокой эффективностью, не требует интенсивного охлаждения и имеет высокий показатель мощности относительно габаритов, но также имеет высокую стоимость производства и постепенно уменьшает магнитные свойства статора [5].

Бесколлекторные электродвигатели являются одними из самых передовых и эффективных электродвигателей. Они отличаются отсутствием щеток и коммутаторов, что уменьшает трение и повышает эффективность. Благодаря этому бесколлекторные электродвигатели обеспечивают высокую производительность, низкое энергопотребление и длительный срок службы [6]. Они широко применяются в современных электромобилях.

Технологические возможности электродвигателей постоянно совершенствуются. Современные электродвигатели оснащены высокоточными системами управления. Это позволяет регулировать скорость и момент с высокой точностью, обеспечивая оптимальную эффективность работы.

Системы регенеративного торможения становятся более эффективными. Энергия, выделяемая при торможении, преобразуется обратно в электричество и используется для зарядки аккумуляторов, увеличивая запас хода.

Использование передовых материалов, таких как редкоземельные магниты и композитные материалы, улучшает производительность электродвигателей. Это способствует уменьшению веса и размеров, не жертвуя при этом мощностью.

Эти технологические инновации содействуют увеличению эффективности, надежности и компактности электродвигателей, что важно для улучшения характеристик электромобилей.

Разнообразие современных электроприводов предоставляет возможности для создания более эффективных электромобилей. С учетом быстрого развития технологий и постоянных усовершенствований в этой области, можно с уверенностью предсказать, что в ближайшем будущем электромобили станут еще более доступными, производительными и экологически безопасными.

### **Источники**

1. Теория наземных транспортных средств. Тяговый расчет электромобиля: учебное пособие / А.Г. Уланов. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2018. – 389 с.

2. Сафин А.Р. Тяговые электродвигатели для электромобилей, не содержащие редкоземельные элементы // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2021. – Т. 13. – №. 1. – С. 16-36. – Текст: электронный.

3. Аухадеев А.Э., Литвиненко Р.С., Киснеева Л.Н., Хайруллин А.Г. Система управления электропривода электромобиля. // Современные научные исследования и разработки. 2017. Т. 16, № 8. С. 487–491.

4. Аухадеев А.Э., Литвиненко Р.С., Киснеева Л.Н., Тухбатуллина Д.И. К вопросу о развитии теории тягового электрооборудования городского электрического транспорта // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2019. Т. 15, №4. С. 12-18.

5. Антипов Ю.М. Методы решения задач оценки и прогнозирования энергоэффективности электроприводов электромобилей // Вестник Московского университета. 2019. Т. 11. № 2 (42). С. 103-115.

6. Овчинников А.А. Анализ эффективности синхронного двигателя в электромобиле // Современные электромобили. 2021. Т. 2. № 5 (26). С. 13-20.

УДК 621.486

## **АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ НА ВОДОРОДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ**

Ильяс Ильгизарович Сафаров

Науч. рук. д-р техн. наук, доц. Антонина Андреевна Филимонова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

batfleckforever@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассмотрена статистика использования автотранспорта на водородных топливных элементах и планы по выпуску новых проектов водородных транспортных средств.

**Ключевые слова:** водород, водородный транспорт, топливный элемент.

## **HYDROGEN FUEL CELL ROAD TRANSPORT: THE CURRENT STATE**

Ilyas I. Safarov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

batfleckforever@mail.ru

**Abstract.** The article discusses the statistics of the use of hydrogen fuel cell vehicles and the plans of leading automotive companies to produce new hydrogen vehicle projects.

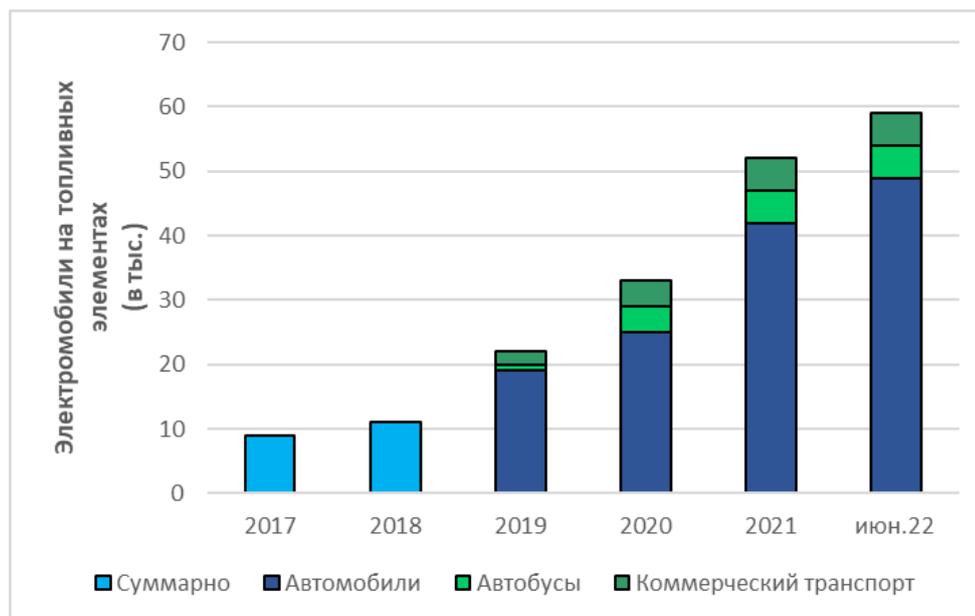
**Keywords:** hydrogen, hydrogen transport, fuel cell.

Потребность в водороде на транспорте в 2021 году составила более 30 тыс. тонн, что более чем на 60% выше, чем в 2020. Однако доля транспорта в общем объеме потребления водорода составляет всего 0,03%, а доля водорода в общем объеме транспортной энергии составляет всего 0,003%.

Дорожные транспортные средства, безусловно, являются основным источником спроса на водород на транспорте. Большая часть этого топлива расходуется в грузовых автомобилях и автобусах из-за их большого годового пробега и большого веса по сравнению с большим запасом электромобилей на топливных элементах [1]. Количество большегрузных водородных грузовиков значительно увеличилось в 2021 году (более чем в 60 раз по сравнению с 2020 годом), как и предполагаемый спрос на водород со стороны коммерческих транспортных средств, то есть фургонов и грузовиков. В 2021 году спрос на водород для грузового транспорта впервые превысил спрос на автобусы, достигнув 45% от общего спроса на водород в транспортном секторе.

Потребность в водороде на транспорте в соответствии с заявленным стратегическим сценарием достигнет 0,7 млн. тонн к 2030 году. Большая часть этого спроса приходится на автомобильный транспорт, особенно в связи с внедрением водородных грузовиков. На этих этапах наблюдается лишь незначительное проникновение водорода в другие виды транспорта, в первую очередь в морские перевозки (как в виде водорода, так и в виде топлива на его основе). Потребность в водороде на транспорте в соответствии с объявленным сценарием поставок достигнет почти 8 млн тонн к 2030 году, из которых более 60% приходится на судоходство [2].

Запас электромобилей на топливных элементах в мире превысил 50 000 в 2021 году.



Ассортимент электромобилей на топливных элементах в разбивке по сегментам, 2017 - июнь 2022 г

Расширение использования водорода и топливных элементов для дорожных транспортных средств. Последние события.

В 2021 году количество транспортных средств на топливных элементах (Fuel Cell Vehicles, FCEV) превысило 51 000, что более чем на 55% больше, чем на конец 2020 года [3]. В 2021 году в Корее наблюдался впечатляющий рост, который почти удвоил запасы электромобилей на топливных элементах, добавив за год более 9200 FCEV, что составляет более 0,5% продаж автомобилей. Несмотря на небольшие цифры, это более чем в десять раз превышает долю продаж электромобилей на топливных элементах в Японии и почти в 30 раз превышает долю продаж в Соединенных Штатах, единственных двух других странах, где в 2021 году будет продано более 1 000 электромобилей на топливных элементах.

К концу июня 2022 года мировой запас FCEV составил более 59 000 единиц, что на 15% больше, чем на конец 2021 года. В целом, расширение ассортимента FCEV в первую очередь касается электромобилей на топливных элементах [4].

На долю Китая приходится более 85% мировых автобусов на топливных элементах, которых на дорогах более 4100, и более 95% всех грузовиков на топливных элементах. В частности, в Китае наблюдался значительный рост производства большегрузных грузовиков на топливных элементах: в 2021 году было введено в эксплуатацию около 800 единиц. Это расширение продолжилось и в 2022 году, поскольку в июне FAW

Jiefang поставила 300 грузовиков на топливных элементах, включая грузовые модели, самосвалы и тракторы.

Ожидается, что рынок грузовых автомобилей на топливных элементах продолжит расширяться за пределами Китая. Такие меры политики, как Калифорнийское усовершенствованное регулирование в области экологически чистых грузовиков и Глобальный меморандум о взаимопонимании по транспортным средствам средней и большой грузоподъемности с нулевым уровнем выбросов, подписанные 16 странами и одобренные рядом заинтересованных сторон отрасли, оказывают давление на производителей грузовых автомобилей с целью увеличения предложения грузовиков с нулевым уровнем выбросов [5].

Водородный автотранспорт имеет большой потенциал и может стать одним из ключевых решений в декарбонизации экономики. Однако, для того чтобы его развитие стало более широким, необходимо решить проблемы с производством водорода и создать развитую инфраструктуру для заправки автомобилей на водороде.

### **Источники**

1. Гайнутдинова, Д. Ф. Водород в глобальной энергетической повестке / Д. Ф. Гайнутдинова // Актуальные вопросы и достижения современной науки: Материалы Международной (заочной) научно-практической конференции, Нур-Султан, 13 апреля 2022 года. – Нефтекамск: Научно-издательский центр "Мир науки" (ИП Вострецов Александр Ильич), 2022. – С. 11-14.

2. Воробьев, С. А. Актуальность применения водородного топлива на автомобильном транспорте в современных условиях эксплуатации / С. А. Воробьев, П. А. Разумов, И. Т. Абызов // Вопросы устойчивого развития общества. – 2022. – № 4. – С. 1516-1519.

3. Федотов, Е. С. Исследование эффективности использования водородных топливных элементов на автомобильном транспорте / Е. С. Федотов, К. Ю. Флахан // Транспорт. Экономика. Социальная сфера (Актуальные проблемы и их решения): Сборник статей IX Международной научно-практической конференции, Пенза, 14–15 апреля 2022 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2022. – С. 254-257.

4. Мировой опыт применения водородных топливных элементов в автомобильном транспорте / Ф. А. Шайхатдинов, В. А. Бобровский, Д. Р.

Шафиев [и др.] // Химическая промышленность сегодня. – 2021. – № 1. – С. 16-21.

5. Электрохимические технологии для автомобилей на водородном топливе / А. А. Филимонова, А. А. Чичиров, Н. Д. Чичирова, Р. И. Разакова // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2021. – Т. 23, № 2. – С. 104-115.

УДК 621.314.58

## ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОПЫТНОГО ОБРАЗЦА ДИАГНОСТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ЗАРЯДНЫХ СТАНЦИЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Булат Ирекович Сафиуллин<sup>1</sup>, Авер Эрикович Аухадеев<sup>2</sup>, Халил Фаритович Вахитов<sup>3</sup>,  
Данил Вячеславович Кинёв<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1,4</sup>gougle2011@yandex.ru, <sup>2</sup>auhadeev.ae@kgeu.ru, <sup>3</sup>lilah20@mail.ru

**Аннотация.** На сегодняшний день электромобильный транспорт является одним из перспективных направлений в рамках перехода на более экологические технологии систем транспортировки пассажиров и грузов. Для обеспечения работоспособности зарядной инфраструктуры, являющейся главным звеном инфраструктуры электромобильного транспорта, необходимы средства ремонта и диагностики, способные увеличить скорость и качество ремонта и диагностики за счет применения современной элементной базы и программного обеспечения. В данной статье рассматривается электрическая и логическая схема комплекса диагностики и поиска неисправностей, разработанная авторами в рамках реализации проекта «студенческий стартап».

**Ключевые слова:** зарядная станция, зарядная инфраструктура, система диагностики, имитация зарядной сессии.

## PRODUCTION OF A PROTOTYPE OF A DIAGNOSTIC COMPLEX OF AC CHARGING STATIONS

Bulat I. Safiullin<sup>1</sup>, Aver E. Aukhadeev<sup>2</sup>, Khalil F. Vakhitov<sup>3</sup>, Danil V. Kinyov<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1,4</sup>gougle2011@yandex.ru, <sup>2</sup>auhadeev.ae@kgeu.ru, <sup>3</sup>lilah20@mail.ru

**Abstract.** To date, electric vehicle transportation is one of the promising areas within the framework of transition to more environmentally friendly technologies of passenger and

cargo transportation systems. To ensure the operability of the charging infrastructure, which is the main link of the electric vehicle transportation infrastructure, there is a need for repair and diagnostics facilities capable of increasing the speed and quality of repair and diagnostics through the use of modern element base and software. In this article the electrical and logical scheme of the complex of diagnostics and troubleshooting developed by the authors within the framework of the realization of the project "student startup" is considered.

**Keywords:** charging station, charging infrastructure, diagnostic system, simulation of charging session.

Разработанный авторами диагностический комплекс представляет собой автономное микроконтроллерное устройство, способное обрабатывать и анализировать информацию о параметрах в электрических цепях зарядных станций переменного тока, имеющее органы управления и передачу информации в виде экрана и USB (соответствие сигналов ГОСТ Р МЭК 62196) и наличие напряжения в силовых цепях [2, 4].

Для реализации программно-аппаратного обеспечения прибора был выбран микроконтроллер STM32f407 [1]. Данный контроллер имеет всю необходимую периферию как АЦП, триггерные входы с возможностью захвата параметров ШИМ сигнала, интерфейсы USB-COM PORT и 8pin LCD.

В цепях измерения напряжений применяется связка «трансформатор тока – цепи преобразования на операционных усилителях», что позволяет снизить влияние реактивной составляющей трансформатора на измеряемые параметры и за счет применения быстрого АЦП контроллера добиться уровня погрешности в 0.1% и скорости измерений 40000 измерений в секунду при разрешении в 12 бит.

Для измерений параметров линий CP и PP применяются схемы гальванической развязки на полевых транзисторах с малой ёмкостью базы, что уменьшает влияние на фронт сигнала и позволяет измерить период сигнала с точностью  $10^{-7}$  секунд.

Так же в данный прибор оснащен встроенным аккумулятором, органами ввода-вывода, разъемом SAE J1772 type2, корпусом и USB-A разъемом [3, 5]. Применение выше указанных решений позволило достичь следующих параметров и показателей: автономность питания 4 часа в рабочем режиме и 6 месяцев в режиме ожидания); измерение показателей работоспособности станции, а именно: частота (в диапазоне 100 - 10000 герц) и амплитуда (в диапазоне от 0 до 24 вольт) управляющего сигнала CP; проверка всех статусов работы станции (Статусы A, B, C, D, F/E), проверка напряжения в режиме однофазной (220 вольт +/- 10%) и

трехфазной (380 вольт +/- 10%) зарядки; возможность проверки совместимости зарядной станции с кабелями разных пропускных мощностей (6, 13, 20, 32, 63 и 70 ампер)[5].

В ходе проведения лабораторных испытаний, приближенных к реальным, была подтверждена работоспособность диагностического комплекса, произведена поверка измерительных цепей с эталонными приборами измерений, подтверждена работа алгоритмов анализа работоспособности зарядной станции. На сегодняшний день ведется разработка алгоритмов измерения качества электроэнергии и разработки ПО полностью автоматического процесса диагностики посредством подключения прибора к внешнему ПК.

### Источники

1. К вопросу о выборе контроллеров для зарядных станций электромобилей / Р. А. Рашитова, Д. И. Тухбатуллина, Б. И. Сафиуллин, Г. Р. Ахсаниев // Тинчуринские чтения – 2021 «энергетика и цифровая трансформация» : Материалы Международной молодежной научной конференции. В 3 томах, Казань, 28–30 апреля 2021 года. – Казань: ООО ПК «Астор и Я», 2021. – С. 256-258.

2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021681859 Российская Федерация. Программа ядерного оценивания цензурированной информации о неисправностях и отказах электромеханического оборудования электромобиля : № 2021681221 : заявл. 21.12.2021 : опубл. 27.12.2021 / П. П. Павлов, И. В. Ившин, Р. С. Литвиненко [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный энергетический университет».

3. Автономная зарядная станция для электромобилей / Б. И. Сафиуллин, Д. И. Тухбатуллина, Р. А. Рашитова, А. Э. Аухадеев // Диспетчеризация и управление в электроэнергетике : Материалы XV Всероссийской открытой молодежной научно-практической конференции, Казань, 21–22 октября 2020 года. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2020. – С. 81-83.

4. Егоров, Г. И. Система управление и мониторинга зарядной станцией для электромобилей с дистанционным доступом / Г. И. Егоров // XXV Туполевские чтения (школа молодых ученых) : Казань, 10–11 ноября 2021 года. – Казань: Изд-во ИП Сагиева А.Р., 2021. – С. 444-448. – EDN JTEHJX.

5. Gorbunova, A. The analysis of the electric vehicle charging infrastructure in Tyumen city / A. Gorbunova, I. Anisimov // E3S Web of Conferences : Topical Problems of Green Architecture, Civil and Environmental Engineering, TPACSEE 2019, Moscow, 20–22 ноября 2019 года. – Moscow: EDP Sciences, 2020. – P. 03016. – DOI 10.1051/e3sconf/202016403016.

УДК 629.1.01, 004.896

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НАЗЕМНОЙ БЕСПИЛОТНОЙ ПЛАТФОРМЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ROS

Булат Ирекович Сафиуллин<sup>1</sup>, Авер Эрикович Аухадеев<sup>2</sup>, Халил Фаритович Вахитов<sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
<sup>1</sup>gougle2011@yandex.ru, <sup>2</sup>auhadeev.ae@kgeu.ru, <sup>3</sup>lilah20@mail.ru

**Аннотация.** На сегодняшний день одним из перспективных направлений развития наземного беспилотного транспорта является разработка малых систем автоматического следования, позволяющие производить техническую разведку, диагностику и анализ оборудования как в условиях опасных для человека. В данной работе рассматривается вопрос построения системы машинного зрения для данных систем на основе лидаров и камер с применением пакета программ ROS.

**Ключевые слова:** беспилотная платформа, лидар, robot operation system, машинное зрение, система навигации.

## DEVELOPMENT OF A CONTROL SYSTEM FOR A GROUND-BASED UNMANNED PLATFORM USING THE ROS OPERATING SYSTEM

Bulat I. Safiullin<sup>1</sup>, Aver E. Aukhadeev<sup>2</sup>, Khalil F. Vakhitov<sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
<sup>1</sup>gougle2011@yandex.ru, <sup>2</sup>auhadeev.ae@kgeu.ru, <sup>3</sup>lilah20@mail.ru

**Abstract.** To date, one of the promising directions in the development of land-based unmanned transportation is the development of small automatic following systems that allow technical reconnaissance, diagnostics and analysis of equipment as in conditions dangerous for humans. This paper considers the construction of machine vision system for these systems on the basis of lidars and cameras with the use of ROS program package.

**Keywords:** unmanned platform, lidar, robot operation system, machine vision, navigation system.

При разработке беспилотной платформы главной задачей ставилось создать систему, позволяющая гибко настроить системы управления, машинного зрения и человеко-машинный интерфейс, способную работать со сторонними устройствами, необходимых для реализации задач диагностики оборудования [1]. В ходе анализа возможных решений и доступных ресурсов была выбрана связка, в основе которой лежит микрокомпьютер, работающий на основе операционной системы Ubuntu 18.04 и надстройкой в виде программы ROS [2, 23]. Данное оборудование и ПО, которое является базой для разработки беспилотной платформы, позволило нам реализовать системы 4-х колесного привода с независимой системой управления поворота и скорости вращения каждого колеса, системой навигации и графического построение облака точек окружающей среды, получаемых с лидаров, организовать сеть 2.4 ГГц с дальностью действия в 20км, возможность подключения дополнительного оборудования по протоколам как: ComPort (USB); HTTP, MQTT и TSP\_IP (RJ-45); UART, SPI и I<sup>2</sup>C (интегрированные в микрокомпьютер). Данная интеграция возможна за счет внедрения исходных кодов драйверов устройств в систему ROS, а в случае их отсутствия имеется возможность реализовать собственные драйвера на языках Python, C++ и C [4].

На рисунке 1, в виде связанного ациклического графа представлен алгоритм передачи данных от внешних устройств навигации и систем управления, в микрокомпьютер и систему управления тягового привода.



Рис. 1. Алгоритм передачи данных в системе беспилотной платформы

В данной системе в фигурах в виде овалов представлены устройства в виде лидаров и камер (левый ряд), данные с которых предаются в главный микрокомпьютер (/unity\_endpoint) планшет управления подключенный в единую сеть с беспилотной платформой. Информация о

необходимом угле поворота и скорости вращения колес передается в /control\_node в пакете данных /steer\_joystick. Полученные данные с устройств навигации визуализируются с помощью подпрограммы rviz (рисунок 2) [5].

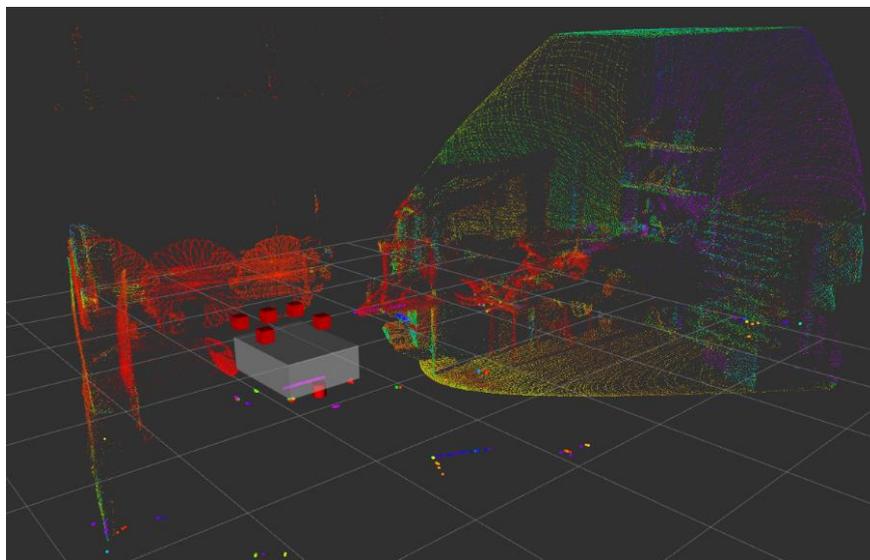


Рис. 2. Трехмерная визуализация информации, передаваемая с системы лидаров

### Источники

1. Благовещенская М. М., Макаров В. В. Идентификационный аспект в методологии создания систем управления технологическими объектами с нестационарными параметрами / Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2014. №1. С. 85-90.

2. ROS-Industrial [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://rosindustrial.org/> (дата обращения: 30.10.2023)

4. Пшеничный, А. Д. Использование Robot Operating System (ROS) для изучения робототехники, автоматизации производства и эксплуатации сервисных роботов / А. Д. Пшеничный // ДОСТИЖЕНИЯ ВУЗОВСКОЙ науки 2022 : сборник статей XXI Международного научно-исследовательского конкурса, Пенза, 05 июня 2022 года. – Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2022. – С. 47-50. – EDN XAHASG.

4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022619534 Российская Федерация. Программа для системы автоматизированного контроля и регистрации технологических параметров мобильных электротехнических комплексов транспортного назначения : № 2022618934 : заявл. 05.05.2022 : опубл. 23.05.2022 / А. Э. Аухадеев, П. П. Павлов, Р. С. Литвиненко [и др.] ; заявитель Федеральное

государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный энергетический университет». – EDN FCQRLD.

5. Введение в robot operation system [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://docs.voltbro.ru/starting-ros/> (дата обращения: 30.10.2023)

УДК 621.313.333

## АСИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Дарья Игоревна Смирнова

Науч. рук., ст. преп. Лейля Нургалиевна Киснеева  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
smirnovad122@gmail.com

**Аннотация.** В данной статье рассмотрены асинхронные двигатели переменного тока в промышленности. Их преимущества и недостатки.

**Ключевые слова:** асинхронный двигатель, электродвигатель, ротор, статор, преимущества.

## ASYNCHRONOUS MOTORS IN INDUSTRY

Daria I. Smirnova

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
smirnovad122@gmail.com

**Abstract.** This article discusses asynchronous AC motors in industry. Their advantages and disadvantages.

**Keywords:** asynchronous motor, electric motor, rotor, stator, advantages.

В промышленности используются различные типы электродвигателей: синхронные двигатели, асинхронные двигатели переменного тока, бесщеточные двигатели постоянного тока, серводвигатели, линейные двигатели и многие другие [1].

Принцип их работы заключается в подаче переменного тока на статор, за счет чего создается вращающееся магнитное поле, которое индуцирует токи в роторе и заставляет его вращаться. Техническое обслуживание, износ являются минимальными из-за отсутствия физического контакта между статором и ротором.

В промышленных условиях потребляется огромное количество энергии. Чтобы снизить потребление, в работе используют асинхронные двигатели, КПД которых находится в диапазоне от 85% до 95% [2].

Рассмотрим ряд преимуществ данных двигателей. Они способны работать без значительных потерь энергии, при различных нагрузках. Также, существует высокий пусковой момент - способность запуска при больших нагрузках без использования дополнительного оборудования. Данный критерий пользуется спросом в нефтегазовой и горнодобывающей промышленности. У асинхронных двигателей длительный срок эксплуатации. Экономически выгодные - обслуживание минимально, отсутствие расходов на щетки и коммутаторы. Даже при переменных нагрузках данные двигатели обеспечивают плавную работу за счет стабильного выходного крутящегося момента [3].

Однако, существуют недостатки: асинхронные машины чувствительны к влаге; чувствительность к напряжению питания проявляется в случае отклонения на  $\pm 5\%$ , двигатель может перегреться; скорость вращения вала может изменяться за счет частного регулятора; эффект скольжения проявляется в том, что частота вращения ротора меньше частоты вращения поля внутри статора; сложное регулирование скорости двигателя заключается в малом диапазоне нагрузок изменения скорости; высокая инерция ротора. [4].

Недостатки асинхронных двигателей возможно устранить. Частотный преобразователь – устройство, в котором объединяются выпрямитель, преобразующий переменный ток промышленной частоты в постоянный, и инвертор. С помощью этого устройства появляется возможность контроля скорости двигателя, коэффициента мощности, облегчится пусковой режим привода, несмотря на степень загрузки двигатель сможет дольше работать, диагностика неисправностей дистанционно за счет наличия электронных узлов. Частотный преобразователь очень распространен в разных отраслях промышленности, таких как нефтедобыча и переработка, металлургия, машиностроение и многие другие [5].

Следует отметить, что асинхронные двигатели обладают большими преимуществами, к примеру, низкие эксплуатационные расходы, экономичность, возможность самозапуска, стабильная работа и многое другое. Данные факторы значительно влияют на широкое использование в различных отраслях промышленности.

## Источники

1. Применение асинхронных электродвигателей в промышленности [Электронный ресурс]. <https://cable.ru/articles/787-primenenie-asinhronnyh-elektrodvigatelej-v-promyshlennosti> (дата обращения: 30.10.2023)

2. Асинхронные электродвигатели. Где могут применяться в промышленности [Электронный ресурс]. <https://cable.ru/articles/1619-asinhronnye-elektrodvigateli-gde-mogut-primenyatsya-v-promyshlennosti> (дата обращения 30.10.2023)

3. Паноев, А. Т. Повышение энергоэффективности при переключении обмоток статора по схеме "треугольник - звезда" асинхронных двигателей в текстильной промышленности / А. Т. Паноев // Вопросы науки и образования. – 2017. – № 10(11). – С. 8-11. – EDN ZURQVZ.

4. Николаев, Д. В. Сбор и анализ данных о надежности асинхронных двигателей нефтехимической промышленности / Д. В. Николаев // Современная техника и технологии : Сборник докладов XX Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 14–18 апреля 2014 года / Национальный исследовательский Томский политехнический университет. Том 1. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2014. – С. 253-254. – EDN SPVMCL.

5. Косарев, И. А. Выбор устройства управления асинхронным двигателем / И. А. Косарев, В. В. Боннет // Научные исследования и разработки к внедрению в АПК : Материалы международной научно-практической конференции молодых ученых, п. Молодежный, 26–27 марта 2020 года. – п. Молодежный: Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2020. – С. 314-322. – EDN QFOTIF.

## РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ДЛЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ

Игорь Витальевич Токтаров<sup>1</sup>, Эмиль Алмазович Мухамедзянов<sup>2</sup>, Ришат Рашатович  
Мухаметзянов<sup>3</sup>

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент Павел Павлович Павлов

<sup>1,2,3</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>toktarovigor@outlook.com, <sup>2</sup>emil20.03.012@gmail.com, <sup>3</sup>rishat05282000@gmail.com

**Аннотация.** В статье предлагается устройство автоматизированного электропривода для электромобиля. Электропривод включает в себя бесколлекторный двигатель постоянного тока (БДПТ), MOSFET драйвер для управления двигателем и автоматический регулятор, состоящий из набора датчиков и программируемого контроллера. Предложенное устройство при доработке до состояния автоматического электропривода, позволит создавать беспилотный транспорт в соответствии со всеми требованиями безопасности и надежности.

**Ключевые слова:** беспилотный транспорт, автоматизация, электропривод, драйвер, контроллер, электромобиль.

## DEVELOPING AN AUTOMATED ELECTRIC DRIVE SYSTEM FOR AN ELECTRIC VEHICLE

Igor V. Toktarov<sup>1</sup>, Emil A. Mukhamedzyanov<sup>2</sup>, Rishat R. Mukhametzyanov<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

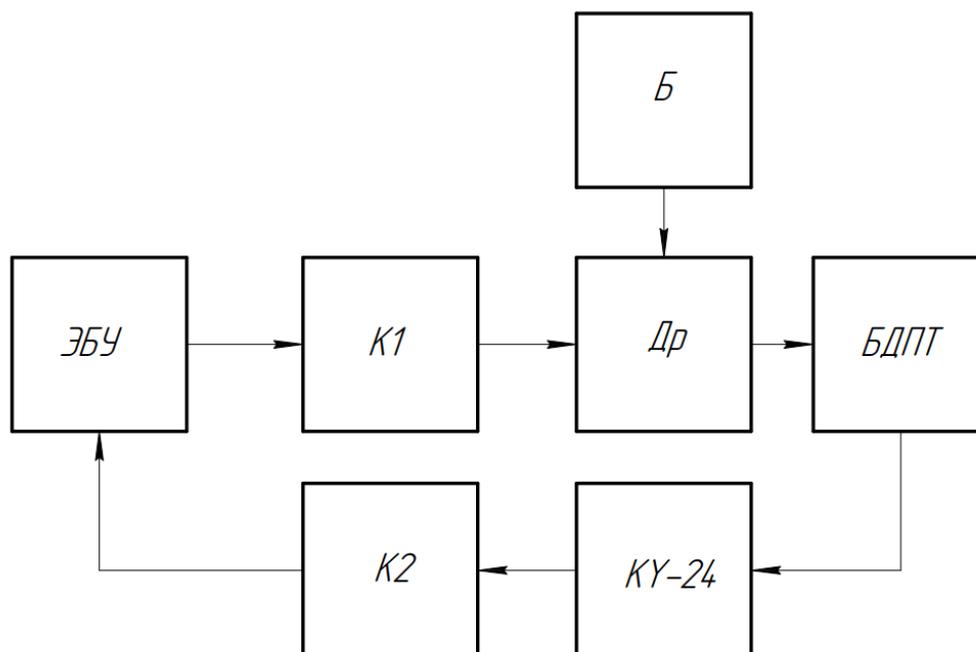
<sup>1</sup>toktarovigor@outlook.com, <sup>2</sup>emil20.03.012@gmail.com, <sup>3</sup>rishat05282000@gmail.com

**Abstract.** This article presents a design for an automated electric drive system for an electric vehicle. The electric drive system comprises a brushless direct current (BLDC) motor, a MOSFET driver for motor control, and an automatic regulator consisting of a set of sensors and a programmable controller. With further development to achieve full automation, the proposed device has the potential to enable the creation of autonomous transportation systems in compliance with all safety and reliability requirements.

**Keywords:** autonomous transportation, automation, electric drive, driver, controller, electric vehicle.

Устройство для создания беспилотного транспорта третьего уровня автоматизации включает в себя драйвер для управления двигателем,

контроллер ардуино для передачи данных скорости двигателя на компьютер, который имитирует электронный блок управления автомобиля [1].



Принципиальная схема управления автоматизированным электроприводом

Обозначения на рисунке: ЭБУ – электронный блок управления, К1 – контроллер для передачи сигнала с ЭБУ на драйвер Др, Др – драйвер для управления двигателем, БДПТ – бесколлекторный двигатель постоянного тока, КУ-24 – модульный датчик Холла для преобразования скорости вращения двигателя в электрический сигнал, К2 – контроллер для передачи сигнала скорости двигателя на ЭБУ, Б – блок питания БДПТ [2].

Данная схема обеспечивает надежную обратную связь, модульность элементов системы обеспечивает надежность и возможность простого ремонта [3,4].

Электронный блок управления обязательно должен отвечать требованиям быстродействия и надежности и иметь функционал, позволяющий программировать его и настраивать на новые датчики и вспомогательные контроллеры. Вспомогательные контроллеры К1 и К2 нужны для того, чтобы разгрузить нагрузку на ЭБУ и ускорить работу системы в целом. Для исследования данной установки в лаборатории применены контроллеры ESP8266. Роль ЭБУ в лабораторных условиях выполняет компьютер [5].

Лабораторный стенд показывает высокое быстродействие, надежную работу и соответствие всем требованиям по безопасности. Развитие данного устройства позволит создать модель беспилотного электромобиля.

### Источники

1. Сафиуллин, Р.Н. Системы тягового электропривода транспортных средств : учебное пособие / В.В. Резниченко; Р.Н. Сафиуллин .— Москва : Директ-Медиа, 2020 .— 365 с.
2. Практикум по автоматизированному электроприводу : учеб. пособие / В. Г. Макаров, С. С. Амирова, В. И. Елизаров, Е. В. Тумаева, Н. И. Чекунов, А. В. Толмачева; Казан. гос. технол. ун-т .— Казань : КГТУ, 2004 .— 204 с. — 204 с.
3. Бирюков, В.В. Автоматизированный тяговый электропривод : [учебник] / В.В. Бирюков .— Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2019 .— 323 с. — (Учебники НГТУ) .
4. Фомин Александр Павлович, Овсянников Евгений Михайлович Система пропорционального управления электроприводом велосипеда // Транспорт на альтернативном топливе. 2018. №5 (65).
5. Боровский, А.С. Программирование микроконтроллера Arduino в информационно-управляющих системах : учеб. пособие / М.Ю. Шрейдер; Оренбургский гос. ун- т; А.С. Боровский .— Оренбург : ОГУ, 2017 .— 113 с.

УДК 681.513.3

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ПОРОШКОВОЙ МУФТОЙ

Данила Маратович Хаткевич<sup>1</sup>, Руслан Рашатович Галиев<sup>2</sup>  
Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Валерий Михайлович Бутаков  
<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
<sup>1</sup>dan0500@mail.ru, <sup>2</sup>galiev2002@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассматривается проблемы построения следящего электропривода с электромагнитной порошковой муфтой.

**Ключевые слова:** электропривод, нерегулируемый электродвигатель электромагнитная порошковая муфта.

# SIMULATION OF AN ELECTRIC DRIVE WITH ELECTROMAGNETIC POWDER COUPLING

Danila M. Khatkevich<sup>1</sup>, Ruslan R. Galiev<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>dan0500@mail.ru, <sup>2</sup>galiev2002@mail.ru

**Abstract.** The article discusses the problems of constructing a tracking electric drive with an electromagnetic powder coupling.

**Keywords:** electric drive, unregulated electric motor electromagnetic powder coupling.

В следящих скоростных и позиционных электроприводах (ЭП), применяют электродвигатели постоянного тока [1, 2], а также электромагнитные порошковые муфты (ЭПМ), передающие механическую энергию нерегулируемого электродвигателя на рабочий орган механизма [3]. Работа ЭПМ основана на изменении свойств ферромагнитного порошка, находящегося между входным и выходным валом [4]. При отсутствии магнитного поля, создаваемого управляющей обмоткой, ведущий вал вращается приводным двигателем, а ведомый вал неподвижен, поскольку ферромагнитный порошок имеет малую вязкость.

Режим скольжения является рабочим режимом порошковой муфты в процессе регулирования скорости вращения ведомого вала. Скольжение происходит между частицами порошка в средней части рабочего зазора (рабочие поверхности не подвержены износу от трения) и сопровождается выделением большого количества тепла. Для защиты порошка от механического и химического разрушения и для улучшения теплопроводности муфты ферромагнитный наполнитель, кроме основной составляющей (карбонильное или распыленное железо), содержит так называемые «смазывающие» компоненты (графит, тальк, минеральные масла, керосин и др.).

Вращающий момент  $M_{вр}$  на выходном валу зависит от величины магнитного поля и может изменяться от нуля до максимального. Он определяется результирующим током управления  $I_y$  и коэффициентом момента  $K_M$

$$M_{вр} = K_M I_y . \quad (1)$$

Уравнение вращения выходного вала ЭПМ может быть представлено в следующем виде

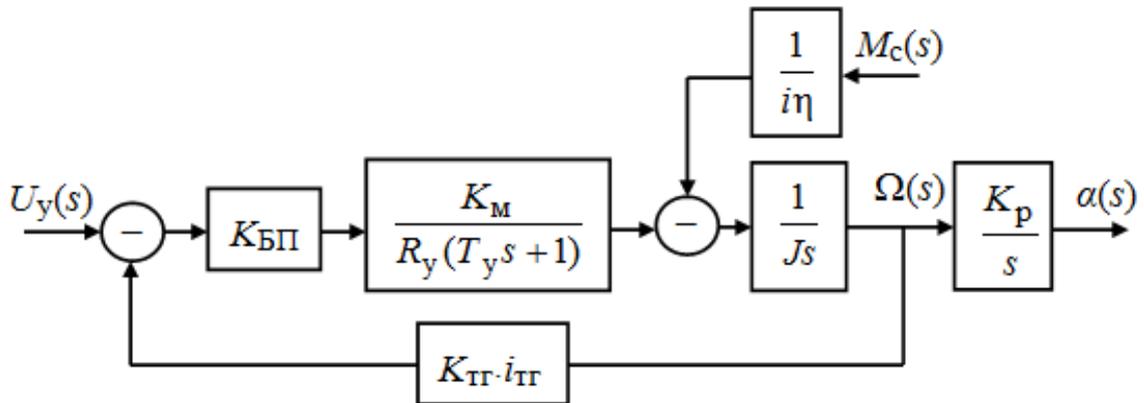
$$\Omega_M = \frac{1}{Js} \left[ \frac{K_M}{R_y(T_y s + 1)} U_y - \frac{M_c}{i\eta} \right], \quad (2)$$

Так как ЭПМ применяются в следящих позиционных ЭП, то выражение для угла поворота исполнительного вала  $\alpha$  запишется в виде

$$\alpha = \frac{K_p}{Js^2} \left[ \frac{K_M}{R_y(T_y s + 1)} U_y - \frac{M_c}{i\eta} \right]. \quad (3)$$

Наличие двух интегрирующих звеньев приводит к тому, что нескорректированный ЭП с ЭПМ является структурно-неустойчивой системой. Обеспечить устойчивость ЭП позволяет введение отрицательной обратной связи по угловой скорости  $\Omega_M$  с помощью датчика скорости.

ССДМ ЭП с электромагнитной порошковой муфтой показана на рисунке.



Структурная схема динамической модели электропривода с ЭПМ

Передаточная функция замкнутого контура

$$\Phi(s) = \frac{1/(K_{ТГ} \cdot i_{ТГ})}{T_M T_y s^2 + T_M s + 1}. \quad (4)$$

На основании выражения (4) можно сделать вывод, что динамические свойства электропривода с электромагнитной порошковой муфтой соответствуют свойствам ЭП с двигателем постоянного тока с

управлением по цепи якоря.

### **Источники**

1. Бутаков В.М., Гатин Б.Ф., Хрисанов А.А. Особенности выбора электродвигателей замкнутых электроприводов постоянного тока // Актуальные вопросы технических наук в современных условиях, / Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. № 3. г.Санкт-Петербург, 2016. с. 115-117.

2. Малев, Н. А. Беспойсковая градиентная идентификация коэффициента передачи системы управления электропривода постоянного тока / Н. А. Малев, О. В. Погодицкий, А. Н. Хуснутдинов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2022. – № 42. – с. 42-64.

3. Смирнова В.И., Разинцев В.И. Проектирование и расчет автоматизированных приводов. – М.: Машиностроение, 1990. 368 с.

4. Бутаков В.М., Гатин Б.Ф., Медведев Г.М. Особенности выбора и расчета электромагнитных порошковых муфт // Вопросы технических наук: новые подходы в решении актуальных проблем, / Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. № 3. Г. Казань, 2016. С. 134–137.

## СЕКЦИЯ 7. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОБЕЗОПАСНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

УДК 681.5

### РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОЛИВА ТЕПЛИЦЫ

Ярослав Анатольевич Бережной<sup>1</sup>, Вилия Равильевна Иванова<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>berezhnoy96@list.ru, <sup>2</sup>vr-10@mail.ru

**Аннотация.** Разнообразие систем автоматического тепличного полива способствует увеличению их конкурентоспособности благодаря повышению качества и эффективности функционирования. Вместе с тем в настоящее время имеются сложности с автоматизацией капельного полива, являющегося одним из наиболее востребованных способов орошения. В данной статье предложен вариант автоматизированной системы орошения для теплиц любого масштаба.

**Ключевые слова:** капельное орошение, системы полива, мелиорация, автоматизация, программируемые логические контроллеры, тепличное хозяйство, сельское хозяйство.

### DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF AN AUTOMATIC WATERING THE GREENHOUSE

Yaroslav A. Berezhnoy<sup>1</sup>, Vilia R. Ivanova<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>berezhnoy96@list.ru, <sup>2</sup>vr-10@mail.ru

**Abstract.** A variety of automatic greenhouse irrigation systems contributes to increasing their competitiveness by improving the quality and efficiency of operation. At the same time, there are currently difficulties with the automation of drip irrigation, which is one of the most popular irrigation methods. In this article, a variant of an automated irrigation system for greenhouses of any scale is proposed.

**Keywords:** drip irrigation, irrigation systems, land reclamation, automation, programmable logic controllers, greenhouses, agriculture.

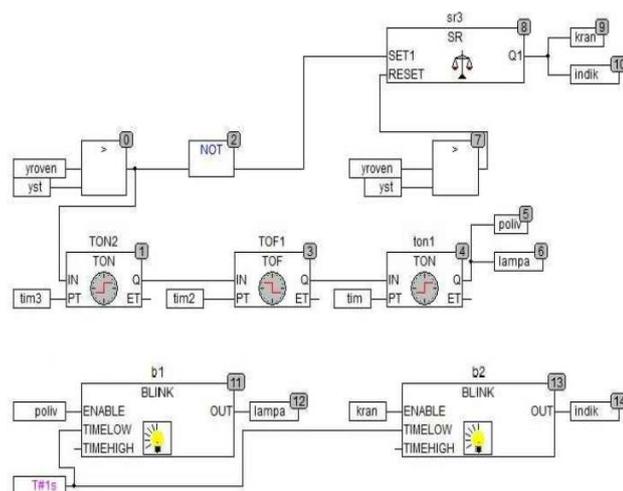
Текущая экономическая ситуация способствует интенсивному развитию тепличного хозяйства в России, что обусловлено как необходимостью максимального импортозамещения товаров и услуг в условиях санкционного давления, так и потребностью в развитии собственного эффективного производства овощей и фруктов с низкой себестоимостью. Так, общая площадь функционирующих теплиц составляет порядка 3,3 тыс. га, а в ближайшие пять лет планируется реализовать еще 72 инвестиционных проекта в области производства плодовых и ягодных культур закрытого грунта [4]. При этом эксперты отмечают, что строительство теплиц планируется в каждом регионе и в непосредственной близости от крупных городов с целью обеспечения скорости доставки и свежести овощной и ягодной продукции [5].

Одним из рентабельных и эффективных методов полива является капельный, при котором вдоль рядной посадки растений располагается ПВХ-рукав [1]. Метод капельного орошения в условиях ограниченности водных ресурсов позволяет получать стабильно высокие урожаи при меньших расходах воды [3]. Однако во многих тепличных хозяйствах такой метод до сих пор осуществляется вручную, с применением механических методов, типа периодического измерения влажности почвы или таймера полива [2].

В связи с этим эффективной видится оптимизация систем подачи воды и полива в теплицах. Предложенное решение позволит не только сократить количество подаваемой воды, но и уменьшить человеческие трудозатраты, а также избежать рисков, связанных с человеческими ошибками при ручном поливе, обеспечивая стабильность и системность орошения.

В рамках текущей работы была разработана система автоматического полива тепличных растений, которая способна функционировать без участия человека.

Автоматизация осуществляется посредством использования программируемого логического контроллера (ПЛК) [6], управление которым происходит с применением стандартного языка программирования IEC 61131-3 – CFC (см. рисунок).



Программа для системы полива на языке *CFC*

Устройство включает в себя электромагнитные клапаны, датчики уровня, резервуары и специализированные насосы, благодаря чему имеется возможность, с одной стороны, в режиме реального времени отслеживать функционирование всей системы, с другой стороны – осуществлять единовременную настройку системы с последующей её полностью автономной работой. Наличие множества различных модулей и дополнительных функций в ПЛК позволяет настраивать и управлять различными процессами, в том числе и с использованием различных протоколов связи.

Расчеты показали, что окупаемость вложенных средств в систему полива как альтернативу сотруднику на полной рабочей ставке составляет примерно 2,3 месяца.

Экономическая доступность и простота управления способствует тому, что её использование возможно, в том числе, и пользователями, не имеющими опыта и специальных знаний в области автоматических агропромышленных процессов.

### Источники

1. Антонов М.А. Об ещё одном варианте автоматизации процесса полива/ М.А. Антонов, А.А. Анисимов, С.Е. Каширо // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2022. – №10. – С.217-224.
2. Аширов И.З. Автоматизация управления капельным поливом тепличных культур / И.З. Аширов, В.А. Шахов, А.П. Козловцев, А.А.

Сорокин, С.В. Горячев, А.М. Старожуков // Известия ОГАУ. – 2017. – №4 (66). – С.133-135.

3. Каландаров П.И. Система автоматической регулировки расхода воды в процессе капельного орошения / П.И. Каландаров, Ж.К. Кутлимуротов // Научные известия. – 2022. – №29. – С.141-147.

4. «Тепличная отрасль России — 2022» [Электронный ресурс] // URL: <https://www.apk-news.ru/teplichnaya-otrasl-rossii-2022-3/> (дата обращения: 19.05.2023).

5. 25 тепличных хозяйств России [Электронный ресурс] // URL: <https://vestnikapk.ru/articles/otraslevye-reytingi/25-teplichnykh-khozyaystv-rossii/> (дата обращения: 19.05.2023).

6. Иванова В.Р. Разработка автоматизированной системы управления с использованием языка программирования стандарта МЭК 61131-3 / В.Р. Иванова, И.Ю. Иванов, И.Н. Киселев // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2020. – № 6. – С. 44-49.

УДК 621.314

## **ВЛИЯНИЕ РАБОТЫ ЗАРЯДНО-ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ НА КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

Альберт Валерьевич Васильев

Науч. рук. канд. техн. наук доц. Вилия Равильевна Иванова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

[vasilev\\_albert123@mail.ru](mailto:vasilev_albert123@mail.ru)

**Аннотация.** В статье проведено исследование зарядно-выпрямительных устройств (ЗВУ). Изучена их конструкция. Приведён пример структурных схем. Рассмотрены основные и дополнительные функции ЗВУ. Исследован принцип их работы. Проведён анализ роли устройств в системе бесперебойного питания. Описаны преимущества ЗВУ. Сделано заключение об их влиянии на качество электроэнергии.

**Ключевые слова:** зарядно-выпрямительные устройства, качество электрической энергии, промышленные предприятия, стабильность и надежность, бесперебойное питание, аккумуляторные батареи.

# IMPACT OF RECTIFIER-CHARGER DEVICES ON THE QUALITY OF ELECTRICAL ENERGY IN INDUSTRIAL ENTERPRISES

Albert V. Vasiliev

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

vasilev\_albert123@mail.ru

**Abstract.** This article presents a study of rectifier-charger devices (RCUs) and examines their construction. Structural diagrams are provided as examples, and the primary and auxiliary functions of RCUs are discussed. The principle of their operation is investigated, along with an analysis of their role in uninterruptible power supply systems. The advantages of RCUs are described, and a conclusion is drawn regarding their impact on the quality of electrical energy.

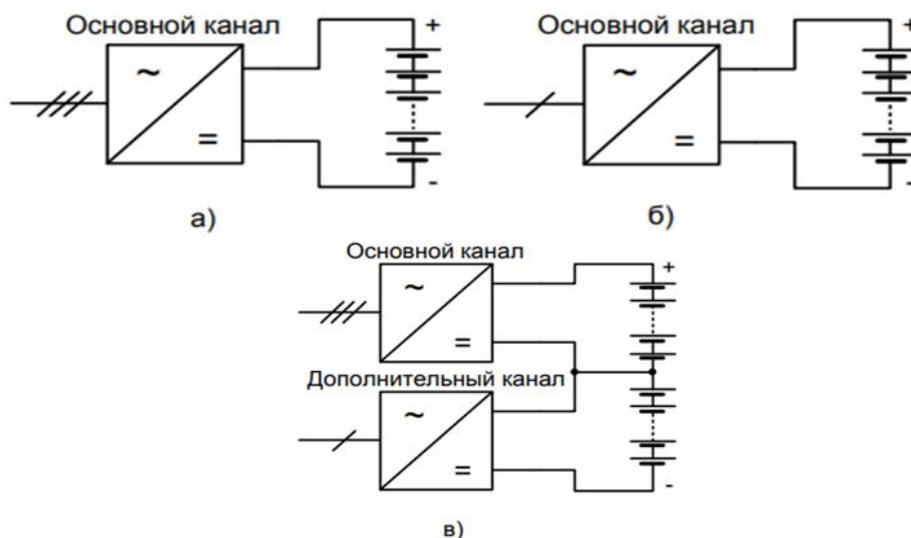
**Keywords:** rectifier-charger devices, electrical energy quality, industrial enterprises, stability and reliability, uninterruptible power supply, accumulator batteries.

В современном мире промышленные предприятия играют ключевую роль в обеспечении потребностей общества в разнообразных продуктах и услугах. Они являются неразрывной частью мировой экономики и мотором технологического прогресса. Однако для эффективной и бесперебойной работы этих предприятий необходимо надежное и стабильное электроснабжение. В этом контексте зарядно-выпрямительные устройства (ЗВУ) становятся актуальным элементом.

ЗВУ – это ключевые компоненты электроэнергетических систем промышленных предприятий, обеспечивающие преобразование переменного напряжения в постоянное и поддержание работоспособности аккумуляторных батарей [1]. Их влияние на качество электрической энергии, используемой в производственных процессах, нельзя недооценивать.

Конструкция ЗВУ включает в себя набор оборудования, которое обеспечивает высокую производительность и надежность. В их состав входят двухканальное зарядное устройство, разнообразные методы охлаждения, использование унифицированных транзисторных модулей AC/DC, гальваническую развязку для безопасности, резервирование согласно схеме "N+1" для непрерывной работы, возможность "горячей" замены модулей, модульную конструкцию корпуса без использования сварки и разнообразные варианты обслуживания. Помимо этого, корпус ЗВУ предоставляет гибкость при вводе кабелей, снизу и сверху, облегчая процесс монтажа и обслуживания. Эти характеристики сделали ЗВУ

востребованными в качестве надежных и эффективных источников электроэнергии на промышленных предприятиях [2]. Структурные схемы для наглядности представлена на рисунке (см. рисунок).



Структурные схемы ЗВУ: а) трехфазное ЗВУ без дополнительного канала; б) однофазное ЗВУ; в) трехфазное ЗВУ с дополнительным каналом

Роль этих устройств не ограничивается преобразованием. ЗВУ также отвечают за зарядку и поддержание аккумуляторных батарей в рабочем состоянии, что является критически важным в системах бесперебойного питания, обеспечивают бесперебойное электропитание нагрузки даже при отключении аккумуляторов. Буферный режим позволяет поддерживать АБ в режиме постоянного подзаряда, обеспечивая надежное электропитание при возможных сбоях. ЗВУ также гарантируют гальваническую развязку между входными и выходными цепями переменного и постоянного тока, что обеспечивает защиту от обратного тока и увеличивает надежность системы [3]. Также эти устройства контролируют и регулируют напряжение заряда, проводят ускоренные и выравнивающие заряды АБ, обеспечивают контроль фазы питающей сети и выходного напряжения, а также ограничивают выходной ток. ЗВУ автоматически управляют вентиляцией помещения, где находятся АБ, и обеспечивают защиту от взаимного влияния нескольких ЗВУ, работающих параллельно. Они также контролируют температуру в помещении с АБ и проверяют целостность цепи АБ.

Дополнительные функции включают контроль состояния изоляции на общих шинах постоянного тока, диагностику аварий и ограничение тока заряда АБ. ЗВУ могут быть интегрированы в системы управления

технологическими процессами с использованием интерфейса RS485 по протоколу ModBus RTU.

Поднимая вопрос о достоинствах ЗВУ, можно выделить несколько ключевых аспектов. В первую очередь, это возможность полного удаленного мониторинга и управления устройством, что обеспечивает оперативный контроль и возможность внесения изменений в параметры без необходимости физического вмешательства [4]. Кроме того, следует учесть, что ЗВУ могут быть снабжены как импортными, так и отечественными компонентами и элементами комплектации, что способствует многообразию и гибкости в выборе оборудования. Высокий уровень безопасности и соблюдение электромагнитной совместимости гарантирует стабильность и защиту электроэнергетических систем, а широкий диапазон входных и выходных настроек делает ЗВУ адаптивными к разнообразным условиям использования. Использование современных микропроцессоров и силовых элементов способствует достижению высокой производительности и эффективности работы ЗВУ. И последним, но не менее важным аспектом является полное соответствие нормам и стандартам в области электроэнергетики и электротехники, что обеспечивает надежность и безопасность электроснабжения [5].

Проанализировав информацию о роли и функциях ЗВУ на промышленных предприятиях, можно заключить, что эти устройства играют ключевую роль в обеспечении стабильности и качества электрической энергии. Они обеспечивают не только преобразование переменного напряжения в постоянное, но и поддерживают аккумуляторные батареи, гарантируют бесперебойное электропитание, контролируют различные параметры, и интегрируются в автоматизированные системы управления. Эффективное использование ЗВУ способствует надежности и безопасности работы промышленных предприятий, продлевает срок службы оборудования и снижает вероятность сбоев в энергоснабжении. В результате, ЗВУ имеют значительное влияние на производительность и экономическую эффективность промышленных объектов.

## **Источники**

1. Темербаев С.А., Боярская Н.П., Довгун В.П. Анализ качества электроэнергии в городских распределительных сетях 0,4 кВ // Журнал Сибирского федерального университета. Серия техника и технологии. 2020. № 1. С. 107–120.

2. Добрусин Л.Н. Проблема качества электроэнергии и электросбережения в России // Энергоэксперт. – 2018. – № 4 (9). – С. 30–35.

3. Большаков О., Воронин В., Шамонов Р., Тульский В. Подходы к обеспечению нормативного качества электроэнергии // Электроэнергия: Передача и распределение. – 2019. – № 1(22). – С. 112–115.

4. Коверникова Л., Тульский В., Шамонов Р. Качество электроэнергии в ЕЭС России. Текущие проблемы и необходимые решения // Электроэнергия: Передача и распределение. – 2017. – № 2(35). – С. 28–38.

5. Шпак Д.А., Баринов В.М., Попов О.Ю. Качество электрической энергии на примере города-миллионника // Электроэнергия: Передача и распределение. – 2021. – № 3. – С. 60–64.

УДК 621.31

## **ВЛИЯНИЕ ВЫСШИХ ГАРМОНИК НАПРЯЖЕНИЯ И ТОКА НА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ И ОЦЕНКА УЩЕРБА ОТ НАРУШЕНИЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

Алина Ренатовна Денисова<sup>1</sup>, Ольга Дмитриевна Семенова<sup>2</sup>,  
Азалия Ренатовна Мухаметова<sup>3</sup>, Ислам Ренатович Мухарлямов<sup>4</sup>  
<sup>1,2,3,4</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>denisova\_ar@mail.ru, <sup>2</sup>ollivka@bk.ru, <sup>3</sup>mukhametova.15@mail.ru

**Аннотация.** Рассмотрены основные аспекты, связанные с влиянием высших гармоник на работу электрооборудования. Актуальность данного исследования определена тем, что в настоящее время в электрических системах и сетях очень сложно поддерживать должный уровень качества электроэнергии. В работе показано, что при выборе способа снижения высших гармоник необходимо проанализировать источник и природу их возникновения, произвести оценку и расчет возможного ущерба от нарушения ПКЭ для определения экономической эффективности внедряемых в сеть устройств.

**Ключевые слова:** влияние высших гармоник, электрооборудование, показатели качества электроэнергии, оценка ущерба.

# INFLUENCE OF HIGHER VOLTAGE AND CURRENT HARMONICS ON ELECTRICAL EQUIPMENT AND ASSESSMENT OF DAMAGE CAUSED BY VIOLATIONS OF ELECTRIC POWER QUALITY

Alina R. Denisova<sup>1</sup>, Olga D. Semenova<sup>2</sup>,

Azalia R. Mukhametova<sup>3</sup>, Islam R. Mukharlyamov<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>denisova\_ar@mail.ru, <sup>2</sup>ollivka@bk.ru, <sup>3</sup>mukhametova.15@mail.ru

**Abstract.** The main aspects related to the influence of higher harmonics on the work of electrical equipment are considered. The relevance of this study is determined by the fact that at present in electrical systems and networks it is very difficult to maintain a proper level of electricity quality. The paper shows that when choosing a method of reducing high harmonics, it is necessary to analyze the source and nature of their occurrence, assess and calculate the possible damage from the violation of the SCE to determine the economic efficiency of the devices introduced into the network.

**Keywords:** influence of high harmonics, electrical equipment, indicators of electricity quality, damage assessment.

В последнее время отмечается увеличение нелинейных нагрузок в сетях электроснабжения и, как следствие, ухудшение качества электроэнергии, что, соответственно, приводит к негативному влиянию на работу других потребителей, подключенных к этой же сети. Качество электроэнергии существенно влияет на надежность электроснабжения. Поэтому существует необходимость соблюдения стандартов по качеству электроэнергии таких как IEEE 1159-1995, IEEE 519-1992, ГОСТ 32144-2013.

С каждым годом растет количество используемых полупроводниковых элементов в системах электроснабжения, являющихся источником высших гармоник тока и напряжения, что становится большой проблемой для поддержания требуемого уровня КЭ. К нелинейной нагрузке можно отнести источники бесперебойного питания, светодиодное освещение, пускорегулирующую аппаратуру газоразрядных ламп, большинство промышленных термических установок, сварочное оборудование, а также преобразователи частоты (ПЧ), с помощью которых производят регулирование режима работы электрооборудования. Они содержат в своем составе неуправляемый (диодный) выпрямитель, сглаживающий фильтр и инвертор напряжения с широтно-импульсной модуляцией. Так как выпрямители выполняют по трехфазной мостовой

схеме, то входной ток ПЧ представляет собой сумму нечетных гармоник, за исключением кратных трем. При этом наиболее интенсивными являются гармоники с номерами 5 и 7 [1, 2]. При использовании 12-пульсных схем выпрямления, наибольшие параметры принимают 11, 13, 23, 25-я гармоники.

Высшие гармоники напряжения и тока оказывают негативные воздействия на работу электрооборудования. Как отмечалось в работах [1-5], такие воздействия выражаются появлением дополнительных потерь в этих сетях, а также возможным выходом из строя элементов сети. При наличии высокочастотных гармонических стравляющих зачастую появляются сбои в работе систем релейной защиты, автоматики, телемеханики и связи [6, 7]. Высокие уровни гармоник могут переноситься на соседние устройства в сети, что может вызывать проблемы с их работой, особенно если они не защищены от гармонических искажений.

Для большинства помехочувствительных элементов зависимость порога отказов  $P_{от}$  от глубины посадки напряжения  $\delta V$  и ее длительности  $\tau$  с высокой степенью точности аппроксимируется выражением вида:

$$P_{от} = \delta V^n \sqrt{\tau}.$$

При выборе способа снижения высших гармоник необходимо, проанализировать источник и природу их возникновения, которые зависят от факторов, обусловленных работой электрооборудования. Планируется разработка программного комплекса, который позволит определить оптимальный способ подавления высших гармоник в сети. Для этого необходимо производить оценку амплитудно-частотной характеристики сопротивления в различных конфигурациях сети при проектировании ФКУ, производить подбор оптимального способа подавления высших гармоник, а так же оценку потерь мощности и расчет возможного ущерба от нарушения ПКЭ для определения экономической эффективности внедряемых в сеть устройств.

При оценке экономической целесообразности изменения схем с использованием ФКУ необходимо провести оценку потерь, обусловленных высшими гармониками. Высокие уровни гармоник могут вызывать дополнительные потери энергии в сети. Это может привести к увеличению энергетических затрат и понижению эффективности системы.

Потери мощности, обусловленные колебаниями напряжения, можно оценить из выражения:

$$\Delta P_{к,п} \approx 2\Delta P_{\Sigma} m,$$

где  $\Delta P_{\Sigma}$  – суммарные активные потери в сети при отсутствии колебаний;  $m = (U - U_{min})/2$  – индекс модуляции;  $U$  и  $U_{min}$  – напряжение в сети при отсутствии колебания и минимальное значение напряжения при модуляции.

Значения потерь мощности  $L P_{к,п}$ , вызываемых колебаниями напряжения, пропорциональны относительному значению дисперсии колебаний тока  $D_I^*$  (по отношению к номинальному значению):

$$\frac{\Delta P_{к,п}}{\Delta P_{\Sigma}} \approx D_I^*$$

Потери энергии  $\Delta A_{к,н}$ , определяемые колебаниями:

$$\Delta A_{к,н}^{(\Sigma)} = \Delta P_{\Sigma} \sum_{j=1}^n D_{I_k}^* t_j$$

где  $D_{I_k}^*$  и  $t_j$  – дисперсия колебаний тока на каком-либо временном интервале продолжительностью  $t_j$ .

Для приближенной оценки электромагнитной составляющей ущерба, обусловленного отклонениями напряжения, исходят из предположения, что отклонения в сторону отрицательных значений приводит к увеличению тока потребителей  $\Delta I$  и дополнительным потерям активной мощности:

$$\Delta P_{доп} = 6I\Delta I r,$$

где  $r$  – эквивалентное активное сопротивление системы электроснабжения потребителей.

Относительное увеличение потерь в сравнении с потерями  $\Delta P_H$  при  $U = U_{ном}$ :

$$\frac{\Delta P_{доп}}{\Delta P_H} = 2 \frac{\Delta I}{I}.$$

Экономическая оценка установки определенного ФКУ включает в себя определение ущерба от нарушений ПКЭ. Для расчета ущерба от нарушений КЭ у потребителя необходимо учитывать конкретные факторы,

связанные с деятельностью потребителя, стоимость оборудования, стоимость производства или услуг, а также возможные потери данных и времени.

Значения экономического ущерба в обобщенном случае при отсутствии колебаний напряжения выражаются непрерывными и дифференцируемыми функциями соответствующих ПКЭ по напряжению. При отсутствии взаимной связи между отдельными ПКЭ ущерб, обусловленный каждым из них, может быть представлен степенным полиномом относительно соответствующего показателя:

$$y = \sum_{s=1}^m \left\{ \sum_{k=1}^3 [a_{sk}^{(\text{э})} + a_{sk}^{(\text{т})}] V_*^k + \sum_{p=1}^2 [b_{sp}^{(\text{э})} + b_{sp}^{(\text{т})}] \varepsilon_{2*}^p + \sum_{l=1}^2 \sum_{v=1}^n [c_{sv}^{(\text{э})} l + c_{sv}^{(\text{т})} l] U_{v*}^2 \right\},$$

где  $a_{sk}^{(\text{э,т})}$ ,  $b_{sp}^{(\text{э,т})}$ ,  $c_{sv}^{(\text{э,т})} l$  – коэффициенты, определяемые электромагнитными (э) и технологическими (т) параметрами электрооборудования  $s$ -го вида или участка технологического потока или производства;  $V_*$ ,  $\varepsilon_{2*}$ ,  $U_{v*}$  – значения отклонения напряжения, коэффициента обратной последовательности напряжения и  $v$ -й гармонической составляющей в относительных единицах.

Переход на повсеместную автоматизацию различных технологических и бытовых процессов влечет за собой увеличение в них полупроводниковых нелинейных элементов. При выборе способа снижения влияния высших гармоник необходимо проанализировать источник и природу их возникновения и определить оптимальный способ подавления высших гармоник в сети. Для этого необходимо производить оценку потерь мощности и расчет возможного ущерба от нарушения ПКЭ для определения экономической эффективности внедряемых в сеть устройств.

### Источники

1. Тукшаитов, Р. Х. Об одном эффективном способе снижения уровня эмиссии светодиодными лампами в электросеть высших гармоник промышленной частоты / Р.Х. Тукшаитов, Р.К. Зарипов // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2023. – № 1(76). – С. 70-74.

2. Артюхов И.И. Качество электроэнергии в системах электроснабжения котельных и центральных тепловых пунктов при оснащении насосов частотно-регулируемым электроприводом / И.И. Артюхов, С.В. Молот // Градостроительство и архитектура. – 2017. – Т. 7, № 1(26). – С. 138-144.

3. Моделирование влияния величины нелинейной нагрузки на качество электроэнергии промышленных электротехнических систем / Н.Н. Портнягин, М.С. Ершов, П.Ю. Барбасов, М.Ю. Чернев // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 2017. – Т. 60, № 1. – С. 61-66.

4. Костин В.Н. Влияние высших гармоник на качество напряжения и на работу конденсаторных батарей в системах электроснабжения с нелинейной нагрузкой / В.Н. Костин, А.В. Кривенко, В.А. Сериков // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2020. – № 5. – С. 431-441.

5. Фетисов, Л. В. Способы борьбы с высшими гармониками и фазовыми сдвигами на промышленных предприятиях / Л. В. Фетисов, Д. Г. Маврин, А. В. Купоросов // Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники: Материалы III Всероссийской научно-практической конференции, Казань, 17–18 марта 2021 года. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2021. – С. 109-114.

6. Новокрещенов В.В. Обзор современных устройств релейной защиты и автоматики и измерительных преобразователей, используемых при модернизации электротехнических комплексов и систем / В. В. Новокрещенов, В. Р. Иванова // Тинчуринские чтения: Материалы XIV Международной молодежной научной конференции. В трех томах, Казань, 23–26 апреля 2019 года. Том 1 Ч.2. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2019. – С. 81-85.

7. Тукшаитов Р.Х., Семенова О.Д. О характере зависимости коэффициентов мощности и нелинейных искажений тока от уровня потребляемой мощности трансформаторами // Интеграция науки и образования в вузах нефтегазового профиля – 2022. Передовые технологии и современные тенденции: материалы Международной научно-методической конференции / редкол.: Н.Г. Евдокимова и др. – Уфа: УНПЦ «Издательство УГНТУ», 2022. – С. 361-364.

## ОСНОВЫ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА В ПРОФЕССИИ ТОКАРЯ

Анастасия Александровна Жукова

Науч. рук. Лейсан Раисовна Гайнуллина

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

n4stya142004@yandex.ru

**Аннотация.** В данной статье исследуются аспекты безопасности труда в профессии токаря. В ней проведен анализ рисков и опасностей, затрагивая примеры несчастных случаев и заболеваний. Также описываются современные методы защиты, включая защитное снаряжение и обучение; представлены лучшие практики и рекомендации, подчеркивая важность безопасности труда в данной профессии.

**Ключевые слова:** безопасность, токарь, риски, опасности, защитное снаряжение, обучение, методы защиты, стандарты безопасности, заболевания, аудиты безопасности.

## OCCUPATIONAL SAFETY FUNDAMENTALS IN THE PROFESSION OF A TURNER

Anastasiya A. Zhukova

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

n4stya142004@yandex.ru

**Abstract.** This article explores the aspects of occupational safety in the profession of a turner. It begins with an analysis of risks and hazards, touching on examples of accidents and illnesses. It also describes modern protective methods, including protective equipment and training. Furthermore, it presents best practices and recommendations, emphasizing the importance of occupational safety in this profession.

**Keywords:** safety, turner, risks, hazards, protective equipment, training, protective methods, safety standards, illnesses, safety audits, psychological well-being, prevention, work procedures, interaction, modern.

Профессия токаря представляет собой важное звено в производстве, однако она сопряжена с определенными рисками и опасностями для работников. В данной статье будут рассмотрены основные аспекты безопасности труда профессии, а также современные методы защиты.

Профессия токаря, хотя и является неотъемлемой частью производства, несет в себе определенные риски и опасности для работников. Понимание этих факторов – важный шаг на пути к обеспечению безопасности труда. Основные риски, связанные с работой:

1. Работа с вращающимися деталями. Работники оперируют токарными станками, где детали вращаются с высокой скоростью. Это создает риск получения травмы при контакте с вращающимися частями.

2. Работа с режущими инструментами. Использование острых инструментов при обработке материалов может привести к порезам.

3. Шум и вибрации. Станки часто генерируют значительный шум (95-103 дБ) и вибрации, что может повлиять на слух и общее здоровье [1].

4. Опасность обработки материалов. Токари работают с разнообразными материалами, включая металлы и пластмассы, что может вызвать выделение токсичных паров и пыли.

Для более детального изучения возможных рисков, рассмотрим несколько видов происшествий и их причины [2]:

1. Травмы и их последствия. Несоблюдение правил безопасности может привести к серьезным травмам, таким как переломы, ампутации конечностей и другие повреждения.

2. Заболевания, связанные с профессией. Постоянное влияние шума, вибраций и химических веществ может вызвать заболевания, такие как потеря слуха, синдром карпального канала и онкологические заболевания.

Важно отметить, что законодательство и стандарты безопасности труда строго регулируют работу и предоставляют нормы и рекомендации для обеспечения безопасных условий труда. [3].

С целью минимизации рисков и опасностей, связанных с работой токарей, разработаны разнообразные современные индивидуальные средства защиты. Примеры защитного снаряжения:

1. Защитные очки и маски. Эффективная защита глаз и лица от мелких стружек, искр и химических веществ.

2. Защитные наушники: Снижение воздействия шума и вибраций на слух работника, что очень важно при работе на шумных токарных станках.

3. Специальная одежда и обувь. Защита тела и конечностей от механических повреждений и химических воздействий.

Помимо защитного снаряжения существуют технические средства безопасности. Они представляют из себя защитные щитки и экраны (используются для предотвращения попадания стружек и искр на работника) и применение современных технологий, таких как системы автоматического выключения станков при опасных ситуациях.

Также важным аспектом охраны труда сотрудников данной профессии является обучение и периодический инструктаж персонала. Использование современных технологий для симуляции опасных ситуаций и тренировки работников на виртуальных токарных станках может снижать риски травматизма.

Также не стоит забывать о профилактике заболеваний работников. Для этого существует проведение регулярных обследований, профилактика стресса и усталости для общего психологического благополучия.

Существует множество практик и рекомендаций, которые способствуют улучшению безопасности труда в профессии. Эти методы и стратегии помогают создать более безопасное и здоровое рабочее окружение, снижая риски и опасности для работников. Разработка и соблюдение этих практик важны для обеспечения не только физической, но и психологической безопасности токарей. Они могут в себя включать [4-5]:

1. Разработка и регулярное обновление стандартных операционных процедур, которые должны соблюдаться всеми работниками.

2. Установление четких правил для обслуживания, регулирования и эксплуатации токарных станков.

3. Регулярные проверки рабочих помещений и рабочих мест, контроль исправности оборудования.

4. Анализ результатов аудитов и внедрение улучшений в систему безопасности труда.

Правильное понимание рисков и опасностей, а также применение современных методов защиты и лучших практик, не только сохраняют здоровье работников, но также способствуют повышению эффективности и производительности в данной профессии.

### **Источники**

1. Шакиров М.А. Влияние промышленного шума на точность работ на производстве // Материалы Международной молодежной научной конференции «Тинчуринские чтения – 2023 «Энергетика и цифровая трансформация».

2. Азнабаева А.А. Анализ причин производственного травматизма // Материалы Международной молодежной научной конференции «Тинчуринские чтения – 2023 «Энергетика и цифровая трансформация»».

3. Сидоров А.И. Безопасность жизнедеятельности //- М.: КНОРУС, 2009.- с. 496.

4. Трумель В. Опасные и вредные производственные факторы // Охрана труда. Практикум. -2007.-№6.-С. 52-54.

5. Пушин В. Вредные производственные факторы. Шум // Библиотека инженера по охране труда. - 2007.-№5.- с. 3-12.

УДК 629.064

## ПРИМЕНЕНИЕ УМНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

Азалия Ренатовна Мухаметова  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
mukhametova.15@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассмотрены применение современных технологий в энергетике. Возможность повышения энергоэффективности с помощью умных трансформаторов. Описаны преимущества использования умных трансформаторов.

**Ключевые слова:** трансформаторы, умные трансформаторы, технологии, энергоэффективность, электроснабжение.

## THE USE OF SMART TRANSFORMERS TO INCREASE ENERGY EFFICIENCY

Azalia R. Mukhametova  
KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
mukhametova.15@mail.ru

**Abstract.** The article considers the use of modern technologies in energy. The ability to improve energy efficiency with smart transformers. The advantages of using smart transformers are described.

**Keywords:** transformers, smart transformers, technologies, energy efficiency, power supply.

В начале 21 века, во время активного развития технологий и цифровизации энергетической отрасли, начали появляться умные трансформаторы [1]. Это трансформаторы, оснащенные современными технологиями и возможностями управления, которые позволяют

оптимизировать их работу и повысить энергоэффективность системы. Они используют интеллектуальные системы управления, датчики и контроллеры, которые собирают и анализируют данные о нагрузке, напряжении и токе, температуре и других параметрах. В результате анализа этих данных, умные трансформаторы могут автоматически регулировать напряжение и ток, ограничивать мощность, предотвращать перегрузки и короткие замыкания, а также обеспечивать защиту от перенапряжений и пониженного напряжения [2].

Умные трансформаторы могут переключаться на резервные источники энергии в случае аварий или сбоев в основной энергосистеме. Они могут быстро определить проблему и переключиться на альтернативный источник, чтобы минимизировать простои и обеспечить непрерывное электроснабжение.

Также умные трансформаторы могут работать с энергоэффективными системами освещения. Они могут управлять яркостью и временем работы осветительных приборов, чтобы снизить потребление энергии [3].

Применение умных трансформаторов обеспечивает ряд преимуществ для энергоэффективности. Умные трансформаторы снижают потери электроэнергии с помощью автоматическому регулированию нагрузки. Умные трансформаторы позволяют стабилизировать напряжение и поддерживать его на оптимальном уровне, что улучшает качество электроэнергии и снижает риск повреждения оборудования. Снижение потребления энергии напрямую сокращает выбросы парниковых газов, связанных с производством электроэнергии на тепловых электростанциях.

Появляется возможность удаленно контролировать поведение сердечника трансформатора, обмоток, масла и других параметров трансформатора, тем самым обеспечивается продление срока службы оборудования [4,5].

Таким образом, умные трансформаторы улучшают энергоэффективность, обеспечивают более стабильное и надежное электроснабжение. Внедрение умных трансформаторов требует значительных инвестиций, разработку комплексных программ по электроснабжению и модернизацию оборудования.

## **Источники**

1. А.Ф. Шатров «Интеллектуальные электроэнергетические сети». // Учебное пособие. -М.: Изд-во МГОУ, 2012, 31 с.

2. Коллектив авторов. «Структура цифровой подстанции». // Журнал «ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ Передача и распределение». – М.:, №3, 2012.

3. The Modern Grid Initiative Version 2.0 // Conducted by the National Energy Technology Reliability, January 2007, <http://www.netl.doe.gov/moderngrid/resources.html>

4. Лизунов С.Д., Лоханин А.К. Проблемы современного трансформаторостроения в России // Электричество. – 2000. – № 8, 9.

5. L. Hossenlopp, D. Chatrefou, D. Tholomier, D.P. Bui, Process bus: Experience and impact on future system architectures // Paper B5-104, CIGRE 42d session, Paris, 2008, K. Frohlich. Strategic directions 2010–2020.

УДК 621.355

## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ БАТАРЕЙ В ЭЛЕКТРОМОБИЛЯХ

Даниил Владимирович Павлов  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
[lgfdkjd@mail.ru](mailto:lgfdkjd@mail.ru)

**Аннотация.** В статье рассмотрены тенденции развития аккумуляторных батарей в электромобилях.

**Ключевые слова:** энергетика, аккумулятор, АКБ, питание, заряд, электромобили.

## PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF BATTERIES IN ELECTRIC VEHICLES

Daniil V. Pavlov  
KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
[lgfdkjd@mail.ru](mailto:lgfdkjd@mail.ru)

**Abstract.** The article discusses trends in the development of batteries in electric vehicles.

**Keywords:** energy, battery, battery, power, charge, electric vehicles.

Батареи для электромобилей играют ключевую роль в определении производительности, пробега и экологической эффективности электромобильных технологий. С развитием инновационных материалов и технологий производства батарей ожидается значительный прогресс в

области энергоемкости, безопасности и устойчивости, что в конечном итоге приведет к более широкому принятию электромобилей в массовой автомобильной индустрии [1]. В этой статье мы рассмотрим текущие тенденции и будущие перспективы развития батарей для электромобилей.

Текущее состояние технологии батарей электромобилей. На сегодняшний день большинство электромобилей оснащены литий-ионными батареями, которые обеспечивают приемлемую энергоемкость и относительно небольшой вес [2]. Однако, существует необходимость в дальнейшем увеличении энергоемкости батарей, чтобы увеличить пробег и улучшить практичность использования электромобилей. Некоторые компании уже начали исследования в области новых материалов для более эффективных батарей, таких как твердотельные батареи, литий-сернистые батареи и другие инновационные технологии [3].

Перспективы развития технологии батарей для электромобилей. Будущее развитие батарей для электромобилей обещает значительные прорывы в области энергоемкости, зарядки, безопасности и устойчивости. Ожидается, что твердотельные батареи станут одной из ключевых технологий следующего десятилетия, предоставляя большую энергоемкость, более быструю зарядку и более высокий уровень безопасности [4]. Кроме того, исследования в области литий-сернистых и литий-воздушных батарей также могут привести к созданию батарей с еще более высокой энергоемкостью, что значительно расширит возможности применения электромобилей.

Влияние на электромобильную индустрию. Развитие более эффективных и экологически безопасных батарей будет иметь значительное влияние на электромобильную индустрию. Ожидается, что повышенная энергоемкость батарей увеличит пробег электромобилей и сделает их более конкурентоспособными по сравнению с традиционными автомобилями с двигателями внутреннего сгорания [5]. Кроме того, более эффективные батареи снизят стоимость производства электромобилей, что способствует более широкому принятию данной технологии потребителями.

Заключение. Развитие технологии батарей для электромобилей играет важную роль в переходе к более устойчивой и экологически чистой автомобильной индустрии [6]. Ожидается, что инновационные технологии, такие как твердотельные батареи и другие новые типы батарей, приведут к увеличению пробега, улучшению безопасности и снижению эксплуатационных расходов электромобилей, что в конечном итоге

сделает их более привлекательными для потребителей и способствует ускоренному развитию рынка электромобилей.

### Источники

1. Система детектирования неисправности аккумулятора и способ детектирования неисправности аккумулятора для аккумуляторного блока // Вестник КГЭУ URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37460095> (дата обращения: 29.10.2023).

2. Особенности эксплуатации накопителя энергии на базе многоэлементной литий - ионной аккумуляторной батареи // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ URL: <https://www.energyret.ru/jour/article/view/460/412> (дата обращения: 29.10.2023).

3. Аккумуляторные батареи в электромобиле – емкость, зарядка, потенциал (дальность хода). URL: <https://www.insidecarelectronics.com/akkumulyatornie-batarei-v-elektromobile-emkost-zaryadka-potencial-dalnost-hoda> (дата обращения 20.10.2023).

4. Скундин А.М. Современное состояние и перспективы развития исследований литиевых аккумуляторов / А.М. Скундин, О.Н. Ефимов, О.В. Ярмоленко // Успехи химии. - 2012. - Т. 71. - №4. - С. 378-398.

5. Автомобили: Эксплуатационные свойства: Учебник для студ. высш. учеб. заведений / Владимир Константинович Вахламов. // - М.: Издательский центр «Академия», 2005. — 240 с.

6. А.П. Кашкаров Аккумуляторы. Справочник / А.П. Кашкаров. // - М.: РадиоСофт, 2014. - 192 с.

## УЛУЧШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГЕНЕРАТОРОВ ПУТЕМ ИЗМЕНЕНИЯ ГЕОМЕТРИИ ПАЗА ПОД ОБМОТКУ РОТОРА

Алмаз Илдарович Саттаров

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Артем Юрьевич Кубарев

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

sattarovalmaz130881@mail.ru

**Аннотация.** В статье предложен ряд конкретных вариантов модернизации элементов конструкции ротора рассматриваемого турбогенератора, предполагающих повышение эффективности данного генератора и снижение трудоёмкости при изготовлении узла его ротора.

**Ключевые слова:** турбогенератор, ротор, геометрия обмотки, модернизация, каналы охлаждения.

## IMPROVING THE ENERGY PARAMETERS OF GENERATORS BY CHANGING THE GEOMETRY OF THE GROOVE FOR THE ROTOR WINDING

Almaz I. Sattarov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

sattarovalmaz130881@mail.ru

**Abstract.** The article offers a number of specific options for the modernization of the rotor design elements of the turbine generator in question, suggesting an increase in the efficiency of this generator and a reduction in labor intensity in the manufacture of its rotor assembly.

**Keywords:** turbo generator, rotor, winding geometry, modernization, cooling channels.

В последние годы научная мысль направлена на поиск возможных вариантов усовершенствования конструкции ротора турбогенератора с учетом современных тенденций проектирования роторов, технологической возможности их осуществления и применяемых в настоящее время материалов. Анализ ряда работ [1-3] показал возможность модернизации

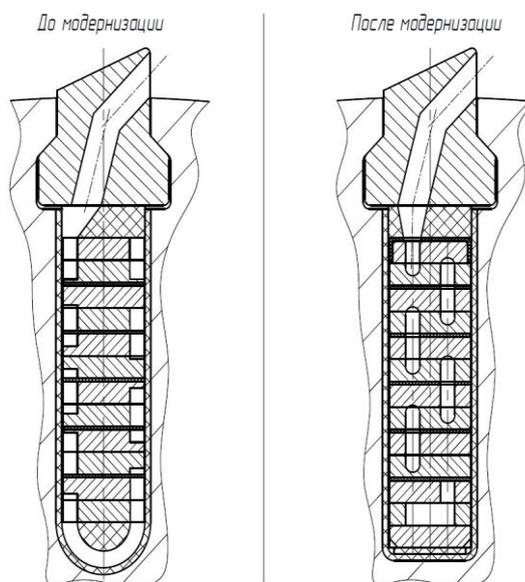
конструкции ротора генератора путем изменения геометрии дна паза обмотки ротора с круглого на прямоугольный.

Так в работе [4] предлагается заменить лежащую на дне паза прокладку на медный проводник, поверхность которого будет являться местом для разворота водорода. Таким образом, устранится потребность в дорогостоящих, трудоёмких в изготовлении изоляционных прокладках, а уложенная на дно паза медь повысит коэффициент заполнения паза ротора голый медью КМ2, который отражает увеличение сечения активной меди ротора, участвующей в создании электромагнитного поля, что в свою очередь приведёт к некоторому увеличению коэффициента полезного действия машины.

Также можно отметить, что при отпадении надобности изготавливать многочисленные изоляционные прокладки для укладки на дно паза конструкция ротора упрощается, а значит, становится надёжнее. Кроме того, снижается трудоёмкость изготовления ротора [5].

Для фрезерования в бочке ротора паза с прямоугольным дном требуется фреза с прямым зубцом, которая дешевле и долговечнее фрезы со скошенным зубцом. Изоляционная пазовая коробка с прямоугольным дном по сравнению с исходной проще в изготовлении.

Для сравнения устаревшей и модернизированной конструкций обмоточного паза представим их выкладки на рисунке.



Выкладки паза обмотки ротора до и после модернизации

Использование внутренних каналов охлаждения даёт следующие преимущества по сравнению с использованием боковых каналов:

Увеличивается площадь меди, охлаждаемая газом. Как следствие, появляется возможность при необходимости повысить мощность турбогенератора на 10% за счёт повышения интенсивности охлаждения

Упрощается геометрия витков в пазу для визуального представления на чертежах в связи с тем, что заранее известно положение отверстий в каждом проводнике. Как следствие, гарантируется получение при изготовлении полукатушек требуемого размера газовых каналов в меди. Данный пункт является преимуществом для отдела проектирования турбогенераторов при создании конструкторской документации.

Внутренние каналы охлаждения в проводниках активной меди представлены на рисунке в выкладке паза обмотки ротора после модернизации. Параллельные внутренние каналы в активной меди теперь соединяются через большие продольные пазы, которые фрезеруются в предпоследнем от дна обмоточного паза проводнике.

### **Источники**

1 Вьюнова Е.В., Гнездилова О.А. Исследование эффективности модернизации моделей турбогенераторов // Теория и практика современной науки. 2016. №12-1 (18).

2. Коновалов Ю.В., Дудко А.А. Повышение эффективности генерирующих комплексов тепловых электростанций // Вестник ИрГТУ. 2015. №12 (107).

3. Минко А.Н., Шевченко В.В. Совершенствование теплообменных систем турбогенераторов с целью повышения их эффективности // Проблемы региональной энергетики. 2019. №1 (39).

4. Коновалов Ю.В. Повышение эффективности генерирующих комплексов тепловых электростанций // Вестник ИрГТУ. 2015. №12 (107).

5. Афанасенко Александр Семенович, Дубицкий Михаил Александрович, Ильин Дмитрий Васильевич Эффективность основного оборудования электроэнергетических систем // Вестник ИрГТУ. 2014. №7 (90).

## ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПАРКА СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

Гузель Атласовна Саттарова

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Артем Юрьевич Кубарев

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

guzel198505@mail.ru

**Аннотация.** В работе показан способ сокращения потерь электроэнергии в системе электроснабжения за счёт модернизации парка силовых трансформаторов. Рассмотрена зависимость КПД силового трансформатора от нагрузки. Проанализированы принципы работы силовых трансформаторов с сердечником из аморфной стали.

**Ключевые слова:** силовой трансформатор, потери холостого хода, сердечник из аморфной стали, коэффициент полезного действия, гистерезис.

## IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF THE FLEET OF POWER TRANSFORMERS OF POWER PLANTS

Guzel A. Sattarova

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

guzel198505@mail.ru

**Abstract.** The paper shows a way to reduce electricity losses in the power supply system by modernizing the fleet of power transformers. The dependence of the efficiency of a power transformer on the load is considered. The principles of operation of power transformers with an amorphous steel core are analyzed.

**Keywords:** power transformer, no-load losses, amorphous steel core, efficiency, hysteresis.

Распределительные трансформаторы являются достаточно экономичными устройствами, часто работающими с полной нагрузкой и КПД до 99%. Однако, в процессе их использования возникают значительные электрические потери, которые связаны с несколькими факторами [1]. В первую очередь это потери энергии на нагрев обмоток трансформатора, причиной которых является сопротивление проводов и протекающий через него ток. Второй тип потерь – это потери на вихревые

токи, возникающие вследствие того, что переменный ток протекает через провод и создает меняющееся магнитное поле вокруг себя. Это приводит к тому, что в окружающих металлических деталях возникают вихревые токи и, соответственно, потери энергии. Третий тип потерь связан с перемагничиванием сердечников трансформатора.

В работе [2] отмечается, что эффективность трансформатора зависит от материала магнитопровода, размеров и формы сердечника, а также от частоты перемагничивания. Для уменьшения потерь на гистерезис и вихревые токи следует выбирать магнитопровод с минимальными значениями этих параметров, а также оптимизировать конструкцию трансформатора для снижения частоты перемагничивания сердечника.

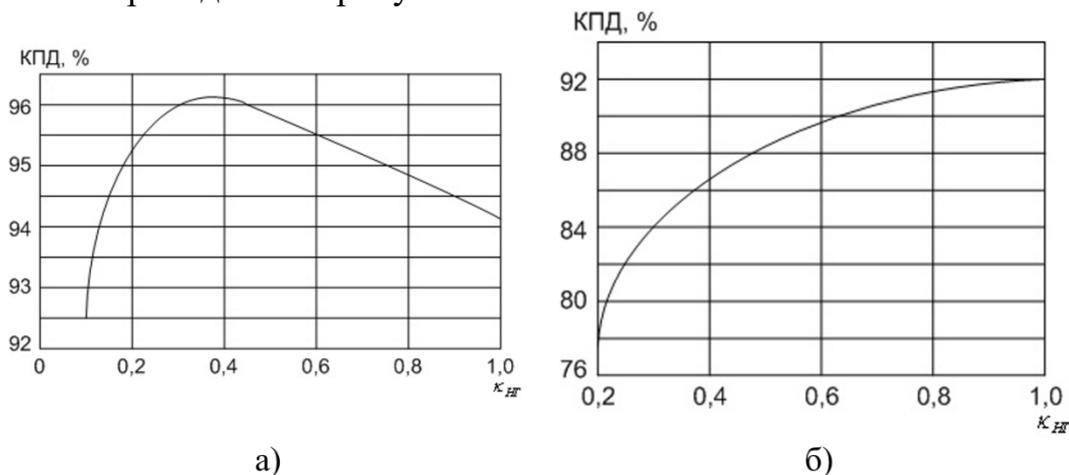
Использование аморфных сталей (АС) является одним из наиболее эффективных способов снижения потерь холостого хода (ХХ) в распределительных трансформаторах [3]. Эти материалы обладают высокими электромагнитными свойствами, что позволяет снизить потери ХХ приблизительно в четыре раза по сравнению с использованием лучшей холоднокатаной стали (ХКС). Применение аморфных сталей особенно актуально для распределительных трансформаторов мощностью 25-100 кВА, работающих на частоте 60 Гц.

Аморфные сердечники обладают рядом недостатков, таких как более низкая допустимая рабочая индукция (менее 1,45 Тл по сравнению с 1,7 Тл для холоднокатаной стали), более низкий коэффициент заполнения сечения (0,8-0,85 по сравнению с ХКС), большая толщина стали (25-30 мкм) и более высокая твердость, что усложняет процесс сборки магнитопровода.

Магнитные потери в трансформаторе с сердечником из аморфного сплава значительно меньше, примерно в шесть раз, по сравнению с магнитными потерями в трансформаторе, сделанном из электротехнической стали (ЭТС). Это позволило достичь более высокого значения КПД в трансформаторах на основе аморфного сплава (КПД=94,13%) по сравнению с КПД трансформаторов на основе ЭТС (КПД=90,09%) [5].

Значения магнитных потерь в сердечнике для трансформатора с использованием электротехнической стали приближены к потерям в обмотках, что делает полученное значение КПД (90,09%) близким к максимально достижимому значению. Однако в случае использования аморфной стали разница в потерях между сердечником и обмотками значительно выше, и полученное значение КПД при этом не является

максимально возможным. Зависимости  $\text{КПД} = f(K_{\text{нГ}})$  для обоих вариантов приведены на рисунке:



Зависимости:  $\text{КПД} = f(K_{\text{нГ}})$  а) для трансформатора из АС; б) для трансформатора с сердечником из электротехнической стали [4]

Графики показывают, что трансформатор с сердечником из аморфной стали (АС) имеет более высокое ожидаемое значение КПД при номинальной нагрузке во вторичной цепи по сравнению с трансформатором с сердечником из электротехнической стали (ЭТС), однако это значение не является максимальным. Таким образом, использование трансформатора на основе АС более целесообразно в условиях, когда нагрузка на трансформатор часто бывает ниже номинальной.

### Источники

1 Костинский С.С. Обзор состояния отрасли трансформаторного производства и тенденций развития конструкции силовых трансформаторов. // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2018. № 20 (1-2). С. 14-32.

2. Грачева Е.И. и др. Влияние нагрузочной способности силовых трансформаторов на их эксплуатационные характеристики. // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2017. № 19 (7-8). С. 71-77.

3. Михеев Г.М., Ефремов Л.Г., Иванов Д.Е. Способы повышения энергоэффективности силовых трансформаторов // Вестник Чувашского университета. 2017. № 3. С. 212-218.

4. Проничев А.В. и др. К вопросу об эффективности применения аморфной стали в магнитопроводах инновационных силовых трансформаторов // Экспозиция Нефть Газ. 2020. №6 (79).

5. Яковлев А.С. и др. Инновации в энергетической подсистеме предприятия // Форум молодых ученых. 2016. №4.

УДК 628.9:004.896

## АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СПОСОБОВ АВТОМАТИЗАЦИИ ОСВЕЩЕНИЯ МЕСТ ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ В МНОГОКВАРТИРНОМ ДОМЕ

Булат Ришатович Шаяхметов

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Леонид Валерьевич Фетисов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

bschayahmetov@yandex.ru

**Аннотация.** В данной статье рассматривается классификация способов автоматизации освещения в местах общего пользования многоквартирного дома и проводится их анализ. В ходе рассмотрения существующих способов выбран наиболее целесообразный.

**Ключевые слова:** автоматизация, освещение, многоквартирный дом, места общего пользования, способы, кнопочный пост, датчик движения и освещенности.

## ANALYSIS OF EXISTING AUTOMATION TOOLS FOR LIGHTING COMMON AREAS IN AN APARTMENT BUILDING

Bulat R. Shayakhmetov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

bschayahmetov@yandex.ru

**Abstract.** This article discusses the classification of lighting automation methods in public areas of an apartment building and analyzes them. During the consideration of existing methods, the most appropriate one was selected.

**Keywords:** automation, lighting, apartment building, common areas, methods, push-button post, motion and light sensor.

При наступлении темного времени суток в многоквартирном доме (МКД) возникает потребность в освещении мест общего пользования

(МОП). Согласно 6 главы 36 статьи ЖК РФ в перечень МОП входят: лестницы и лестничные площадки, лифты и лифтовые зоны, коридоры, техническое подполье, крыши и чердаки, несущие и ненесущие конструкции и другие [1].

Обычно для освещения использовались лампы мощностью 40-60 Вт. На сегодняшний день такое решение является не целесообразным и не безопасным, поскольку в большинстве случаев лампы в подъездах применялись без плафонов, что влекло за собой плачевные последствия [2]. С целью повышения уровня безопасности, обеспечения комфорта жителей и еще ряда причин в МОП внедряют различные автоматизированные системы освещения. Существует множество способов автоматизации освещения, что обусловлено целым списком факторов: географическим расположением, климатическими условиями, этажностью здания, особенностью оформления и другими показателями [3]. Обычно выделяют три основных способа автоматизации освещения МОП МКД.

Первым можно рассмотреть автоматическое освещение, осуществляемое при помощи кнопочных постов. Управление освещением при данном способе имеет два исполнения:

- первое предполагает нахождение кнопочного поста на входе в подъезд и на лестничной площадке каждого этажа. При входе в дом человек при помощи кнопки производит включение освещения во всех помещениях подъезда и отключение перед входом в квартиру. Также в качестве альтернативы кнопкам существует возможность использовать проходные выключатели или переключатели около каждой двери в квартиру.

- второе исполнение заключается в отключении освещения только на лестничном пролете. При таком варианте управление освещением происходит от отдельных постов, расположенных на каждом этаже.

Следующий способ автоматизации освещения основывается на применении датчиков освещенности или фотореле. Они устанавливаются в наиболее темном месте подъезда и приводятся в действие при достижении необходимого уровня освещенности, продолжая работать до начала утренних сумерек. Установка такого датчика обусловлено хорошим освещением подъездного помещения за счет естественной инсоляции.

Большую популярность набирает способ, базирующийся на использовании датчиков движения. По одному такому датчику размещают на каждом этаже многоквартирного дома и еще один располагают на входе в подъезд. При возникновении движения в подъезде происходит срабатывание данного реле, которое подает сигнал на включение

осветительных приборов, находящихся в холле первого этажа. На каждом датчике выставляется определенное время задержки для того, чтобы комфортно и безопасно переместиться с одного этажа на другой. Если в доме предусмотрен лифт, то в этом случае дополнительно освещается площадка перед ним [4, 5, 6].

При рассмотрении представленных выше способов автоматизации освещения выявлены следующие преимущества и недостатки: управление освещением при помощи кнопочных постов имеет место быть лишь в малоэтажных зданиях и для его работы необходим прямой контакт человека, а среди плюсов можно выделить малые затраты на закупку и монтаж, и простоту изготовления конструкции; второй способ отличается сложным устройством, и требует больших затрат энергии; управление освещением датчиками движения характеризуется значительной экономией энергопотребления и отсутствием постоянного контроля со стороны человека, однако может иметь сложную структуру при наличии лифта.

Проанализировав данные, можно прийти к такому выводу, что последний способ является наиболее оптимальным и предпочтительным с точки зрения автоматизации освещения. Однако в настоящее время все чаще прибегают к комбинации представленных способов с целью обеспечить комфортное нахождение жителей в МОП МКД.

### **Источники**

1. Жилищный кодекс Российской Федерации [Электронный ресурс]. <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=454754#h3267> (дата обращения: 29.10.23).

2. Виды осветительных приборов [Электронный ресурс]. <https://18podyezdov.ru/vidy-osvetitelnyh-priborov/> (дата обращения: 30.10.23).

3. Автоматизация освещения ЖКХ с датчиками для нашего комфорта [Электронный ресурс]. <https://datchikidoma.ru/avtomatika-inzhenernyh-sistem/avtomatizatsiya-osveshheniya-zhkh-dlya-vashego-komforta> (дата обращения: 30.10.23).

4. Шурхаленко П.Г. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЯ ЗДАНИЙ // Теория и практика современной науки. 2019. №6 (48). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistemy-avtomatizirovannogo-upravleniya-osvescheniya-zdaniy> (дата обращения: 31.10.2023).

5. Шаходжаев М.А. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЯ // Экономика и социум. 2022. №6-2 (97). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizirovannaya-sistema-upravleniya-osvescheniya> (дата обращения: 31.10.2023).

6. Освещение в подъезде: требования, правила и автоматизация с датчиком движения [Электронный ресурс]. <https://stroyday.ru/remont-kvartiry/elektroprivory-i-osveshhenie/osveshhenie-v-podezde.html> (дата обращения: 31.10.23).

## СЕКЦИЯ 8. БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА В ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СРЕДЕ

УДК 331.45:621.311.24

### ОСОБЕННОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА НА КОМБИНИРОВАННОЙ ЭНЕРГОУСТАНОВКЕ ВЕТРЯНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И СОЛНЕЧНЫХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Анна Николаевна Богданова

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Юлия Аркадьевна Аверьянова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

bogdaannovaa@gmail.com

**Аннотация.** Данная статья исследует ключевые аспекты обеспечения безопасности труда на комбинированных энергоустановках ветряных электростанций и солнечных фотоэлектрических установок. Представленный анализ способствует лучшему пониманию и разработке эффективных стратегий обеспечения безопасности для работников, задействованных в комбинированных энергоустановках, способствуя устойчивому и безопасному развитию возобновляемой энергетики.

**Ключевые слова:** комбинированные энергоустановки, ветряные электростанции, солнечные фотоэлектрические установки, безопасность, оборудование, риски.

### SPECIFICS OF ENSURING OCCUPATIONAL SAFETY AT A COMBINED WIND POWER PLANT AND SOLAR PHOTOVOLTAIC POWER PLANT

Anna N. Bogdanova

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

bogdaannovaa@gmail.com

**Abstract.** This article explores key aspects of occupational safety in combined wind farm and solar PV installations. The analysis presented contributes to a better understanding and development of effective safety strategies for workers involved in combined power plants, contributing to the sustainable and safe development of renewable energy.

**Keywords:** combined power plants, wind farms, solar photovoltaic plants, safety, equipment, risks.

Современные требования к устойчивому развитию и экологической безопасности подчеркивают важность использования возобновляемых источников энергии, таких как энергия ветра и солнечная энергия. Комбинированные энергоустановки, объединяющие ветряные электростанции (ВЭС) и солнечные фотоэлектрические установки (СФЭУ), предоставляют уникальную возможность максимально эффективно использовать эти ресурсы. Обеспечение безопасности труда на комбинированных энергоустановках имеет ряд уникальных особенностей по сравнению с обычными электростанциями.

В комбинированных установках энергия производится от переменных источников - ветра и солнечного света. Это означает, что рабочие должны быть обучены работе с переменными условиями, такими как изменения ветровой скорости и солнечной активности. Статистические данные показывают, что 35% несчастных случаев на комбинированных энергоустановках связаны с переменными погодными условиями [1].

Разработка системы предупреждения о резких изменениях погоды на основе метеорологических данных и их интеграция в процедуры безопасности может уменьшить риск несчастных случаев. Это включает в себя расчеты скорости и направления ветра и определение безопасных пределов для работы на высоте.

Ветряные установки часто устанавливаются на больших высотах, а солнечные панели могут располагаться на больших площадях. Это создает дополнительные трудности при обслуживании и ремонте оборудования, требуя от работников специфических навыков и знаний безопасности для работы на высоте и в ограниченном пространстве.

Примерно 15% несчастных случаев на комбинированных энергоустановках связаны с комбинированными рисками [2]. Обе технологии могут быть применены на одной установке. Следовательно, рабочие должны быть знакомы с уникальными рисками, связанными как с ветряными установками (например, вращающиеся лопасти), так и с солнечными панелями (например, риск ожогов от солнечного излучения и высоких температур).

Техническое обслуживание и ремонт на комбинированных установках требуют специфических навыков и знаний, чтобы эффективно обслуживать и восстанавливать работоспособность оборудования. Персонал должен быть обучен безопасным методам работы с различными типами оборудования - как ветроэнергетическими установками, так и солнечными панелями. Разработка алгоритмов обслуживания, основанных

на данных о прошлых инцидентах и статистике, может помочь определить оптимальные временные интервалы между обслуживанием различных компонентов установки.

Комбинированные установки обычно имеют сложные электрические системы, включая преобразователи, инверторы и сетевые соединения. Персонал должен быть обучен безопасным методам работы с электрооборудованием, включая процедуры блокировки и тегирования, чтобы избежать электрических ударов [3]. Регулярные проверки электрической оборудования и проведение испытаний на электрическую безопасность также необходимы для минимизации рисков.

Современные комбинированные энергоустановки часто включают в себя системы мониторинга и управления [4]. Рабочие должны быть обучены эффективному использованию этих систем для мониторинга производительности, обнаружения проблем в реальном времени, оптимизации нагрузки на оборудование и увеличения его срока службы. Анализ данных о производительности, технических характеристиках и энергопотреблении может помочь определить оптимальные режимы работы оборудования. Системы мониторинга производства, такие как SCADA, используются для непрерывного контроля за производственными параметрами [5].

Комбинированные энергоустановки интегрируют различные источники энергии, что требует совместных операций и четко согласованных процедур между персоналом, ответственным за ветроустановки и солнечные панели. Анализ совместных операций исходя из предыдущих опытов и статистических данных позволяет определить оптимальные схемы переключения между источниками энергии. Такие расчеты учитывают эффективность использования каждого источника в различных погодных условиях, что обеспечивает стабильность поставки энергии.

Все эти особенности подчеркивают необходимость специализированного обучения и тренировок для персонала, работающего на комбинированных энергоустановках ВЭС и СФЭУ. Обеспечение безопасности в данном случае требует высокой квалификации, адаптации к специфическим условиям и непрерывного обновления навыков.

## **Источники**

1. Mukund R. Patel. Wind and Solar Power Systems: Design, Analysis, and Operation // 2nd ed. 2006. P. 264.

2. Новокрещенов О.В., Отмахов Г.С., Хуаде М.Ю. Комбинированные системы электроснабжения на возобновляемых источниках энергии // Научный журнал КубГАУ. 2017. №132. С. 786-797.

3. Increasing Worker Safety in the Renewable Energy Industry [Электронный ресурс]. <https://eponline.com/articles/2021/01/06/increasing-worker-safety-in-the-renewable-energy-industry.aspx> (дата обращения: 26.10.2023).

4. Кузнецов П.Н., Чебоксаров В.В., Якимович Б.А. Гибридные ветро-солнечные энергетические установки // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2020. Т. 23. № 1. С. 45-53.

5. Wind Power Plants Control Systems Based on SCADA System [Электронный ресурс]. [https://faculty.ksu.edu.sa/sites/default/files/wind\\_power\\_plants\\_control\\_systems\\_based\\_on\\_scada\\_system.pdf](https://faculty.ksu.edu.sa/sites/default/files/wind_power_plants_control_systems_based_on_scada_system.pdf) (дата обращения: 26.10.2023).

УДК 621.311.24

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕР БЕЗОПАСНОСТИ И ПРАКТИК ЭКСПЛУАТАЦИИ ВЕТРОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ: ОБЗОР И РЕКОМЕНДАЦИИ

Маргарита Сергеевна Богданова<sup>1</sup>, Рафаэль Рустемович Шаяхметов<sup>2</sup>

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Лейсан Раисовна Гайнуллина

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>rita.bogdanova.2004@mail.ru, <sup>2</sup>raf200400ael@gmail.com

**Аннотация.** Цель данной работы – сравнительный анализ двух основных типов ветровых электроустановок: горизонтальных и вертикальных. В статье проводится анализ рисков и угроз, связанных с безопасностью человека во время эксплуатации обоих типов ветровых установок, с выявлением более безопасного типа установки. Также приведены рекомендации по улучшению мер безопасности.

**Ключевые слова:** ветровые электростанции, горизонтальные ветроэлектроустановки, вертикальные ветроэлектроустановки, безопасность, риски, обслуживание.

# COMPARATIVE ANALYSIS OF SAFETY MEASURES AND PRACTICES OF OPERATION OF WIND POWER PLANTS: OVERVIEW AND RECOMMENDATIONS

Margarita S. Bogdanova<sup>1</sup>, Rafael R. Shaiakhmetov<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>rita.bogdanova.2004@mail.ru, <sup>2</sup>raf200400ael@gmail.com

**Abstract.** The purpose of this work is a comparative analysis of two main types of wind power plants: horizontal and vertical. The article analyzes the risks and threats associated with human safety during the operation of both types of wind turbines, with the identification of a safer type of installation. Recommendations for improving security measures are also provided.

**Keywords:** wind power plants, horizontal wind turbines, vertical wind turbines, safety, risks, maintenance.

На ветровых электрических станциях, так же, как и на других энергетических объектах имеют место производственные риски, зависящие от типа и мощности ветроустановки, режимов работы, погодных условий, «человеческого фактора» и др.

Цель нашего исследования – анализ рисков на ветровых электростанциях с горизонтальными и вертикальными типами ветроустановок. Горизонтальные ветроустановки являются наиболее распространенным типом. В этом случае ротор ветряной турбины установлен горизонтально, параллельно земле. Такие установки могут иметь разные конструкции лопастей и башен, их мощность может варьироваться от нескольких сотен киловатт до нескольких мегаватт. В вертикальных ветроустановках ротор установлен вертикально, перпендикулярно земле. Эти турбины могут иметь менее выдающуюся производительность по сравнению с горизонтальными, но они обладают некоторыми преимуществами, такими как возможность установки ближе друг к другу и более простую систему управления [1].

Анализ рисков и угроз для безопасности человека во время эксплуатации ветровых электростанций включает в себя рассмотрение различных аспектов, связанных с проектированием, строительством, эксплуатацией и обслуживанием этих установок.

В соответствии с Правилами безопасности при эксплуатации и техническом обслуживании ветроэлектростанции эти процессы должны

быть разработаны с учетом обеспечения безопасности обслуживающего персонала от:

- поражения электрическим током;
- воздействия электрических полей;
- травмирования вращающимися и подвижными частями;
- травмирования при выполнении верхолазных работ и работ на высоте;
- травмирования при пожарах и взрывах; ожогов в результате соприкосновения с нагретыми поверхностями;
- воздействия шума и вибрации [2].

Риски получения травм рабочим при обслуживании вертикальных ветроустановок:

1. Вращающиеся детали. Вертикальные ветряные турбины могут иметь большие вертикальные роторы, которые вращаются на высоких скоростях. Работники могут быть подвергнуты риску травм в случае неправильного обслуживания или ремонта.

2. Работа в ограниченном пространстве: Внутренние компоненты ВВЭС могут предоставлять ограниченное пространство для работы. Это может создавать риск травм, таких как смятие, ушибы или защемления. Работники должны быть проштудированы в процедурах безопасности и использовании соответствующего снаряжения.

Риски получения травм рабочим при обслуживании горизонтальных ветроустановок:

1. Лопасты. Горизонтальные ветряные турбины имеют длинные лопасти, которые могут подвергаться износу, разрывам или разрушениям. Это может вызвать опасность для окружающей среды и человека.

2. Шум и вибрация. Эксплуатация горизонтальных ветровых установок может создавать шум и вибрацию, что может влиять на окружающую среду и здоровье работников [5].

Использование вертикальных ветроустановок представляет собой более безопасную и удобную альтернативу по сравнению с горизонтальными установками. Основываясь на рассмотренных аспектах безопасности, можно сказать, что вертикальные ветроустановки имеют несколько преимуществ перед горизонтальными: меньший риск падений, доступное обслуживание.

Для улучшения мер безопасности эксплуатации как горизонтальных, так и вертикальных ветроустановок, следует рассмотреть следующие рекомендации: обучение и тренинг персонала, использование страховочного оборудования, стандарты безопасности, системы

безопасности, защита от поражения электрическим током в соответствии с ГОСТ 12.1.019, регулярные инспекции и обслуживание, мониторинг здоровья работников, системы аварийного уведомления [4].

Эти рекомендации помогут повысить уровень безопасности при эксплуатации горизонтальных и вертикальных ветровых установок и снизить риски для работников.

Из проведенного анализа видно, что как горизонтальные установки, так и вертикальные имеют свои особенности и риски в плане безопасности эксплуатации. Тем не менее, можно сделать вывод о том, что вертикальные ветроустановки представляют более безопасную альтернативу по сравнению с горизонтальными с точки зрения рисков, связанных с высотой и доступностью для обслуживания [3].

### **Источники**

1. Тлеуов А.Х., Тлеуова А.А., Пястолова И.А. Основы использования возобновляемых источников энергии / Тлеуов А.Х., Тлеуова А.А., Пястолова И.А. Астана: Казахский агротехнический университет имени Сакена Сейфуллина, 2018. 271 с.

2. Безруких П.П. Ветроэнергетика: моногр. / П.П. Безруких. М.: Энергия, 2010. 665 с.

3. Алексеев Б.А. Ветроэнергетика мира и ее проблемы // Энергетика за рубежом. 2007. № 5. С.31-47.

4. Официальный сайт Российской ассоциации ветроэнергетики [Электронный ресурс]. <https://www.rawi.ru/> (дата обращения: 10.10.23).

5. Пигилова Р.Н., Малышева Т.В., Аверьянова Ю.А., Филиппова Ф.М. Статистический анализ аварийности на производстве в результате некорректного функционирования системы энергообеспечения предприятия // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2023. Т. 25, № 2(112). С. 27-33. doi 10.37313/1990-5378-2023-25-2-27-33.

## ЗАВИСИМОСТЬ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЧЕЛОВЕКА ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ В ПОМЕЩЕНИИ

Дина Ленаровна Габдракипова<sup>1</sup>, Гульшат Фанитовна Нуртдинова<sup>2</sup>

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Лейсан Раисовна Гайнуллина

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>g.dina1703@gmail.ru, <sup>2</sup>gulshat15.com@icloud.com

**Аннотация.** В ходе работы были проведены экспериментальные исследования по влиянию температуры в помещении на умственную работу человека, как на показатель работоспособности.

**Ключевые слова:** температурный режим, концентрация, производительность, работоспособность человека.

## DEPENDENCE OF A PERSON'S WORKING CAPACITY ON THE TEMPERATURE IN THE ROOM

Dina L. Gabdrakipova<sup>1</sup>, Gulshat F. Nurtdinova<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>g.dina1703@gmail.ru, <sup>2</sup>gulshat15.com@icloud.com

**Abstract.** In the course of the work, experimental studies were conducted on the effect of indoor temperature on a person's mental work as an indicator of working capacity.

**Keywords:** temperature regime, concentration, productivity, human performance.

Температура является одним из трех основных параметров микроклимата, которые оказывают влияние на работоспособность человека. Оптимальная температура окружающей среды играет важную роль в поддержании комфортных условий для выполнения различных задач и активности [1].

Когда мы находимся в окружении слишком высоких температур, наш организм начинает регулировать свою температуру, чтобы избежать перегрева. Это может приводить к ухудшению работоспособности и концентрации, поскольку увеличивается потребность организма в отводе лишнего тепла. Ощущение жары также может вызывать усталость и сонливость, затрудняя выполнение задач [5].

С другой стороны, когда температура слишком низкая, например, в холодном помещении или на улице зимой, это также может отрицательно повлиять на работоспособность. Низкие температуры требуют больших энергетических затрат организма на поддержание нормальной температуры тела. Это может приводить к утомляемости, ограничению движений и снижению концентрации [2].

Оптимальная температура окружающей среды особенно важна в офисных и производственных помещениях, в которых работники проводят по 6–8 часов. Поддержание комфортных условий, например, с использованием системы кондиционирования воздуха или обогревателей, может помочь оптимизировать работоспособность и производительность сотрудников [4].

С целью исследования влияния температуры на работоспособность человека (при работе по I категории) проведены ее измерения по методике Шульте-Горбова, также известная как "Красно-черная таблица", которая является психологическим тестом, который измеряет внимание, скорость обработки информации и реакцию человека. Данный тест был проведен с тремя испытуемыми в контролируемых условиях при изменении температуры в помещении. Результаты исследования приведены на рис. 1-3.

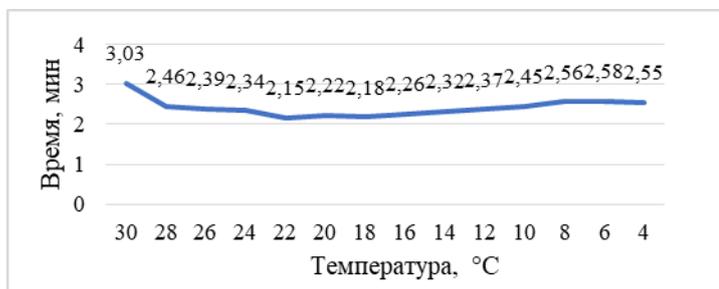


Рис 1. Зависимость работоспособности 1-го участника от температуры в помещении

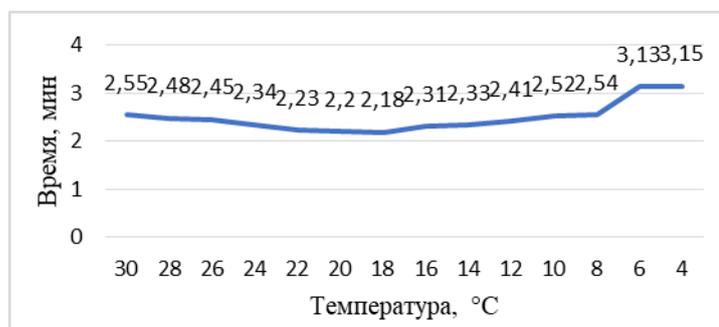


Рис 2. Зависимость работоспособности 2-го участника от температуры в помещении

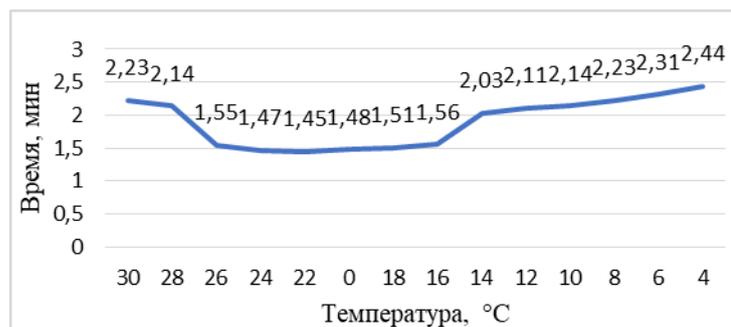


Рис 3. Зависимость работоспособности 3-го участника от температуры в помещении

В ходе работы мы пришли к следующим выводам: увеличение или снижение температуры влияет на скорость реакции человека, концентрацию и внимание, количество допущенных ошибок и точность выполнения заданий. Высокая температура может снизить данные факторы из-за возможного дискомфорта или физической утомляемости, сонливости и усталости, что может отразиться на способности сосредоточиться и сконцентрироваться на поставленных задачах. Низкая температура также замедляет реакцию из-за ощущения холода и сужения сосудов, а также возможной дрожи рук [3].

Помимо этого, было выяснено, что оптимальная температура окружающей среды, при которой работоспособность человека (для I категории) достигает пика, находится в диапазоне от 20 до 24 °C.

### Источники

1. Влияние климатических условий на организм человека [Электронный ресурс].

<https://www.vvmr.ru/upload/iblock/313/3138da72702c47b6a528915f76a79860.pdf> (дата обращения: 25.10.2023).

2. Холодная среда и работа в условиях холода [Электронный ресурс].

<http://base.safework.ru/iloenc?print&nd=857100121&spack=110LogLength%3D0%26LogNumDoc%3D857000190%26listid%3D01000000100%26listpos%3D7%26lsz%3D10%26nd%3D857000190%26nh%3D1%26> (дата обращения: 25.10.2023).

3. Дерябина Т.Г., Корякина Л.А. Влияние температуры воздуха на работоспособность человека // Наука и инновации в современном обществе. 2016. 4(1). С. 42–45.

4. Морозова О.Н., Смирнова Е.А. Оценка влияния температуры окружающей среды на физическую работоспособность человека // Вестник

Волгоградского государственного медицинского университета. 2015. № 1. С. 51–55.

5. Ткаченко Л.М., Ющенко В.М. Влияние температуры окружающей среды на работоспособность человека // Журнал Сибирского федерального университета. 2014. № 12. С. 271–276.

УДК 628.83

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА И КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ВОЗДУХА В РАБОЧЕЙ СРЕДЕ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА**

Адель Илшатович Галимов

Науч. рук. канд. хим. наук, доц. Фарида Мизхатовна Филиппова  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
adel.galimov.001@mail.ru

**Аннотация.** В настоящей работе проведены исследования эффективности систем мониторинга и контроля качества воздуха в рабочей среде для обеспечения безопасности труда.

**Ключевые слова:** Воздух, мониторинг качества воздуха, контроль качества воздуха, рабочая среда, безопасность труда, здоровье работников.

## **THE EFFECTIVENESS OF MONITORING AND CONTROL SYSTEMS FOR AIR QUALITY IN THE WORKING ENVIRONMENT TO ENSURE OCCUPATIONAL SAFETY**

Adel I. Galimov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
adel.galimov.001@mail.ru

**Abstract.** In this work, a study was conducted on the effectiveness of Diptych systems and air quality control in the production environment to ensure occupational safety.

**Keywords:** Air, air quality monitoring, air quality control, working environment, occupational safety, worker health.

На сегодняшний день соблюдение норм производственной санитарии в промышленных помещениях является одной из важных задач, стоящих перед службами охраны труда предприятий. Особую

актуальность этот вопрос приобретает, когда речь идет о производственном процессе, который напрямую взаимосвязан с возможным выделением в воздушную среду загрязнителя, опасного для здоровья работников [1].

Современная производственная деятельность и рабочая среда требуют повышенного внимания к вопросам обеспечения безопасности труда и здоровья работников. Качество воздуха в рабочей зоне играет ключевую роль в обеспечении безопасности и комфорта для работников, и, следовательно, в росте производительности и снижении заболеваемости [2]. Одним из важнейших показателей, учитываемых при гигиенической классификации условий труда, является химический фактор, количественно оцениваемый содержанием вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Превышение предельно допустимых концентраций может быть причиной легких форм профессиональных заболеваний, а при значительном превышении данных норм вполне может создать и угрозу жизни работников. Причем такового эффекта можно ожидать даже при продолжительности действия длиной в одну рабочую смену [1]. Поэтому создание систематического контроля состояния воздушной среды в цехах с высокой опасностью выделения вредных веществ в воздушную среду рабочей зоны является одним из жизненно важных мероприятий по охране труда. С учетом этого, эффективные системы мониторинга и контроля качества воздуха становятся неотъемлемой частью современных производственных процессов и охраны окружающей среды.

Качество воздуха в рабочей среде тесно связано с рядом различных факторов. Эти факторы могут включать в свой состав и выбросы разнообразных загрязнителей [3]. Отсутствие адекватных систем мониторинга и контроля может привести к недооценке рисков для здоровья работников и, в конечном итоге, к возникновению серьезных проблем, связанных с заболеваниями и несчастными случаями на производстве.

В настоящей работе проведен анализ имеющихся систем мониторинга и контроля качества воздуха в рабочей среде на российских предприятиях. К числу таковых относятся: система экологического мониторинга окружающей среды АРСЭМ, система контроля атмосферы СКАТ, система контроля атмосферы промышленных объектов СКАПО и автоматизированная система контроля за экологическим состоянием воздушного бассейна ИнтерАналит.

Путем изучения и оценки эффективности таких систем, а также анализа влияния качества воздуха на здоровье и безопасность работников,

были представлены выводы о целесообразности использования их на производственных объектах [4, 5].

Это исследование представляет собой важный вклад в область безопасности труда и охраны окружающей среды в российском контексте, способствуя улучшению условий труда и уменьшению рисков для здоровья работников.

Внимание уделяется адаптации и применению методов мониторинга, учитывая климатические особенности и законодательные требования. Оценка эффективности методов позволяет определить их способность обнаруживать и предотвращать потенциальные опасности для работников.

### **Источники**

1. Якубович И.А., Первов К.Н. Мониторинг и автоматическое регулирование состояния воздушной среды производственного помещения // // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2017. – № 7. – С. 80-84.

2. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарные нормы рабочей зоны.

3. Колесникова И.А. и др. Анализ систем мониторинга качества воздуха в рабочей среде на предприятиях России // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. – 2019.

4. Потапов А. В., Быков П. М., Аверьянова Ю. А. Мониторинговые системы по контролю качества окружающей среды // Экологическая безопасность в техносферном пространстве: сборник материалов Третьей Международной научно-практической конференции преподавателей, молодых ученых и студентов, Екатеринбург, 09 июня 2020 года. – Екатеринбург: РГПУ, 2020. – С. 118-121.

5. Иванов П.С. и др. Методы и средства контроля качества воздуха в рабочей среде. // Москва: Издательство "Техника" – 2020.

## АНАЛИЗ ВРЕДНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФАКТОРОВ НА СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ

Регина Ильнарловна Закирова<sup>1</sup>, Камилла Ирековна Фаттахова<sup>2</sup>

Науч.рук.канд. техн. наук, доц. Лейсан Раисовна Гайнуллина

<sup>1,2</sup> ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup> rzakirova2004@gmail.com, <sup>2</sup> kamillafattakhova09@mail.ru

**Аннотация.** В ходе работы были проанализированы данные, которые показывают, какие именно вредные производственные факторы влияют во время процесса работы на солнечных электростанциях (СЭС).

**Ключевые слова:** солнечные электростанции, вредные факторы, радиации, излучение, сила звука, изменение экосистемы.

## ANALYSIS OF HARMFUL PRODUCTION FACTORS AT SOLAR POWER PLANTS

Regina I. Zakirova<sup>1</sup>, Kamilla I. Fattakhova<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup> rzakirova2004@gmail.com, <sup>2</sup> kamillafattakhova09@mail.ru

**Abstract.** In the course of the work, data have been analyzed that show what kind of harmful industrial factors affect during the process of working at solar power plants (SPP).

**Keywords:** solar power plants, harmful factors, radiation, radiation, radiation, sound power, ecosystem change.

Солнечные электростанции (СЭС) работают на возобновляемом источнике энергии; процесс эксплуатации СЭС является одним из самых экологически чистых. Однако, как и в любой производственной отрасли, в процессе работы на СЭС имеют место определенные вредные производственные факторы, которые могут повлиять на здоровье работников и окружающую среду [1].

Одной из особенностей работы на СЭС является наличие зеркал и объективов, которые собирают солнечное излучение и направляют его на солнечные панели. Это может создавать опасность для работников, так как они могут неправильно оценить интенсивность солнечного излучения и

получить солнечные ожоги. Нагрев солнечных панелей создает риск термических ожогов при нарушении техники безопасности.

При установке солнечных панелей существуют риски падения с высоты, вывихов, растяжения мышц и даже переломов.

Также на СЭС (рис.), как и на любой другой электрической станции имеются риски электротравм. Компоненты системы находятся под напряжением, выработка энергии солнечного света может привести к поражению электрическим током, ожогам и другим травмам [3]. Важно соблюдать меры предосторожности при подключении фотоэлектрических солнечных батарей и не работать с системой под нагрузкой. При необходимости проведения работ с элементами системы их следует обесточить и проверить отсутствие напряжения.

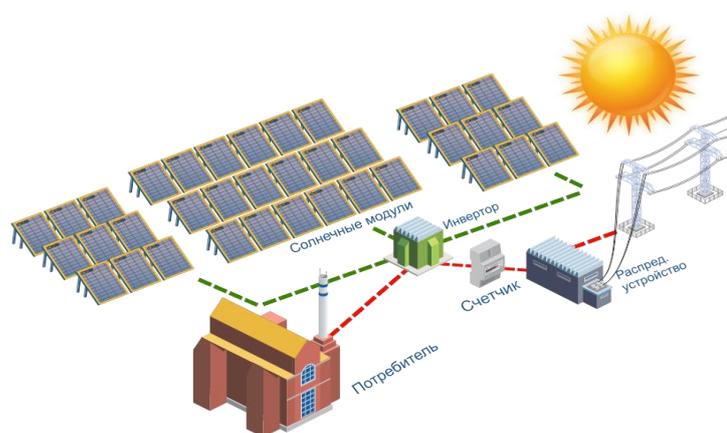


Схема солнечной электростанции

В работающей установке может возникнуть напряжение примерно 600–800 В, но система должна быть оснащена соответствующей молниезащитой, защитой от короткого замыкания и перегрузок, что исключает риск поражения электрическим током.

В соответствии с действующим законодательством фотоэлектрические микроустановки должны быть адаптированы к требованиям закона «О противопожарной защите». К тому же, в настоящее время разработаны негорючие панели, что делает их использование еще более безопасным.

Также следует отметить, что строительство и эксплуатация СЭС могут оказывать отрицательное воздействие на окружающую среду [2]. Например, это может привести к изменению экосистем и потере природных мест обитания для животных и растений. Производство солнечных панелей может потреблять большое количество воды и энергии, создавать выбросы парниковых газов, связанные с производством и

транспортировкой. Основной проблемой СЭС является утилизация солнечных панелей.

Для минимизации вредных производственных факторов на СЭС необходимо соблюдать все соответствующие нормы и правила безопасности, проводить регулярные проверки и обслуживание оборудования, а также использовать современные технологии, снижающие производственные риски и одновременно негативное влияние на окружающую среду [4].

### Источники

1. Солнечная энергия как экологический фактор или как СЭС влияет на окружающую среду [Электронный ресурс]. <https://altshop.in.ua/blog/solnechnaya-energiya-kak-ekologicheskij-faktor-ili-kak-ses-vliyaют-na-okruzhayuschuyu-sredu> (Дата обращения: 30.10.2023).

2. Пигилова Р.Н., Сабирова И.И. Охрана окружающей среды в энергетическом секторе. Сб.: Актуальные вопросы устойчивого развития регионов, отраслей, предприятий. Материалы международной научно-практической конференции. Тюмень. 2023. С. 333-335.

3. Как солнечные электростанции вредят экологии [Электронный ресурс]. <https://bu-bu-bu.ru/kak-solnechnye-jelektrostantsii-nanosjat-ushherb> (Дата обращения: 30.10.2023).

4. Солнечная энергетика и её экологические проблемы [Электронный ресурс]. <https://cyberleninka.ru/article/n/solnechnaya-energetika-i-ee-ekologicheskie-problemy> (Дата обращения: 30.10.2023).

УДК 331.1

## МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ И ПЕРЕДОВЫЕ ПРАКТИКИ В ОБЛАСТИ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА

Диля Радиковна Замдиханова<sup>1</sup>, Рушана Рафиловна Гиззатова<sup>2</sup>  
Науч. рук. канд. техн. наук, доцент Лейсан Раисовна Гайнуллина  
<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
<sup>1</sup>dilyazamdihanova@yandex.ru, <sup>2</sup>gizatova2023@bk.ru

**Аннотация.** Статья представляет обзор современных международных подходов к обеспечению безопасности на рабочем месте. В ней рассматриваются примеры передовых практик, которые можно изучить и применить в контексте улучшения условий труда и снижения рисков для работников.

**Ключевые слова:** безопасность труда, опыт, подход, риск, организация.

# INTERNATIONAL EXPERIENCE AND BEST PRACTICES IN THE FIELD OF OCCUPATIONAL SAFETY

Dilya R. Zamdikhanova<sup>1</sup>, Rushana R. Gizzatova<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>dilyazamdihanova@yandex.ru, <sup>2</sup>gizzatova2023@bk.ru

**Abstract.** The article presents an overview of modern international approaches to workplace safety. It examines examples of best practices that can be studied and applied in the context of improving working conditions and reducing risks for employees.

**Keywords:** occupational safety, experience, approach, risk, organization.

Изучение международного опыта и передовых практик в области безопасности труда включает анализ и сравнение подходов и мероприятий, применяемых различными странами и организациями для обеспечения безопасности работников на рабочем месте.

Такое изучение позволяет выявить лучшие практики и методы безопасности труда, а также определить преимущества и недостатки различных подходов. Это полезно для создания эффективных стратегий и политик в области безопасности труда, а также для улучшения существующих систем и процедур.

Основной целью изучения международного опыта и передовых практик является снижение риска несчастных случаев и профессиональных заболеваний, а также улучшение условий труда и здоровья работников. Это способствует повышению производительности и эффективности труда, снижению заболеваемости и смертности, а также снижению экономических затрат, связанных с несчастными случаями и профессиональными заболеваниями [1, 2].

Так, в Японии с ее системой пожизненного найма, дела с охраной труда обстоят значительно лучше, чем в других странах с развитой экономикой. Трудовая биография в Японии ведется с момента приема на работу выпускником учебного заведения и до ухода на заслуженный отдых. При этом новый сотрудник в обязательном порядке несколько лет проходит стажировки во всех отделах своей компании, постигая азы профессии на любом рабочем месте. Такой подход приводит к ожидаемому повышению уровня его компетентности и снижению риска получить травму, выполняя незнакомую работу [3].

В Великобритании работодатель обязан обеспечить безопасные условия труда. Однако для этого он может взимать плату с работника. При

этом сами работники обязаны следить за безопасностью и здоровьем себя и окружающих. Также именно в Англии зародился рынок страхования профессионального риска. Ни один страховщик в стране не оформит страховку предприятию, заведомо являющимся местом происшествия страхового случая [3].

В Австралии существуют строгие нормы и требования безопасности труда, особенно в отраслях с высоким риском. Работодатели обязаны проводить регулярные инспекции и обучение по безопасности, а также предоставлять соответствующие средства индивидуальной защиты для работников [4].

Швеция славится своей передовой политикой безопасности труда. В стране работодатели обязаны предоставлять безопасное рабочее место и обеспечивать работников соответствующими средствами индивидуальной защиты. Также в Швеции ведутся активные деятельность по обучению и информированию работников о безопасности и здоровье на рабочем месте[5].

Все эти и другие страны имеют развитую систему норм и стандартов, которые способствуют обеспечению безопасности труда и защите здоровья работников. Они также активно осуществляют обучение и информирование работников о правилах безопасности и регулярно контролируют соблюдение этих правил.

А также применяются следующие методы, которые разработаны и внедрены организациями для обеспечения безопасности на рабочем месте:

1. Изучение передовых практик в разных странах и организациях дает возможность выявить эффективные методы и подходы, которые можно адаптировать и применять в других контекстах. Например, многие западные компании активно внедряют системы управления безопасностью на основе стандартов ISO 45001 [3].

2. Многие страны имеют национальные и международные профессиональные ассоциации и общины, целью которых является обмен передовым опытом и информацией о лучших практиках в области безопасности труда. Исследование результатов их работы и обзор их рекомендаций может помочь в обновлении и усовершенствовании собственных подходов к обеспечению безопасности [1].

3. Многие страны имеют системы сертификации и аккредитации для оценки соответствия организаций требованиям безопасности труда.

Пользоваться международным опытом и передовыми практиками также означает быть в курсе последних тенденций и инноваций в области безопасности труда. Такие знания могут быть полезными для разработки и

внедрения новых технологий, методов и процессов, которые помогут сделать рабочее место ещё более безопасным и здоровым для всех сотрудников.

### Источники

1. Профессиональные риски: международный опыт в области оценки и управления / [Электронный ресурс] // Клинский институт охраны и условий труда: [сайт]. URL: <https://www.kiout.ru/info/publish/6177> (дата обращения: 28.10.2023).

2. Гайнуллина Л.Р., Аверьянова Ю.А., Филиппова Ф.М., Пигилова Р.Н. Практико-ориентированные требования при изучении дисциплины «Безопасность жизнедеятельности» // Сборник статей: совершенствование профессиональной подготовки преподавателей-организаторов основ безопасности жизнедеятельности и учителей физической культуры. Йошкар-Ола, 2022, С. 30-34.

3. Мировой опыт в организации охраны труда // Журнал ЦОКО, 2020. <https://coko1.ru/articles/protection/mirovoj-opyt-v-organizacii-ohrany-truda/>

4. Охрана труда в Австралии / [Электронный ресурс] // ЗНАК-Комплект: [сайт]. — URL: <https://www.znakcomplect.ru/poleznosti/example/a-kak-u-nix/oxrana-truda-v-avstralii.html> (дата обращения: 31.10.2023).

5. Охрана труда в Швеции / [Электронный ресурс] // ЗНАК-Комплект: [сайт]. — URL: <https://www.znakcomplect.ru/poleznosti/example/a-kak-u-nix/oxrana-truda-v-shvecii.html> (дата обращения: 31.10.2023).

## ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ НА ПРОИЗВОДСТВАХ

Дина Дмитриевна Иванова

Науч. рук. канд. техн. наук Юлия Аркадьевна Аверьянова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

dinapika7604@gmail.com

**Аннотация.** В данной статье мы рассмотрим, каким образом возможно использовать искусственный интеллект (ИИ) на производстве, а также преимущества и недостатки данной технологии. В результате мы сможем сделать выводы о том, насколько целесообразно использовать ИИ на производстве.

**Ключевые слова:** производство, искусственный интеллект, безопасность, риск, технология.

## ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO ENSURE SAFETY AT PRODUCTION FACILITIES

Dina D. Ivanova

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

dinapika7604@gmail.com

**Abstract.** In this article, we will look at how it is possible to use artificial intelligence (AI) in production, as well as the advantages and disadvantages of this technology. As a result, we will be able to draw conclusions about how appropriate it is to use AI in production.

**Keywords:** production, artificial intelligence, security, risk, technology.

В современном мире безопасность на производстве является одним из ключевых аспектов обеспечения успеха предприятия. Производственным предприятиям приходится сталкиваться с различными рисками, которые могут повлечь за собой угрозу безопасности работников или оборудования.

Для предотвращения возникновения нежелательных или же аварийных ситуаций, в наше время есть возможность использовать технологии ИИ, которые предоставляют следующий ряд преимуществ [1]:

- Мониторинг и анализ данных. ИИ способен обрабатывать огромный объем данных, анализировать и выявлять потенциальную опасность. К примеру, ИИ может мониторить показания датчиков и в случае отклонения от нормы вывести предупреждение. Также мониторинг может подразумевать камеры видеонаблюдения, которые, зафиксировав неправомерные действия со стороны сотрудников или поломку оборудования, передадут полученные видеоматериалы для разрешения ситуации или поломки.

- Прогнозирование аварий. Так как ИИ обладает способностью обучаться, то при анализе входных данных и показаний датчиков может предугадать возможные аварийные ситуации или же предложить изменить производственные параметры в целях избежания аварийной ситуации [2].

- Автоматизация и оптимизация процессов. ИИ может управлять системами безопасности, контролировать доступ к опасным зонам и реагировать на инциденты в реальном времени, таким образом снизив вероятность проникновения посторонних на производство [3].

Однако, для успешного использования ИИ на производственном предприятии необходимо выполнить ряд действий [4]:

- Собрать большой объем информации, включая данные о производственном процессе, работниках и оборудовании. Эти данные могут включать в себя информацию о рабочих условиях, аварийных ситуациях, медицинских аспектах и другие факторы, влияющие на безопасность.

- Выбрать наиболее подходящие технологии ИИ, которые больше всего будут соответствовать требованиям предприятия. Данный этап может потребовать большого количества времени для изучения или же время для разработки собственной платформы.

- Необходимо приобрести соответствующее оборудование и обеспечить обучение персонала по внедрению и использованию ИИ. Обучение персонала по правильному взаимодействию с системами ИИ, а также обучение администраторов для обслуживания и настройки систем, играют ключевую роль в успешной интеграции ИИ.

Помимо всех вышеперечисленных достоинств использования технологий ИИ на производстве, стоит упомянуть, что данный способ предотвращения опасных ситуаций имеет свои недостатки [5]:

- Высокая стоимость внедрения. Как уже было сказано, использование ИИ требует соответствующего оборудования и квалифицированного персонала, что в свою очередь требует финансовых вложений.

- Эффективность работы ИИ полностью зависит от полученных данных, что в свою очередь означает вероятность возникновения ошибки при неправильном вводе данных.

- Есть вероятность нарушения конфиденциальности данных, так как возможен взлом системы, тем самым личная информация предприятия и его сотрудников может попасть в руки злоумышленников.

На данный момент времени технологии ИИ уже используются в обороте некоторых предприятий. Например, компания General Electric использует ИИ для анализа данных с датчиков своего оборудования, что позволяет предсказать потребность в обслуживании задолго до возникновения реальной проблемы. Также стоит упомянуть компанию XYZ, использующую автоматическую систему распознавания лиц с ИИ для контроля доступа к опасным зонам. Эта система усилила контроль, уменьшила количество несчастных случаев и увеличила общую безопасность на производстве.

Исходя из изложенной в статье информации можно сделать вывод, что технологии искусственного интеллекта представляют собой мощный инструмент, обеспечивающий безопасность. Машина, способная к обучению и заранее предупреждающая о возможной поломке, определенно будет полезна на любом производстве. Однако на сегодняшний день технология ИИ еще не совершенна, и в случае некорректного ввода данных может не обнаружить вероятную неисправность. Также данный способ требует немалых вложений. В будущем можно прогнозировать более совершенные системы ИИ, способные адаптироваться к меняющимся условиям производства и обеспечивать еще более высокий уровень безопасности на производстве.

### **Источники**

1. Джон Х. Смит. Применение искусственного интеллекта в производственных процессах: возможности и перспективы» // Сборник: Искусственный интеллект на защите производства: стратегия безопасности и новые возможности. 2019. С. 345-350.

2. Бостром Н. Искусственный интеллект. Этапы. Угрозы. Стратегии // Издательство «Манн, Иванов и Фербер», 2016. С. 33 - 34.

3. Еремин Д.М., Гарцеев И.Б. Искусственные нейронные сети в интеллектуальных системах управления. Учебное пособие: Издательство «МИРЭА», 2004. С.75.

4. Сапунова Т.А. Планирование производственной деятельности предприятия // Modern Science. 2020. № 12-4. С. 147-152.

5. Астахова И. Системы искусственного интеллекта. Практический курс. Учебное пособие: Издательство «Бином. Лаборатория знаний», 2019. С. 292.

УДК 316.334.2

## **БЖД В КОНТЕКСТЕ ФОРМИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ЖИЗНИ НАСЕЛЕНИЯ**

Алия Рамисовна Курмашова<sup>1</sup>, Ксения Викторовна Кунилова<sup>2</sup>  
Науч. рук. канд. хим. наук, доц. Фарид Мизхатовна Филиппова  
<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», Казань, Республика Татарстан  
<sup>1,2</sup>aliakurmashova@mail.ru

**Аннотация.** В данной статье автор рассматривает проблему безопасности жизнедеятельности как одного из условий обеспечения качества жизни населения. На основе собственного социологического исследования, проведенного в 2023 году среди жителей города Казань, а также на основе анализа статистических данных охарактеризованы основные угрозы общественной безопасности.

**Ключевые слова:** алкоголизм, наркомания, безопасность, качество жизни, безопасность жизнедеятельности.

## **LIFE ACTIVITY'S SAFETY IN THE CONTEXT OF THE FORMATION OF THE QUALITY OF LIFE OF THE POPULATION**

Aliya R. Kurmashova<sup>1</sup>, Ksenia V. Kunilova<sup>2</sup>  
<sup>1,2</sup> KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
<sup>1,2</sup>aliakurmashova@mail.ru

**Abstract.** In this article, the author considers the problem of life safety as one of the conditions for ensuring the quality of life of the population. Based on our own sociological research conducted in 2023 among the residents of the city of Kazan, as well as on the basis of statistical data analysis, the main threats to public safety are characterized.

**Keywords:** alcoholism, drug addiction, safety, quality of life, life safety.

Безопасность жизнедеятельности (БЖД) – это комплексная система мероприятий и правил, направленных на обеспечение безопасности и

качества жизни населения. В контексте формирования качества жизни населения, БЖД играет существенную роль, обеспечивая надежность и безопасность в различных сферах общественной жизни. Качество жизни населения напрямую зависит от уровня безопасности в таких областях, как образование, транспорт, здравоохранение, экология и многих других. Правильная организация и реализация мер БЖД позволяют устранить или минимизировать риски и опасности, возникающие в этих сферах.

Также важную роль играет БЖД в транспортной сфере. Организация безопасности дорожного движения, внедрение системы видеонаблюдения, регулярные проверки технического состояния транспортных средств способствуют снижению аварийности и создают условия для комфортного перемещения граждан [2].

При оказании медицинских услуг также важно обеспечивать безопасность и качество оказываемой помощи. Эффективная экологическая политика и внедрение мероприятий по безопасности, гигиене и охране труда являются неотъемлемыми компонентами улучшения качества жизни населения. Организация контроля и наблюдения за состоянием окружающей среды, принятие мер по снижению выбросов вредных веществ и улучшению обработки отходов способствуют сохранению экологического баланса и общего благополучия общества. [3, 5].

Чтобы подробнее изучить проблему, поднимаемую в статье по изучению степени удовлетворенности населения качеством жизни мы провели собственное исследование, респондентами которого выступили жители г. Казань. Проведенное социологическое исследование показывает, что алкоголизм становится все более серьезной проблемой для общества (рис.). Это явление выходит за рамки индивидуальной трагедии отдельных людей, страдающих от этой зависимости, и становится источником преступности и социального неблагополучия [3].



Мнение населения об угрозе алкоголизма

Одна из основных проблем, связанных с алкоголизмом, заключается

в том, что алкоголики вступают в ряды безработных, а дети, воспитывающиеся в семьях, страдающих от алкоголизма, часто повторяют нежелательное поведение своих родителей. Согласно проведенному опросу, более трети респондентов считают, что данная проблема представляет угрозу для общества и требует принятия срочных мер со стороны государства.

Таким образом, вопрос обеспечения безопасности населения является ключевым фактором качества жизни граждан и их социального самочувствия. В последние годы общество все больше начинает беспокоиться экологическими проблемами, что указывает на то, что существующие условия существования не обеспечивают высокого качества жизни населения [4]. Однако опыт борьбы с преступностью, накопленный правоохранительными органами, и действия власти по укреплению правопорядка, позволяют надеяться на укрепление общественной безопасности и создание безопасных условий для жизни населения [1].

В заключение, можно отметить, что БЖД в контексте формирования качества жизни населения играет важную роль в обеспечении безопасности и создании комфортных условий для различных сфер социальной жизни. Внедрение системы мер БЖД способствует повышению качества жизни граждан, обеспечивая надежность и безопасность во всех аспектах исключительно значимых для нашего общества.

### **Источники**

1. Социально-экономическое положение Республики Татарстан: Комплексный информационно-аналитический доклад. Казань: Татарстанстат, 2022. № 3 (январь – март). 129 с.

2. Филиппова Ф. М., Сабирова Л. И. Вред алкоголя для здоровья человека // Экологическая безопасность в техносферном пространстве: сборник материалов IV Международной научно-практической конференции преподавателей, молодых ученых и студентов, Екатеринбург: РГППУ, 2021. С. 183-185.

3. Спиридонов К. Ф., Титков И. А., Пигилова Р.Н. Актуальные проблемы экологической безопасности в Республике Татарстан // Экологическая безопасность в техносферном пространстве: сборник материалов VI Международной научно-практической конференции преподавателей, молодых ученых и студентов, Екатеринбург: РГППУ, 2023. С. 290-292.

4. Алексеев, Ф. В., Аверьянова Ю.А. Экологическая безопасность человека в экосистеме // Экологическая безопасность в техносферном пространстве: сборник материалов V Международной научно-практической конференции преподавателей, молодых ученых и студентов. Екатеринбург: РГППУ, 2022. С. 19-21.

5. Баранкова Н.В. «Безопасность жизнедеятельности. Производственная безопасность и охрана труда». Москва. 2021.

УДК 621.45.018.2

## **РАЗРАБОТКА УЧЕБНОГО СТЕНДА ПО ИСПЫТАНИЯМ СИЗ**

Салих Ришадович Миранов  
Науч. рук. асс. Кирилл Валерьевич Николаев  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
salihmiranov@gmail.com

**Аннотация.** При работе в электроустановках необходимо использование СИЗ, таких как: диэлектрические перчатки, галоши, боты, изолирующие штанги; изолирующие и электроизмерительные клещи; указатели напряжения и др. Для обеспечения безопасной эксплуатации СИЗ при работах с электрооборудованием и для проверки их технического состояния необходимо их испытывать повышенным напряжением. Для этого существуют электроустановки по испытанию СИЗ. Студенты ФГБОУ ВО «КГЭУ» занимаются реализацией проекта по созданию такой установки на базе университета. В данной статье описаны шаги реализации создания установки, все необходимые требования к ней, а также возможность ее применения в качестве учебного стенда.

**Ключевые слова:** электроустановки, высокое напряжение, учебный стенд, СИЗ

## **DEVELOPMENT OF A TRAINING STAND FOR TESTING PPE**

Salikh R. Miranov  
KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
salihmiranov@gmail.com

**Abstract.** When working in electrical installations, it is necessary to use PPE, such as: dielectric gloves, galoshes, boots, insulating rods; insulating and electrical clamps; voltage indicators, etc. To ensure safe operation of PPE when working with electrical equipment and to check their technical condition, it is necessary to test them with increased voltage. For this

purpose, there are electrical installations for testing PPE. Students of the FSBEI HE "KSPEU" are implementing a project to create such an installation on the basis of the university. This article describes the steps to implement the installation, all the necessary requirements for it, as well as the possibility of using it as a training stand.

**Keywords:** electrical installations, high voltage, training stand, PPE

В связи с тем, что на предприятиях присутствуют опасные производственные факторы, угрожающие здоровью и жизни работников, используются средства индивидуальной защиты (СИЗ) [1]. К тому же, чтобы служить надежной защитой персонала, СИЗ в обязательном порядке должны проходить испытания на изоляцию в случае ввода в эксплуатацию. Сами испытания проводятся при помощи установки высоковольтных испытаний в высоковольтной зоне, то есть в присутствии высокого напряжения (ВН), что в свою очередь является опасным фактором [2].

В связи с этим, при работе в данной среде необходимы навыки и знания, в том числе по охране труда и техники безопасности. Так при помощи нашего учебного стенда «Установка по испытанию СИЗ», можно получить необходимые знания и навыки в доступном и интересном виде, так как восприятие визуальной информации и появление практической части обучения является отличной заменой или же дополнением к изучению сложной учебно-технической литературы и научных публикаций, что приводит к лучшему усваиванию информации студентами и другими обучающимися лицами, обучению практических навыков, и изучение строения и устройства установок такого типа, что решает низкий уровень практических навыков [3, 4].

Разработка учебного стенда была начата с проектирования всей установки по испытанию СИЗ, которую поделили на составные части для лучшей сборки, среди них: создание самой высоковольтной зоны, где проводятся сами испытания СИЗ, подключение генератора ВН, установка технологической защиты высоковольтной зоны.

Для построения высоковольтной зоны по началу необходимо отгородить часть помещения сетчатым или сплошным ограждением с дверью. Внутри отгороженной зоны располагаем ванну для испытания ботов, галош, перчаток и указатели низкого напряжения. На стене закрепляем траверсу с изолятором для закрепления и испытания штанг и указатели высокого напряжения [5].

Также для проведения испытаний СИЗ необходим источник высокого напряжения промышленной частоты, в качестве которого выбран АИИ-70. Для использования его в установке необходимо модернизировать

его измерительный блок, смонтировать заземляющий нож высоковольтного ввода, панель индикации пробоя, провести работы по увеличению надёжности узлов прибора.

Кроме того, организационные меры безопасности работы в высоковольтных электроустановках не исключают человеческий фактор. Для повышения безопасности проведения испытаний СИЗ и снижения рисков проникновения человека в высоковольтную зону при включенной установке устанавливают технологическую защиту (согласно ПОТЭУ – блокировка).

Таким образом, использование данного стенда позволит обучающемуся изучить непосредственно устройство СИЗ, требования к ним, нормативно-техническую документацию и методику испытаний высоковольтной установкой, что, несомненно, окажет положительное влияние на практические навыки обучающихся.

### **Источники**

1. Инструкция по применению и испытанию средств защиты, используемых в электроустановках. Утверждена Приказом Минэнерго России от 30 июня 2003 г. № 261.

2. Приказ Минздравсоцразвития России от 01.06.2009 № 290н (ред. от 12.01.2015) "Об утверждении Межотраслевых правил обеспечения работников специальной одеждой, специальной обувью и другими средствами индивидуальной защиты".

3. Смотрин А.Р. Низкий уровень развития практических навыков выпускников вузов: риск и проблема // Образовательный процесс. 2019. №1 (12). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/nizkiy-uroven-razvitiya-prakticheskikh-navykov-vypusknikov-vuzov-risk-i-problema> (дата обращения: 24.10.2023).

4. Газета «Коммерсантъ»: «Недостаточно высокое образование» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.kommersant.ru/doc/3037653> (дата обращения: 17.09.2018)

5. Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 15 декабря 2020 года № 903н об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок.

## АНАЛИЗ ШУМОПОГЛОЩЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Инсаф Ильнурович Мухаметзянов<sup>1</sup>, Сергей Сергеевич Филимонов<sup>2</sup>

Науч. рук канд. техн. наук, доц. Юлия Аркадьевна Аверьянова

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1,2</sup>insaf.mukhametzyanof@yandex.ru

**Аннотация.** В данной статье приводится сравнение практических значений коэффициента шумоподавления различных материалов. Выполнен и проанализирован опыт поглощения звуковых волн распространенными материалами.

**Ключевые слова:** шум, поглощение, строительные материалы.

## ANALYSIS OF NOISE ABSORPTION OF VARIOUS MATERIALS

Insaf I. Mukhametzyanof<sup>1</sup>, Sergey S. Filimonov<sup>2</sup>

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1,2</sup>insaf.mukhametzyanof@yandex.ru

**Abstract.** This article compares the theoretical and practical values of the noise reduction coefficient of various materials. The experience of sound wave absorption by common materials is performed and analyzed.

**Keywords:** noise, absorption, building materials.

Современный мир испускает огромное количество шума, что создает для людей дискомфортные ощущения. В данной работе авторы статьи путем практического опыта подобрали лучшие шумопоглощающие материалы.

Для достижения целей данной работы в опыте была использована колонка JBL, шумомер ADA ZSM 135, а так же различные материалы: органическое стекло, пенопласт, алюминиевая панель, ЛДСП, акустическая панель и дубовая панель.

В начале опыта произведен замер источника звука без поглощающих материалов, он составил 89 Дб. Опыт проводился следующим образом: вплотную прикладывали источник звука к шумопоглощающему материалу, а с другой стороны на том же уровне фиксировались показания шумомером. Показания фиксировались вплотную, чтобы шумомер снимал показания с материалов, а не эхо отраженные от стен и потолков.

№	Строительный материал	Толщина см	Показание шумомера дБ	Коэффициент шумопоглощения
1	органическое стекло	1	62	≈1
2	акустическая панель	4	75	≈3
3	алюминиевый цилиндр	0,2	78	≈2
4	ЛДСП	10	77	≈4
5	дверь	4	70	≈5
6	гипсокартон	10	64	≈6

В таблице приведены названия, толщина, коэффициент шумопоглощения обзереваемых материалов и показание шумомера.

Объекты исследования взяты разной толщины. Органическое стекло при своей маленькой толщине оказалось лучшим звукоотражающим материалом [1]. Это обуславливается тем, что стекло является твердым материалом и не имеет пор в своей структуре. Оно не поглощает механические волны, а отражает. Таким же свойством обладает и алюминий, но ввиду его малой толщины (в сравнении с другими исследуемыми материалами) и цилиндрической формы он показал плохую звукоизоляцию [2]. Вызван такой результат по большей мере его цилиндрической формой, звук имел возможность проходить через основание, что и вызвало такой противоречивый результат. Гипсокартон, как пористый материал, в сравнении показал хорошую звукоизоляцию [3]. Это обуславливается его большой толщиной [4]. Акустическая панель и дверь при одинаковой толщине показали одинаковое звукопоглощение. Это означает, что материал с большей толщиной обладает меньшей звукоизоляцией (т.е. акустическая панель). ЛДСП оказался худшим звукоизоляционным материалом. При своей большой толщине он имеет худшую звукоизоляцию [5].

Исходя из проделанного опыта можно сделать вывод, что материалы с высокой плотностью (органическое стекло, дверь) имеют высокую звукоизоляцию и напротив, пористые материалы обладают меньшей звукоизоляцией. Результаты могут быть не совсем достоверные из-за несовершенства проводимых измерений на примере алюминиевого цилиндра.

## Источники

1. Заикина А. П. Шумоизоляционные материалы / А. П. Заикина, А. Г. Козлюк // Наука и инновации в строительстве: Сборник докладов Международной научно-практической конференции (к 165-летию со дня рождения В.Г. Шухова), Белгород, 17 апреля 2018 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2018. С. 372-375.

2. Сорокин А. Н. Особенности формирования компетенций при изучении отражения акустических волн / А. Н. Сорокин // Балтийский гуманитарный журнал. 2018. Т. 7. № 4(25). С. 302-304.

3. Кликушин Ю.Н. Метод и прибор для измерения отношения сигнал-шум / Ю.Н. Кликушин, Н.К. Набиев, В.В. Сорокин // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева, 2008. № 3(52). С. 66-69.

4. Чумасова Е.В. Проблемы звукоизоляции в жилых многоэтажных зданиях и пути их решения / Е.В. Чумасова, П.А. Васильев, Е.В. Шалагинова // Общество. Наука. инновации (НПК-2017): сборник статей. Всероссийская ежегодная научно-практическая конференция, Киров, 01–29 апреля 2017 года / Вятский государственный университет. Киров: Вятский государственный университет, 2017. С. 2346-2354.

5. Танеева А.В. Анализ шумового загрязнения в крупных городах на примере улицы Восстания г. Казани / А.В. Танеева // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2010. № 4(7). С. 63-68.

УДК 331.453

## КОНТРОЛЬ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ БЕЗОПАСНОСТИ В ГРАЖДАНСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Игорь Геннадьевич Сушков

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Рим Фатихович Шакуров

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

sushok22@mail.ru

**Аннотация.** Работа посвящена анализу и идентификации рисков при строительстве высотных жилых проектов, а также выдвигает целевые стратегии управления контролем. В процессе строительства существует множество факторов

риска безопасности строительства, которые требуют повышенных мер безопасности и деловых навыков персонала.

**Ключевые слова:** строительство, высотное здание, гражданское строительство, управление.

## **CONTROL OF SECURITY RISK MANAGEMENT IN CIVIL ENGINEERING**

Igor G. Sushkov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

sushok22@mail.ru

**Abstract.** The work is devoted to the analysis and identification of risks in the construction of high-rise residential projects, and also puts forward targeted control management strategies. During the construction process, there are many construction safety risk factors that require increased security measures and business skills of personnel.

**Keywords:** construction, high-rise building, civil engineering, management.

Риски безопасности при строительстве высотных зданий часто представляют серьезную угрозу для безопасности человеческой жизни и социальной собственности, а также являются важным фактором, влияющим на экономическую эффективность строительных проектов. Поэтому контроль рисков безопасности во время строительства является важным компонентом управления проектом [1].

Выявление и анализ рисков безопасности при строительстве высотного здания имеют некоторые особенности, такие как одновременные операции в вертикальном пространстве, высокая степень взаимного вмешательства и большое количество факторов риска безопасности [2]. При строительстве высотных зданий строительный персонал обычно находится на высоте от нескольких метров до нескольких сотен метров. Поэтому, идентификация рисков безопасности в высотных жилых зданиях должна подчеркивать характеристики «высокого», уделяя особое внимание высотным работам, большим вертикальным транспортным машинам, пожарной безопасности высотных зданий, рытью и защите глубоких котлованов и т. д. Проведенный анализ выявил следующие основные причины несчастных случаев в строительстве высотных жилых зданий:

1. Работа на высоте при строительстве зданий нередко подвержены несчастным случаям с точки зрения безопасности из-за интенсивности

работ, количества перекрестных операций и сложности строительной среды, и наиболее распространенными рисками безопасности являются травмы, вызванные падением людей с высоты и брошенными с высоты предметами. Кроме того, работа под открытым небом, возникающие при этом риски безопасности нельзя игнорировать [3].

2. Башенные краны и строительные подъемники являются наиболее часто используемыми крупными машинами в высотном жилищном строительстве, выполняющими задачи вертикальной транспортировки во время строительства. Башенные краны имеют высокий центр тяжести, момент стрелы постоянно меняется, что делает их восприимчивыми к общему опрокидыванию из-за плохого крепления к стенам или фундаменту, недостаточной прочности или усталостного разрушения компонентов, падения предметов на высоте или ударное повреждение.

3. Электромонтажные работы, имеется много электрических линий и большое количество видов горючих материалов, поэтому вероятность возникновения пожара возрастает. Большие расстояния и сложные маршруты эвакуации, а также недостаточная эффективность различных временных средств пожаротушения в высотных жилых зданиях будут представлять большую опасность в случае пожара.

4. Выемка грунта под фундамент [4]. На выемку грунта влияют гидрогеологические условия, окружающая среда и условия строительной площадки, а основным риском безопасности является обрушение грунта. Из статистического анализа несчастных случаев, произошедших в последние годы, основными причинами обрушения глубоких котлованов являются:

- обрушение, вызванное подтоплением котлована и дестабилизацией грунта в результате его собственного ослабления;

- недостаточная прочность опорной системы котлована, общее повреждение или недостаточная жесткость и большие смещения, вызывающие обрушение;

- неадекватные меры по защите от осадков, чрезмерное давление воды или обрушение из-за потока песка или прорыва труб;

- верхняя часть котлована перегружена, что приводит к обрушению.

В случае обрушения котлована, помимо жертв, значительно пострадает конструкционная безопасность окружающих зданий и сооружений, а также график реализации проекта.

Управление рисками безопасности — это минимизация негативных последствий, вызванных рисками безопасности, на основе идентификации этих рисков, минимизация потерь и обеспечение экономической

эффективности. Контроль рисков безопасности в высотном жилищном строительстве является систематической и сложной задачей, управление которой должно осуществляться в рамках целостного процесса, всесторонне и с участием всех элементов.

На основе тщательного анализа ключевых моментов, трудностей и точек риска в программе специального строительства по безопасности должны приниматься адекватные меры в отношении управления, технологии, методов, мер, материалов и аварийно-спасательных работ, чтобы обеспечить безопасность строительства более опасных частей проекта и избежать травм персонала или крупных экономических потерь [5]. Поэтому специальный план строительства является важным технико-экономическим документом, в котором отражаются:

1. Повышение качества подготовки и обучения персонала/
2. Регулярно организовывать обучение по технике безопасности.
3. Рациональные и внедренные системы управления. Система управления безопасностью является эффективной гарантией реализации соответствующих требований и конкретных работ по управлению рисками безопасности.

Таким образом, анализ источников риска безопасности высотного жилищного строительства и размышления о стратегии управления рисками безопасности помогает усилить работу по выявлению источников риска и повышению уровня управления рисками высотного жилищного строительства. Только постоянно усиливая исследования рисков безопасности, постоянно совершенствуя методы управления рисками безопасности и постоянно внедряя инновационные средства контроля рисков безопасности, мы сможем лучше содействовать быстрому, здоровому и эффективному развитию строительной отрасли.

### **Источники**

1. Федеральный закон от 30 декабря 2009 г. № 384 «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».
2. "СП 48.13330.2019. Свод правил. Организация строительства. СНиП 12-01-2004" (утв. и введен в действие Приказом Минстроя России от 24.12.2019 N 861/пр).
3. ГОСТ Р 12.3.050-2017. Система стандартов безопасности труда. Строительство. Работы на высоте. Правила безопасности.
4. СП 45.13330.2017 "СНиП 3.02.01-87 Земляные сооружения, основания и фундаменты" (с изменениями № 1, № 2, № 3).

5. Свод правил по проектированию и строительству. «Безопасность труда в строительстве. Отраслевые типовые инструкции по охране труда» Дата введения 2003-07-01.

УДК 159.944.3

## **ВЛИЯНИЕ ЦИРКАДНЫХ РИТМОВ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ И СОСТОЯНИЕ ЗДОРОВЬЯ СТУДЕНТОВ**

Карина Олеговна Титова<sup>1</sup>; Альмира Алмазовна Хусаенова<sup>2</sup>  
Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Лейсан Раисовна Гайнуллина  
<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
<sup>1</sup>titova.karin2018@yandex.ru, <sup>2</sup>almi.ru2004@gmail.com

**Аннотация.** В данной работе было рассмотрено влияние циркадных ритмов на состояние здоровья и работоспособность студентов. Чтобы нагляднее показать пагубное влияние отсутствия здорового сна на работоспособность студентов и их общее состояние, нами был проведен опрос одногруппников на данную тему. Также, нами было проведено анкетирование для выявления циркадных ритмов студентов для дальнейшего изучения их состояния при различном режиме сна.

**Ключевые слова:** сон, нехватка сна, циркадные ритмы, состояние здоровья, работоспособность.

## **THE INFLUENCE OF CIRCADIAN RHYTHMS ON THE PERFORMANCE AND HEALTH OF STUDENTS**

Karina O. Titova<sup>1</sup>; Aalmira A. Husayenov<sup>2</sup>  
<sup>1,2</sup> KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
<sup>1</sup>titova.karin2018@yandex.ru, <sup>2</sup>almi.ru2004@gmail.com

**Abstract.** In this paper, the influence of circadian rhythms on the health and performance of students was considered. In order to demonstrate more clearly the detrimental effect of the lack of healthy sleep on the work needs of students and their general condition, we conducted a survey of classmates on this topic. Also, we conducted a questionnaire to identify the circadian rhythms of students for further study of their condition with different sleep patterns.

**Keywords:** sleep, lack of sleep, circadian rhythms, health status, performance.

Проблема влияния циркадных ритмов на работоспособность и состояние здоровья студентов, нехватка энергии на выполнение важных дел в течение дня у студентов на сегодняшний день очень распространена.

В современном мире нехватка времени и обилие занятий стали обыденностью для многих студентов. Одной из самых распространенных причин, которая влияет на их здоровье и благополучие, является недосып, а также незнание своей принадлежности к жаворонкам или совам, для работы в наиболее продуктивное время. Недостаток сна и выполнение задач в неэффективное для них время может существенно повлиять на физическое и психическое состояние студентов, что приводит к ряду проблем и осложнений [1].

Прежде чем проводить опросы, нами было проведено анкетирование студентов на принадлежность к одному из циркадных ритмов. В результате мы получили, что 88% опрошенных относятся к совам, ведь они наиболее продуктивны в ночное время суток, когда 12% - жаворонки.

Нами был проведен опрос одногруппников на тему времени, в которое они ложатся спать.



Рис.1. Опрос: «Во сколько вы ложитесь спать?»

По результатам опроса о времени ложиться спать, были получены следующие данные:

Всего 5% ложатся в 21:00, большинство студентов (38%) предпочитают ложиться спать в 22:00, 42% опрошенных ложатся с 00:00-01:00, 15% в 2:00.

Самым удобным для сна время оказалось 22:00. Это может быть связано с тем, что ученики, придя с пар и работы к 22:00 успевают сделать все свои дела и вынуждены ложиться в данное время, для того чтобы успевать на пары.

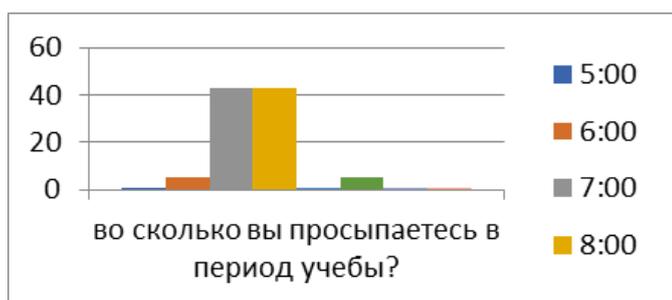


Рис.2. Опрос: «Во сколько вы просыпаетесь в период обучения?»

Исходя из опроса, мы сделали следующие выводы:

1. Большинство студентов (по 43% соответственно) просыпаются в 7 и 8 утра. Это может быть связано с расписанием занятий или привычкой просыпаться в определенное время для подготовки к учебе.

2. Оставшиеся 14% студентов просыпаются либо до 7 утра, либо после 8 утра. Возможно, это связано с индивидуальными предпочтениями. В целом, результаты опроса показывают, что большинство студентов просыпаются в утренние часы, что может быть связано с учебными обязанностями и необходимостью подготовки к занятиям.

Далее нами был проведен опрос на тему самочувствия студентов [2].

Проведя опрос, мы пришли к итогам, что некоторые студенты, которые ложатся и просыпаются рано (сон с 21:00-22:00 до 7:00-8:00) жалуются на низкую продуктивность в дневное время, а другие показали высокую эффективность в течение дня. Мы задались вопросом, почему же некоторые студенты страдают от нехватки времени при стандартном режиме сна? Сопоставив данный опрос с анкетированием на тему циркадных ритмов, мы пришли к выводу, что люди, испытывающие дискомфорт при общепринятом режиме сна: сон с 21:00-22:00 до 7:00-8:00, являются совами и не успевают выполнить все свои задачи из-за низкой продуктивности в дневное время [3].

1. Жаворонки, которые спят 7-8 часов и ложатся спать в 22:00, обычно чувствуют себя бодрыми и имеют высокую продуктивность, а совы имеют низкую продуктивность, но чувствуют себя так же хорошо.

2. Те жаворонки, кто ложатся спать в 23:00 и спит 7-8 часов, обычно чувствуют себя достаточно энергичными, но к вечеру они могут ощущать вялость и иметь менее эффективную работоспособность. Совы, в свою очередь, по самочувствию ощущают себя, как жаворонки, но имеют наиболее высокую продуктивность [4].

3. Студенты-жаворонки, которые ложатся спать в полночь, 1 или 2 ночи и спят 7-8 часов, часто могут быть раздражительными, обычно чувствуют себя недостаточно энергичными и вялыми. Также их продуктивность и уровень восприятия информации гораздо ниже. Студенты-совы продуктивны. Если их сон длится дольше, они могут испытывать те же ощущения, а если меньше, все эти ощущения становятся более выраженными [5].

В целом, результаты исследования показывают, что время, когда и совы, и жаворонки ложатся спать до 23:00, их самочувствие намного лучше, что связано со временем выработки мелатонина, а работоспособность жаворонков намного выше при стандартном режиме

сна, что нельзя сказать о совах. Также количество часов, проведенных во сне, оказывают сильное влияние на физическое и психическое здоровье. Недостаток сна и его избыток заставляют студентов испытывать сонливость, усталость, плохую концентрацию и раздражительность.

### **Источники**

1. Сколько часов нужно для здорового сна [Электронный ресурс] <https://www.anatomiyasna.ru/journal/skolko-chasov-nuzhno-dlya-zdorovogo-sna/> (дата обращения: 15.09.2023)

2. Долг сна: как недосып может привести к развитию серьезных заболеваний? Объясняет эндокринолог [Электронный ресурс] [https://www.invitro.ru/moscow/about/press\\_relizes/dolg-sna-kak-nedosyp-mozhet-privesti-k-razvitiyu-sereznykh-zabolevaniy-obyasnyayet-endokrinolog/](https://www.invitro.ru/moscow/about/press_relizes/dolg-sna-kak-nedosyp-mozhet-privesti-k-razvitiyu-sereznykh-zabolevaniy-obyasnyayet-endokrinolog/) (дата обращения: 16.09.2023)

3. Чем опасно недосыпание [Электронный ресурс] <https://www.samgups.ru/education/studentam/stranichka-psikhologa/chem-opasno-nedosypanie/> (дата обращения: 24.09.2023)

4. Сатчин Панда «Циркадный код: как работают часы вашего тела – и как их настроить на здоровье». [Электронный ресурс] <https://magbook.net/read/55140> (дата обращения: 24.09.2023)

5. Мелатонин – википедия [Электронный ресурс] <https://ru.wikipedia.org/wiki/Мелатонин> (дата обращения: 25.09.2023)

УДК 331.45

## **ТЕХНОЛОГИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРСОНАЛА ПРИ ЗАМЕНЕ И РЕМОНТЕ СИЛОВОГО МАСЛЯНОГО ТРАНСФОРМАТОРА 10/0,4 кВ**

Неля Рафисовна Хайретдинова

Науч. рук. канд. хим. наук, доцент Фарида Мизхатовна Филиппова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

[nelya\\_khairtdinova@mail.ru](mailto:nelya_khairtdinova@mail.ru)

**Аннотация.** В данной статье рассматривается технология обеспечения безопасности персонала при замене и ремонте трансформаторов 10/0,4 кВ. Представлены организационно-технические мероприятия, позволяющие избежать аварий и травм.

**Ключевые слова:** наряд, распоряжение, трансформатор, безопасность.

# TECHNOLOGY TO ENSURE THE SAFETY OF PERSONNEL DURING THE REPLACEMENT AND REPAIR OF A 10/0.4 kV POWER OIL TRANSFORMER

Nelya R. Khairtdinova  
KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
nelya\_khairtdinova@mail.ru

**Abstract.** This article discusses the technology of ensuring the safety of personnel during the replacement and repair of 10/0.4 kV transformers. Organizational and technical measures to avoid accidents and injuries are presented

**Keywords:** general work permit, order, transformer, safety.

Безопасность труда в современном мире имеет важное значение в связи с развитием производственной сферы [1]. К главным задачам охраны труда относятся:

- повышение производительности производства;
- обязательная защита персонала от опасных для жизни факторов;
- уменьшение количества несчастных случаев персонала, снижение риска травм;
- избежание нарушений в области охраны труда.

Рассмотрим важность безопасности труда на примере силового масляного трансформатора 10/0,4 кВ. Силовые трансформаторы занимают важное место в электроэнергетике, преобразовывая электрическую энергию и передавая её потребителям. Однако, работа трансформаторов связана с рисками, поэтому соблюдение техники безопасности крайне важно при работе с силовыми трансформаторами [2].

В процессе их работы возникают неисправности и сбои. Поэтому они осматриваются и ремонтируются, поскольку неисправное высоковольтное оборудование приводит к авариям и травмам [3]. Осматриваются трансформаторы не реже 1 раза в 6 месяцев. При их замене и ремонте возможно воздействие на обслуживающий персонал опасных факторов согласно ГОСТ 12.0.003-2015 – «ССБТ Классификация вредных и опасных производственных факторов». При эксплуатации силовых трансформаторов могут появиться множество проблем с их нагревом и охлаждением [4]. Решение этих проблем очень важно для безопасности и надежной работы. Неисправности обычно происходят из-за коротких замыканий,

сопровождаящиеся дугой, воспламенением трансформаторного масла, что крайне опасно для людей и окружающей среды.

Перед работой в электроустановках в целях безопасности персонала проводят мероприятия технического и организационного характера. К ним относятся наряды и распоряжения с последующим допуском к работе и надзором. К сопроводительным документам также относят оформленные перерывы в работе, смена рабочего места и завершение работ. Данные документы определяют содержание этих работ, место и время проведения, рекомендуемые меры безопасности и лиц, которым поручено выполнение этих работ. Наряды и распоряжения выдаются лицами, имеющими группу по электробезопасности не ниже V в электроустановках напряжением выше 1000 В.

Во время ремонтных работ в составе бригады должно быть не менее двух человек — производителя работ и члена бригады. Производитель работ должен отвечать за правильность подготовки рабочего места, выполнение мер безопасности, проведение инструктажа бригады.

Допуск к работе совершается допускающим. Перед допуском к работе проверяют выполнение технических мероприятий по подготовке рабочего места. С момента допуска бригады производитель работ или наблюдающий осуществляет надзор. При обнаружении нарушений правил техники безопасности, у производителя работ отбирается наряд, а бригаду удаляют с места работы. После завершения работ осматривается оборудование, место работы, проверяется отсутствие людей, посторонних предметов, снимается заземление.

Регулярная проверка состояния силовых трансформаторов позволяет обнаружить возможные проблемы и предотвратить аварийные ситуации. А соблюдение техники безопасности и проведение организационно-технических мероприятий позволяют избежать травм и аварий.

## **Источники**

1. Хамидуллин Р. Э., Филиппова Ф.М., Пигилова Р.Н. Промышленная безопасность на опасных производственных объектах // Энергетика, инфокоммуникационные технологии и высшее образование: Международная научно-техническая конференция. Электронный сборник научных статей по материалам конференции в 3 томах, Алматы, Казань, 20-21 октября 2022 года. Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2023. С. 46-51.

2. Фуртиков К.А. Расчет и выбор автоматики отключений коротких замыканий повторного и резервного включений силового трансформатора напряжением 110/10 кВ: выпускная квалификационная работа / К.А. Фуртиков. Рос. гос. проф.-пед. ун-т, Ин-т инж.-пед. образования, Каф. электрооборудования и энергоснабжения. Екатеринбург, 2016. 59 с.

3. Костюков А.В. Обеспечение безопасных условий эксплуатации силовых трансформаторов // Известия ТулГУ. Технические науки. 2021. №6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obespechenie-bezopasnyh-usloviy-ekspluatatsii-silovyh-transformatorov> (дата обращения: 22.10.2023).

4. Мустафин Р.Р. Меры снижения травматизма в сфере электроэнергетики // Тинчуринские чтения - 2023 "Энергетика и цифровая трансформация": Материалы Международной молодежной научной конференции. В 3-х томах, Казань, 26–28 апреля 2023 года /Под общей редакцией Э.Ю. Абдуллазянова. Том 1. Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2023. С. 717-720.

УДК 658.5

## ОСОБЕННОСТИ ОХРАНЫ ТРУДА НА ЗАВОДЕ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Анастасия Алексеевна Якушова<sup>1</sup>, Валерия Александровна Шумова<sup>2</sup>

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент Лейсан Раисовна Гайнуллина

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г.Казань, Республика Татарстан

<sup>1,2</sup>zarinanrkhmtv@gmail.com

**Аннотация.** Машиностроение – это отрасль, в которой создаются и производятся различные виды машин, инструментов и оборудования. Однако, как и в любой сфере деятельности, существуют определенные риски, которые могут угрожать безопасности нашей жизнедеятельности. В данной статье мы рассмотрим основные риски в машиностроении и меры профилактики, которые позволят минимизировать эти риски.

**Ключевые слова:** влажность, освещение, заводы машиностроения, охрана труда, производство.

# FEATURES OF LABOR PROTECTION AT THE MACHINE-BUILDING PLANT

Anastasia A. Yakusheva<sup>1</sup>, Valeria A. Shumova<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1,2</sup>zarinanrkhmtv@gmail.com

**Abstract.** Mechanical engineering is an industry in which various types of machines, tools and equipment are created and manufactured. However, as in any field of activity, there are certain risks that can threaten the safety of our life. In this text, we will consider the main risks in mechanical engineering and preventive measures that will minimize these risks.

**Keywords:** humidity, lighting, machine-building plants, labor protection, production.

Охрана труда на заводах машиностроения имеет свои специфические особенности, связанные с особенностями производства и наличием опасных рабочих условий. Ключевой задачей охраны труда на подобных предприятиях является обеспечение безопасности всех работников и минимизация рисков возникновения несчастных случаев и профессиональных заболеваний. Основной фокус вопросов охраны труда на заводах машиностроения направлен на предупреждение травматических и химических рисков. Определение и устранение опасных рабочих мест, применение защитного оборудования, обучение сотрудников правилам безопасности и контроль их соблюдения – это важные аспекты охраны труда на подобных предприятиях [1].

На заводах машиностроения присутствует большое количество рабочих механизмов, автоматических установок и оборудования, которые могут стать источником опасности для работников. В связи с этим, особое внимание уделяется обслуживанию и регулярному техническому осмотру оборудования с целью предотвращения возможных аварийных ситуаций. Также важным аспектом является обучение и подготовка работников к безопасной эксплуатации механизмов и установок [2]. Заводы машиностроения могут нести дополнительные риски в связи с химическими веществами, использованием отравляющих материалов или взрывоопасных веществ на производстве. Для того, чтобы справиться со всеми возможными аварийными ситуациями, необходимо использование соответствующие средства индивидуальной защиты и предоставление специальной подготовки для работников в случае чрезвычайных ситуаций.

Также стоит отметить, что на заводах машиностроения высокая интенсивность труда и большое количество монотонных операций могут

привести к психофизическому утомлению работников. В связи с этим, необходимо предусмотреть регулярные перерывы и планомерное распределение нагрузки с целью снижения вероятности ошибок и несчастных случаев [3].

Один из наиболее распространенных рисков в машиностроении – это возможность возникновения аварий и несчастных случаев при эксплуатации машин и оборудования. Для предотвращения таких ситуаций необходимо соблюдать все инструкции по безопасности, которые предусмотрены для каждой конкретной машины или установки. Регулярный технический осмотр и обслуживание также являются важными мерами предотвращения аварий.

Еще одним значительным риском в машиностроении является возможность поломки или дефекта машин и оборудования. Проведение тщательного контроля качества при производстве, а также систематическое тестирование и испытание каждого изделия перед его эксплуатацией позволяет выявить и устранить неполадки еще на стадии производства. Также важно обучение персонала правильной эксплуатации машин и определению зон ответственности для каждого работника [4].

Следующим риском, которому подвержены машины и оборудование в машиностроении, является возможность использования их в злонамеренных целях. Для борьбы с этим риском необходимо принимать меры по обеспечению безопасности на предприятии: контроль доступа к машинам и установкам, установка системы видеонаблюдения и сигнализации. Также важно профилактическое обслуживание и проверка всех систем безопасности [5].

И, наконец, одним из наиболее критических рисков в машиностроении являются возможные повреждения и травмы, получаемые работниками при работе с машинами и оборудованием. Важными мерами профилактики являются обучение сотрудников правилам и техникам безопасной работы, а также снабжение их необходимыми средствами индивидуальной защиты.

В заключение, риски в машиностроении могут быть серьезной угрозой для безопасности жизнедеятельности, однако соответствующие меры профилактики и контроля помогают снизить возможные последствия. Внимательное соблюдение всех инструкций по безопасности, регулярные проверки и обслуживание оборудования, а также обучение персонала являются фундаментальными факторами в обеспечении безопасной работы в машиностроении.

## Источники

1. Басаков М.И. Охрана труда: безопасность жизнедеятельности в условиях производства: учебно-практическое пособие / М.И. Басаков. М.: Ростов н/Д: Феникс, 2018. 345 с.
2. Беляков Г.И. Безопасность жизнедеятельности. Охрана труда / Г.И. Беляков. М.: Юрайт, 2019. 576 с.
3. Пospelов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика / Д.А. Пospelов М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. 2018. 288 с.
4. Солод С.А. Повышение эффективности управления охраной труда на предприятиях машиностроения. Диссертационная работа на соискание ученой степени кандидата технических наук. Ростов-на-Дону, 2019 год.
5. Менеджмент процессов. Под. ред. Беккера, Л. Вилкова, В. Таратухина, М. Кугелера, М. Роземанна / перев. с нем. М: Эксмо, 2018. 384 с.

## СЕКЦИЯ 9. РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

УДК 621.316.925.1

### АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ, БЫСТРОДЕЙСТВИЯ И СЕЛЕКТИВНОСТИ АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

Кристина Михайловна Багурина<sup>1</sup>, Леонид Владимирович Долومانюк<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>lastoshka551@mail.ru, <sup>2</sup>leonid-888@mail.ru

**Аннотация.** В статье представлена краткая информация об устройствах защиты. Были проанализированы материалы, взятые из учебников и учебных пособий, и на их основе была изложена информация об аппаратах защиты, имеющих наилучшие характеристики, благодаря которым обеспечивается высокая селективность, чувствительность и быстродействие.

**Ключевые слова:** расцепитель, автоматический выключатель, короткое замыкание, селективность, быстродействие, чувствительность, повреждение, время срабатывания.

### ANALYSIS OF METHODS FOR INCREASING THE SENSITIVITY, SPEED AND SELECTIVITY OF CIRCUIT BREAKERS

Kristina M. Bagurina<sup>1</sup>, Leonid V. Dolomanyuk<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>lastoshka551@mail.ru, <sup>2</sup>leonid-888@mail.ru

**Abstract.** The article provides brief information about protection devices. Materials taken from textbooks and teaching aids were analyzed, and on their basis information was presented about protection devices that have the best characteristics, thanks to which high selectivity, sensitivity and speed are ensured.

**Keywords:** release, circuit breaker, short circuit, selectivity, operating speed, sensitivity, repairing, response time.

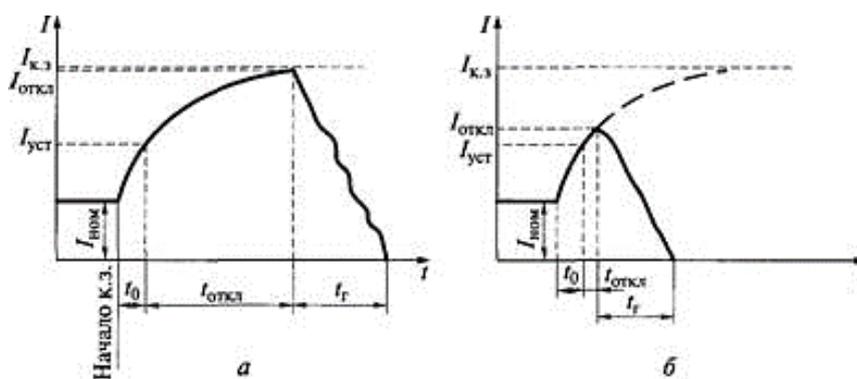
Автоматические выключатели – это коммутационные аппараты, предназначенные для защиты от токов короткого замыкания и токов перегрузки. Они являются необходимым элементом сети для ее надежной

работы, поэтому модернизация автоматических выключателей считается актуальной темой [2].

Разработка новых автоматических выключателей определяется улучшенными характеристиками автоматических выключателей такими, как: селективность, чувствительность и быстродействие.

Селективность заключается в избирательности защитного аппарата, то есть срабатывает коммутационный аппарат, ближайший к месту короткого замыкания, и при этом отключение поврежденного элемента не представляет проблемы для исправной части сети. Исходя из определения, селективность и быстродействие – характеристики неизменно воздействующие друг на друга. Отсутствие селективности позволяет свести к минимуму время срабатывания защиты, однако ее же отсутствие может привести к застою работы в случае отключения исправной части сети. Следовательно, наличие селективности необходимое условие для работы автоматических выключателей.

Для осуществления цели, достижения наилучшей селективности, зачастую применяют токоограничивающие автоматические выключатели, выполняемые по ступенчато-временному принципу и имеющие малое время срабатывания [3, с. 284]. По сравнению с ними нетокоограничивающие выключатели наносят значительные повреждения цепи за счет допущения максимальных значений токов короткого замыкания (см. рисунок).



Процесс отключения при коротком замыкании:

а – нетокоограничивающим выключателем; б – токоограничивающим выключателем

Надежность любой защиты, в том числе и токоограничивающего автоматического выключателя зависит от чувствительности – способности реагировать на минимальный ток повреждения. Для повышения чувствительности в автоматических выключателях вместо

электромагнитных и тепловых расцепителей стали использовать электронный, объединяющий функции всех ныне упомянутых [4, с. 20].

Электромагнитный расцепитель в основном используется для коммутации при коротких замыканиях, тепловой же – при перегрузках [5, с. 45]. Первый срабатывает быстрее, поэтому эффективнее осуществляет срабатывание при превышении номинального тока в десятки раз в короткий промежуток времени. Соответственно, чувствительность электромагнитного расцепителя больше.

При разборе принципа действия электронного расцепителя можно выделить его преимущества: работает с токами короткого замыкания в несколько тысяч ампер, быстрая скорость срабатывания, высокая надежность расцепителя [1].

Электронный расцепитель не основан на механическом воздействии в отличие от электромагнитного и теплового, и состоит датчиков тока и контроллера. Датчики фиксируют превышения параметров тока, а контроллер сравнивает их с предельно допустимыми установленными значениями и подает сигнал на отключение. Электронный расцепитель позволяет настраивать параметры выключателя под конкретные требования защиты сети и обладает большей чувствительностью, чем электромагнитный расцепитель.

Таким образом, с учетом всех преимуществ установка электронного расцепителя в автоматический выключатель способствует повышенной чувствительности и быстродействию срабатывания защиты, что резко повышает жизнеспособность оборудования.

## **Источники**

1. Воркунов, О. В. Физические процессы в вакуумных выключателях при возникновении коммутационных перенапряжений / О. В. Воркунов, Т. И. Афанасьева // Международный технико-экономический журнал, 2021. – № 5. – С. 7-17.

2. ГОСТ 50030.2–99 (МЭК 60947-2-98). Аппаратура распределения и управления низковольтная. Ч. 2. Автоматические выключатели.

3. Иванов, Е. А. Виды автоматических выключателей низкого напряжения / Е. А. Иванов, А. Х. Сабитов // Наука и образование в условиях мировой нестабильности: проблемы, новые этапы развития : Материалы II международной научно-практической конференции. Том Часть 1. – г. Ростов-на-Дону: ООО "Манускрипт", 2022. – С. 284-285.

4. Низковольтные автоматические выключатели: учебное пособие / А.В. Кабышев, Е.В. Тарасов; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 346 с.

5. Харечко В.Н., Харечко Ю.В. Автоматические выключатели модульного исполнения: Справочное пособие. – М.: ООО «Сименс», 2002. – 112 с.

УДК 621.316.925.1

## **ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ РАЗЪЕДИНИТЕЛЕЙ С ЦЕЛЮ ПОВЫШЕНИЯ СТАБИЛЬНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

Ринат Радикович Билалов  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
bilal.r00@mail.ru

**Аннотация.** Управляемый интеллектуальный разъединитель предназначен для быстрого дистанционного секционирования воздушных линий 6-10 кВ и создания видимого разрыва в цепи. В работе с индикаторами короткого замыкания оборудование определяет место аварии, устойчивые и неустойчивые аварийные процессы, включая все виды замыканий на землю и обеспечивает наблюдение за параметрами работы каждого участка воздушной линии.

**Ключевые слова:** распределительная сеть, интеллектуальные разъединители, секционирование воздушных линий.

## **THE USE OF INTELLIGENT DISCONNECTORS IN ORDER TO INCREASE THE STABILITY AND RELIABILITY OF POWER SUPPLY**

Rinat R. Bilalov  
KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
bilal.r00@mail.ru

**Abstract.** The controlled intelligent disconnecter is designed for fast remote partitioning of 6-10 kV overhead lines and creating a visible break in the circuit. When working with short-circuit indicators, the equipment determines the location of the accident, stable and unstable emergency processes, including all types of earth faults, and provides monitoring of the operation parameters of each section of the overhead line.

**Keywords:** distribution network, intelligent disconnectors, overhead line partitioning.

Currently, new switching devices have appeared — intelligent disconnectors and load switches, which makes it possible to increase the degree of automation of power distribution lines. The peculiarity of distribution networks is that it is not necessary to disconnect short-circuit currents in most cases. To increase the efficiency and separation of the damaged area, disconnectors with an arc extinguishing device are used, thereby reducing the partitioning areas and, accordingly, reducing the volume of disconnected consumers.

The total time to restore power supply ranges from 3 to 10 or more hours. At the same time, about 60% of it is spent on searching and locating the damaged area and only 40% is spent directly on performing repair work. With the introduction of decentralized automation, the allocation of a damaged area and the inclusion of backup power occurs automatically, in a matter of seconds. This makes it possible to reduce the time for restoring power supply by 60%, that is, for the time of searching and locating the damaged area, which is significantly less time spent when using the classic version on manual disconnectors [1].

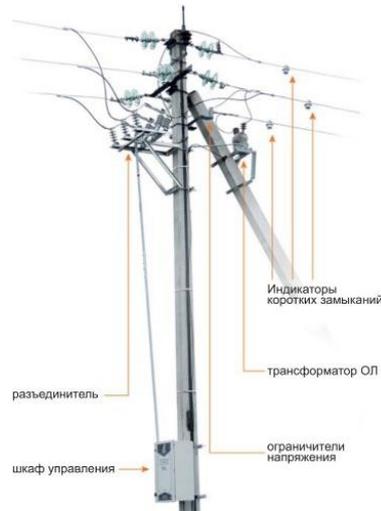
The use of disconnectors as a partitioning element is the most economical, since they already exist on overhead lines. The presence of disconnectors is a necessary condition for the repair of the damaged section of the overhead line [2]. For automatic partitioning, disconnectors must be retrofitted with a remote control module and topographic indicators for fixing the emergency process, which transmit damage signals through high-frequency channels and other telecommunication technologies [3-5].

In addition, the expediency of using disconnectors with remote control modules as sectioning devices is explained by several other circumstances:

- 1) Disconnectors provide a visible gap, which is a necessary condition for the repair of the damaged section of the overhead line.

- 2) A remote-controlled disconnector is much easier to set up and operate than reclosers, since it does not contain relay protection.

- 3) Disconnectors are cheaper than a recloser, which makes it possible to increase the observability of the network and get a greater effect with a given amount of funding [6].



### Application of intelligent disconnectors with additional equipment with remote control modules

The use of intelligent disconnectors makes it possible to increase the efficiency of network management and significantly improve the response time in an emergency situation, reduce the number of disconnected consumers and the time to restore power supply. Partitioning of overhead lines with disconnectors retrofitted with remote control modules and short-circuit indicators allows solving the problem of selective separation of the damaged section in any network of arbitrarily complex topology at minimal cost [7].

### Источники

1. Максимов Б.К., Воротницкий В. Оценка эффективности автоматического секционирования воздушных распределительных сетей 6-10 кВ с применением реклоузеров с целью повышения надёжности электроснабжения потребителей // [Russian Electrical Engineering](#). 2005. Т. 76. № 10. С. 1-16.
2. Щекочихин А.В. Минимизация потерь активной мощности в городских распределительных электрических сетях за счет выбора оптимальной конфигурации // Омский научный вестник, декабрь 1998, С.87-91.
3. Любимов М.К., Мясников И.В., Потанин А.В. Комплексная автоматизация участка воздушной электрической сети // *Master's journal*, 2014. т. 76. №2. С. 158-162.
4. Мальцева И.С., Гавриленко А.Н. Особенности использования высокочастотных каналов связи в системах релейной защиты и автоматики

// Тинчуринские чтения – 2021 «энергетика и цифровая трансформация», 2021. С. 343-346.

5. Султанова Г.И., Гавриленко А.Н. Использование коммуникационных технологий для построения системы релейной защиты // Диспетчеризация и управление в электроэнергетике. Материалы XVII Всероссийской открытой молодежной научно-практической конференции. Казань, 2022. С. 45-48.

6. Кучерявенков А.А., Горожанкин П.А., Централизованное решение по автоматике распределителей 6–10 кВ с использованием «умных» разъединителей и выключателей нагрузки // Электроэнергия. Передача и распределение. 2023, № 4(79).

7. Минуллин Р.Г., Петрушенко Ю.Я., Фардиев И.Ш., Губаев Д.Ф., Лукин Э.И. Особенности подключения локационной аппаратуры к линиям электропередачи для определения места повреждения // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2008. № 7-8. С. 60-70.

УДК 621.316.925.1

## **МЕТОДЫ МИНИМИЗАЦИИ ВЛИЯНИЯ ГОЛОЛЕДНО-ИЗМОРОЗЕВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ПРОВОДАХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ НА РАБОТУ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ЗАЩИТ**

Диана Радиковна Гатина<sup>1</sup>, Дмитрий Сергеевич Крюков<sup>2</sup>

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Юрий Валерьевич Писковацкий

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>gatina-00@list.ru, <sup>2</sup>dimkkr2017@gmail.com

**Аннотация.** В работе исследовано влияние гололедно-изморозевых отложений на проводах воздушных линий электропередачи на работу высокочастотных защит линии. Также представлен метод, позволяющий минимизировать влияние данного фактора на работу защит.

**Ключевые слова:** линия электропередачи, высокочастотные защиты, гололедно-изморозевые отложения, релейная защита.

# METHODS OF MINIMIZING THE INFLUENCE OF ICE AND FROST DEPOSITS ON THE WIRES OF POWER LINES ON THE OPERATION OF HIGH-FREQUENCY PROTECTIONS

Diana R. Gatina<sup>1</sup>, Dmitry S. Kryukov<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>gatina-00@list.ru, <sup>2</sup>dimkkr2017@gmail.com

**Abstract.** The influence of ice and frost deposits on the wires of overhead power lines on the work of high-frequency line protections is investigated in the work. Also presented the method allowing to minimize the influence of the given factor on work of protections.

**Keywords:** power line, high-frequency protection, ice and frost deposits, relay protection.

The main type of relay protection of overhead lines with voltage of 110 kV and higher is high-frequency protection [1].

For the transmission of relay protection is necessary to use high-frequency communication channels.

One of the factors affecting the operation of high-frequency communication channel is the formation of ice and frost deposits on wires [2].

## **Monitoring of frost deposits on the wires of power lines**

The strain gauge method is used to detect frost deposits on the wires of overhead power lines. Its essence consists in weighing of the wire with the ice deposit.

The following methods are in the stage of experimental operation:

- localization - consists in feeding a pulse into a line and calculating the time taken for its propagation along the wire in the forward and backward directions after reflection from the end of the line [3, 4];

- instrumental-parametric - consists in application of inclinometers to measure additional inclination of wires.

The influence of ice on the operation of high-frequency protections is not directly related to the problems of detecting and eliminating the ice. The problem is only to ensure the performance of high-frequency protections of power lines in the presence of ice, since few power lines are equipped with ice and frost monitoring systems, and a large number of power lines are equipped with high-frequency communications.

The influence of ice on the operation of high-frequency protections and a method to prevent and further eliminate this influence

Ice increases the attenuation of high-frequency signals transmitted over overhead lines because dielectric losses occur in the layer of ice surrounding the wire. In addition, as a result of change of dielectric properties of the medium there is a decrease in the speed of propagation of high-frequency signals. As a result: the appearance of ice weakens the high-frequency signal and also disrupts communication on the high-frequency channel.

In addition, it often happens that even before the line is disconnected by the protection, if the signal attenuation is high, the personnel have to manually adjust the receiver sensitivity or, in extreme cases, disconnect the high-frequency communication themselves, as a result of which overhead lines operate without the main relay protection at all. Automatic gain control is used in high-frequency receivers to ensure reception of signals with a wide varying range and to maintain a constant output signal level. Automatic gain control is necessary to minimize the differences between the receiver output and input voltages [5].

Another way to solve the problem of the effect of ice on the operation of high-frequency protections is to switch the receiver sensitivity in steps. For this method, must be used toggle switch: when a low signal notification appears, the toggle switch must be turned on, which will cause the receiver signal to increase. The toggle switch must then be turned off. The advantage of this method is that it will add speed to the work of personnel. The disadvantage of this method is that it is not possible to adjust the signal gain smoothly, the increase is 30-35 dB.

### Conclusion

As a result of the work, a method of improving the current system of high-frequency communication is proposed. This method will minimize the impact of ice on the work of high-frequency protection of power lines.

### Источники

1. Скитальцев, В. С. Высокочастотные каналы релейной защиты. – СПб.: Издание Центра подготовки кадров энергетики, 2005. – 128 с.
2. Писковацкий, Ю.В., Мустафин, Р.Г., Хакимзянов, Э.Ф., Губаев, Д.Ф. Влияние гололедных отложений на проводах воздушных линий электропередачи на скорость распространения импульсного сигнала // Энергетика Татарстана. – 2013. – №3. – С. 39-43.

3. Касимов, В.А., Минуллин, Р.Г. Распознавание локационным методом гололёдных и изморозевых отложений на проводах воздушных линий электропередачи // Электрические станции. – 2018. – № 10. – С. 38-48.

4. Минуллин, Р.Г., Писковацкий, Ю.В., Касимов, В.А. Определение места повреждения локационным методом на линиях электропередачи с ответвлениями // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2021. – Т. 13. – № 3. – С. 69-80.

5. Есаков, В. Ф., Кудрин, И. Г., Шноль, М. М. Автоматическая регулировка усиления в усилителях НЧ. – М.: Энергия, 1970. – 80 с.

УДК 621.316.925.1

## **МЕТОДЫ ПРЕДИКТИВНОЙ АНАЛИТКИ ЯЧЕЕК КРУ 6-35 кВ С ВАКУУМНЫМ ВЫКЛЮЧАТЕЛЯМИ**

Руслан Рафисович Гизатуллин  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия  
yanoe545@gmail.com

**Аннотация.** Статья заявляет о том, что при эксплуатации электрооборудования распределительных сетей 6-35 кВ возникают различные ситуации, которые повышают вероятность выхода оборудования из строя и могут привести к аварийной работе распределительного пункта или подстанции. Для предотвращения подобных ситуаций и обеспечения непрерывной работы оборудования предлагается использовать профилактическое техническое обслуживание, которое включает в себя внедрение датчиков мониторинга, измерительных и преобразующих устройств, контроллерного оборудования и коммуникационной инфраструктуры, веб-серверов и специализированного программного обеспечения.

**Ключевые слова:** эксплуатация, электрооборудование, распределительные сети, мониторинг параметров, контроль технологических параметров, управление оборудованием, локальное хранение данных.

# METHODS OF PREDICTIVE ANALYTICS OF 6-35 kV SWITCHGEAR CELLS WITH VACUUM SWITCHES

Ruslan R.Gizatullin

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

yanoe545@gmail.com

**Abstract.** The article is a proposal that during the operation of electrical equipment of 6-35 kV distribution networks, various situations arise that increase the likelihood of equipment failure and may lead to emergency operation of a distribution point or substation. To prevent such situations and ensure the continuous operation of the equipment, it is proposed to use predictive maintenance, which includes the introduction of monitoring sensors, measuring and converting devices, controller equipment and communication infrastructure, web servers and specialized software.

**Keywords:** operation, electrical equipment, distribution networks, parameter monitoring, control of technological parameters, equipment management, local data storage.

During the operation of electrical equipment of 6-35 kV distribution networks, various situations inevitably arise that increase the likelihood of its failure, which can lead to emergency operation of the distribution point (RP) or substation [1].

Predictive maintenance is a promising methodology for managing the technical condition of equipment, implemented through continuous monitoring [2]. It involves the introduction of monitoring sensors, measuring and converting devices, controller equipment and communication infrastructure, web servers, specialized software [3].

The technical solution of the company ENERGOZASHCHITA LLC includes the use of the Clover system as part of the CRU cells, the functions of which are the collection, monitoring, storage, processing and transmission of technological parameters of the equipment included in the cell, which allows receiving, recording and transmitting images from video cameras, performing operational switching locally and remotely.

The main characteristics of the “Clover” system

- monitoring of the parameters of the current values of phase currents, phase and line voltages, phase capacities;
- control of the values of technological parameters:
  - temperature values inside the cabinet of the switchgear;
  - the difference between the interfacial temperatures on the cable couplings and on the plug-in contacts of the BB;

- registration of excessive and normalized temperature exceedances of contact connections;
- current position of the BB, grounding knife, pull-out element;
- the current number of operations "on/off" for the BB, "grounded/disconnected" for the grounding knife, "pumped in/pumped out" for the pull-out element;
- presence/absence of high voltage on cable lines;
- residual life of the BB, grounding knife, residual mechanical life of the roll-out element;
- the time between the shutdown command and the physical break of the circuit by a high-voltage switch (spring elasticity of the wire);
  - implementation of operational blocking when operating switching equipment;
  - the ability to connect up to four video cameras using machine vision;
  - monitoring of parameters with transmission of emergency events to SCADA and informing personnel through electronic alerts [4];
  - monitoring of cut-off short-circuit currents;
  - the presence of a local data warehouse that allows you to store and display information on the display;
  - the presence of an electronic assistant capable of providing information on the necessary routine maintenance, depending on the operating time, operating conditions of the equipment, analyzing the residual life of explosives by taking into account and fixing the short-circuit current flowing at the time of switching with subtraction from the characteristics regulated by the manufacturer, accounting for mechanical life, correlation, based on the data of the temperature regime at the time of operation of the equipment, to monitor and diagnose the temperature of contact connections using pyrometric sensors [5];

## Sources

1. Igor Ivankovic, Ksenija Zubrinic-Kostovic, Aleksandar Susa, Zoran Zbunjak Smart Grid Monitoring of High voltage Circuit Breaker Lifetime with Data in Control Room [Электронный ресурс] Режим доступа: [https://www.researchgate.net/publication/346951893\\_Smart\\_Grid\\_Monitoring\\_of\\_High\\_voltage\\_Circuit\\_Breaker\\_Lifetime\\_with\\_Data\\_in\\_Control\\_Room](https://www.researchgate.net/publication/346951893_Smart_Grid_Monitoring_of_High_voltage_Circuit_Breaker_Lifetime_with_Data_in_Control_Room) (дата обращения: 29.06.2022).
2. Гранская А.А., Губаев Д.Ф., Мустафин Р.Г., Гранский Г.А. Применение системы векторных измерений на ЦПС // Диспетчеризация и

управление в электроэнергетике. Материалы XVII Всероссийской открытой молодежной научно-практической конференции. Редколлегия: А.Г. Арзамасова (отв. редактор). Казань, 2022. С. 15-18.3.

3. Schlabbach, J.; Rofalski, K.H. Power System Engineering: Planning, Design, and Operation of Power Systems and Equipment; Wiley VCH: Weinheim, Germany, 2014.

4. Гиниятов С.А., Мустафин Р.Г. Применение протокола Sampled Values в системах РЗА цифровой подстанции // ТИНЧУРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2021 «ЭНЕРГЕТИКА И ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ». Материалы Международной молодежной научной конференции. В 3 томах. Казань, 2021. С. 324-327.

5. Оборудование среднего напряжения 6,10 кВ [Электронный ресурс]

Режим доступа: <https://www.ez16.ru/upload/iblock/8b4/8b4ca0ed8edc57efd29c2509b667bcba.pdf> (дата обращения: 11.07.2022)

УДК 621.316.925.1

## **ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОМПЛЕКТНЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ В ЦИФРОВОЙ ПОДСТАНЦИИ**

Руслан Рафисович Гизатуллин  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия  
yanoe545@gmail.com

**Аннотация.** Статья рассматривает особенности эксплуатации системы управления распределительными сетями КРУ-Smart в цифровых подстанциях. Описываются преимущества данной системы, включая возможность удаленного мониторинга и управления оборудованием, высокую степень автоматизации, сбор и анализ больших объемов данных, интеграцию с другими цифровыми системами, прогнозирование нагрузки и оптимизацию работы оборудования, а также гибкость и масштабируемость системы.

**Ключевые слова:** интеллектуальные логические устройства, коммуникационные протоколы, цифровая подстанция.

# FEATURES OF OPERATION OF COMPLETE SWITCHGEAR IN A DIGITAL SUBSTATION

Ruslan R. Gizzatullin  
KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
yanoe545@gmail.com

**Abstract.** The article examines the features of the operation of the control system of the KRU-Smart distribution networks in digital substations. The advantages of this system are described, including the possibility of remote monitoring and control of equipment, a high degree of automation, collection and analysis of large amounts of data, integration with other digital systems, load forecasting and optimization of equipment operation, as well as flexibility and scalability of the system.

**Keywords:** intelligent logic devices, communication protocols, digital substation.

Цифровая подстанция (ЦПС) представляет собой современную энергетическую систему, где все процессы информационного обмена и управления осуществляются в цифровом формате с использованием стандартов серии МЭК 61850. В ЦПС применяются передовые технологии, такие как цифровые коммуникационные протоколы, сетевые архитектуры и устройства, которые обеспечивают высокую степень автоматизации и эффективность работы подстанции [1].

Одной из основных особенностей ЦПС является использование стандартов МЭК 61850, которые определяют единый формат обмена информацией между различными элементами подстанции, такими как реле защиты, измерительные приборы, выключатели и другие устройства [2]. Это позволяет создать единую цифровую среду, где данные могут передаваться и обрабатываться эффективно и надежно.

На рисунке представлена архитектура построения цифрового шкафа КРУ-Smart для распределительной сети 6-10 кВ, её особенностью является применение интеллектуального цифрового первичного оборудования, устанавливаемого внутри шкафа КРУ, и использование кластерной технологии, так как данная технология построения ЦПС является более эффективной по сравнению с традиционными подходами к построению ЦПС [3].



Цифровой вычислительный кластер и основные ЛВС внутри цифрового шкафа КРУ

Цифровой вычислительный кластер (ЦВК) представляет собой часть ЦПС, которая объединяет определенный набор функций в виде программно реализованных интеллектуальных логических устройств [4]. ЦВК работает на единой аппаратной платформе, которая может быть контроллерным оборудованием или промышленными серверными платформами реального времени с необходимой надежностью и степенью резервирования. В ЦВК могут быть объединены как несколько шкафов КРУ подстанции, так и все шкафы КРУ на подстанции, чтобы выполнять различные функции, такие как РЗА, АСУ ТП, РАС, АСКУЭ и т.д. [5]. Различные ЦВК могут использовать цифровые коммутационные аппараты и датчики тока и напряжения, установленные внутри шкафов КРУ, в качестве источника данных. Эта архитектура не только унифицирует технические решения, но и сокращает затраты и сроки изготовления цифровых шкафов КРУ-Smart.

## Источники

1. Гранская А.А., Губаев Д.Ф., Мустафин Р.Г., Гранский Г.А. Применение системы векторных измерений на ЦПС // Диспетчеризация и управление в электроэнергетике. Материалы XVII Всероссийской открытой молодежной научно-практической конференции. Редколлегия: А.Г. Арзамасова (отв. редактор). Казань, 2022. С. 15-18.
2. Гиниятов С.А., Мустафин Р.Г. Применение протокола Sampled Values в системах РЗА цифровой подстанции // ТИНЧУРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2021 «ЭНЕРГЕТИКА И ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ». Материалы Международной молодежной научной конференции. В 3 томах. Казань, 2021. С. 324-327.

3. Оборудование среднего напряжения 6,10 кВ [Электронный ресурс]

Режим доступа: <https://www.ez16.ru/upload/iblock/8b4/8b4ca0ed8edc57efd29c2509b667bcba.pdf> (дата обращения: 11.9.2023).

4. Schlabbach, J.; Rofalski, K.H. Power System Engineering: Planning, Design, and Operation of Power Systems and Equipment; Wiley VCH: Weinheim, Germany, 2014.

5. Igor Ivankovic, Ksenija Zubrinic-Kostovic, Aleksandar Susa, Zoran Zbunjak Smart Grid Monitoring of High voltage Circuit Breaker Lifetime with Data in Control Room [Электронный ресурс] Режим доступа: [https://www.researchgate.net/publication/346951893\\_Smart\\_Grid\\_Monitoring\\_of\\_High\\_voltage\\_Circuit\\_Breaker\\_Lifetime\\_with\\_Data\\_in\\_Control\\_Room](https://www.researchgate.net/publication/346951893_Smart_Grid_Monitoring_of_High_voltage_Circuit_Breaker_Lifetime_with_Data_in_Control_Room) (дата обращения: 29.10.2023).

УДК 621.316.925.1

## ИМИТАЦИОННЫЕ И АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ В РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЕ. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛГОРИТМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ В ЗАЩИТЕ ДАЛЬНОГО РЕЗЕРВИРОВАНИЯ

Рустам Альфредович Зайниев

Науч. рук. д-р техн. наук, Василь Амирович Касимов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

[rustam.zayni@mail.ru](mailto:rustam.zayni@mail.ru)

**Аннотация.** В тезисе приводится сравнение имитационных и алгоритмических моделей, используемых в релейной защите. Приводится пример использования последних в алгоритмах защиты дальнего резервирования.

**Ключевые слова:** дальнее резервирование, алгоритмическое моделирование, имитационное моделирование.

## SIMULATION AND ALGORITHMIC MODELS IN RELAY PROTECTION. THE USE OF AN ALGORITHMIC MODEL IN THE DISTANT BACKUP PROTECTION

Rustam A. Zayniev

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

[rustam.zayni@mail.ru](mailto:rustam.zayni@mail.ru)

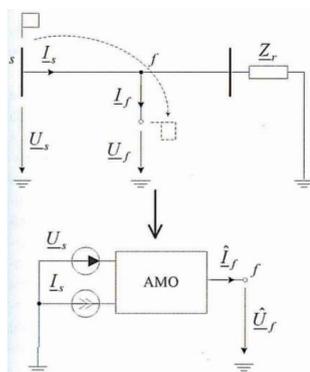
**Abstract.** The thesis provides a comparison of simulation and algorithmic models used in relay protection. An example of the use of the latter in long-range redundancy protection algorithms is given.

**Keywords:** distant backup protection, algorithmic modeling, simulation modeling.

Современные микропроцессорные устройства релейной защиты (РЗ) обладают определенным достоинством в сравнении с ее предшественниками. Это достоинство состоит в способности максимально использовать информационную базу доступной РЗ. Сегодняшние устройства РЗ могут оперировать моделями защищаемых объектов. Наиболее распространены два вида моделей, используемых в целях РЗ: имитационные и алгоритмические. Но в задачах, которые они решают, есть существенные различия.

Имитационная модель объекта (ИМО) – это логико-математическое описание изучаемого объекта [1]. Оно используется при проектировании РЗ, анализе и оценке функционирования алгоритмов РЗ.

Алгоритмическая модель объекта (АМО) позволяет оценить токи и напряжения  $I_f$  и  $U_f$  в предполагаемом месте повреждения  $f$  (см. рисунок). Делается это по определенному алгоритму с помощью математической модели объекта и вектора наблюдения  $V_s$ , который может быть получен как с помощью устройства, установленного на самом объекте, так и ИМО данного объекта [2]. Иными словами, АМО является неким виртуальным устройством, которое фиксирует электрические величины  $I_f$  и  $U_f$  в точке  $f$ , в действительности не доступные для нашего наблюдения из головного участка линии.



Алгоритмическая модель линии электропередачи

АМО представляет из себя систему обработки информации, от которой требуется по фиксируемым в определённой точке схемы электрическим величинам определить скрытые от неё данные [3].

Параметры линии доступны и ИМО, и АМО, в то время как данные об аварии и режиме работы систем для АМО недоступны. Проблему отсутствия данных о режиме можно решить путем привлечения векторов наблюдения с разных концов линии. Однако речь здесь уже будет идти об алгоритмах с многосторонним замером [4].

Задачей дальнего резервирования является селективное отключение ЛЭП при КЗ на стороне НН ответвительных ПС. Осуществление этой задачи осложнено тем, что нагрузка на линии зачастую значительно превышает номинальную мощность отпайки. Использование АМО позволяет решить данную проблему и значительно повысить чувствительность защиты.

Компанией ООО «НПП Бреслер» был создан терминал РЗ, который оперирует АМО, что позволяет оценивать токи  $I_f$  и напряжения  $U_f$  в ветви предполагаемого повреждения  $f$ , что равноценно установке на НН трансформатора виртуального реле сопротивления (ВРС). Зная значения аварийных и предшествующих токов и напряжений в месте установки защиты, она по определенным законам оценивает токи и напряжения в месте установки ВРС [5]. Благодаря алгоритмическим моделям получается надежно защитить каждую из ответвительных подстанций.

### Источники

1. Фурсов, Д. В. Имитационное моделирование информационного воздействия с использованием средств массовой коммуникации / Д. В. Фурсов // Процессы управления и устойчивость. – 2018. – Т. 5, № 1. – С. 517-522. – EDN VLFNKH.

2. Лямец Ю.Я., Нудельман Г.С., Павлов А.О. Алгоритмические модели электрических систем // Труды акад. электротехн. наук Чуваш. респ. 1999. № 1 – 2. С. 10 – 21.

3. Бычков, Ю. В. Алгоритмические модели на примере защиты дальнего резервирования и определения места повреждения / Ю. В. Бычков, Д. С. Васильев, А. О. Павлов // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 2010. – № 6. – С. 63-67. – EDN NCLSEL.

4. Бычков, Ю. В. Алгоритмические модели в релейной защите / Ю. В. Бычков, Д. С. Васильев, А. О. Павлов // Релейная защита и автоматизация. – 2012. – № 1(6). – С. 20-25. – EDN PCGMAT.

5. Зайниев Р.А. Повышение эффективности защиты дальнего резервирования / XVII Всероссийская открытая молодежная научно-практическая конференция «Диспетчеризация и управление в электроэнергетике»: материалы конференции (Казань, 20–22 октября 2022 г.) – С. 19-21.

## **ВЛИЯНИЕ ДВИГАТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ НА РАБОТУ ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ АВТОМАТИКИ**

Артур Ринатович Зинатуллин

Науч. рук. канд. физ.-мат. наук Андрей Николаевич Гавриленко

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

artur\_zinatuyllin\_20001@mail.ru

**Аннотация.** В данной работе рассматриваются особенности построения устройств автоматики на подстанциях с установленными на ней электродвигателями. Выделены основные виды автоматики, которые необходимо устанавливать на подстанции. Определяются условия срабатывания автоматики.

**Ключевые слова:** двигательная нагрузка, электродвигатели, время срабатывания, состав нагрузки.

## **THE EFFECT OF MOTOR LOAD ON THE OPERATION OF EMERGENCY AUTOMATION**

Artur R. Zinatullin

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

artur\_zinatuyllin\_20001@mail.ru

**Abstract.** In this paper, the features of the construction of automation devices at substations with electric motors installed on it are considered. The main types of automation that need to be installed at the substation are highlighted. The conditions for triggering automation are determined.

**Keywords:** motor load, electric motors, response time, load composition.

Due to the change in the structure of power systems, the nature of the load changes. Therefore, arrays of asynchronous and synchronous electric motors with high power appear. In addition, the number of consumers of the first category is now increasing, the shutdown of which will entail huge losses of funds.

It is for these reasons that it is necessary to install modern means of emergency automation. Due to changes in the parametric and structural characteristics of electrical networks, it is necessary to use automatic input of reserve (AIE) and frequency unloading (AFU).

In conditions of a joint run-out of electric motors at several substations that are connected through the supply network and therefore there is an exchange of power between the power supply nodes - part of the electric motors retains the motor mode, and part switches to the generator mode in order to feed the load [1].

When some substations are introduced with a decrease in frequency, the direction of active power is maintained and this leads to a false operation of the AFU and failure of the AIE. In low-power power systems or areas with a power shortage, when the load is loaded, the frequency in the network decreases, and after the load is reset, a long frequency jump is observed, which also increases the likelihood of the AFU triggering when the load is loaded and the high-speed AIE when the load is reset.

When switching powerful braking synchronous electric motors to a reserve in the reserve input cycle, it can completely extinguish the substation, followed by the shutdown of the production facilities powered by this substation. During the swing of synchronous motors, the direction of power can change, which leads to the activation of the AFU. These regimes, which are mentioned above, cause enormous damage to production.

It is worth noting that in some cases automation with frequency control and power direction negatively affects the stability and reliability of the power system with a shortage of active power. With a reduction in the number of generating stations and the volume of capacity in some areas, there is a possibility of a power shortage, which leads to a heavy load on existing generators [2]. This may cause the generators to slow down; the high-inertia load switches to the active power generator mode, synchronizing with the new operating conditions of the power system. Moreover, the lower the load of the synchronous motor, the earlier the EMF vectors will coincide and, consequently, the longer the flow of active power into the system lasts.

If the voltage frequency on the section turns out to be higher than in the power system, then the direction of active power corresponds to the power loss mode. It is for this reason that AFU devices can fail at the most inopportune time for the consumer. This entails an increase in the response time in the absence of blocking by active power, since the decrease in the frequency of rotation of the generators may be delayed relative to the overall decrease in frequency in the system [3].

In addition, the use of AIE at substations with electric motors is quite a significant destabilizing factor. This entails the following:

- Disconnecting a powerful load in order to equalize the frequency, which can affect large-scale production and cause mass under-output of products;

- When switching the running-out electric motors to other sections, a power surge to the power system may occur. [4].

Consequently, the choice of the structure and parameters of the operation of emergency automation in the load nodes must be made taking into account the natural characteristics of the consumer, the relationship between the characteristics of the consumer and the power system, as well as debugging of individual automation tools among themselves. [5].

### Источники

1. Мальцева, И. С. Особенности использования высокочастотных каналов связи в системах релейной защиты и автоматики / И. С. Мальцева, А. Н. Гавриленко // Тинчуринские чтения – 2021 «Энергетика и цифровая трансформация» : Материалы Международной молодежной научной конференции. В 3 томах, Казань, 28–30 апреля 2021 года. Том 1. – Казань: ООО ПК «Астор и Я», 2021. – С. 343-346. – EDN JDGRKJ.

2. Султанова, Г. И. Использование коммуникационных технологий для построения системы релейной защиты / Г. И. Султанова, А. Н. Гавриленко // Диспетчеризация и управление в электроэнергетике : Материалы XVII Всероссийской открытой молодежной научно-практической конференции, Казань, 20–22 октября 2022 года / Редколлегия: А.Г. Арзамасова (отв. редактор). – Казань: ООО "Издательство Фолиант", 2022. – С. 45-48. – EDNALYVVB.

3. Писковацкий, Ю. В. Способ обнаружения устойчивых повреждений воздушных линий электропередачи напряжением 110-220 кВ в цикле автоматического повторного включения. / Ю. В. Писковацкий // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2011. – № 5-6. – С. 96-103. – EDN NVAMFX.

4. Шабад М. А. Релейная защита и автоматика на электроподстанциях, питающих синхронные двигатели. Ленинград. Энергоатомиздат. Ленинградское отделение, 1984.

5. Дьяков А. Ф., Овчаренко Н. И. Микропроцессорная автоматика и релейная защита электроэнергетических систем: учебное пособие. — М.: Издательский дом МЭИ, 2010.

## **АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, УКАЗЫВАЮЩИХ НА РАЗВИТИЕ ВИТКОВЫХ ЗАМЫКАНИЙ В ОБМОТКАХ ТРАНСФОРМАТОРОВ 6–10/0,4 кВ**

Дмитрий Сергеевич Крюков

Науч. рук. канд. физ.-мат. наук, доц. Андрей Николаевич Гавриленко

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

dimkkr2017@gmail.com

**Аннотация.** В тезисе рассмотрены факторы, указывающие на развитие витковых замыканий в обмотках трансформаторов.

**Ключевые слова:** витковое замыкание, трансформатор, классификация факторов, короткое замыкание.

## **ANALYSIS OF FACTORS INDICATING THE DEVELOPMENT OF TURN FAILURES IN THE WINDINGS OF 6–10/0,4 kV TRANSFORMERS**

Dmitry S. Kryukov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

dimkkr2017@gmail.com

**Abstract.** The thesis examines factors indicating the development of turn faults in transformer windings.

**Keywords:** turn circuit, transformer, classification of factors, short circuit.

During operation in power systems, electrical equipment is exposed to a number of external and internal electromagnetic and other operational influences [1]. The causes of transformer failure have not been sufficiently studied. Identifying transformer damage at an early stage of development will reduce power supply interruptions.

Turn faults are one of the main causes of damage to power transformers of high and medium voltage classes.

The causes of turn faults have not been sufficiently studied. Often fuses that are installed as the main protection are not sensitive to interturn situations [2].

Table shows the causes of transformer faults.

Percentage of causes of damage to transformers

Causes of damage	Share, %
Factory defects	35
Low organization of operation	20,5
Poor quality repair or installation	18
Lightning surges	5,5
Aging insulation	10
Other defects	11

One of the factors influencing the occurrence of interturn short circuits is manufacturing defects. For example, defects in the winding wire, burrs on the windings, weak tension of the turns.

Interturn short circuits can occur due to poor quality of overhaul of transformers, namely due to incompetence and personnel errors.

Lightning and switching overvoltages, which affect the insulation of windings during operation of transformers, can also cause interturn short circuits [3].

Insulation aging is another factor affecting turn-to-turn short circuit. Under the influence of mechanical loads, the insulation can collapse and form microcracks, which worsens its dielectric properties and increases the likelihood of an interturn short circuit.

To prevent electrical aging, it is necessary to observe the correct operating mode of the transformer and not exceed the permissible voltage values. This can lead to the occurrence of partial discharges and accelerated electrical aging of the longitudinal insulation [4].

Thermal aging of interturn insulation is also an important factor associated with changes in its structure and dielectric properties under the influence of electrical load.

Based on the analysis of these factors, protections are created that make it possible to detect turn short circuits in transformers. For example, analyzing the parameters of transient processes in a transformer makes it possible to prevent mechanical aging, which affects the insulation condition [5]. And as already mentioned, insulation aging is a factor that affects the turn circuit. In addition, a method for detecting turn faults based on power differential is being developed.

After analyzing these protections, we can conclude that these protections make it possible to identify emerging interturn short circuits in transformers at

an early stage, which allows replacing the transformer and thereby avoiding major damage and minimizing interruptions in power supply to consumers, in addition, increasing reliability and efficiency power supply in general.

### **Источники**

1. Сабилов, И.И., Гавриленко, А.Н. Автоматизированные системы контроля состояния силовых трансформаторов // Материалы XVII Всероссийской открытой молодежной научно-практической конференции – СПб: ООО «Издательство Фолиант», 2022. – С. 315-317.

2. Мустафин, Р.Г., Писковацкий, Ю.В., Сиразутдинов, Ф.Р., Гавриленко, А.Н. Разработка метода определения витковых замыканий в обмотке трёхфазного трансформатора // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2021. – Т 23. – №1. – С. 46-58.

3. Шнайдер, Г.Я. Электрическая изоляция трансформаторов высокого напряжения. – М.: Знак, 2009. – 160 с.

4. Быстрицкий, Г.Ф., Кудрин, Б.И. Выбор и эксплуатация силовых трансформаторов. – М.: Академия, 2003. – 176 с.

5. Мустафин, Р.Г. Обнаружения витковых замыканий обмоток трансформаторов по параметрам переходного процесса // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2019. – Т 21. – №3. – С. 14-23.

УДК 621.316.925.1

## **РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА СИСТЕМЫ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТЫ ДАЛЬНЕГО РЕЗЕРВИРОВАНИЯ**

Рафаэль Радикович Кузнецов

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Дамир Фатыхович Губаев

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

kuz-rafael@rambler.ru

**Аннотация.** В статье проводится анализ влияния внешних факторов на системы релейной защиты и на основе этого анализа предложена концепция алгоритма функционирования системы релейной защиты с адаптивной уставкой.

**Ключевые слова:** энергетическая отрасль, линии электропередач, резервирование, релейная защита, мониторинг.

# DEVELOPMENT OF A RELAY PROTECTION SYSTEM ALGORITHM TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF LONG-RANGE REDUNDANT PROTECTION

Rafael R. Kuznetsov

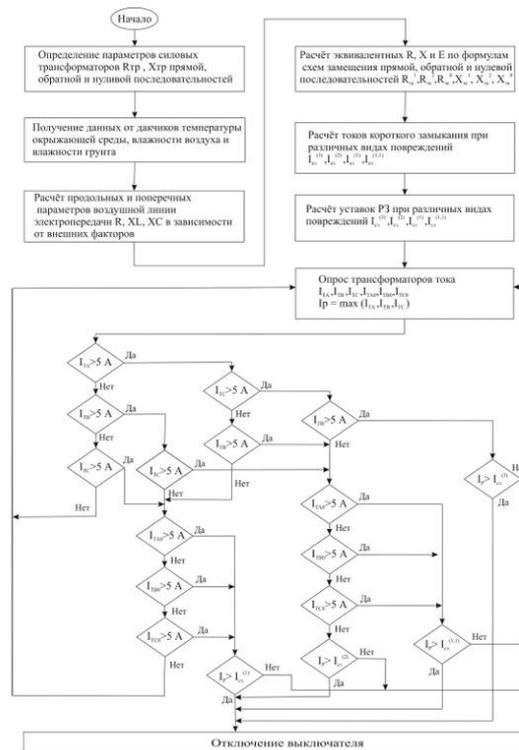
KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

kuz-rafael@rambler.ru

**Abstract.** The article analyzes the influence of external factors on relay protection systems and, based on this analysis, proposes the concept of an algorithm for the operation of a relay protection system with adaptive setpoints.

**Keywords:** power industry, power lines, redundancy, relay protection, monitoring.

Проблематика, связанная с релейной защитой, представляет собой одну из ключевых причин серьезных аварий в энергетических системах по всему миру. В соответствии с данными North American Electric Reliability Council, в 74% случаев тяжелых аварий в энергосистемах коренным образом обусловлены аномалиями в реакциях цифровых устройств релейной защиты в процессе эскалации аварийных сценариев [1]. Современные микропроцессорные устройства релейной защиты интегрируют в себе функциональности релейной защиты, автоматики, измерений, регулирования и управления, создавая единое цифровое информационное пространство. В контексте этой динамики, многие производители релейной защиты трансформируют свою продукцию, осуществляя переход от электромеханических реле к цифровым электронным компонентам, что влечет за собой существенные улучшения в функциональных возможностях, обслуживании и снижении эксплуатационных затрат. Алгоритм функционирования основной релейной защиты, представленный на рисунке, стратегически спроектирован для исключения вероятности человеческого фактора в срабатывании. Система автономно определяет уставки, анализируя высокоточные данные от датчиков тока на линии передачи и вторичных токов трансформаторов тока.



Представленная концепция алгоритма функционирования системы релейной защиты с адаптивной уставкой

Процесс начинается с формирования математической модели управляемой электроснабжающей сети с применением инструментария Mathcad [2], где осуществляется не только моделирование, но и валидация полученных результатов. После успешного этапа верификации, формулы для определения параметров источника питания, силовых трансформаторов и воздушных линий передачи транскрибируются в код высокого уровня. Эти формулы, включая анализ схем замещения прямой, обратной и нулевой последовательностей с учетом трансформаторных связей, становятся интегральной частью программной реализации. Для учета переменных параметров линии в уравнения внедряются динамически обновляемые датчиками переменные, совершенствуя точность моделирования. Актуализация информации о токах от трансформаторов на фазах ТА, ТВ, ТС и трансформаторов фильтра нулевой последовательности ТА0, ТВ0, ТС0 осуществляется в режиме реального времени, что обеспечивает постоянное обновление данных о состоянии системы. Важным этапом является выделение и анализ максимальных значений вторичных токов ТТ ТА, ТВ, ТС с целью выявления пикового значения  $I_p$ , сохраняемого программой для последующего использования в аварийных сценариях. На следующем этапе производится расчет токов

короткого замыкания для множества сценариев, таких как однофазное, двухфазное, трехфазное и двухфазное короткое замыкание на землю. Эти расчеты пересматриваются периодически с учетом изменений окружающей среды, регулировки которых проводятся, основываясь на показаниях сенсоров температуры, влажности воздуха, скорости ветра и влажности грунта. На основе полученных данных о токах короткого замыкания производится автоматизированная настройка уставок срабатывания защиты для разнообразных сценариев повреждений. Этот алгоритм гарантирует автономное управление защитой, обеспечивая высокую точность реакции на различные эксплуатационные сценарии и минимизируя роль человеческого фактора в повышении надежности и устойчивости энергетической системы [3].

### Источники

1. Каскевич, Э.П. Эквивалентное сопротивление горизонтальнослоистой земли в расчетах влияния ВЛ на линии связи / Э.П. Каскевич, Г.Г. Пучков // Электрические характеристики земли и заземлителей. Новосибирск, 1976. Вып. 33. С. 48 – 54.
2. Киреев, П.С. Многопараметрическая релейная защита дальнего резервирования ответственных подстанций распределительных электрических сетей 6 – 110 кВ: дисс. к-та техн.наук: 05.14.02/ Киреев Павел Сергеевич. – Новочеркасск, 2016. – 299 с.
3. Клецель, М.Я. Анализ чувствительности резервных защит распределительных сетей энергосистем / М.Я. Клецель, К.И. Никитин // Электричество. – 1992. – № 2. – С. 19 – 23.
4. Гранская А.А., Губаев Д.Ф., Мустафин Р.Г., Гранский Г.А. Применение системы векторных измерений на ЦПС // Диспетчеризация и управление в электроэнергетике. Материалы XVII Всероссийской открытой молодежной научно-практической конференции. Редколлегия: А.Г. Арзамасова (отв. редактор). Казань, 2022. С. 15-18.3.
5. Гранская А.А., Гранский Г.А., Мустафин Р.Г., «Применение технологии синхронизированных векторных измерений для выполнения функций релейной защиты» // БУТАКОВСКИЕ ЧТЕНИЯ. Сборник статей II Всероссийской с международным участием молодежной конференции. Томск, 2022. С. 69-71.

## ДИАГНОСТИКА СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ МЕТОДОМ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ

Нушозар Мирзоназарович Лоиков

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Айрат Мухамедович Гатауллин

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

loiqzodanushozar00@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассмотрены основные методы диагностики функционального состояния силовых трансформаторов. Предложен метод частичных разрядов для диагностики изоляции силовых трансформаторов цифровых подстанций.

**Ключевые слова:** диагностика силовых трансформаторов, метод частичных разрядов, диагностика оборудования цифровых подстанций.

## DIAGNOSTICS OF POWER TRANSFORMERS USING THE PARTIAL DISCHARGE METHOD

Nushozar M. Loiqov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

loiqzodanushozar00@mail.ru

**Abstract.** The article discusses the main methods for diagnosing the functional state of power transformers. A partial discharge method is proposed for diagnosing the insulation of power transformers in digital substations.

**Key words:** diagnostics of power transformers, partial discharge method, diagnostics of digital substations equipment.

As is known, the performance of power transformers is determined by the condition of all its components, primarily by the condition of liquid and interturn insulation. The author investigated modern problems of monitoring the condition of the main components of power transformers [1], compared traditional methods of diagnosing power transformers with modern ones based on analysis of the characteristics of partial discharges and direct measurement of the temperature of the transformer windings using modern fiber optic sensors. The author proposed a software and hardware complex for diagnosing interturn insulation based on the characteristics of partial discharges in the UHF range of

electromagnetic radiation and measuring the temperature of interturn insulation based on fiber-optic sensors.

Let's consider the main traditional methods for diagnosing power transformers. A number of works analyze the causes of damage to transformers [2] and propose comprehensive approaches to monitoring the condition of power transformers [3, 4]. Some works set the task of diagnosing the condition of transformers based on the current parameters of the functioning of its individual components. This problem arose quite a long time ago, but remains relevant to this day and is solved, among other things, using combined diagnostic methods based on vibroacoustic, frequency and energy analysis [5].

At digital substations, it is important to diagnose the functional state of transformers in monitoring mode [6]. The author proposes to use the method of recording and analyzing the characteristics of partial discharges in the ultra-high frequency (microwave) range of electromagnetic radiation to diagnose the gas insulation of a power transformer at new generation digital substations. Let us list some methods for assessing the condition of transformer oil of power transformers: the method of increased breakdown voltage, the fuchsin test method, chromatographic analysis of the oil composition. To assess the condition of the tank and transformer bushings, for example, thermal imaging testing is used. Recently, a combination of several methods has been used to diagnose support insulators, for example, the partial discharge method and vibration control are used together, and the ohmic resistance can be estimated from the characteristics of partial discharges [7]. Thermal imaging monitoring of power transformers, which is an auxiliary diagnostic method, which, along with traditional methods (measurement of ohmic insulation resistance, no-load current, chromatographic analysis of the gas composition of the oil, etc.) provides additional information about the condition of power transformers, which is inaccurate, because The temperature of the transformer windings is not directly measured. Thermal imaging monitoring of power transformers has shown that it can be used to detect insulation violations of individual pipeline elements, for example, consoles, studs, malfunctions of cooling systems (oil pumps, filters, fans, etc.), changes in the oil. circulation in the transformer tank as a result of slag formation, structural damage, swelling or displacement of winding insulation (especially for transformers with a long service life), heating of the internal contact groups of the transformer, short circuits of interturn insulation.

The author concluded that the thermal imaging method has limitations in sensitivity. At the same time, heating when, for example, interturn insulation is violated occurs, among other things, due to partial discharges. Modern fiber

optic temperature sensors, sensitive to partial discharges in interturn insulation and the temperature of internal contact groups, are capable of determining heating in internal contact groups and in interturn insulation with an accuracy of 0.1 degrees. At the same time, the author found that there is a correlation between partial discharges and the temperature distribution inside the transformer. In the work, the author proposes to use the partial discharge method with registration of partial discharges in the UHF range of electromagnetic radiation to determine the hottest point in the transformer tank in monitoring mode. It is planned to place several UHF electromagnetic radiation sensors around the transformer and calculate the location of the damage inside the transformer. To monitor a power transformer, a hardware and software complex has been developed based on eight UHF electromagnetic radiation receivers and a compact microprocessor device. Monitoring the characteristics of partial discharges will allow identifying damage inside the transformer at the early stages of its occurrence, which is important for the new generation of digital substations with SF6 insulation.

#### **Источники**

1. Макаревич Л.В., Шифрин Л.Н., Алпатов М.Е. Современные тенденции в создании и диагностике силовых трансформаторов большой мощности // Изв. РАН. Сер. Энергетика. 2008. № 1. С. 45—69.
2. Степанов В.М., Андреев К.А. Технические решения по диагностике силовых трансформаторов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки, № 6-1, 2011, с 74—81.
3. Ермаков Е.Г., Ганул Т.В. Комплексный подход к диагностике силовых трансформаторов // Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность, № 6, 2015, с. 32—36.
4. Richardson B. "Diagnostics and monitoring of power transformers," IEE Colloquium on Condition Monitoring of Large Machines and Power Transformers (Digest No: 1997/086), London, UK, 1997, pp. 6/1-6/2, doi: 10.1049/ic:19970499.
5. Алексеев Б.А. Крупные силовые трансформаторы. Контроль состояния в работе и при ревизии. Москва : Энергопрогресс : Энергетик, 2010. 87 с.
6. Gataullin A.M. Online technology of insulators condition monitoring in smart grid power supply systems // В сборнике: 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2019. 2019. PP. 1-4.

7. Gataullin A.M. Recording and processing of partial discharge signals // Instruments and Experimental Techniques. 2014. v. 57. № 4. PP. 426-430.

УДК 621.316.925

## **ЗАЩИТЫ ОТ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ В СЕТЯХ 6-35КВ**

Радик Рафаилович Мударисов

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Дамир Фатыхович Губаев

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

radikmudar@gmail.com

**Аннотация.** Поиски способов улучшения защиты от однофазных замыканий на землю не теряет своей актуальности. Это связано с несовершенством имеющихся способов защит, а именно недостаточной селективностью и быстродействием имеющихся защит. В данной работе рассмотрены наиболее эффективные способы защиты от ОЗЗ.

**Ключевые слова:** сети среднего напряжения, однофазное замыкание на землю, перемежающаяся дуга.

## **PROTECTION AGAINST SINGLE-PHASE EARTH FAULTS IN 6-35KV NETWORKS**

Radik R. Mudarisov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

radikmudar@gmail.com

**Abstract.** The search for ways to improve protection against single-phase ground faults does not lose its relevance. This is due to the imperfection of the existing protection methods, namely the insufficient selectivity and speed of the existing protections. This paper discusses the most effective methods of protection against OZ.

**Keywords:** medium voltage networks, single-phase earth fault, intermittent arc.

На сегодняшний день однофазные короткие замыкания на землю – основная причина выхода из строя сетей напряжения 6-35кВ. В электрических сетях данного напряжения нейтраль трансформатора, согласно существующим всероссийским стандартам, изолируется от земли (компенсируется) или заземляется через дугогасящие устройства.

Изолирование нейтрали позволяет избежать появления короткозамкнутого контура (землю – нейтраль трансформатора), благодаря чему при однофазных коротких замыканиях на землю ток утечки очень маленький, что позволяет не прерывать электроснабжение потребителей, а также экономить ресурс коммутационного оборудования. Однако данный режим имеет недостатки: высокая вероятность возникновения феррорезонансных явлений, сложность обеспечения селективной защиты, высокие требования к изоляционному материалу, возможность появления дуговых перенапряжений. Данные отрицательные стороны решения изолировать нейтраль требуют поисков новых, более эффективных способов защиты от ОЗЗ. Использование резистивного заземления нейтрали позволит повысить эффективность используемых защит, однако повлечет за собой повышение тока замыкания, что является крайне опасным.

Опираясь на изученную теорию, можем предположить, что на данный момент не существует защиты от ОЗЗ с необходимым уровнем селективности, однако использование комплекса из нескольких видов защит может повысить уровень селективности. Рассмотрим используемые на данный момент защиты от однофазных замыканий на землю в сетях среднего напряжения.

Защиты контроля изоляции сети на землю – представляют собой фильтр напряжений нулевой последовательности, который будет фиксировать напряжение нулевой последовательности при ОЗЗ, когда как при нормальном режиме данное напряжение близко к нулю. Также для фиксации нарушений в работе фаз могут использоваться вольтметры – при замыкании фазы на землю напряжение в ней падает до нуля, когда как напряжения в двух других фазах увеличатся до номинальных значений. Преимуществом данного вида защиты является дешевизна, высокая точность показаний из-за значительно меньшего содержания высокочастотных составляющих в напряжении нулевой последовательности. Несмотря на свою широкую распространенность оборудования данного принципа действия, данный метод фиксации коротких замыканий имеет существенный недостаток, а именно отсутствие селективности. Т.е. данную защиту выполнять с функцией отключения возможно только при условии, что к системе шин подключено только одно присоединение, в котором и произошло замыкание, в любом другом случае, необходимо будет на непродолжительный срок, но отключать потребителей от электроснабжения, что найти поврежденную часть сети.

Защита нулевой последовательности на токах нулевых гармоник. Данный метод нахождения действует следующим образом: ОЗЗ является

причиной повышения содержания высших гармоник, на что и действует данная защита, при этом фиксация токов высших гармоник происходит по двум принципам: фиксация абсолютного значения токов высших гармоник, где фактическая гармоническая составляющая сравнивается с уставкой, и фиксация относительного значения тока, когда замеры происходят в каждый момент времени. Как правило, данные способы используются в комплексе, для достижения большей надежности. Несмотря на высокую селективность, на практике данная защита не всегда срабатывает селективно, так как нельзя считать, что присоединение с наибольшим током утечки есть поврежденное, так как перемежающаяся дуга может изменять свои параметры в каждый момент времени, тем самым, можем сделать вывод, что данная защита скорее выполняет функцию сужения области, в которой ОЗЗ [1,2,3].

Рассмотренные способы обнаружения однофазных замыканий на землю обладают своими недостатками и не могут обеспечить должный уровень селективности, однако, их совместное использование на сегодняшний день является наиболее эффективным способом защиты распределенных сетей среднего напряжения от однофазных замыканий на землю.

### **Источники**

1. Повышение надежности, безопасности и эффективности функционирования воздушных электрических сетей 10 КВ при возникновении однофазных замыканий на землю / А. Н. Качанов, В. А. Чернышов, Б. Н. Мешков [и др.] // Электрические сети: надежность, безопасность, энергосбережение и экономические аспекты : Материалы международной научно-практической конференции, Казань, 07 апреля 2021 года / Редколлегия: В.В. Максимов (отв. редактор) [и др.]. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. – С. 24-29.

2. Саттаров, Р. Е. Защита электрических сетей от перенапряжений / Р. Е. Саттаров // Тинчуринские чтения - 2022 "Энергетика и цифровая трансформация" : Сборник статей по материалам конференции. В 3-х томах , Казань, 27–29 апреля 2022 года / Под общей редакцией Э.Ю. Абдуллазянова . – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. – С. 128-131.

3. Емельянов, Н. И. Экспериментальные исследования и моделирование коммутационных перенапряжений и средств защиты присоединений с трансформаторами 6-35 кВ / Н. И. Емельянов, М. В.

Ильиных, М. Л. Кириленко // Релейная защита и автоматизация. – 2021. – № 3(44). – С. 58-69.

4. Гранская А.А., Губаев Д.Ф., Мустафин Р.Г., Гранский Г.А. Применение системы векторных измерений на ЦПС // Диспетчеризация и управление в электроэнергетике. Материалы XVII Всероссийской открытой молодежной научно-практической конференции. Редколлегия: А.Г. Арзамасова (отв. редактор). Казань, 2022. С. 15-18.3.

5. Гранская А.А., Гранский Г.А., Мустафин Р.Г., «Применение технологии синхронизированных векторных измерений для выполнения функций релейной защиты» // БУТАКОВСКИЕ ЧТЕНИЯ. Сборник статей II Всероссийской с международным участием молодежной конференции. Томск, 2022. С. 69-71.

УДК 621.321

## РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Рафаиль Ринатович Мусин

Науч. рук. д-р техн. наук, доц. Василь Амирович Касимов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

rafail.musin.2014@gmail.com

**Аннотация.** В тезисе описываются виды защит, применяемых для силового трансформатора. Приводится перечень основных ненормальных режимов, которые характерны для силовых трансформаторов. Рассмотрен перечень необходимых защит, дано краткое описание каждого типа защиты силового трансформатора. Сделан вывод об основных защитах, применяемых на мощных силовых трансформаторах.

**Ключевые слова:** релейная защита, силовой трансформатор, газовая защита, дифференциальная защита, защита от перегрузки, токовые защиты.

## RELAY PROTECTION OF POWER TRANSFORMERS

Rafail R. Musin

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

rafail.musin.2014@gmail.com

**Abstract.** The article describes the types of protections used for a power transformer. A list of the main abnormal modes that are characteristic of power transformers is given. The list of necessary protections is considered, a brief description of each type of protection of a

power transformer is given. The conclusion is made about the main protections used on high-power power transformers.

**Keywords:** relay protection, power transformer, gas protection, differential protection, overload protection, current protection.

Силовые трансформаторы – это электроустановки, предназначенные для преобразования напряжения и тока. Они могут как повышать напряжение (повышающие трансформаторы), так и понижать его (понижающие трансформаторы). Силовые трансформаторы могут работать на два и на три напряжения. Для силовых трансформаторов характерны такие ненормальные режимы как:

- многофазные замыкания в обмотках и на выводах;
- однофазные замыкания на землю в обмотке и на выводах;
- межвитковые замыкания;
- протекание в обмотках токов, обусловленных внешними короткими замыканиями;
- протекание в обмотках токов, обусловленных перегрузкой;
- понижение уровня масла;
- частичный пробой изоляции вводов 500 кВ;
- однофазные замыкания на землю в сетях 3-10 кВ, если их отключение необходимо по требованиям безопасности [1, с. 5-10].

Одной из основных защит силовых трансформаторов является газовая защита трансформатора [2], которая также в себя включает газовую защиту РПН, если трансформатор снабжен устройством регулирования под нагрузкой. Данный вид релейной защиты реагирует на межвитковые замыкания в обмотках, на которые не реагируют другие защиты ввиду малой величины тока. Эти повреждения приводят к газообразованию, в зависимости от силы которого определяется характер срабатывания защиты:

- при слабом газообразовании защита работает на сигнал;
- при сильном – на отключение трансформатора.

Согласно Правилам устройства электроустановок, для защиты от токов, обусловленных внешними многофазными короткими замыканиями предусматривают установку следующих защит:

- для повышающих трансформаторов – токовая защита обратной последовательности, максимальная токовая защита с минимальным или комбинированным пуском по напряжению;

- для понижающих трансформаторов – максимальная токовая защита с комбинированным пуском по напряжению.

Для защиты от повреждений на выводах, а также от внутренних повреждений предусматривается дифференциальная защита трансформатора – продольная дифференциальная токовая защита [3]. Этот вид релейной защиты основан на принципе сравнения величин токов в начале и конце защищаемого участка, то есть в местах, где устанавливают измерительные трансформаторы тока.

Для защиты от замыканий на землю предусматривается защита токовая защита нулевой последовательности [4, с. 257-261]. Для блочных же трансформаторов предусматривается устройство, которое подает сигнал о появлении замыкания на землю на стороне низшего напряжения и представляет собой максимальную защиту напряжения нулевой последовательности с независимой выдержкой времени.

Применяется и так называемая защита от перегрузки, выполняемая в виде однорелейной максимальной токовой защиты с независимой выдержкой времени и включаемая на ток одной фазы. Она необходима для сигнализации о перегрузке на стороне высшего напряжения трансформатора.

Для трансформаторов с более высокими классами напряжения (500-750 кВ) должно предусматриваться специальное устройство, которое измеряет сумму токов утечки в изоляции вводов. Это необходимо для постоянного контроля изоляции маслонаполненных вводов на стороне высшего напряжения. Устройство способно подавать сигнал о начале пробоя, а при полной пробое или повреждении изоляции отключает трансформатор [5, с. 38].

В целом, в качестве основных защит для мощных силовых трансформаторов в обязательном порядке предусматриваются газовая защита трансформатора и дифференциальная защита трансформатора. Последняя может выполняться с торможением при недостаточной чувствительности. Также в набор релейной защиты трансформатора входят комплекты максимальных токовых защит с различными пусками по напряжению или без них, защиты обратной и нулевой последовательности, защита от перегрузки по току.

## **Источники**

1. Шабад М.А. Защита трансформаторов распределительных сетей. – СПб.: Энергоатомиздат, 1981. – 136 с.

2. Газовая защита трансформаторов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://electricalschool.info/main/elsnabg/885-gazovaja-zashhita-transformatorov.html> (дата обращения 01.11.2023)

3. Дифференциальная защита трансформаторов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://electricalschool.info/main/elsnabg/888-differencialnaja-zashhita.html> (дата обращения 01.11.2023)

4. Правила устройства электроустановок. - 7-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2003. – 648 с.

5. Вавин В.Н. Релейная защита блоков турбогенератор-трансформатор. – М.: Энергоиздат, 1982. – 256 с.

УДК 621.321

## ОСОБЕННОСТИ ОПТИЧЕСКИХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ

Александр Вукоманович Радивоевич

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Рамиль Гамилович Мустафин

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

radivoevich1999@mail.ru

**Аннотация.** В тезисе проводится сравнение классических и оптических трансформаторов тока и напряжения. Приведены достоинства и недостатки оптических трансформаторов по сравнению с традиционными. Проведен оценочный расчет стоимости вариантов с оптическими трансформаторами и традиционными на классах напряжения 110 кВ и 220 кВ. Сделан вывод о зависимости стоимости варианта с оптическими трансформаторами от класса напряжения.

**Ключевые слова:** цифровая подстанция, оптические трансформаторы тока, оптические трансформаторы напряжения.

## FEATURES OF OPTICAL CURRENT AND VOLTAGE TRANSFORMERS

Aleksandr V. Radivoevich

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

radivoevich1999@mail.ru

**Abstract.** The article proposes to compare classical and optical current and voltage transformers. The advantages and disadvantages of optical transformers are given. The

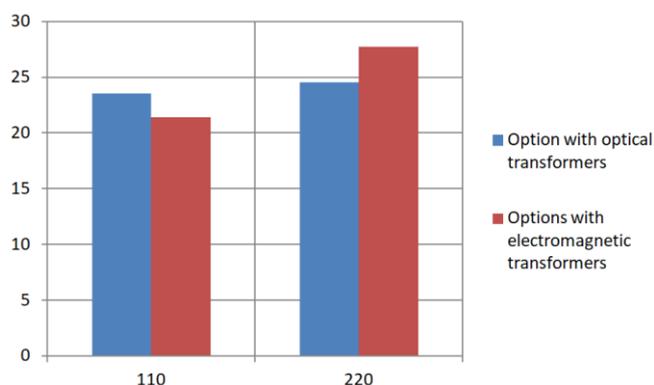
estimated cost of options with optical transformers and traditional ones at 110 kV and 220 kV voltage classes has been carried out. The conclusion is made about the cost of the option with optical transformers depending on the voltage class.

**Keywords:** digital substation, optical current transformers, optical voltage transformers.

Modern substations use new technologies – digital substation, which implies the transmission and reception of all signals at the substation in digital form. The basis of the technology of building a digital substation is the international standard IEC 61850, which describes in detail the implementation of such substations [1, 2]. The introduction of IEC 61850 made it possible to connect all the technological equipment of the substation with a single information network, through which not only data from measuring devices to the RPA terminals, but also control signals are transmitted [3]. III architecture involves the use of digital current and voltage transformers.

The advantages of optical transformers in comparison with traditional transformers are: electrical safety and environmental cleanliness; explosion and fire safety; absence of saturation, hysteresis phenomena; absence of resonance phenomena; simplicity and convenience of installation; no influence of load of secondary circuits and losses in them [4]. The disadvantage is the high cost and little operational experience [5].

For the 4H circuit (two blocks with switches and a non-automatic jumper), the cost of measuring transformers and cable lines of secondary circuits was compared. So, at a voltage of 110 kV, the option with optical transformers is estimated at 23.544 million rubles, the cost of the option with electromagnetic transformers is 21.43 million rubles. At a voltage of 220 kV, the cost of the option with optical transformers is 24.54 million rubles, the cost of the option with electromagnetic transformers is 27.72 million rubles (fig. Comparison of cost with optical and traditional transformers).



Thus, with an increase in the voltage class, the cost of a digital substation relative to the traditional one will decrease, at a voltage of 110 kV, the cost may be less in the long term, since the operating costs of digital transformers are less than traditional ones. Thus, according to the manufacturer of optical current and voltage transformers JSC Profotek, on average, when connecting the 220 kV class, savings due to an increase in the accuracy class can amount to 2.1 – 4.1 million rubles per year, depending on the power consumption.

### **Источники**

1. Гранская А.А., Губаев Д.Ф., Мустафин Р.Г., Гранский Г.А. Применение системы векторных измерений на ЦПС // Диспетчеризация и управление в электроэнергетике: материалы XVII Всероссийской открытой молодежной научно-практической конференции Казань, 2022. С. 15-18.

2. Митрофанов С.Е., Хусаинова Р.Т. Исследование реализации цифровой подстанции на базе центрального сервера релейной защиты и автоматики // Тинчуринские чтения – 2020 «Энергетика и цифровая трансформация». Материалы Международной молодежной научной конференции. В 3 томах. Казань, 2021. С. 457-460.

3. Гиниятов С.А., Мустафин Р.Г. Применение протокола Sampled Values в системах РЗА цифровой подстанции // Тинчуринские чтения – 2021 «Энергетика и цифровая трансформация». Материалы Международной молодежной научной конференции. В 3 томах. Казань, 2021. С. 324-327.

4. Перминов В.В. Применение волоконно-оптических измерительных трансформаторов тока и напряжения в релейной защите и автоматике // Вестник магистратуры. Йошкар-Ола, 2019. №1-1(88). С. 16-18.

5. Базыль И.М., Дударенко А.Д. Использование оптических трансформаторов тока // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. Тула, 2018. № 12. С. 44-46.

## РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ГОЛОЛЁДНО- ИЗМОРОЗЕВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Вильдан Ранисович Сагиров

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Юрий Валерьевич Писковацкий

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

vildan.2001.1@gmail.com

**Аннотация.** В рамках работы выдвинуто предложение о внедрении в датчик уровня высокочастотного сигнала программного обеспечения, задача которого: опрашивать эти датчики. Смысл опроса состоит в вычислении затухания на каждом участке и прогнозировании возникновения гололеда. Описаны принцип работы датчиков и способ определения затухания. Отсутствие зон нечувствительности у датчика повысит надёжность электроснабжения потребителей в осенне-зимний период.

**Ключевые слова:** гололедообразование, воздействие льда на опоры, датчик уровня ВЧ сигнала.

## SOFTWARE DEVELOPMENT OF A DISTRIBUTED SYSTEM FOR DETECTING ICE AND FROST DEPOSITS

Vildan R. Sagirov

KSPEU, Kazan

vildan.2001.1@gmail.com

**Abstract.** Within the framework of the work, a proposal has been put forward to introduce software into the sensor of high-frequency signal level, the task of which is: to interrogate these sensors. The point of interrogation is to calculate the attenuation at each section and to predict the occurrence of ice. The principle of operation of the sensors and the method of determining the attenuation are described. The absence of sensor insensitivity zones will increase the reliability of power supply to consumers in the fall-winter period.

**Keywords:** ice formation, ice impact on supports, HF signal strength sensor.

В соответствии с [1], территория РФ поделена на 7 регионов, в которых в течение зимнего периода может наблюдаться образование ледяных отложений, гололеда и прочих атмосферных образований на высоковольтных линиях (ВЛ). Эти атмосферные образования

представляют опасность для нормального функционирования электрических сетей, что часто приводит к повреждению опор, элементов линейной арматуры, изоляции и обрыву проводов линий электропередачи из-за увеличения механических нагрузок на указанные элементы. Образование гололеда также может вызвать аварийные ситуации, способные парализовать систему энергоснабжения на больших территориях, требуя при этом значительных усилий со стороны эксплуатационного и ремонтного персонала предприятий, управляющих электрическими сетями, для обнаружения и устранения негативных последствий.

В предыдущей работе [2] были описаны применяемые на территории РФ существующие технические решения [3,4], основанные на гравитационном, инклинометрическом и локационном методах. Первый метод использует тензометрические датчики для взвешивания проводов ВЛ.

Существующие технические решения, основанные на первом методе, имеют ограниченную способность прогнозировать начало и интенсивность образования гололеда. Методы, основанные на использовании локационных и инклинометрических датчиков, ограничены в том, что они не способны контролировать всю линию и требуют установки датчиков на каждом участке между опорами линий, что сопряжено с финансовыми затратами.

Поэтому существует актуальная задача разработки и внедрения систем, позволяющих фиксировать начало процесса гололёдообразования и участки ВЛ, на которых произошло образование гололедно-изморозевых отложений. В качестве иллюстративного примера района, для которого рекомендуется реализовать наше техническое решение, включающее использование датчиков, может быть рассмотрен город Бугульма.

Принцип работы датчика уровня ВЧ сигнала основан на использовании непрерывного ВЧ сигнала. Запускается передача непрерывного сигнала синусоидальной формы на определенной частоте и осуществляется контроль затухания сигнала вдоль трассы ВЛ.

С учетом имеющихся недостатков у существующих систем обнаружения, предлагается внедрить высокочастотное программное обеспечение в датчик уровня ВЧ сигнала. Это ПО будет опрашивать эти датчики с целью вычисления затухания на разных участках и прогнозирования возможного образования гололеда. Датчики, расположенные вдоль трассы ВЛ с определённым интервалом, позволят измерять уровень ВЧ сигнала с передачей данных посредством GSM или

радиосвязи. Данные датчики делят ВЛ на контролируемые участки. На приемном пункте, производится расчет затухания  $\alpha$  ВЧ сигнала на каждом из участков, который равен отношению модулей амплитуды ВЧ сигнала в начале участка и в конце участка. При отсутствии ГИО коэффициент затухания  $\alpha$  неизменен. Образование ГИО на одном из участков ВЛ приводит к увеличению затухания только на данном участке. По разности  $\Delta\alpha$  величин затухания без ГИО  $\alpha_0$  и с ГИО  $\alpha_1$   $\Delta\alpha=(\alpha_1-\alpha_0)$  также возможно определить толщину гололедной муфты на участке, если ГИО образовались на всем участке ВЛ. Использование таких датчиков на высоковольтных линиях электропередачи позволит достичь следующих целей: раннее обнаружение и прогнозирование районов появления гололеда, мониторинг всего энергорайона в отношении гололеда и оперативное предоставление информации диспетчеру для проведения мероприятий по борьбе с гололедом. Это также повысит надежность электроснабжения потребителей в осенне-зимний период благодаря отсутствию зон нечувствительности у датчика [5].

### Источники

1. Правила устройства электроустановок. Издание 7. 2003г.
2. Писковацкий Ю.В., Сагиров В.Р. Влияние гололеда на опоры линий электропередачи и перспективы внедрения датчика обнаружения гололедообразований в Республике Татарстан // тинчуринские чтения – 2023 «энергетика и цифровая трансформация»: материалы конференции, в трех томах, Т.1, С. 617-619.
3. Левченко И.И., Сацук Е.И. Система прогнозирования и контроля гололедообразования // Электроэнергия. Передача и распределение. 2011. №1. С. 14-18.
4. Экспериментальные исследования комплексного способа обнаружения гололедных отложений на проводах воздушных линий электропередачи / Ю. В. Писковацкий, Д. Ф. Губаев, И. Л. Кузьмин // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2015. – Т. 71, № 6. – С. 20-24. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25955363> (дата обращения: 29.10.2023)
5. Патент № 2537380 С1 Российская Федерация, МПК H02G 7/16. Способ обнаружения гололеда на проводах воздушных линий электропередачи : № 2013130646/07 : заявл. 03.07.2013 : опубл. 10.01.2015 /Р.Г. Мустафин, Ю.В. Писковацкий, Э.Ф. Хакимзянов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего профессионального образования "Казанский государственный энергетический университет" (ФГБОУ ВПО "КГЭУ"). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37417659> (дата обращения: 29.10.2023)

УДК 621.315.175

## ЛОКАЛЬНЫЕ И ИНТЕГРАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ГОЛОЛЁДА НА ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Камиль Айратович Ситдиков

Науч. рук. канд. физ.-мат. наук, доц. Ахметгарей Султанович Минкин

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

kamil.sitdikov.97@bk.ru

**Аннотация.** Рассмотрены два наиболее эффективных метода контроля гололедных отложений на воздушных линиях электропередачи. Первый - локационный метод, суть которого заключается в подаче импульса в линию и определения времени, затраченного на его распространение в прямом и обратном направлении и амплитуды. Второй метод основан на контроле отдельных участков линий электропередачи, которые наиболее подвержены гололедообразованию.

**Ключевые слова:** гололедные отложения, локационный метод, автоматизированная система контроля гололедной нагрузки.

## LOCAL AND INTEGRAL CONTROL METHODS ICE ON POWER LINES

Kamil A. Sitdikov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

kamil.sitdikov.97@bk.ru

**Abstract.** The two most effective methods for controlling ice deposits on overhead power lines are considered. The first is the location method, the essence of which is to apply an impulse to the line and determine the time spent on its propagation in the forward and reverse directions and amplitude. The second method is based on monitoring individual sections of power lines that are most susceptible to ice formation.

**Keywords:** ice deposits, location method, automated ice load control system.

Ice deposits on power lines are a serious problem affecting the reliability of the electrical power industry. The ice formed on the wires exerts additional

mechanical stress and can cause severe accidents associated with short circuits, breaks in wires and cables, and even breakage of traverses and supports, which also poses a danger to human life [1]. Timely detection of ice and monitoring its changes allows to take the necessary measures to eliminate these deposits.

There are various methods for detecting ice on overhead power lines; we will consider the two most effective methods that currently exist.

The first method is a location method for detecting ice deposits on overhead power line wires [1,2], the operating principle of which is to supply a pulse signal to the power lines path of an overhead power line, and determine the total time spent on its propagation along the wire in the forward and reverse directions. after reflection from the end of the line. The location method allows you to determine the presence of ice on wires and their quantity by comparing the signal propagation time and the amplitude of the reflected signals in the presence or absence of ice. The attenuation of the location signal is caused by dielectric losses of the energy of the electromagnetic wave, which goes to heat the layer of ice on the wires.

The advantages include the ease of implementation of this method, all equipment can be located at the substation, there is no need to make any changes to the design of overhead lines on which power lines paths are equipped for process communication, relay protection and automation, and there is no need to extend communication lines and install additional devices for overhead lines. One location complex can probe up to 16 power lines extending from the substation. In addition, the location system allows you to determine the location of damage on the line.

The disadvantage of this method is the integral determination of ice deposition along the entire sounded line, and ice may form differently in different sections of the line. This disadvantage can be overcome by dividing the line into location sections using the existing wave inhomogeneities of the line [1,3].

The second method is based on local control of ice load - automated ice load control systems [4]. The operating principle of such a system is to constantly monitor the ice load of one span of overhead power lines using various types of sensors. Control points (PC) are installed on power transmission line supports and include ice load sensors on overhead line wires (strain gauges), temperature sensors for overhead line wires, PC cabinet opening sensors, weather stations that include temperature and humidity sensors, wind direction and speed sensors, etc. The PC is powered using solar panels installed on overhead power lines. The reception point is located on the premises of the system operator. Communication between two points is carried out via

communication channels: radio channels, a cellular communication channel (GSM), a fiber-optic communication channel, telemechanics channels.

The advantage of such systems is the accurate determination of dangerous ice mass on a specific span of overhead lines.

The disadvantage of such systems is their locality, because the condition of the wire is determined only in the spans adjacent to the support on which the device is installed. To increase the reliability of control, it is necessary to increase the number of such devices, which increases costs.

Based on the above, we can conclude that it is necessary to simultaneously use local and integral methods for detecting ice deposits, which will allow timely and accurate assessment of the condition of power lines, and take measures to remove ice when the load on the wires approaches critical, thereby increasing the reliability of overhead power lines. At the same time, the location method informs about the early appearance of ice, shows the thickness of ice along the entire length of the power line or its section, thereby allowing one to estimate the mechanical load on the wires, and the automated system controls several spans and provides information about the local ice load, wind load, wire temperature. In particular, the wind load at certain wind speeds and directions can be greater than the ice load [5], then even thin ice deposits can create critical loads on power transmission line wires.

### **Источники**

1. Минуллин, Р.Г. Локационный мониторинг гололеда и повреждений на линиях электропередачи: монография/Р.Г. Минуллин.– Казань: КГЭУ, 2022. С. 439.

2. Минуллин Р.Г., Касимов В.А., Минкин А.С., Писковацкий Ю.В., Филимонова Т.К. Программно-аппаратные комплексы локационного мониторинга воздушных линий электропередачи // Информационные технологии в электротехнике и электроэнергетике. Материалы XIII всероссийской научно-технической конференции. Чебоксары, 2022. С. 271-274.

3. Минуллин Р.Г., Фардиев И.Ш. Локационная диагностика воздушных линий электропередачи. Казань: Изд-во КГЭУ, 2008. С. 202.

4. Дьяков А.Ф., Левченко И.И., Засыпкин А.С. [и др.]. Информационная система контроля гололедообразования на воздушных линиях электропередачи // Энергетик, 2005. №11. С. 20–25.

5. Минкин, А.С. Допустимые значения толщины стенки гололеда на проводах высоковольтной линии электропередачи при наличии

ветровых нагрузок // Электрические сети: Надежность, Безопасность, Энергосбережение и Экономические аспекты. Материалы международной научно-практической конференции. –Казань: КГЭУ, 2023. С. 178–180.

УДК 621.316.925

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОДНОКРАТНОГО ДЕЙСТВИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОВТОРНОГО ВКЛЮЧЕНИЯ НА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ 6-10 КВ

Дарья Игоревна Смирнова

Науч. рук. канд. физ.-мат. наук, доц. Андрей Николаевич Гавриленко  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
smirnovad122@gmail.com

**Аннотация.** В статье рассмотрен принцип работы автоматического повторного включения и эффективность однократного действия на воздушных линиях электропередачи.

**Ключевые слова:** автоматическое повторное включение, воздушные линии, однократное автоматическое повторное включение, короткое замыкание, аварийные ситуации.

## THE EFFICIENCY OF A SINGLE ACTION OF AUTOMATIC REACTIVATION ON 6-10 KV OVERHEAD LINES

Daria I. Smirnova

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
smirnovad122@gmail.com

**Abstract.** The article discusses the principle of automatic re-activation and the effectiveness of a single action on overhead power lines.

**Keywords:** automatic re-activation, overhead lines, one-time automatic re-activation, short circuit, emergency situations.

Автоматическое повторное включение (АПВ) – мгновенное возвратное автоматическое включение в работу электрооборудования высокого напряжения и высоковольтных линий электропередачи после отключения. Данные приспособления используются для быстрого восстановления питания потребителей за счет автоматического включения



На данном рисунке приведена схема однократного АПВ на воздушных линиях электропередачи 6 – 10 кВ, которая реализуется с помощью пружинного привода ПП-67. В схеме предполагается применение проскальзывающего контакта АПВ, который дает импульс на включающий электромагнит, после чего активируется выключатель [4].

Однократность АПВ обеспечивается благодаря действию проскальзывающего контакта кратковременно. При вторичном отключении выключателя защитой проскальзывающий контакт подает импульс на привод, который не подготовлен из-за большего так как время на срабатывание включения привода требуется больше [5].

Следует отметить, что применение и эксплуатация АПВ намного выгоднее, чем ущерб из-за перерыва в подаче электроэнергии.

### Источники

1. Султанова, Г. И. Использование коммуникационных технологий для построения системы релейной защиты / Г. И. Султанова, А. Н. Гавриленко // Диспетчеризация и управление в электроэнергетике : Материалы XVII Всероссийской открытой молодежной научно-практической конференции, Казань, 20–22 октября 2022 года / Редколлегия: А.Г. Арзамасова (отв. редактор). – Казань: ООО "Издательство Фолиант", 2022. – С. 45-48. – EDN ALYVVV.

2. Гатауллин Айрат Мухамедович Неразрушающий метод диагностики фарфоровых изоляторов воздушных линий электропередачи 6/10 кВ // Глобальная энергия. 2015. №4 (231). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/nerazrushayuschiy-metod-diagnostiki-farforovyh-izolyatorov-vozdushnyh-linij-elektroperedachi-6-10-kv> (дата обращения: 07.11.2023).

3. Мальцева, И. С. Особенности использования высокочастотных каналов связи в системах релейной защиты и автоматики / И. С. Мальцева, А. Н. Гавриленко // Тинчуринские чтения – 2021 «Энергетика и цифровая трансформация» : Материалы Международной молодежной научной конференции. В 3 томах, Казань, 28–30 апреля 2021 года. Том 1. – Казань: ООО ПК «Астор и Я», 2021. – С. 343-346. – EDN JDGRKJ.

4. Как работают устройства автоматики повторного включения (АПВ) [Электронный ресурс]. <https://www.asutpp.ru/avtomaticheskoe-povtornoie-vklyuchenie.html> (дата обращения: 01.11.2023).

5. Автоматическое повторное включение (АПВ) [Электронный ресурс]. <https://www.booksite.ru/fulltext/1/001/008/088/812.htm> (дата обращения 01.11.2023).

УДК 621.316

## ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РАБОТА ТРАНСФОРМАТОРОВ И ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГОСИСТЕМ

Антон Игоревич Хорьяков

Науч. рук. канд. пед. наук, доц. Екатерина Валерьевна Артамонова  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
anton.khoryakov@mail.ru

**Аннотация.** Научная статья рассматривает вопрос параллельной работы трансформаторов и ее влияние на оптимизацию энергосистем. Исследование включает анализ методов оптимизации параллельной работы трансформаторов, оценку их эффективности и практические рекомендации для повышения надежности и эффективности энергосистем.

**Ключевые слова:** трансформаторы, параллельная работа, оптимизация энергосистем, надежность, эффективность.

## PARALLEL OPERATION OF TRANSFORMERS AND ENERGY SYSTEM OPTIMIZATION

Anton I. Khoryakov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
anton.khoryakov@mail.ru

**Abstract.** This scientific article explores the issue of parallel operation of transformers and its impact on energy system optimization. The study includes an analysis of methods for optimizing the parallel operation of transformers, an assessment of their effectiveness, and practical recommendations for enhancing the reliability and efficiency of energy systems.

**Keywords:** transformers, parallel operation, energy system optimization, reliability, efficiency.

Оптимизация работы энергосистем с использованием параллельных трансформаторов - важное направление в развитии современной энергетики. Надежность и эффективность энергосистем имеют

критическое значение для обеспечения стабильного электроснабжения. Трансформаторы, играющие ключевую роль в энергосистемах, оказывают существенное воздействие на их производительность. В данной статье мы сосредотачиваемся на анализе использования параллельных трансформаторов с целью повышения надежности и эффективности энергосистем.

Согласно Мировому Энергетическому Совету (МЭС), эффективное управление трансформаторами способно сократить потери электроэнергии и увеличить энергоэффективность на предприятиях и в городах на 10-15%. Это существенное улучшение, которое подчеркивает важность оптимизации функционирования трансформаторов. Кроме того, исследования показывают, что сокращение потерь энергии способствует уменьшению выбросов углекислого газа, что соответствует современным требованиям в области устойчивого развития и охраны окружающей среды.

Параллельная работа трансформаторов предоставляет несколько существенных преимуществ. Одним из ключевых достоинств является повышение надежности энергоснабжения. В случае выхода из строя или необходимости обслуживания одного из трансформаторов, другие трансформаторы автоматически могут компенсировать утрату мощности [1]. Это позволяет избежать перерывов в электроснабжении и уменьшает риск для потребителей, особенно в важных сферах, таких как медицинские учреждения и производственные предприятия [2].

Еще одним значимым преимуществом является экономия. Параллельная работа трансформаторов позволяет более эффективно использовать доступные ресурсы. Это снижает эксплуатационные расходы, так как оборудование функционирует в наиболее оптимальных режимах. Благодаря уменьшению потерь электроэнергии и снижению риска аварий, параллельное взаимодействие трансформаторов приводит к долгосрочной экономии средств и повышению энергоэффективности [3].

Будущее параллельной работы трансформаторов связано с использованием передовых технологий мониторинга и управления. Использование систем искусственного интеллекта и анализа больших данных позволяет более точно прогнозировать нагрузку и оптимизировать функционирование трансформаторов [4]. В перспективе, это может привести к созданию "умных сетей", где трансформаторы будут автоматически реагировать на изменения в нагрузке и состоянии сети, обеспечивая более гибкое и надежное энергоснабжение. Такие инновации

будут играть важную роль в развитии устойчивых и высокоэффективных энергосистем в ближайшие десятилетия [5].

Интеграция Интернета вещей (IoT) и систем искусственного интеллекта (ИИ) предоставляет новые возможности для управления трансформаторами. Сенсоры, размещенные на трансформаторах, способны непрерывно мониторить и передавать данные о состоянии оборудования. Алгоритмы машинного обучения и анализа данных обеспечивают постоянный мониторинг и раннее обнаружение потенциальных проблем.

В заключение, оптимизация эффективности энергосистем через параллельное взаимодействие трансформаторов имеет важное значение для современной энергетики. С учетом статистических данных и практических примеров, представленных в этой статье, можно утверждать, что эффективное управление и мониторинг трансформаторов, подкрепленные современными технологиями, способствует повышению надежности и эффективности энергосистем, а также снижению потерь электроэнергии и негативного воздействия на окружающую среду. Эти методы и технологии могут служить основой для разработки стратегий управления энергосистемами в будущем.

### **Источники**

1. Фурсанов М. И. Теоретические основы обеспечения оптимальных уровней потерь электроэнергии в электрических сетях энергосистем / М. И. Фурсанов // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2005. – № 6. – С. 5–13.

2. Радкевич В.Н. О выборе критерия оптимизации работы силового трансформатора / В. Н. Радкевич, А. Л. Трушников // Энергия и менеджмент. – 2004. – № 4–5. – С. 19–20.

3. Заугольников В. Ф. Некоторые аспекты экономичной работы силовых трансформаторов / В. Ф. Заугольников, А. А. Балабин, А. А. Савинков // Промышленная энергетика. – 2006. – № 4. – С. 10–14.

4. Гончар А.А. О критериях оптимизации работы силового трансформатора / А. А. Гончар // Энергия и менеджмент. – 2004. – № 2 (17). – С. 45.

5. Гончар А.А. О максимуме КПД силового трансформатора / А. А. Гончар // Энергия и менеджмент. – 2005. – № 1 (22). – С. 45.

## **СОВРЕМЕННЫЕ ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И РЕШЕНИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ ЭНЕРГОСИСТЕМ**

Айдар Фаридович Якупов<sup>1</sup>, Вадим Владиславович Аккузин<sup>2</sup>,  
Максим Викторович Сухойкин<sup>3</sup>

Науч. рук. д-р техн. наук Василь Амирович Касимов

<sup>1,2,3</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>aydar\_yakupov\_2016@mail.ru, <sup>2</sup>Vadik.akkuzin@yandex.ru, <sup>3</sup>msukhoykin@mail.ru

**Аннотация.** В современном мире инновационные, цифровые и интеллектуальные технологии играют важную роль во всех сферах жизни, включая электроэнергетику. Они помогают оптимизировать процессы, улучшать качество предоставляемых услуг, а также снижать затраты на генерацию, производство, передачу, распределение и хранение электроэнергии. Целью настоящей статьи является рассмотрение основных современных тенденций развития инновационных технологий в электроэнергетической отрасли.

**Ключевые слова:** электроэнергетика, инновационные технологий, энергосистема, эффективность, электроэнергия.

## **MODERN INNOVATIVE TECHNOLOGIES AND SOLUTIONS IN THE ELECTRIC POWER INDUSTRY TO IMPROVE THE EFFICIENCY AND RELIABILITY OF POWER SYSTEMS**

Aidar F. Yakupov<sup>1</sup>, Vadim V. Akkuzin<sup>2</sup>,  
Maksim V. Sukhoykin<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>aydar\_yakupov\_2016@mail.ru, <sup>2</sup>Vadik.akkuzin@yandex.ru, <sup>3</sup>msukhoykin@mail.ru

**Аннотация.** In today's world, innovative, digital and intelligent technologies play an important role in all areas of life, including the electricity sector. They help to optimize processes, improve the quality of services, and reduce the costs of electricity generation, production, transmission, distribution and storage. The purpose of this article is to review the main current trends in the development of innovative technologies in the electric power industry.

**Ключевые слова:** electric power industry, innovative technologies, power system, efficiency, electricity.

Направления развития современной электроэнергетики обширны, однако, анализ научной литературы показал, что их можно свести к пяти ключевым инновациям, которые кратко представлены и описаны в данной работе.

### 1. Интернет вещей

Интернет вещей (Internet of Things, IoT) – это сеть физических объектов, оснащенных встроенными технологиями для взаимодействия друг с другом и с внешней средой. Эти устройства могут обмениваться данными через интернет или другие сети, что позволяет им собирать информацию, анализировать ее и принимать решения на основе полученных данных.

Одно из главных преимуществ IoT – возможность оптимизации процессов и повышения эффективности работы различных систем. Например, устройства IoT могут использоваться для мониторинга и контроля потребления энергии, что позволяет снизить затраты на ее использование. Кроме того, они могут применяться для управления производственными процессами, обеспечивая более точное и оперативное управление. IoT-технологии в электроэнергетике также способствуют автоматизации процессов управления энергосистемами и оптимизации использования ресурсов, что дает возможность существенно улучшить качество обслуживания потребителей.

В целом, IoT-технологии предоставляют значительные возможности для развития и модернизации электроэнергетики, позволяя повысить эффективность, надежность и качество энергоснабжения [1].

### 2. Умная энергетика

Как уже было упомянуто, с развитием технологий и увеличением потребления электроэнергии, возникает необходимость в оптимизации работы электроэнергетических систем и повышении их эффективности. В данном контексте, технология Умной энергетика (Smart Grid) становится все более актуальной и представляет собой инновационное решение для управления и контроля процессов в энергосистеме.

В общем смысле, Smart Grid – это концепция модернизации электроэнергетической инфраструктуры, которая предполагает интеграцию информационных и коммуникационных технологий в процесс производства, передачи, распределения и потребления электроэнергии.

Основными принципами Smart Grid являются: 1) гибкость и адаптивность системы к изменениям нагрузки; 2) использование интеллектуальных устройств для контроля и управления энергосистемой;

3) прозрачность и доступность информации о состоянии энергосистемы для всех участников энергетического рынка [2].

### 3. Распределенная генерация

Под распределенной генерацией понимается процесс производства электроэнергии непосредственно на местах ее потребления. Ключевыми особенностями данной концепции являются близость к потребителю, гибкость и оперативность в управлении, а также способность к интеграции различных источников энергии. Поскольку данный подход предполагает использование небольших, распределенных по территории источников энергии, таких как солнечные панели, ветрогенераторы, микротурбины и т.д., для производства электроэнергии и тепла, он характеризуется рядом следующих преимуществ: 1) повышение энергетической независимости на международном рынке; 2) снижение зависимости от централизованных систем; 3) снижение выбросов парниковых газов; 4) повышение гибкости энергосистемы. Распределенная генерация предлагает немалые возможности для модернизации и развития энергетики [3].

### 4. MicroGrid

В широком смысле, микрогрид – это автономная электрическая система, которая обеспечивает электроэнергией определенную, конкретную территорию. Она состоит из генерирующих мощностей, систем хранения электроэнергии, распределительных и управляющих устройств. MicroGrid позволяет обеспечить надежное и устойчивое энергоснабжение потребителей, а также снизить зависимость от централизованной электросети.

В современной электроэнергетике технология MicroGrid может использоваться для обеспечения электроэнергией промышленных предприятий, жилых комплексов, больниц и других объектов, где требуется надежное и стабильное энергоснабжение. Микрогриды также могут играть роль резервных источников энергии на случай аварийных ситуаций в централизованной электросети или для подключения к ней новых потребителей.

Перспективы развития MicroGrid связаны с повышением эффективности и надежности их работы, а также с расширением использования ВИЭ. Также в ближайшем будущем ожидается рост интереса к интеграции MicroGrid в системы умного города и использованию их для хранения энергии из возобновляемых источников [4].

### 5. Виртуальные электростанции

Virtual Power Plant или VPP представляют собой инновационный подход к управлению электроэнергетическими ресурсами, объединяющий различные источники энергии, включая возобновляемые и традиционные, для обеспечения стабильности и эффективности энергосистемы. Виртуальные электростанции могут включать в себя солнечные и ветровые электростанции, гидроэлектростанции, тепловые электростанции и даже накопители энергии.

Основными преимуществами виртуальных электростанций являются: 1) повышение эффективности энергосистем за счет оптимизации распределения энергии и снижения потерь; 2) снижение зависимости от традиционных источников энергии и увеличение доли возобновляемых ресурсов; 3) возможность быстрого реагирования на изменение спроса и предложения на рынке электроэнергии [5].

Таким образом, можно резюмировать, что рассмотренные в статье инновационные технологии и решения в сфере электроэнергетики играют ключевую роль в обеспечении устойчивого и эффективного энергоснабжения потребителей. Распределенная генерация, технология MicroGrid, виртуальные электростанции, Интернет вещей, Smart Grid и другие инновационные подходы позволяют снизить зависимость от традиционных источников энергии, повысить гибкость и адаптивность энергосистемы, интеллектуализировать и цифровизировать процессы в электрических сетях, а также улучшить экологическую ситуацию на планете.

### **Источники**

1. Фролов А.В., Жматов Д.В. Использование технологии интернета вещей в электроэнергетике / А. В. Фролов, Д. В. Жматов // Фундаментальные, поисковые, прикладные исследования и инновационные проекты. – 2022. – № 1. – С. 546–550.

2. Моисеенко Е.С. Технология Smart Grid в электроэнергетике / Е. С. Моисеенко // Наука молодых-будущее России. – 2021. – № 2. – С. 267–269.

3. Папков Б.В., Осокин В.Л., Куликов А.Л. Об особенностях малой и распределенной генерации в интеллектуальной электроэнергетике / Б. В. Папков, В. Л. Осокин, А. Л. Куликов // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2018. – № 4. – С. 119–131.

4. Ставнистов А.О., Пашкин И.А., Николайчук Д.Г. Будущее с технологией MICROGRID исследование, перспективы и возможности в

электроэнергетике / А. О. Ставнистов, И. А. Пашкин, Д. Г. Николайчук // Современная школа России. Вопросы модернизации. – 2021. – № 5. – С. 139–140.

5. Аристова Н.И., Чадеев В.М. Виртуальные электростанции-идеи и решения / Н. И. Аристова, В. М. Чадеев // Автоматизация в промышленности. – 2019. – № 11. – С. 9–13.

## СЕКЦИЯ 10. ИНЖЕНЕРНАЯ ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 628.35

### ТЕХНОЛОГИЯ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА УТИЛИЗАЦИИ ФОСФОГИПСА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ

Алина Муниповна Васильева

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. Лариса Андреевна Николаева

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

munipovna@list.ru

**Аннотация.** В данной статье изучена проблема утилизации отходов фосфогипса. Предложена технология замкнутого цикла утилизации фосфогипса и рассмотрены этапы извлечения гипса и ценных элементов, что может привести к решению проблемы утилизации отходов в фосфатной промышленности.

**Ключевые слова:** фосфогипс, замкнутый цикл, отходы, методы, утилизация, технология.

### CLOSED-CYCLE TECHNOLOGY OF PHOSPHOGYPSUM UTILIZATION AT ENTERPRISES

Alina M. Vasilyeva

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

munipovna@list.ru

**Abstract.** In this article, the problem of waste disposal of phosphogypsum is studied. The technology of a closed cycle of utilization of phosphogypsum is proposed and the stages of extraction of gypsum and valuable elements are considered, which can lead to solving the problem of waste disposal in the phosphate industry.

**Keywords:** phosphogypsum, closed cycle, waste, methods, utilization, technology.

На протяжении многих лет проблема утилизации фосфогипса была актуальной для производителей удобрений, так как неправильная утилизация может привести к негативным воздействиям на окружающую среду. Однако с развитием технологии замкнутого цикла утилизации фосфогипса, эта проблема начала решаться более эффективно [1].

Замкнутый цикл технологии утилизации фосфогипса - это метод, который позволяет максимально использовать фосфогипс, минимизируя

его негативное воздействие на окружающую среду [2]. Этот метод включает в себя следующие этапы:

1. извлечение гипса: сначала из фосфогипса извлекают гипс, который затем может быть использован в различных отраслях, таких как строительство и производство гипсовых изделий;

2. извлечение ценных элементов: Во время процесса извлечения гипса также извлекаются ценные элементы, такие как фосфор и сера, которые могут быть использованы в других производственных процессах;

3. обработка остатков: после извлечения гипса и ценных элементов, остатки обрабатываются и утилизируются таким образом, чтобы минимизировать их воздействие на окружающую среду.

Следует отметить, что использование технологии замкнутого цикла утилизации фосфогипса имеет преимущество - снижение негативного воздействия на окружающую среду (замкнутый цикл позволяет минимизировать выбросы и отходы, что снижает негативное воздействие на водные и земельные ресурсы, а также воздух) [3].

Получение редких элементов из фосфогипса способствует применять ресурсы и снижать зависимость от добычи природных элементов [4]. Переработка и использование фосфогипса и его компонентов в других производственных процессах может приносить экономическую выгоду предприятиям [5].

Таким образом, технология замкнутого цикла переработки фосфогипса представляет собой основной шаг в решении задачи утилизации отходов в фосфатном производстве. Она позволяет не только снизить негативное воздействие на окружающую среду, но и эффективно использовать ценные ресурсы. Дальнейшее развитие этой технологии может привести к еще более значимым результатам.

### **Источники**

1. Солдаткин С.И., Хохлов А.Е. Проблемы использования фосфогипса в дорожном строительстве // Инженерная геология. - 2019. - Вып.97. -С. 58-61.

2. Филатов А.В., Ивочкина М.А. Методические особенности инженерногеологического изучения фосфогипсов, как техногенных грунтов // Антропогенная трансформация природной среды. - 2018. - № 1. - С. 77-81.

3. Сизяков В.М., Нутрихина С.В., Левин Б.В. Технология комплексной переработки фосфогипса конверсионным способом с

получением сульфата аммония, фосфомела и новых продуктов // Записки Горного института. - 2015. - С. 239-244.

4. . Яковлев А.С., Каниськин М.А., Терехова В.А. Экологическая оценка почвогрунтов, подверженных воздействию фосфогипса // Почвоведение. - 2020. - № 6. - С. 737.

5. Уразаев Н.А., Бакулин А.А., Никитин А.В. и др. Сельскохозяйственная экология.- М.: Колос, 2021. - 304 с.

УДК 536.71

## **АНАЛИЗ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ И ОЦЕНКА ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРУ ОТ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА ТЕРРИТОРИИ Г.О. ТОЛЬЯТТИ**

Алексей Игоревич Ганин<sup>1</sup>, Андрей Витальевич Васильев<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «СамГТУ», г. Самара

<sup>1</sup>ganin163tlt@gmail.com, <sup>2</sup>avassil62@mail.ru

**Аннотация.** Проведено изучение особенностей распределения автотранспортных потоков и их изменений в различных интервалах времени. Определены участки автодорог в границах г.о. Тольятти с наиболее интенсивным движением наземного транспорта. По результатам натурных измерений выбросов выявлены участки, на которых больше всего выбрасывается вредных веществ. Выявлены превышения по ряду компонентов выбросов загрязняющих веществ на ряде транспортных магистралей на территории г.о. Тольятти.

**Ключевые слова:** транспорт, выбросы, загрязняющие вещества, оценка

## **ANALYSIS OF TRANSPORT FLOW AND ASSESSMENT OF POLLUTANT EMISSIONS INTO THE ATMOSPHERE FROM VEHICLES ON THE TERRITORY OF THE U.D. TOGLIATTI**

Alexey I. Ganin<sup>1</sup>, Andrey V. Vasiliev<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>SamSTU, Samara

<sup>1</sup>ganin163tlt@gmail.com, <sup>2</sup>avassil62@mail.ru

**Abstract.** A study was carried out of the characteristics of the distribution of vehicle flows and their changes in different time intervals. Sections of roads within the boundaries of the city have been identified. Togliatti with the most intense ground transport traffic. Based on the results of field measurements of emissions, areas where the most harmful substances

are emitted were identified. Excesses were revealed for a number of components of pollutant emissions on a number of transport routes in the territory of the urban district Togliatti.

**Keywords:** transport, emissions, pollutants, estimation

Эффективное снижение негативного воздействия выбросов наземного транспорта возможно только при наличии достоверных данных о количестве транспорта, в том числе транзитного, и об объемах выбросов, создаваемых транспортом [1-3].

Для определения выбросов от транспорта, проходящего в границах г.о. Тольятти проведено изучение особенностей распределения автотранспортных потоков (их состава и интенсивности) и их изменений во времени (в течение суток, недели и месяца).

С учетом транспортной нагрузки выявлен ряд участков автодорог в границах г.о. Тольятти с наиболее интенсивным движением наземного транспорта.

Для определения характеристик транспортных потоков на выбранных участках улично-дорожной сети проводился учет проходящих автотранспортных средств.

В ходе проведения натурных обследований был определен ряд параметров, необходимых как для оценки величин выбросов, так и проведения расчетов загрязнения атмосферы.

Измерения параметров воздушной среды показали, что превышение ПДКс.с. зафиксировано по оксиду углерода. Среднесуточные концентрации по оксиду углерода составили 1,5ПДКс.с – 2,9ПДКс.с. Для некоторых других показателей воздушной среды превышения также установлены.

Таким образом, определен участок транспортной сети с наиболее интенсивным движением автотранспорта - участок трассы М-5. На этом же участке зафиксировано больше всего выбросов вредных веществ, характерных для транспорта. Из других транспортных магистралей на территории г.о Тольятти имеются превышения по ряду компонентов выбросов загрязняющих веществ во всех трех районах на улицах Баныкина, Мира, Новозаводской, Комсомольской, Матросова, Южному шоссе и др.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема №FSSE-2023-0003) в рамках государственного задания Самарского государственного технического университета.

## Источники

1. Васильев А.В. Основы экологии в технических вузах. Учебное пособие. Тольятти, 2000.
2. Гумерова Г.И., Гоголь Э.В., Васильев А.В. Новый подход к качественному и количественному определению диоксинов. Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16. № 1-6.С. 1717-1720.
3. Vasilyev A.V. Estimation of atmosphere air pollutants as factors of ecological risks of urban territories. World Heritage and Disaster. Knowledge, Culture and Representation "Le vie dei Mercanti" Proceedings of the International Scientific Conference (XV International Forum). Сер. "Fabbrica della Conoscenza series" Carmine Gambardella, President and Founder of the Forum. 2017. pp. 1524-1528.

УДК 620.9:662.92

## ВИБРАЦИЯ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МАШИНАХ. КАК С НЕЙ БОРОТЬСЯ В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ

Алина Алексеевна Донскова<sup>1</sup>, Дмитрий Александрович Базин<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент Александр Игоревич Ляпин

<sup>1</sup>alinochkadon13@gmail.com, <sup>2</sup>rezort12@mail.ru

**Аннотация.** Вибрация в энергетических машинах является одной из основных проблем, с которыми сталкиваются инженеры и операторы. Борьба с вибрацией требует комплексного подхода и постоянного контроля за состоянием оборудования. Цель настоящей статьи – провести обзор и анализ литературных данных о возникновении вибрации в энергетических машинах и методах борьбы с ней в настоящее время.

**Ключевые слова:** вибрация, энергетические машины, балансировка ротора, амортизаторы, подшипники, контроль качества, обслуживание, мониторинг.

## VIBRATION IN ENERGY MACHINES. HOW TO DEAL WITH IT NOW

Alina A. Donskova<sup>1</sup>, Dmitry A. Bazin<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>alinochkadon13@gmail.com , <sup>2</sup>rezort12@mail.ru

**Abstract.** Vibration in power generating machines is one of the major problems faced by engineers and operators. The fight against vibration requires an integrated approach and constant monitoring of the condition of the equipment. The purpose of this article is to review and analyze literature data on the occurrence of vibration in power machines and methods of combating it at present

**Keywords:** vibration, power machines, rotor balancing, shock absorbers, bearings, quality control, maintenance, monitoring.

Вибрация является одной из основных проблем, с которыми сталкиваются энергетические машины. Она может привести к повреждению оборудования, снижению его эффективности и увеличению расходов на обслуживание и ремонт [3]. В данной статье мы рассмотрим, что такое вибрация, какие факторы влияют на ее возникновение, а также как с ней бороться в настоящее время.

Вибрация — это колебательное движение объекта или системы вокруг равновесного положения [5]. Она может возникать из-за различных причин, таких как неравномерность движения, несоответствие размеров и формы деталей, несбалансированность ротора и другие факторы [1].

Существует несколько факторов, которые могут влиять на возникновение вибрации в энергетических машинах:

1. Несбалансированность;
2. Дефекты или износ;
3. Неправильная установка или сборка;
4. Резонанс;
5. Внешние возмущения;
6. Неправильное использование [1].

Учет и устранение этих факторов является важным шагом для предотвращения негативных последствий вибрации и обеспечения эффективной и безопасной работы машины [3].

Последствия вибрации.

Вибрация может иметь негативные последствия для энергетических машин, включая:

1. Повреждение оборудования;
2. Снижение эффективности;
3. Увеличение расходов на обслуживание и ремонт [2].

В некоторых случаях, особенно при высоких уровнях вибрации, могут возникать проблемы с безопасностью, такие как разрушение конструкций или отрыв деталей.

Для предотвращения негативных последствий вибрации в энергетических машинах, проводятся различные мероприятия: используются специальные амортизаторы, изоляционные материалы и системы снижения вибрации [3].

Однако, необходимо отметить, что вибрация не всегда является нежелательным явлением. В некоторых случаях, она может использоваться для создания нужных условий работы машины, например, для перемешивания или смешивания материалов [3]. В таких случаях, важно правильно настроить вибрации и обеспечить безопасность оператора и окружающей среды.

Методы борьбы с вибрацией.

Одной из основных причин возникновения вибрации является неравномерное распределение массы вращающихся деталей [2]. Кроме того, вибрация может возникать из-за несоответствия параметров сопряженных деталей, неправильной установки или нарушения баланса при сборке [1].

Применение балансировочных устройств является одним из эффективных способов снижения вибрации. Это специальные механизмы, которые позволяют распределить массу таким образом, чтобы минимизировать возникновение вибрации [4].

Еще одной эффективной технологией борьбы с вибрацией является применение активных систем контроля и подавления вибрации. Эти системы представляют собой комплекс устройств, которые позволяют регистрировать и анализировать вибрацию и применять соответствующие меры для ее подавления. Системы основаны на использовании искусственного интеллекта и машинного обучения, что позволяет им адаптироваться к изменяющимся условиям работы оборудования и оптимизировать процесс подавления вибрации [2].

Использование специальных материалов и покрытий также приводит к вибрационной устойчивости [2].

Немало важным является обучение и соблюдение правил безопасности.

Правильное техническое обслуживание и регулярная проверка состояния оборудования могут помочь выявить и устранить причины вибрации [2].

Таким образом, современные технологии борьбы с вибрацией в энергетических машинах представляют собой комплексный подход, включающий в себя применение балансировочных устройств, активных

систем контроля и подавления вибрации, специальных материалов и покрытий, а также адаптивных систем [5].

Вибрация является серьезной проблемой для энергетических машин, но современные методы и технологии позволяют успешно бороться с ней. Балансировка ротора, использование амортизаторов и подшипников, контроль качества производства, регулярное обслуживание и мониторинг, а также использование современных технологий - все это позволяет снизить вибрацию и улучшить работу энергетических машин [2]. Однако, необходимо помнить о важности профессионального подхода и постоянного контроля за состоянием оборудования, чтобы избежать негативных последствий вибрации.

### **Источники**

1. Миндрин В.И., Пачурин Г.В., Ребрушкин М.Н. ВИДЫ И ПРИЧИНЫ ВИБРАЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МАШИН // Современные наукоемкие технологии. – 2015. – № 5. – С. 32-36; URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view>

2. Колосов Ю.В., Барановский В.В. Защита от вибраций и шума на производстве. Учебное пособие. Редакционно-издательский отдел Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. 02.06.2011 – с.44.

3. Исследование производственной вибрации и методов борьбы с ней. Методические указания к выполнению лабораторной работы/Каз.инж.-строит.ин-т; сост. Г.А. Имайкин, В.И. Корчагина, С.Г. Кашина. Казань, КИСИ, 1994.

4. ГОСТ ИСО 21940-31-2016. Вибрация. Балансировка роторов. Часть 31. Подверженность и чувствительность машин к дисбалансу. — Введ. 01.12.2017. — Москва : Стандартинформ, 2019. — 20 с.

5. ГОСТ 24346–80. Вибрация. Термины и определения. — Введ. 01.01.1981. — Москва : ФГУП Стандартинформ, 2010. — 26 с.

## БИОРАЗЛАГАЕМЫЕ УПАКОВКИ

Диана Эльсовна Ибатуллина

Науч. рук. канд. хим. наук, доцент Мирослава Николаевна Котляр

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

Ibatullinadiana14@gmail.com

**Аннотация.** В данной статье рассмотрены влияние биоразлагаемых материалов на экологию, их преимущества и роль в создании устойчивого будущего.

**Ключевые слова:** пластик, биоупаковки, разлагаемые материалы, упаковки

## BIODEGRADABLE PACKAGING

Diana E. Ibatullina

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

Ibatullinadiana14@gmail.com

**Abstract.** This article discusses the environmental impact of biodegradable materials, their benefits and their role in creating a sustainable future.

**Keywords:** plastics, biopackaging, biodegradable materials, packaging

В докладе рассматривается актуальная проблема использования биоразлагаемого пластика. В последнее время все больше и больше внимания уделяется проблеме загрязнения окружающей среды пластиковыми отходами. Вместо традиционных пластиковых и других не разлагающихся материалов все больше предпочитают использовать биоразлагаемые упаковки [1-3]. Эти инновационные материалы предлагают экологически ответственное решение для снижения использования пластика и сокращения его негативного влияния на планету.

Биоразлагаемая упаковка – это вид упаковки, который разлагается естественным путем, обычно при помощи микроорганизмов, в безопасные элементы, такие как вода, углекислый газ и органические вещества. Такие материалы как биополимеры, целлюлоза, крахмал и даже пищевые отходы могут использоваться в качестве основных компонентов биоразлагаемой упаковки [4]. Важно отметить, что для того чтобы упаковка была

действительно биоразлагаемой, она должна соответствовать определенным стандартам и сертификации [5].

Одной из главных преимуществ биоразлагаемой упаковки является ее положительное влияние на окружающую среду. Так как она разлагается естественным образом, она не оставляет пластиковых отходов, которые могут потребовать сотни лет для разложения. Биоразлагаемая упаковка также помогает снизить объем отходов, производимых нашим обществом и забитие свалок. Это важно, учитывая текущую проблему переполненных мусорных полигонов и загрязнение окружающей среды пластиком.

Кроме того, биоразлагаемая упаковка играет важную роль в сокращении выбросов парниковых газов и борьбе с изменением климата. Традиционные пластиковые материалы производят значительное количество парниковых газов при своем производстве и разложении. В то время как биоразлагаемые материалы могут быть произведены из растительных и органических источников, что помогает сократить выбросы парниковых газов и улучшить углеродный след.

Кроме экологических преимуществ, биоразлагаемая упаковка также может быть экономически выгодной. С развитием рынка биоразлагаемой упаковки, возникают новые возможности для бизнеса и создания рабочих мест в сфере исследований, разработки и производства этих материалов. Вместе с тем, потребители все больше становятся осознанными покупателями и готовы платить больше за экологически чистые продукты, включая упаковку.

Однако, необходимо отметить, что биоразлагаемая упаковка не является универсальным решением для всех случаев. В некоторых ситуациях, таких как упаковки с продолжительным сроком хранения или высокой влажностью, может потребоваться альтернативные материалы. Кроме того, биоразлагаемая упаковка требует правильной утилизации и компостирования, чтобы обеспечить ее правильное разложение. Неправильное использование или выброс биоразлагаемой упаковки в среду может нейтрализовать ее полезность и привести к загрязнению окружающей среды.

В заключение, биоразлагаемая упаковка является инновационным решением проблемы пластикового загрязнения и негативного воздействия на окружающую среду. Она предлагает более устойчивый и экологически ответственный подход к упаковке товаров и материалов. С повышающимся интересом к экологическим продуктам и изменением нашего общества, биоразлагаемая упаковка становится все более популярной и востребованной в будущем. Каждый из нас может сделать

свой вклад, выбирая товары, упакованные в биоразлагаемые материалы, и правильно утилизируя их. Важно принимать осознанные решения, выбирая альтернативы пластиковой упаковке, такие как биоразлагаемые материалы или упаковка с меньшим количеством пластика. Это поможет сократить негативное влияние пластика и способствовать более устойчивому будущему для нас и нашей планеты. В качестве основного сырья для получения биоразлагаемого материала мы предлагаем использовать микробиологический хитозан.

### **Источники**

1. Биоразлагаемые материалы на основе композиции крахмала и хитозана: эксплуатационные свойства / А.В. Малинин, А.В. Цатуров, А.В. Игнатова, Ш. Соनावин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2023. Т. 11, № 2. – С. 33–40.

2. Касьянов И.Г. Биоразрушаемая упаковка для пищевых продуктов // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2015. Т. 1 , № 1.– С.1-8.

3. Потороко И.Ю. Биоразлагаемые композитные материалы на основе картофельного крах-мала и поливинилового спирта / И.Ю. Потороко, А.В. Малинин, А.В. Цатуров, А.В. Игнатова // Индустрия питания / Food Industry. 2022. Т. 7, № 4. – С. 95–102.

4. Биоразлагаемые полимерные материалы и модифицирующие добавки: современное состояние. Часть II / А.К. Мазитова, Г.К. Аминова, И.И. Зарипов, И.Н. Вихарева // Нанотехнологии в строительстве. 2021. Т. 13, № 1. – С. 32–38.

5. Маркелов А.В. Технология получения и применения экологически безопасных средств и способы длительного хранения сельскохозяйственной продукции. Автореф. дис. к.т.н. Краснодар, 1999. – 23с.

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОДУКТОВ ПИРОЛИЗА ПРИРОДНОГО ГАЗА

Айгуль Равилевна Ибрагимова

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. Алексей Владимирович Демин

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

ibragimovaaigulrpn@yandex.ru

**Аннотация.** В статье представлены результаты количественной оценки эффективности пиролиза природного газа с целью получения топлива, обогащенного водородом. Для прогнозирования параметров и состава продуктов пиролиза использовалась математическая модель, основанная на допущении химически равновесного состояния гетерогенной смеси.

**Ключевые слова:** природный газ, пиролиз, моделирование, энергетический потенциал, парниковый газ

## ENVIRONMENTAL AND ENERGY INDICATORS OF NATURAL GAS PYROLYSIS PRODUCTS

Aigul R. Ibragimova

KSPEU, Kazan, Russia

ibragimovaaigulrpn@yandex.ru

**Abstract.** The article presents the results of a quantitative assessment of the efficiency of pyrolysis of natural gas in order to obtain fuel enriched with hydrogen. To predict the parameters and composition of pyrolysis products, a mathematical model was used, based on the assumption of a chemically equilibrium state of a heterogeneous mixture.

**Keywords:** natural gas, pyrolysis, modeling, energy potential, greenhouse gas

Сокращение выбросов парниковых газов — это весьма сложная технологическая и социально-экономическая задача, требующая существенных изменений в энергетике, в которой в настоящее время преобладает сжигание ископаемого топлива. Использование водорода в качестве топлива может существенно повлиять на снижение выбросов CO<sub>2</sub> в основных секторах экономики, таких как энергетика, транспорт, промышленность или отопление помещений. Выбросы CO<sub>2</sub> принято оценивать величиной коэффициента эмиссии EF.

В настоящее время водород производится, главным образом, за счет паровой паровой конверсии метана, риформинга нефти (нефтепродуктов) и газификации угля [1]. Альтернативой этим видам генерации водорода считается пиролиз метана с нулевыми выбросами  $\text{CO}_2$ . Одной из технологических проблем в этом случае является осаждение углерода на стенках реактора, и необходимость периодической очистки внутренних поверхностей.

Основные качественные закономерности процессов при пиролизе метана хорошо известны, например, [2]. На скорость пиролиза метана, прежде всего, оказывает влияние уровень температур в реакторе. Также замечено влияние соотношения площади внутренней поверхности и объема реактора. Ускоряющее действие на начальных стадиях пиролиза оказывают добавки этана. Тормозящее действие на скорость пиролиза метана оказывает водород, адсорбирующийся на стенках реактора. Однако полного понимания комплексных взаимосвязанных процессов при пиролизе метана еще не достигнуто. Отмечается рост количества научных публикаций, посвященных разным аспектам данной проблемы [3-5].

В данной работе оценка эффективности процессов при пиролизе природного газа проведена на основе анализа результатов термодинамических расчетов химического равновесия с учетом конденсированной фазы углерода. Начальный состав природного газа, об. %:  $\text{CH}_4$  – 98;  $\text{C}_2\text{H}_6$  – 2. Моделировались условия при внешнем нагреве реактора пиролиза за счет тепловой энергии, получаемой при сжигании природного газа; массовый расход природного газа принят равным 1 кг/с. При выполнении расчетов параметров и состава продуктов сгорания природного газа в смеси с воздухом принято стехиометрическое соотношение окислителя и горючего. Потери тепловой энергии не учитывались. В таблице приведены следующие показатели:  $M_{\text{пп}}$  – массовый расход продуктов пиролиза;  $ZC$  – массовая доля конденсированного углерода;  $M_{\text{г}}$  – массовый расход пиролизного газа, содержащего водород, метан, а также в малых количествах этилен и ацетилен;  $Q_{\text{пг}}$  – энергетический потенциал всего исходного количества природного газа, включая газ затраченный на получение тепловой энергии для пиролиза;  $Q_{\text{г}}$  – энергетический потенциал получаемого пиролизного газа;  $GC$  – количество углерода в пиролизном газе;  $WC$  – энергетический эквивалент содержания углерода в пиролизном газе;  $EFCO_2$  – коэффициент эмиссии углекислого газа при сжигании пиролизного газа.

Показатели процесса пиролиза природного газа

Параметр	Температура, °С				
	800	900	1000	1100	1200
$M_{\text{шт}}$ , кг/с	4.198	3.537	3.022	2.586	2.198
$Z_C$	0.686	0.720	0.734	0.740	0.743
$M_{\text{г}}$ , кг/с	1.318	0.990	0.802	0.670	0.563
$Q_{\text{шт}}$ , МВт	259.93	226.89	201.13	179.34	159.9
$Q_{\text{г}}$ , МВт	133.36	109.27	92.26	78.53	66.56
$G_C$ , т С/т газа	0.199	0.101	0.052	0.029	0.017
$W_C$ , т С/ТДж	1.975	0.921	0.459	0.249	0.146
$EF_{\text{CO}_2}$ , т $\text{CO}_2$ /ТДж	7.24	3.37	1.68	0.91	0.53

На основании полученных результатов сделаны следующие основные выводы:

1. С точки зрения только лишь энергетических показателей процесс пиролиза является не эффективным, поскольку энергетический потенциал исходного количества природного газа существенно превышает энергетический потенциал получаемого пиролизного газа;

2. Значения коэффициента эмиссии  $\text{CO}_2$  при сжигании пиролизного газа значительно ниже, чем значение коэффициента эмиссии  $\text{CO}_2$  при сжигании природного газа (54,4 т  $\text{CO}_2$ /ТДж).

### Источники

1. Weger L, Abanades A, Butler T. Methane cracking as a bridge technology to the hydrogen economy. International Journal of Hydrogen Energy. 2017. V. 42(1). P. 720–731.

2. Арутюнов В.С., Веденеев В.И. Пиролиз метана в области температур 1000-1700 К // Успехи химии. 1991. Т. 60. № 12. С. 2663–2684.

3. Fau G, Gascoin N, Gillard P, Steelant J. Methane pyrolysis: Literature survey and comparisons of available data for use in numerical simulations // Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. 2013. V. 104. P. 1–9.

4. Korányi T.I, Németh M., Beck A. and Horváth A. Recent Advances in Methane Pyrolysis: Turquoise Hydrogen with Solid Carbon Production // Energies. 2022. V. 15(17). 6342.

5. Becker T., Richter M., Agar D.W. Methane pyrolysis: Kinetic studies and mechanical removal of carbon deposits in reactors of different materials // International Journal of Hydrogen Energy. 2023. V. 48(6). P. 2112–2129

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Яна Алексеевна Колбесенова

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент Мария Евгеньевна Надеждина

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

kolbesenovayana@mail.ru

**Аннотация.** В данной статье рассматриваются экологические проблемы и пути их решения. В данной статье также рассматривается вопрос, как человек влияет на окружающую среду.

**Ключевые слова:** экологические проблемы, окружающая среда, загрязнение.

## ENVIRONMENTAL ENVIRONMENTAL ISSUES

Yana A. Kolbesenova

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

kolbesenovayana@mail.ru

**Abstract.** This article discusses environmental problems and ways to solve them. This article also addresses the issue of how humans influence the environment.

**Keywords:** environmental problems, environment, pollution.

Глобальные экологические проблемы современности весьма разнообразны и остры, поскольку охватывают практически все составляющие естественной среды жизнедеятельности человека: живую и неживую природу, природные ресурсы, климат. Суть глобальной экологической проблемы состоит в продолжающемся и нарастающем в объемах причинении вреда планете человеком. Серьезный ущерб наносится в результате хозяйственной деятельности людей, нерационального и расточительного природопользования, перенаселения, урбанизации, войн и вооруженных конфликтов [1].

Процессы засорения окружающей среды и истощения природных ресурсов имеют давнюю историю, начавшуюся в период расселения человеческого вида по Земле и активного освоения им жизненного пространства. Они возросли в период появления промышленного производства, роста городов и народонаселения, подстёгивались промышленными революциями. Наиболее массивной

антропогенной нагрузкой на экологию Земли стала в XX веке, а в начале XXI мы уже говорим о целом ряде ее необратимых последствий [2].

К настоящему времени образовались три обширные зоны высокой степени дестабилизации окружающей среды, занимающие около 20 млн. км<sup>2</sup> площади суши (при сохранности естественных экосистем менее 10%): европейская, азиатская и американская [3]. Экономически развиваясь высокими темпами, государства, располагающиеся в этих зонах, постоянно наращивают темпы вредных выбросов.

Можно сказать о том, что нынешнее человечество находится в состоянии комплексного экологического кризиса. Под этим мы понимаем чрезвычайную ситуацию экологического неблагополучия. Она характеризуется устойчивыми отрицательными изменениями окружающей среды, которые представляют угрозу для биосферы, включая жизнь и здоровье людей. Такая ситуация вызвана нагрузкой общества, его производственно-технической деятельности на природу. Объемы этой деятельности не соответствуют ресурсно-экологическим возможностям Земли. Обратной стороной экологического кризиса являются изменения уже в самом обществе [4].

Человечество является частью экосистемы планеты Земля. Сознательная форма влияния может иметь прямой или косвенный характер. Примерами прямого влияния выступают добыча полезных ископаемых, вырубка лесов, возведение строений. Косвенное влияние выражается в изменении рельефа, условий обитания животных и птиц.

Обратим внимание на положительные стороны воздействия человека: организация заповедников, парков, заказников, высадка зеленых насаждений вдоль дорог, устройство ирригационных систем, рациональное использование сельскохозяйственных земель, установка очистных сооружений на заводах, промышленных предприятиях в производственных цехах.

Примером эффективного решения экологических задач на производстве являются работы, осуществляемые объединенными усилиями специалистов Физико-технологического института РТУ МИРЭА и компании NANOPLUS TECH (Тайвань) («Наноплюстех»), в т.ч. в рамках технологии производства и использования наноионизированной воды (NSIW) [5]. Также экологические задачи решаются в следующих областях: электронная промышленность; очистка изделий и оборудования металлообработки; водяные завесы в лакокрасочной промышленности; очистка отходящих и дымовых газов; средства дезинфекции; стерилизация

медицинского оборудования. В быту применяется следующим образом: дезинфицирующие средства; очистка бытовой техники.

### **Источники**

1. Bisztyga, A. Environmental policy of the European Union in solving environmental problems / A. Bisztyga // Bulletin of Toraigrov University. Law Series. – 2022. – No. 3. – P. 29-39. – DOI 10.48081/IANF3936. – EDN AUKOWT.

2. «Основы государственной политики в области экологического развития Российской Федерации на период до 2030 года» (утвержд. Президентом РФ от 30.04.2012)

3. Дальченко, Е. А. Экологическая проблема утилизации отходов и их воздействие на окружающую среду / Е. А. Дальченко, Д. Г. Хамидулина // Молодежь и XXI век - 2019 : материалы IX Международной молодежной научной конференции, Курск, 21–22 февраля 2019 года. Том 4. – Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2019. – С. 236-239. – EDN PQCTFR.

4. Экологические проблемы охраны окружающей среды и пути их решения / А. Алымова, И. Анненкова, М. Полякова, А. Соколова // Региональный вестник. – 2018. – № 2(11). – С. 3-4. – EDN XZBQCD.

5. Гришаева, И. Г. Проблемы экологической преступности и безопасность окружающей природной среды / И. Г. Гришаева // News of Science and Education. – 2019. – Т. 2, № 1. – С. 89-92. – EDN TLCKVP.

УДК 628.3

## **ИСТОРИЯ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ В РЕСПУБЛИКЕ ТАТАРСТАН**

Елена Алексеевна Куренкова<sup>1</sup>, Александр Викторович Овчинников<sup>2</sup>

Науч. рук. канд. биол. наук, доцент Энза Рафаиловна Бариева

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>kurenkova\_elena@lenta.ru, <sup>2</sup>ovchinnikov8\_831@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассматриваются мероприятия по очистке сточных вод на территории Республики Татарстан, история создания очистных сооружений, современные технологии очистки сточных вод.

**Ключевые слова:** сточные воды, очистка, СССР, очистные сооружения, республика Татарстан

# HISTORY OF WASTEWATER TREATMENT ACTIVITIES IN REPUBLIC OF TATARSTAN

Elena A. Kurenkova<sup>1</sup>, Alexander V. Ovchinnikov<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>kurenkova\_elena@lenta.ru, <sup>2</sup>ovchinnikov8\_831@mail.ru

**Abstract.** The article discusses the history of wastewater treatment measures in the Republic of Tatarstan. The history of the creation of sewage treatment plants. Modern technologies of wastewater treatment.

**Keywords:** sewage, purification, USSR, sewage treatment plants, Republic of Tatarstan.

По мере развития города, росли промышленности и урбанизации сельских поселений, нагрузка на существующие очистные сооружения и природную среду возросла, что привело к модернизации очистных сооружений и внедрению технологических методов, позволяющих более глубокую очистку дождевых вод [1].

Основной Татарстанский коллектор в городе Казани начали возводить в 1928 г. 17 ноября 1932 г. – дата, первого дня начала работы городской канализации в городе Казани. В этот день были приняты в эксплуатацию первые коллекторы –Промышленный – 1,34 км, Татарстановский – верхняя часть, Забулачный. Но сточные воды сбрасывались в реку Казанку без какой-либо очистки. Только в 1953 году было начато строительство очистных сооружений механической очистки. Первые очистные сооружения канализации производительностью 80 тыс. куб.м./сутки были приняты в эксплуатацию в 1964 году. К этому времени они подавали примерно 45% нужной мощности, так как фактически поступало 180 тыс. куб.м./сутки сточных вод [2].

На данный момент очистные сооружения Казани оснащены передовыми технологиями, включающими механическую, биологическую и химическую очистку сточных вод. Благодаря использованию современных методов очистки, удаление загрязнений происходит на высоком уровне, что позволяет снизить вредные воздействия на окружающую среду.

Перспективы развития очистных сооружений Казани направлены на улучшение качества водоочистки и оптимизацию работы системы. Введение новых инновационных технологий и автоматизации процессов позволит сократить число технологических простоев, а также снизить

потребление энергии и ресурсов.

Современные технологии, применяемые в очистных сооружениях Казани, позволяют проводить эффективную и высококачественную очистку сточных вод. Например, использование биологического метода обработки сточных вод позволяет удалить из них органические и неорганические примеси.

Было выявлено, что одной из новых технологий, используемых в очистных сооружениях Казани, является метод активного ила. Он основан на использовании осадка активного ила, содержащего микроорганизмы, которые активно разлагают органические вещества. Этот метод позволяет значительно ускорить процесс очистки воды и снизить степень загрязнения.

Другой инновационный метод — использование мембранных фильтров. Они позволяют удалять из воды даже мельчайшие частицы загрязнений, обеспечивая высокую степень очистки. Эта технология особенно эффективна при очистке сточных вод от химических загрязнений [3].

Важно отметить, что новые технологии в очистных сооружениях Казани способствуют повышению экологической безопасности и качества жизни горожан. Они позволяют получать чистую воду, соответствующую всем нормам и стандартам, а также снижают негативное воздействие на окружающую среду [4].

Рассмотрим историю Зеленодольского водоканала. Его история началась в конце XIX века. В 1900 году при строительстве металлургического и прокатного заводов были возведены водозабор, конденсаторная станция и водокачка, в 1905 году появилась водонапорная башня. В 1900 году предстала первая канализационная магистраль. Также динамично стали возводить сети водопровода: в 1934 году водопроводная сеть была 7,5 км, а к концу 1937 года 15,0 км. Строительство водопроводной сети было заморожено во время войны и продолжено после ее окончания, благодаря промышленным предприятиям. Первый проект по очистке сточных вод для Зеленодольска был выполнен в 1956 году, проектом предполагалась механическая очистка сточных вод. В 1967 году «Мосводоканалпроект» рассмотрел типовой проект по биологической очистке сточных вод. Город Зеленодольск стал третьим из городов нашей страны, где этот проект был введен в реализацию. В 1984 году была открыта первая часть этих очистных сооружений, в 1991 году вторая часть. В 2003 году была создана первая очередь биологических очистных сооружений в пгт. Васильево, в 2012 году вторая очередь. В 2011 году для

очистки питьевой воды Восточного водозабора была построена станция обезжелезивания. В 2022 году на водозаборе построена станция водоподготовки для умягчения воды с использованием оборудования обратного осмоса.

В настоящее время водопроводно-канализационное хозяйство представляет собой сложнейший комплекс взаимосвязанных систем и сооружений. Предприятие АО «ЗВКС» обслуживает сети водоснабжения и водоотведения г. Зеленодольска [5].

Таким образом, модернизация очистных сооружений способствует наиболее полной очистке сточных вод. Благодаря этому, сточные воды не загрязняют окружающую среду.

### **Источники**

1. Инновации в биологической очистке сточных вод в Республике Татарстан [Электронный ресурс] URL.: <https://cyberleninka.ru/article/n/innovatsii-v-biologicheskoy-ochistke-stochnyh-vod-v-respublike-tatarstan> (дата обращения: 28.10.23)

2. История водоснабжения и канализации города Казань [Электронный ресурс] URL.: <https://vodablog.livejournal.com/62915.html> (дата обращения: 28.10.23)

3. Очистные сооружения Казани [Электронный ресурс] URL.: [dc-region.ru/ochistnyye-sooruzheniya-kazani](https://dc-region.ru/ochistnyye-sooruzheniya-kazani) (дата обращения: 28.10.23)

4. Очистные сооружения Казань [Электронный ресурс] URL.: <https://ventsant.ru/ochistnye-sooruzheniya-kazan/> (дата обращения: 28.10.23)

5. «Из Татарии в Татарстан»: АО «ЗВКС» [Электронный ресурс] URL.: [https://kt.tatarstan.ru/opros.htm?pub\\_id=3405416](https://kt.tatarstan.ru/opros.htm?pub_id=3405416) (дата обращения: 28.10.23)

## АНАЛИЗ ВЫБОРА ПРЕДИКТОРОВ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ РАСЧЕТА КОНЦЕНТРАЦИЙ ПРИМЕСЕЙ НА ПРИМЕРЕ Г.КАЗАНЬ

Виолетта Алмазовна Нурмехамитова<sup>1,2</sup>

Науч. рук. д-р хим. наук, ст. научн. сотр. Раиса Абдулловна Шагидуллина

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «КНИТУ-КАИ» г. Казань, Республика Татарстан

<sup>2</sup>Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, г. Казань, Республика  
Татарстан

violka9641@gmail.com

**Аннотация.** В статье приведено обоснование выбора предикторов для составления нейронной модели и повышения точности на основе данных автоматизированных постах наблюдений примесей в приземном слое атмосферного воздуха на примере г Казани.

**Ключевые слова:** нейросети, предиктор, модель, концентрации, мониторинг

## ANALYSIS OF THE SELECTION OF PREDICTORS OF NEURAL NETWORK MODELS FOR CALCULATING CONCENTRATIONS OF IMPURITIES USING THE EXAMPLE OF KAZAN

<sup>1,2</sup>Violetta A. Nurmekhamitova

<sup>1</sup>KNRTU-KAI, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>2</sup>Institute of Ecology and Subsoil Use Problems, Academy of Sciences of RT  
Kazan, Republic of Tatarstan

violka9641@gmail.com

**Abstract.** The article provides a rationale for the choice of predictors of the transformation coefficient and gamma background to improve the accuracy of neural network models for impurities in the ground layer of atmospheric air monitored at automated observation posts using the example of Kazan.

**Keywords:** neural networks, predictor, model, concentrations, monitoring

Проведения оценки уровня загрязнения атмосферы в приземном слое и разработки решений по управлению его качеством рассмотрено во многих работах, но они основаны на сложно применимых для практики методических подходах [1].

В настоящее время, для целей экологического мониторинга широко используются расчетные методы. При этом основываются на классической статистике, дифференциальном исчислении и классических методах оптимизации соответственно, чтобы агрегировать данные (исследовать динамические системы) и исследовать качество атмосферного воздуха соответственно.

Нейросетевые технологии дали возможность повысить точность результатов расчетов концентраций примесей в приземном слое атмосферного воздуха за счет обучения нейронных сетей на длительных рядах экспериментальных наблюдений, что снижает возможность систематических и случайных погрешностей [2]. Если сравнивать расчет концентраций примесей, используя корректирующую нейросетевую модель с метеорологическими показателями в роли предикторов, то можно добиться увеличения точности расчетов до 10 раз.

С учетом в нейросетевую модель дополнительного предиктора – коэффициента трансформации (КТ), который учитывает вторичные химические реакции в приземном слое атмосферы, повышает точность на 2-8 раз [3].

В более ранних публикациях [4] КТ использовали не только для коррекции полей концентраций атмосферных примесей, но и с целью учета в расчетах процессов превращения загрязняющих веществ при штиле или обширном температурного инверсии. При применении данного коэффициента в оперативном прогнозировании увеличивается точность моделирования распределения концентраций примесей на приземном слое атмосферного воздуха.

Возможность получать оперативный прогноз изменений уровня загрязнения атмосферного воздуха, создаваемого совокупностью выбросов от стационарных источников загрязнений при изменении метеорологических параметров, имеет корреляционные зависимости между концентрацией примесей и коэффициентом трансформации.

Данные получены с постов автоматических станций контроля атмосферного воздуха по городу Казань для проведения анализа коэффициентов корреляции между значениями гамма-фона, КТ и концентрациями разнообразных примесей. При расчете коэффициента трансформации был использован ряд данных с постов автоматических станций контроля атмосферного воздуха №1, 3 и 4.

При проведении расчетов была использована база данных параметров выброса загрязняющих веществ в городе Казань. База данных содержит параметры выбросов 277 промышленных предприятий города и

уровень загрязненности воздуха от автомобилей, перемещающихся по территории город.

При помощи программы УПРЗА «Эколог-Город» можно произвести коррекцию расчетных данных. Расчеты проведены с полным перебором метеоусловий с заданным шагом по скорости ветра (от 0,5 м/с до 7,5 м/с с шагом 1 м/с) и направлений (от 0 до 360° с шагом 10°). Приведенные значения промежуточных значений дополнены методом линейной интерполяции. Для скорости ветра менее 0,5 м/с расчеты не проводились, так как в условиях штиля согласно методике расчет невозможен.

Было установлено, что существует прямая корреляционная связь между значением КТ и гамма-фона. Выделена связь, при которой отчетливо проявляется эта взаимосвязь в неблагоприятных условиях для НМУ [5]. Если скорость ветра меньше 1 м/с, давление в диапазоне между 770 и 800 мм рт.ст., а температура  $t < -20^{\circ}\text{C}$  считается наиболее высокой ( $p < 0,05$ ), то коэффициент корреляции  $r = 0,57$ .

Использование в качестве предикторов корректирующей нейросетевой модели гамма-фона и коэффициента трансформации повышает точность расчетов, а также улучшает точную модель по сопоставлению с применением только данного показателя. Развитие методики учета превращения веществ в атмосфере имеет наибольшее влияние на модели, где изначально высокая сложность топологии и сравнительно высокая погрешность.

### Источники

1. Музалевский А.А., Карлин Л.Н. Экологические риски: теория и практика // СПб, РГГМУ, ВВМ 2011. С 292.

2. Тунакова Ю.А., Новикова С.В., Шагидуллина Р.А. и др. Использование нейросетевых подходов к расчету концентраций примесей в приземном слое атмосферного воздуха в зоне действия полимерных производств (на примере г. Нижнекамска) // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16. № 10. С.155-157.

3. Григорьева И.Г., Тунакова Ю.А., Валиев В.С. Оценка коэффициента трансформации оксидов азота в приземном слое атмосферы Нижнекамского промышленного узла // Вестник Казанского технологического университета. 2015. №19. С.242-244.

4. Тунакова Ю.А., Новикова С.В., Шагидуллин А.Р., Валиев В.С., Кузнецова О.Н. Использование нейросетевых технологий для расчета концентраций примесей в атмосферном воздухе на территории действия

полимерных производств (на примере г. Нижнекамска) // Промышленное производство и использование эластомеров. 2021. №3. С. 63-68.

5. РД 52.04.78-86. - М.: Госкомгидромет. СССР, 1986.

УДК 504.054

## **ИДЕНТИФИКАЦИЯ И УДАЛЕНИЕ ВЫСОКОТОКСИЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ВЫБРОСАХ ЗАВОДОВ ПО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УТИЛИЗАЦИИ ТВЁРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ**

Марина Сергеевна Платонова

Науч. рук. канд. хим. наук, доцент Элина Владимировна Гоголь

ФГБОУ ВО «КНИТУ-КАИ», г. Казань, Республика Татарстан

platonova\_ms@mail.ru

**Аннотация.** Проведён обзор формирования ПХДД/Ф при термической утилизации твёрдых коммунальных отходов. Рассчитана априорная вероятность образования ПХДД/Ф из фенола, как прекурсора, с определением основного источника образования. Предлагается устройство очистки выбросов с непрерывным и одновременным протеканием процессов очистки и регенерации с внедрением модификации сорбирующего слоя.

**Ключевые слова:** полезное устройство, модель, адсорбер, термическая утилизация, диоксины, фенолы.

## **IDENTIFICATION AND REMOVAL OF HIGHLY TOXIC COMPOUNDS IN EMISSIONS OF MUNICIPAL SOLID WASTE RECYCLING PLANTS**

Marina S. Platonova

KNRTU–KAI, Kazan, Republic of Tatarstan

platonova\_ms@mail.ru

**Abstract.** A review of the formation of PCDD/Fs during thermal disposal of municipal solid waste was conducted. The a priori probability of formation of PCDD/Fs from phenol as a precursor was calculated, with the determination of the main source of formation. A device for purifying emissions with continuous and simultaneous purification and regeneration processes with the introduction of modification of the sorbing layer is proposed.

**Keywords:** useful device, model, adsorber, thermal utilization, dioxins, phenols.

На заводах по энергетической утилизации твёрдых коммунальных отходов (ТКО) образуются безвозвратные потери, формирующие вторичное загрязнение компонентов окружающей среды токсикантами, содержащимися в отходящих газах, сточных водах, шлаке и золе. Их состав, объёмные доли определяются компонентным, элементным и морфологическим составами твёрдых коммунальных отходов, особенностями их сортировки, режимами, техникой и технологией.

Несмотря на то, что наилучшие доступные технологии получения энергии из ТКО [1] ориентированы на постоянный элементный, компонентный и морфологический состав утилизируемых отходов, что делает их аналогом высококалорийного углеводородного топлива, а также исключение из их состава галогенов (F, Cl, Br, I), токсичных металлов (например, Hg, Cd и пр.) и мышьяка, на предприятиях энергетической утилизации ТКО часто используются несортированные отходы с неизвестным точно фактическим компонентным и элементным составом.

Рассмотрим такой вариант энергетической утилизации твёрдых коммунальных отходов, который подразумевает высокотемпературное окисление несортированных или минимально сортированных ТКО в диапазоне 800 – 2000 °С.

В данном случае при эксплуатации установок энергетической утилизации ТКО в атмосферный воздух могут поступать диоксины и диоксиноподобные соединения – высокотоксичные соединения полихлорированных или полибромированных дибензодиоксинов и дибензофуранов (ПХДД/Ф), являющиеся галогенированными ароматическими углеводородами, относящиеся к первому классу опасности и являющиеся стойкими органическими загрязнителями (СОЗ) в виду их канцерогенности, мутагенности, длительности периода полупаспада, высокой степени биоаккумуляции, способности к трансграничному переносу. Источники ПХДД/Ф в процессе термической утилизации: ПХДД/Ф находится в виде следовых примесей в самих отходах; «синтез de novo» из соединений, являющимися результатом гетерогенной каталитической реакции на летучей золе в процессе охлаждения газа; процессы пиролиза в бескислородных зонах печи прекурсоров (полимерных соединений) отходов при наличии в смеси хлорид-ионов, ионов меди и некоторых других металлов, которых при высоких температурах и отсутствии кислорода формируют металлоорганические катализаторы аналогичные тем, которые используют в современном органическом синтезе, которые способствуют

полимеризации и циклизации углеводородов и формированию фенолов, хлорфенолов, хлорбензолов и затем ПХДД/Ф [2,3].

При проведении математического моделирования поведения основных прекурсоров формирования ПХДД/Ф – фенола и соляной кислоты, которые, помимо собственно выбросов заводов по энергетической утилизации ТКО содержатся в фоновых концентрациях в атмосферном воздухе промышленных территорий расположения заводов, были получены результаты о априорных вероятностях проявления [4]. Моделирование проводилось на основании расчёта вероятности по Байесу, с учётом априорных вероятностей с удельной оценкой долей относительно полной вероятности. Результат составляет 0,75 для фенола, в частности 0,3(33..) для промышленных территорий. Часть ПХДД/Ф образуются из фенола с HCl при температурах 550°C. Соответственно, основным источником выбросов ПХДД/Ф является «синтез de novo».

Для повышения экологической безопасности и удаления из выбросов завода по энергетической утилизации ТКО фенолов, хлорфенолов и ПХДД/Ф предложен адсорбера барабанного типа [5]. Адсорбер барабанного типа непрерывного действия, в котором процессы очистки и регенерации адсорбента протекают одновременно, позволит качественно очищать загрязнённые выбросы с высокой производительностью. Адсорбер содержит цилиндрический корпус, насыпные гранулы адсорбента между двумя зонами, отличающийся тем, что адсорбент находится внутри барабана, в верхней части и вращается вокруг вертикальной оси от вала, установленного коаксиально внутри корпуса и вращающегося от внешнего привода. Диаметрально противоположно выходному патрубку расположен патрубок подвода регенерирующего состава (вода, горячий пар и др.) с отводящим патрубком с противоположной стороны барабана и регулирование вращения вала с барабаном осуществляется от вариатора, через редуктор и электрический двигатель. Помимо конструктивных особенностей предлагается использование графита в виде сорбционной загрузки. Диоксин содержит  $\pi$ -электроны, которые могут взаимодействовать с  $\pi$ -электронами бензольного кольца графитовых листов посредством  $\pi$ - $\pi$  взаимодействия.  $\pi$ - $\pi$ -взаимодействия между  $\pi$ -электронно-богатыми кольцами ПХДД/Ф и  $\pi$ -электронно-обедненными областями поверхности графитовых листов являются механизмом удаления ПХДД/Ф.

## Источники

1. Сборник ИТС 9-2015 «Обезвреживание отходов»
2. Ившин В.П. Диоксины и диоксиноподобные соединения: пути образования, свойства, способы деструкции / Марий Эл: Изд-во Марийского государственного университета, 2005. С.320.
3. Ellina V. Gogol, Guzel I. Gumerova, Olga S. Egorova. Approaches to assessment and hazard identification of dioxins. International Conference “Environmental Engineering”, 10th International Conference „Environmental Engineering“ DOI: <https://doi.org/10.3846/enviro.2017.021>
4. Гумерова Г.И., Гоголь Э.В., Егорова О.С. «Подходы к оценке определения опасности диоксинов», Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2016
5. Мингазетдинов И. Х., Гоголь Э.В., Тунакова Ю.А., Платонова М.С., Патент №208383 Адсорбер барабанного типа, 2020)

УДК 628.386

## ПУТИ УТИЛИЗАЦИИ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Гузель Рамилевна Салихова

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент Регина Яновна Исхакова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

[guzzelka.sal@gmail.com](mailto:guzzelka.sal@gmail.com)

**Аннотация.** В статье рассматривается способ термической утилизации осадков сточных вод промышленных предприятий и технология их переработки.

**Ключевые слова:** сточные воды, осадок, утилизация, очистные сооружения, предприятие.

## WAYS OF UTILIZATION OF INDUSTRIAL WASTEWATER SLUDGE

Guzel R. Salikhova

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

[guzzelka.sal@gmail.com](mailto:guzzelka.sal@gmail.com)

**Abstract.** The article discusses the method of thermal utilization of industrial wastewater sludge and the technology of their processing.

**Keywords:** wastewater, sediment, disposal, treatment facilities, enterprise.

В процессе эксплуатации очистных сооружений образуется значительное количество осадков. Эти осадки представляют собой грубодисперсные, коллоидные и прочие вещества, а также избыточный активный ил, образующийся на этапе биологической очистки [1]. Осадки сточных вод подлежат сушке в естественных условиях и дальнейшей обработке, целью которой является их обезвреживание и удаление избыточной влаги [2].

К основному методу переработки осадков относится их обезвоживание с последующим сжиганием (см. рисунок).

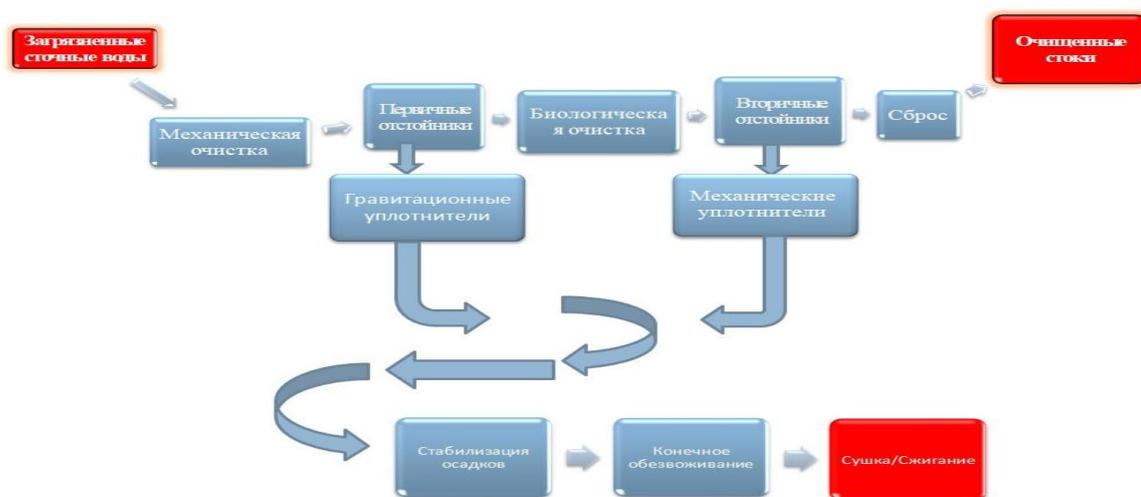


Схема очистки стоков

Все осадки сточных вод подвергаются процессу обезвоживания с целью снижения влажности до 75-80%, далее их транспортируют и утилизируют. Они обезвоживаются либо на иловых площадках, либо при помощи фильтр-пресса, центрифуги, вакуумного фильтра, фильтрующих мешков и геотуб [3]. В настоящее время наиболее предпочтительны механические методы обезвоживания сточных вод, которые были перечислены ранее. Данный метод экологичен и экономически целесообразен при условии дальнейшей их переработки.

Далее после обезвоживания перспективным является сжигание осадков сточных вод с получением тепловой энергии. При этом преимуществом является снижение антропогенной нагрузки на почвы в случае невозможности утилизации осадка в сельском хозяйстве. Однако при этом должна быть решена проблема обезвреживания дымовых газов, образующихся при сжигании и утилизации золы [4]. Этот метод позволяет

термически переработать значительный объём осадков сточных вод, он практически безопасен и экологичен при применении необходимого оборудования очистки газовых сред [5].

### **Источники**

1. Экозащитные технологии систем водоотведения предприятий пищевой промышленности: Учебное пособие / С. Б. Зуева, С. С. Зарцына, В. И. Щербаков. – СПб. : Проспект Науки, 2018. - 328 с.

2. Очистка сточных вод от анионных синтетических поверхностно-активных веществ с использованием отхода энергетики в качестве вторичного материального ресурса / Николаева Л.А., Исхакова Р.Я., Травникова А.В., Нургалиев А.И. / Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности, 2023. № 1. - 120-128 с.

3. СП 32.13330.2012. Канализация. Наружные сети и сооружения. – Введ. 01.01.2013. – М.: Минрегион России, 2012. –97 с.

4. Осадок сточных вод: виды, методы сушки, обработка и использование – URL: <https://rcycle.net/stochnye-vody/ochistka/osadok-obezvozhivanie-i-drugie-metody-obrabotki#i-29> (дата обращения 02.11.2023)

5. Сжигание жидких отходов и осадков – URL: <https://studfile.net/preview/9366218/page:16/> (дата обращения 04.11.2023)

УДК 351.777

## **УГЛЕРОДНЫЙ СЛЕД ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ: ПЕРЕРАБОТКА ИЛИ ОТКАЗ ОТ ПЕРЕРАБОТКИ**

Айдар Равилевич Фасыхов

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент Лейсан Раисовна Гайнуллина

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

fara.388@mail.ru

**Аннотация.** Основными принципами уменьшения выбросов парниковых газов являются - сокращение, повторное использование и переработка. Но проведя анализ, сделан вывод, что борьба с климатическим кризисом может привести к увеличению выбросов, что вызывает серьезные опасения по поводу переработки углеродного следа.

**Ключевые слова:** углеродный след, утилизация, отходы.

## CARBON FOOTPRINT FROM DOMESTIC AND INDUSTRIAL WASTE: RECYCLING VERSUS NON-RECYCLING

Aydar R. Fasykhov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

fara.388@mail.ru

**Abstract.** The main principles of reducing greenhouse gas emissions are reduction, reuse and recycling. But the analysis concluded that tackling the climate crisis could lead to increased emissions, raising serious concerns about recycling's carbon footprint.

**Keywords:** carbon footprint, recycling, waste.

Существуют различные методы переработки отходов пластмассы, металлов и других материалов.

Сравнивая производство с нуля и переработанные изделия, последние потребляют меньше энергии, дешевле в производстве и, как правило, более бережны к окружающей среде. В перерабатывающей отрасли также ежегодно работают тысячи человек, что способствует росту экономики стран.

При добыче руд для получения металлов образуется значительное количество парниковых газов из-за используемых ресурсов и промышленного оборудования [1]. Анализ использования методов переработки металлов выявил значительное снижение необходимости добычи металлов, что позволит сократить загрязнение воздуха на 86 %, а загрязнение воды – на 40 %. По статистике, каждая тонна металлолома, используемого в производстве, снижает выбросы CO<sub>2</sub> на 1,5 тонны и снижает потребление сырья на сотни килограммов. Тем более, что уровень выбросов при производстве стали почти в 2 раза превышает количество произведенной стали - 1,85 тонны CO<sub>2</sub> на каждую тонну стали [2].

Сравнительный анализ углеродного следа приведен в таблице.

Сравнительная таблица углеродного следа металлов и других материалов в результате переработки [2].

Материал	УС от нового производства (CO <sub>2</sub> / кг)	Выбросы парниковых газов при производстве переработанных материалов (CO <sub>2</sub> / кг)	Разница (%)
Сталь	2.4	0.3	87
Алюминий	11.0	0.4	96
Стекло	0.9	0.5	41
Пластик	2.1	1.3	37
Бумага	1.1	0.7	37

Углеродный след при переработке металлов поддерживает экологичность несколькими способами. Повторное использование металлов уменьшает потребность в получении первичной руды, что экономит добычу и снижает связанные с ней выбросы. Кроме того, решается вопрос с этапом утилизации и соответственно сокращения углеродного следа. Это является одним из способов для предприятий, которые хотят сократить расходы и направить денежные вложения на другие проекты [3].

Аналогично, проведя анализ экологической и экономической эффективности от переработки стекла, выявлено, что преимуществом использования размельченного и переработанного сырья для специализированных на данной отрасли предприятий является сокращение потребляемой энергии в процессе всего цикла. Сырье с 10 %-ным содержанием продуктов переработки сокращает потребление энергии от 2 до 3% [4]. Также использование вторичного сырья снижает объем углеродного следа в виде диоксида углерода. Одна тонна непригодного для дальнейшего использования стекла способна предотвратить освобождение в воздушную среду около 500 кг двуокиси углерода. Добавление в смесь 20 % битого стекла приводит к снижению выброса двуокиси серы на 20 %, мелкой пыли – на 16 % и оксида азота – на 8 % [5].

Переработка стекла сокращает потребление природных ресурсов, так как стекло — это полностью поддающийся переплавке материал. Процесс его переработки представляет полностью замкнутый цикл. Утилизация тонны стеклобоя экономит больше тонны природного сырья: около 650 кг

песка, 186 кг соды и около 200 кг известняка. Кроме того, использование стекла как вторсырья ведет к сокращению как существующих мусорных полигонов, так и предотвращает образование новых [6].

Таким образом, проанализировав различные методы переработки на примере металлов (механическая резка, дробление, термическое измельчение, взрывное дробление) и стекла сделан вывод, что переработка отходов имеет ряд экологических и экономических особенностей, таких как снижение расхода природных ресурсов, сокращение расходов на закупки сырья для промышленных предприятий.

### **Источники**

1. Лисиенко В.Г., Чесноков Ю.Н., Лаптева А.В. Оценка выбросов в атмосферу вредных и парниковых газов при карьерной добыче, обогащении и транспортировке руды // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации, 2020, Т. 76, № 10, С. 1051-1058.

2. И. Кривошапка. Российская энергетика имеет низкий углеродный след // Энергетика и промышленность России: газета. 13.10.2021.

3. Битва за климат: карбоновое земледелие как ставка России: экспертный доклад / под ред. А. Ю. Иванова, Н. Д. Дурманова; М. П. Орлов, К. В. Пиксендеев, Ю. Е. Ровнов и др. ; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». – М. : Изд. дом Высшей школы экономики, 2021. – 120 с.

4. Валиулин И. Гидроэнергетика подтверждает статус безуглеродной – Экология. Атомный эксперт, 2016. – 1-3 с.

5. Экология сегодня/ Переработка стекла и утилизация/  
[https://zen.yandex.ru/media/iap\\_zts/naskolko-ekologichny-vetro-i-solnechnaia-energetika-na-samom-dele-608be108f4534e74b59eb188](https://zen.yandex.ru/media/iap_zts/naskolko-ekologichny-vetro-i-solnechnaia-energetika-na-samom-dele-608be108f4534e74b59eb188), 2022.

6. Стейн Брюерс УГЛЕРОДНЫЙ СЛЕД Брюссельского университета // ecolife// Брюссель – 2016.

## ВЛИЯНИЕ ПЛАСТИКОВЫХ ОТХОДОВ НА ВОДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ

Алсу Рафисовна Хадиева

Науч. рук. канд. биол. наук, доц. Энза Рафаиловна Бариева, ст. преп. Елена

Владимировна Серазеева

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

hadieva2203@gmail.com

**Аннотация.** Пластиковые отходы являются одной из основных проблем окружающей среды и оказывают значительное влияние на жизнь водных организмов и экосистему в целом. Каждый год миллионы тонн пластика попадают в водоёмы, создавая серьезные проблемы для разнообразия живых существ.

**Ключевые слова:** пластиковые отходы, водная экосистема, микропластик, прибрежная территория.

## THE IMPACT OF PLASTIC WASTE ON AQUATIC ECOSYSTEMS

Alsu R. Khadieva

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

hadieva2203@gmail.com

**Abstract.** Plastic waste is one of the main environmental problems and has a significant impact on the life of aquatic organisms and the ecosystem as a whole. Every year, millions of tons of plastic end up in water bodies, creating serious problems for the diversity of living beings.

**Keywords:** plastic waste, aquatic ecosystem, microplastics, coastal area.

Пластмассы представляют собой крупную, вредную и стойкую часть водного мусора, на долю которой приходится не менее 85 процентов от общего объема отходов в водной среде. Источники пластика в водоёмах многочисленны и разнообразны. Рассмотрим некоторые из них:

– пластиковые отходы, которые оказываются на побережье и берут начало на судах, представляют собой материалы, не способные к распаду. Среди них можно выделить пластиковые бутылки, пакеты и упаковочные материалы, оставленные людьми на пляжах или выброшенные судами;

– микропластик – это небольшие частицы пластика, размер которых не превышает 5 мм. Он возникает в результате разрушения крупных пластиковых объектов или является составной частью косметических и бытовых продуктов;

– распадающийся пластик – это крупные предметы из пластика, такие как корабли, рыболовные сети и содержимое судовых контейнеров, которые со временем разлагаются на мельчайшие фрагменты под воздействием солнечного света и волн;

– нелегальная выгрузка – это акт, совершаемый некоторыми компаниями, которые осознанно сбрасывают отходы в океан, чтобы избежать затрат на их утилизацию [1].

Мусор в водной среде преимущественно поступает из различных источников на суше, включая сельское хозяйство, очистные сооружения, строительные объекты, транспортные системы, трудно поддающиеся утилизации изделия из пластмасс, полимеров, разнообразные средства личной гигиены и медико-гигиеническая продукция. К числу источников загрязнения водоёмов также относятся прудовое и промышленное рыболовство, судоходные и морские операции, экскурсионные туры на кораблях. Отходы из пластика приводят к гибели или вызывают смертельные заболевания у китов, тюленей, черепах, птиц и рыб, а также разнообразных беспозвоночных, таких как раковины моллюсков, планктон, черви и кораллы. Химические вещества, которые свободно плавают в воде или присоединяются к фрагментам поглощенного рыбой и креветками пластика, поступают в ткани, мышцы и жир живых организмов через пищевую цепочку [2]. Пластмассы могут также вносить изменения в глобальный круговорот углерода. Увеличение масштаба ущерба, наносимого водоёмам и прибрежным зонам, затрудняет возможность этих экосистем компенсировать нежелательные последствия климатических изменений и сохранять свою устойчивость перед ними. [3].

Недавно мне удалось побывать на береговой линии реки Казанки в качестве экологической акции и собрать на побережье различные мусорные отходы, большая часть которого составлял пластик.

Для решения проблемы загрязнения водоёмов необходимо принятие срочных и эффективных мер по экологической защите водных ресурсов. Одним из эффективных методов сокращения негативного воздействия пластиковых отходов на водную экосистему является их переработка. Должны быть созданы пункты приема вторсырья и заводы по утилизации пластика [4]. Контроль и регулирование со стороны государства также играют ключевую роль в решении проблемы пластиковых отходов,

предписывая строгие нормы и стандарты для предприятий и промышленности, обязывая их использовать экологически более безопасные материалы и методы производства [5].

### **Источники**

1. Как пластик влияет на качество воды в океане: причины и последствия. [Электронный ресурс]. <https://iskonspb.ru/voda/plastik-i-egoprasnost-dlya-vod-okeana> (дата обращения: 21.10.2023)

2. Пластик в мировом океане, попадание и скапливание. [Электронный ресурс]. <https://f-musor.ru/novosti/2021/01/25/plastik-v-mirovom-okeane/> (дата обращения: 22.10.2023)

3. Программа Организации Объединенных Наций по окружающей среде (2021). «Проблема загрязнения и ее решение: Глобальная оценка загрязнения морской среды мусором и пластмассами». Сводный доклад. Найроби. С. 44.

4. Пластиковое загрязнение планеты. Способы решения проблемы. [Электронный ресурс]. <https://region15.ru/plastikovoe-zagryaznenie-planety-sposoby-resheniya-problemy/> (дата обращения: 22.10.2023)

5. Загрязнение окружающей среды пластиковыми отходами: проблема и пути решения. [Электронный ресурс]. <https://kaltjaevo.ru/blog/zagryaznenie-okruzhajushhej-sredy-plastikovymi-othodami-problema-i-puti-resheniya/> (дата обращения: 22.10.2023)

УДК 504.06

## **МЕТОДЫ ОЧИСТКИ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ ОТ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА (CO<sub>2</sub>)**

Алина Ильдаровна Хайрутдинова

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. Лариса Андреевна Николаева

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

khayrutdinova-99@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассматривается парниковый эффект – его причины, влияние на климат и последствия, а также возможные решения для снижения этого явления. Также предложены разные способы очистки газовых выбросов от углекислого газа (CO<sub>2</sub>), которые внедрены в энергетическом секторе и в промышленности. На

сегодняшний день часто применяют такие методы как: биохимический, адсорбционный, абсорбционный и каталитический.

**Ключевые слова:** парниковый эффект, очистка, выбросы, углекислый газ, промышленность, предельно допустимая концентрация (ПДК).

## METHODS FOR PURIFYING GAS EMISSIONS FROM CARBON DIOXIDE (CO<sub>2</sub>)

Alina I. Khayrutdinova

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

khayrutdinova-99@mail.ru

**Abstract.** The article examines the greenhouse effect - its causes, influence on the climate and consequences, as well as possible solutions to reduce this phenomenon. Various methods have also been proposed for purifying gas emissions from carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), which have been implemented in the energy sector and in industry. Today, methods such as biochemical, adsorption, absorption and catalytic are often used.

**Keywords:** greenhouse effect, cleaning, emissions, carbon dioxide, industry, maximum permissible concentration (MPC).

На сегодняшний день одним из главных экологических задач является минимизация парникового эффекта. Углекислый газ, водяные пары, оксиды азота и др. имеют способность образовывать парниковые эффекты. Так как они обладают пропускной способностью солнечного тепла к поверхности Земли. Этот показатель носит основной характер при увеличении температуры воздуха. Так как при увеличении концентрации CO<sub>2</sub> в 2 раза в атмосфере происходит изменение радиационного баланса всего на 1,7%, однако, при этом средняя температура воздуха на Земле повышается аж на 2,5°C [1]. С целью минимизировать отрицательное влияние на природу и предотвращение парникового эффекта проводят очистку выбросов от углекислого газа [2].

Выделяют несколько технологий и методов очистки выбросов от углекислого газа, использующие в энергетическом и промышленном секторах.

Промышленные производства с целью очистки газовых выбросов от CO<sub>2</sub> применяют такие способы как: адсорбционный, биохимический, каталитический и абсорбционный.

Адсорбционная очистка газовых выбросов от CO<sub>2</sub> гранулированным сорбционным материалом на основе карбонатного шлама химводоочистки

изучена в работе [3]. Результаты экспериментов показали, что такой способ обеспечивает ПДК выброса в атмосферу.

К биохимическим методам очистки можно отнести: аэробные и анаэробные биофильтры, а также погружные биофильтры. Эти методы предоставляют большие возможности для регулирования проблем загрязнения атмосферы разных промышленных предприятий.

Каталитический метод – эффективный способ очистки атмосферного воздуха, основанный на использовании каталитических материалов. Принцип работы заключается в том, что загрязненный воздух проходит через каталитический материал, который ускоряет химические реакции, в результате которых вредные вещества перерабатываются в более безопасные [4].

Абсорбционные методы очистки углекислого газа основываются на принципе химического взаимодействия между углекислым газом и специальными абсорбентами. Абсорбенты – это вещества, способные сорбировать или поглощать углекислый газ. Используются различные абсорбенты, включая щелочные растворы, жидкие аминные соединения и некоторые ионообменные смолы [5].

Применение современных методов и технологий очистки отходов CO<sub>2</sub> дает возможность уменьшить отрицательное влияние на окружающую среду.

### **Источники**

1. Алексеев В.В., Киселева С.В., Чернова Н.И. «Рост концентрации CO<sub>2</sub> в атмосфере – всеобщее благо» // Природа, №9, 1999 г.

2. Волков В.А., Прохоров П.Э., Турапин А.Н., Афанасьев С.В. Газоциклическая закачка диоксида углерода в добывающие скважины для интенсификации добычи высоковязкой нефти. // Нефть. Газ. Новации. Научно-технический журнал. 2017. №4. С. 62-66

3. Очистка газовых выбросов промышленных предприятий от диоксида серы карбонатным шламом/Э.М. Хуснутдинова, Л.А. Николаева// Научно-практическая конференция с международным участием «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2020»: сб. статей. Севастополь: СевГУ.-2020.-С. 603-605.

4. Лавренченко Г.К., Копытин А.В., Афанасьев С.В., Рощенко О.С. Повышение эффективности подачи диоксида углерода на синтез карбамида.//Научно-технический журнал. Технические газы. 2011.№2.С.27-31

5. Проблемы энерго- и ресурсосбережения: сб. науч. тр. / редкол.: Б.А. Семенов и др. – Саратов: СГТУ, 2012.С. 162.

УДК 502.3

## РЕЦИКЛИНГ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ КАК АЛЬТЕРАТИВА СНИЖЕНИЯ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Артём Робертович Хизбуллин<sup>1</sup>, Лариса Андреевна Николаева<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>Khizbullin-Artem@mail.ru, <sup>2</sup>Larisanik16@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассматриваются перспективы рециклинга отходов строительных материалов. Приводится статистика объема отходов от разных сфер деятельности в Российской Федерации в сравнении с за рубежом. Приведены основные сдерживающие факторы и технологии переработки отходов для дальнейшего использования.

**Ключевые слова:** отходы строительных материалов, рециклинг твердых бытовых строительных отходов, статистика по переработке.

## CONSTRUCTION WASTE RECYCLING AS AN ALTERNATIVE TO REDUCING ENVIRONMENTAL POLLUTION LEVEL

Artem R. Khizbullin<sup>1</sup>, Larisa A. Nikolaeva<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>Khizbullin-Artem@mail.ru, <sup>2</sup>Larisanik16@mail.ru

**Abstract.** The article discusses the prospects for processing waste construction materials. Statistics on the volume of waste from various fields of activity in the Russian Federation abroad are provided. The main saving factors and waste processing technologies for further use are presented.

**Keywords:** waste construction materials, recycling of solid household construction waste, recycling statistics.

За последние годы общественный интерес к сохранению и улучшению состояния окружающей среды, а именно к экологии окружающей среды неуклонно растет. Существенную роль играет экономия ресурсов для производства строительных материалов. В ходе производства строительных работ, огромное количество отходов, которые

впоследствии становятся загрязнителями территории, близкие к городам и поселкам, и в то же время потерянная возможность их повторного использования. Переработка твердо-бытовых строительных отходов позволяет уберечь природу от негативного воздействия, а также существенно сократить затраты на закупку материалов и изготовление строительных конструкций.

На основании статистики Министерства экологии Российской Федерации в нашей стране за последние два года от всего объема отходов составляют промышленные отходы - 60%, бытовые отходы - 30% и только строительные отходы составляет всего 10%.

По данным Росприроднадзора, в нашем государстве за 2020-2021 год образовалось свыше 72 млн.тонн строительного мусора. Переработке строительных отходов подвергается 22%, а это лишь 15,8 млн.тонн, от всего объема [1].

В странах европейского союза, по данным Евростата рециклинг строительных отходов в среднем составляет 55-60%, оставшиеся отходы подвергаются захоронению и обезвреживанию[2].

Для развития рециклинга твердо-бытовых отходов имеется ряд сдерживающих факторов, а именно [3]:

- малое количество организаций специализирующихся по переработки твердо-бытового строительного мусора;
- Прибавочные затраты на сертификацию по переработке строительных отходов;
- высокий уровень доступности полигонов для захоронения, в то числе противозаконных;
- высокая стоимость технического оборудования по переработке отходов;
- сомнение к качеству производимых материалов вторичного использования;
- минимальные денежные затраты на создание полигонов под твердо-бытовые строительные отходы;
- высокая стоимость разработки технологической дорожной карты по переработке строительного мусора.

Основной проблемой по вопросам рециклинга в Российской Федерации можно назвать стагнацию в плане использования вторичных ресурсов.

В таблице приведены основные строительные отходы для рециклинга, которые относятся к группам (IV и V классов опасности). В

данной таблице также приведены результаты анализа использования отходов в строительной отрасли [5].

#### Основные группы строительных отходов и практика их использования

Наименование твердо- бытовых отходов	Класс биологической опасности	Захоронение	Переработка на строительной площадке	Переработка на спец. предприятиях	Задействовано в цикле переработки на данный момент	Перерабатывается на строительной площадке в данный момент
Лесоматериалы	IV	+	+	+	+	-
(Асфальт)	IV	-	-	+	-	-
Грунт	IV	+	+	-	-	-
Битумосодержащие отходы	IV	+	-	+	-	-
Камень/кирпич	V	-	+	+	+	+
Металлоизделия	V	-	-	+	-	-
Цемент / бетон	V	-	+	+	+	+
Отсев/Щебен ь	V	-	+	+	+	-
Итого		3	5	7	4	2

Переработка строительных отходов выполняется стационарной и мобилизованной переработкой.

К выше перечисленным типам имеется 4 технологического метода рециклинга строительных материалов, а именно:

1. Механический
2. Химический
3. Инсинерация
4. Пиролиз

В ходе рассмотрения актуальности проблематики данных вопросов, можно отметить, что при грамотно выстроенной технической стратегии и расширения технологических возможностей по обработке и переработке твердо-бытовых строительных отходов позволит уменьшить загрязнения

окружающей среды в регионах страны, уменьшить затрачиваемые ресурсы при первичном производстве строительной продукции за счет рециклингу отходов, увеличить рост экономики страны, так как это является неотъемлемая часть привлечению и развитию малого, среднего и крупного, в том числе государственного бизнеса в России [4].

### **Источники**

1. Официальный сайт Росприроднадзор [электронный ресурс]. <https://rpn.gov.ru>.
2. Официальный сайт Eurostat [электронный ресурс]. <https://ec.europa.eu/eurostat>.
3. Noskova E.V. К вопросу рециклинга отходов строительства и сноса [On the issue of recycling of construction and demolition waste]. Vestnik grazhdanskikh inzhenerov, 2020, no. 1, pp. 224–227.
4. Олейник П.П., Григорьева Л.С. Организация системы управления переработкой строительных отходов // Интернет-вестник ВолгГасу. Серия: Политематическая. 2014. Вып. 2(33). С. 25.
5. Чулков В.О., Тихонов Е.Г., Дзицкоев Х.А., Семенов М.Н. Обращение с отходами строительства и сноса — важная проблема // Интернет - журнал «Отходы и ресурсы». 2016 Т.3, №4. [электронный ресурс]. <http://resources.today/PDF/05RR0416.pdf>. (дата обращения 09.12.2019).

## РАЗРАБОТКА СПОСОБА ОЦЕНКИ НАКОПЛЕНИЯ МЕТАЛЛОВ В ОРГАНИЗМЕ ЖИТЕЛЕЙ КРУПНЫХ ГОРОДОВ. В УСЛОВИЯХ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

<sup>1</sup>Светлана Владимировна Новикова, <sup>2</sup>Всеволод Сергеевич Валиев,

<sup>3</sup>Рашат Искандарович Файзуллин, <sup>4</sup>Илья Александрович Шром

Науч. рук. д-р хим. наук, проф. Юлия Алексеевна Тунакова

<sup>1,4</sup>ФГБОУ ВО «КНИТУ-КАИ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>2</sup>Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, г. Казань, Республика Татарстан,

<sup>3</sup>Институт фундаментальной медицины и биологии ФГБОУ ВО «К(П)ФУ», г. Казань, Республика Татарстан

**Аннотация.** Предложен способ оценки накопления металлов в организме в результате полиметаллического загрязнения объектов окружающей среды. Представлено описание разработанной программы нейросетевого расчета накопления металлов в организме с учетом поступления воздушным и водно-пищевым путем.

**Ключевые слова:** металлы, загрязнение, накопление в организме, нейросетевая модель расчета, программа расчета.

## DEVELOPMENT OF A METHOD FOR ASSESSING THE ACCUMULATION OF METALS IN THE BODY OF RESIDENTS OF LARGE CITIES UNDER CONDITIONS OF POLYMETALLIC POLLUTION

<sup>1</sup>Svetlana V. Novikova, <sup>2</sup>Vsevolod S. Valiev,

<sup>3</sup>Rashat I. Fayzullin, <sup>4</sup>Ilya A. Shrom

<sup>1,4</sup>KNRTU-KAI, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>2</sup>Institute of Ecology and Subsoil Use Problems, Academy of Sciences of RT  
Kazan, Republic of Tatarstan,

<sup>3</sup>Institute of Fundamental Medicine and Biology, Kazan (Volga Region)FU, Kazan, Republic of Tatarstan

**Abstract.** The method of estimation of metal accumulation in the organism as a result of polymetallic pollution of environmental objects is proposed. The description of the developed program of neural network calculation of metal accumulation in the organism taking into account air and water-food intake is presented.

**Keywords:** metals, pollution, accumulation in organism, neural network model of calculation, program of calculation.

Прогрессивный рост экологически обусловленных заболеваний связан с нарушением процессов адаптации организма человека к среде обитания, темпы загрязнения которой могут превышать приспособительные возможности организма человека [1–4].

Избыточное поступление металлов из объектов окружающей среды нарушает сбалансированность метаболических процессов в организме, и вызывает нарушения в работе эндокринной, иммунной, репродуктивной и других систем. Известно, что территориально-дифференцированное распределение полиметаллической нагрузки формирует различный уровень медико-биологических откликов организма жителей данной территории. Многокомпонентность, многофакторность полиметаллического загрязнения среды обитания определяет методические трудности в оценке антропогенного воздействия и выявления причинно-следственных связей между действием факторов среды обитания и ответным откликом организма человека. Степень опасности поступления металлов в организм во многом зависит не только от токсичности, но и от способности к миграции и аккумуляции в биологических объектах. Особенно металлы переменной валентности, при оценке влияния полиметаллического загрязнения на организм человека, могут выступать в роли маркеров экспозиции факторов среды [3-5].

На характер биоаккумуляции металлов могут влиять не только их физико-химические свойства, но и эффект суммации при комбинированном воздействии токсичных металлов [6,7]. Поступление металлов в организм рассматривается как воздействие факторов малой интенсивности со специфическим и неспецифическим характером биологического действия. У детей, проживающих на территориях с высоким уровнем полиметаллического загрязнения, при снижении концентрации эссенциальных микроэлементов одновременно увеличивается концентрация токсичных, что подтверждает известный факт синергизма и антагонизма микроэлементов [2-5].

Перечисленные проблемы во многом обосновывают целесообразность и необходимость разработки действенных подходов для оценки накопления металлов в организме человека в зависимости от содержания в среде обитания. Оценка накопления металлов в организме детей на территориях с разным уровнем полиметаллического воздействия, позволит определить металлы, являющиеся региональными маркерами

воздействия факторов среды обитания на организм человека. Оценку степени полиметаллического воздействия на организм человека необходимо проводить с учетом показателей, характеризующих как процессы поступления металлов в организм, так и показателей отклика организма на воздействие. Количественное содержание металлов в статичных и динамичных биосубстратах организма человека является чувствительными маркерами отклика на полиметаллическое воздействие. Локализованное местонахождение детей и их большая чувствительность к полиметаллическому воздействию с откликом составов биосубстратов, позволяет определять накопление металлов в организме с территориальной дифференциацией.

Прямая оценка накопления металлов в организме человека чрезвычайно сложна, как в силу множества внутренних механизмов, обеспечивающих кинетику металлов, так и в связи с огромным разнообразием органов, тканей, клеточных структур и секретов, обеспечивающих их функциональное перераспределение. Однако накопление металлов, в первую очередь, определяется количеством, а также соотношением поступившего и выделившегося вещества [7-9]. В нашем случае, концентрации металлов в потребляемой питьевой воде характеризуют поступление (повышают накопление), а в моче – характеризует выведение (понижают накопление). Поэтому подобную систему можно представить в виде трех звеньев с динамически равновесным состоянием, определяемым весовыми коэффициентами.

В целях создания комплексной нейросетевой модели накопления металлов в организме человека были созданы ансамбли нейросетевых регрессионных моделей, отражающих взаимосвязь концентраций металлов в потребляемой питьевой воде, крови и моче с учетом физиологических особенностей тестируемой группы детей и подростков.

Программный комплекс представляет собой встроенный в графическую управляющую оболочку Deductor Studio версии 4.3.0.545 расчетный модуль, реализованный в виде XML-структуры; взаимодействие с базами данных осуществляется посредством интегрированной ETL-процедуры средствами базовой платформы.

Программа реализует прямой расчет степени накопления металла в организме человека в зависимости от его морфо-физиологических параметров, таких как пол, рост, вес и возраст. Антропогенное поступление металла в организм человека учитывается в программе на основе данных о содержании металла в питьевой воде, отобранной в конечной точке потребления для учета вторичного полиметаллического

загрязнения питьевых вод; снеговом фильтрате (характеризует поступление данного металла аэрогенным путем в зимний период времени), а также почвенном покрове (характеризует длительное поступление данного металла на территорию проживания).

Непосредственно расчет осуществляется на основе предобученной нейросетевой модели типа MLP, с зафиксированными значениями синаптических весов. Обучение осуществляется на основе мониторинговых данных и данных натуральных наблюдений и измерений, представленных в одном из трех возможных форматов: MS Excel, text и deductor-data.

Входными данными для расчета являются морфо-физиологические параметры людей, населяющих заданную локацию (рост, вес, пол и возраст), а также концентрации металла во внешних средах (питьевой воде, снеге и почве). Входные данные, также как данные при обучении, могут быть представлены в форматах MS Excel, text либо deductor-data. В результате программный комплекс генерирует значение удерживания металлов в организме. Выходные данные могут быть получены также в трех указанных выше форматах. Доступ к приложению осуществляется через графическую оболочку Deductor Studio.

Данный способ не требует дорогостоящих лабораторных исследований и позволяет количественно определить накопление металлов в организме. Упрощенная структура нейросетевой регрессионной модели (сокращение числа входов) дает достаточную точность, а редукция нейросетей повышает адекватность моделей.

Данный способ оценки накопления металлов в организме может быть использован для подбора адекватных способов выведения избыточного количества металлов и восстановления микроэлементного баланса.

Научные исследования проведены при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках исполнения обязательств по Соглашению номер № 075-03-2023-032 от 16.01.2023 (номер темы FZSU-2023-0005).

### **Источники**

1. Онищенко Г.Г. Влияние состояния окружающей среды на здоровье населения. Нерешенные проблемы и задачи // Гигиена и санитария. -2003. №1. - С.3-10.
2. Скальный, А. В. Лакарова Е. В., Кузнецов В. В., Скальная М. Г.. Аналитические методы в биоэлементологии. СПб. : Наука, 2009. – 264 с.

Ревич, Б. А. Биомониторинг токсических веществ в организме человека // Гиг. и сан. –2004. – № 6. – С. 26–31.

3. Большаков А.М., Крутько В.Н., Пуцилло Е.В. Оценка и управление рисками влияния окружающей среды на здоровье. М., 1999. - С.256.

Боев В.М., Быстрых В.В., Горлов А.В.Карпов А.И., Кудрин В.И. Урбанизированная среда обитания и здоровье человека. Оренбург: Печатный дом «Димур», 2004. - С.240.

4. Гильденскиольд Р.С., Новиков Ю.В., Хамидулин Р.С. и др. Тяжелые металлы в окружающей среде и их влияние на организм (обзор) // Гигиена и санитария. 1992. - № 5-6. - С.6-9..

5. Кацнельсон Б.А., Кошелева А.А., Кузьмин С.В., Привалова Л.И. Роль эколого-эпидемиологических исследований атмосферных загрязнений в оценке риска «острой» смертности //Вестн. РАМНю -2002, №9. С.23-28.

6. Королев А.А., Кучма В.Р., Гильденскиольд С.Р. и др. Оценка риска ухудшения состояния здоровья населения в связи с воздействием факторов окружающей среды //Гигиена и санитария. 1994. - №2. -С.11-13.

7. Tunakova Y., Novikova S., Gabdrakhmanova G., Krasnyuk I., Faizullin R. NEURAL NETWORK SELF-LEARNING MODEL FOR COMPLEX ASSESSMENT OF DRINKING WATER SAFETY FOR CONSUMERS// BioNanoScience. 2018. Т. 8. № 2. С. 504-510.

# СЕКЦИЯ 11. ЭНЕРГОРЕСУРСОЭФФЕКТИВНЫЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ И НЕФТЕГАЗОПЕРЕРАБОТКЕ

УДК 543.632.9

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ПРОТОЧНОГО ПМР-АНАЛИЗАТОРА

Амир Динарович Арсланов<sup>1</sup>, Рустем Султанхамитович Кашаев<sup>2</sup>

Науч. рук. д-р техн. наук, доц. Олег Владимирович Козелков

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>arslanovad97@gmail.com, <sup>2</sup>kashaev2007@yandex.ru

**Аннотация.** В статье рассмотрена программа контроля проточного ПМР-анализатора. Данная программа предназначена для автоматизированного анализа данных о параметрах нефти, исследуемой с помощью протонной магнитной релаксометрии.

**Ключевые слова:** ПМР-анализатор, контроль нефти, анализ данных, автоматизация нефтяных месторождений, QTDesigner.

## DEVELOPMENT OF CONTROL SYSTEM FOR A FLOW PMR-ANALYZER

Amir D. Arslanov<sup>1</sup>, Rustem S. Kashaev<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>arslanovad97@gmail.com, <sup>2</sup>kashaev2007@yandex.ru

**Abstract.** The article discusses the control program for a flow PMR analyzer. This program is designed for automated analysis of data on oil parameters got by using proton magnetic relaxometry.

**Keywords:** PMR analyzer, oil control, data analysis, oil field automation, QT Designer.

Нефтяная отрасль России в данный момент активно развивается и совершенствуется с использованием современных информационных технологий и активно внедряет их в «цифровых месторождениях нефти». Одним из ключевых направлений развития сейчас является диагностика параметров нефтей получаемых на месторождениях[1].

Учёными из Казанского государственного энергетического университета с кафедры «Приборостроение и мехатроника» был создан метод и прибор экспресс-контроля нефти на базе протонной магнитной релаксометрии (ПМР)[2].

Устройство ПМР-анализатора позволяет получить первичные ПМР параметры исследуемых проб нефти и передает их на компьютер для дальнейшей обработки. По известным формулам из ПМР параметров выводятся характеристики исследуемой нефти [3].

Основными исследуемыми параметрами являются: скорости потока водонефтяных эмульсий, концентрация воды и нефти в скважинной жидкости (СКЖ), газосодержащие в СКЖ, плотность нефти, молекулярная масса нефти, температура застывания, концентрация асфальтеновых смол, загрязненность солями тяжелых металлов[4-5].

На данном этапе обработка данных производится вручную, однако, с целью повышения эффективности и удобства эксплуатации устройства, сейчас ведется разработка программы, позволяющей автоматизировать и визуализировать данный процесс. Блок-схема работы данного приложения представлена на рис.1.

Здесь устройство ПМР-анализатора передает с помощью преобразователя данных USB-UART данные о ПМР параметрах на персональный компьютер, где происходит их обработка и перевод в характеристики нефти с последующей визуализацией. Исходя из полученных данных корректируется работа системы пробоотбора.

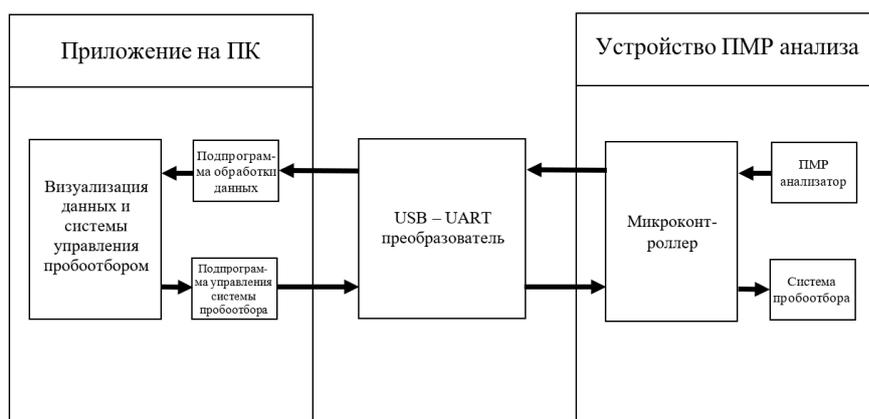


Рис. 1. Система контроля проточного ПМР-анализатора

Окно разрабатываемой программы представлено на рис.2. Приложение, разрабатывается на языке C++, с использованием фреймворка QT, который позволяет упростить разработку визуализации программы.

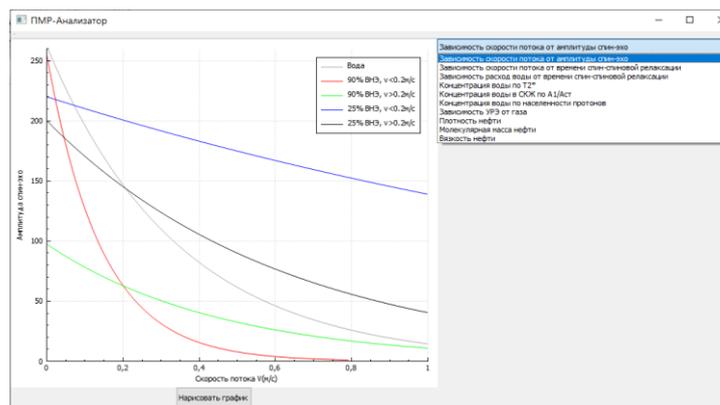


Рис. 2. Программа обработки данных проточного ПМР-анализатора

На данный момент можно построить графики для просмотра различных характеристик нефти зависящих от ПМР параметров. В выпадающем списке справа выбирается интересующая зависимость и формируется график для нефтей с различными исходными данными. В дальнейшем добавится возможность вывода данных о состоянии нефти в реальном времени во время исследования проб с помощью ПМР-анализатора. Данные о различных параметрах нефти будут выводиться в отдельные ячейки, что позволит упростить процесс диагностики персоналом, обслуживающим нефтяные месторождения.

### Источники

1. Кашаев Р.С, Козелков О.В, Кубанго Б.Э. Проточные протонные магнитно-резонансные анализаторы для контроля скважинной жидкости по ГОСТ р 8. 615–2005 ГСИ // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2017. №1–2. С.137-151.
2. Кашаев Р.С. Анализ многофазных потоков методом ядерного (протонного) магнитного резонанса (ПМР) // Вестник КГЭУ. 2016. №3. С.79-96.
3. Киен Нгуен Тьи, Кашаев Р. С. Стенд ПМР-анализатора для измерения вязкости и состава многокомпонентных жидкостей методом ПМР-релаксометрии // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2020. №2. С. 108–116.
4. Сафиуллин Б. Р., Козелкова В. О., Кашаев Р.С., Козелков О.В. ОЧИСТКА НЕФТИ ОТ АСФАЛЬТЕНО-СМОЛ И ПАРАФИНОВ // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2022. №5. С.166-178.

5. Кашаев Р. С., Хайруллина И. Р. Исследование методом ядерного магнитного резонанса влияния серы на эксплуатационные параметры тяжелых топлив. Методика экспресс-анализа серы // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2008. №3–4. С.64-75.

УДК 536.24

## **МЕТОД ТЕПЛОВОГО ЧИСЛА ЕДИНИЦ ПЕРЕНОСА В РАСЧЕТАХ ПРОТИВОТОЧНЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ С ИНТЕНСИФИКАТОРАМИ**

Алмаз Анасович Ахмитшин

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. Анатолий Григорьевич Лаптев

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

tvt\_kgeu@mail.ru

**Аннотация.** Для определения тепловой эффективности нагрева или охлаждения потоков записана тепловая эффективность, как отношение достигнутого температурного режима к максимально возможному. Далее по полученной эффективности находится произведение коэффициента теплопередачи на площадь поверхности теплообмена, которая является требуемой. Исходя из этого выбираются конструктивные и режимные характеристики теплообменного аппарата на основе технического задания, т.е. исходных данных на проектирование.

**Ключевые слова:** теплообмен, метод расчета, структура потока, эффективность процесса.

## **METHOD OF THERMAL NUMBER OF TRANSFER UNITS IN CALCULATIONS OF COUNTERCURRENT HEAT EXCHANGERS WITH INTENSIFIERS**

Almaz A. Akhmetshin

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

tvt\_kgeu@mail.ru

**Abstract.** To determine the thermal efficiency of heating or cooling flows, thermal efficiency is recorded as the ratio of the achieved temperature regime to the maximum possible. Next, based on the obtained efficiency, the product of the heat transfer coefficient and the heat exchange surface area, which is required, is found. Based on this, the design and

operating characteristics of the heat exchanger are selected based on the technical specifications, i.e. initial data for design.

**Keywords:** heat transfer, calculation method, flow structure, process efficiency.

Метод единиц переноса широко применяется в расчетах массообменных процессов при непрерывном взаимодействии фаз в насадочных, тарельчатых и пленочных аппаратах для процессов ректификации, абсорбции и экстракции смесей, а также сепарации аэрозолей.

Применение данного метода для теплообменников обусловлено, когда структура потока теплоносителя отличается от идеального вытеснения, т.е. имеется обратное перемешивание потоков. Обратное перемешивание в каналах теплообменных аппаратов появляется за счет применения различных поверхностных и объемных интенсификаторов. За счет интенсификаторов коэффициенты теплоотдачи могут увеличиваться в несколько раз (до 18-22 раз), что вызывает также повышение гидравлического сопротивления за счет турбулизации теплоносителей[1-3]. Если коэффициенты теплоотдачи повышаются в несколько раз, то это дает возможность снижать массогабаритные характеристики аппаратов[4,5], однако обратное перемешивание может снижать эффективность теплообмена на 10-30%, что необходимо учитывать при проектировании теплообменников[6,7].

В данном докладе получены расчетные выражения для тепловой эффективности для пластинчатых теплообменников, а также типа «труба в трубе», в которых применяются интенсификаторы в виде проволочных вставок. Например, при нагреве жидких смесей с повышенной вязкостью (моторное или компрессорное масло, мазут и т.д.) за счет проволочных интенсификаторов происходит переход от ламинарного режима в турбулентный и эффективность теплообмена существенно повышается. Переход к турбулентному режиму происходит при числе Рейнольдса более 150-500 в зависимости от конструктивных характеристик проволочных вставок и теплофизических свойств теплоносителя.

В результате расчетов пластинчатого теплообменника, при нагреве индустриального масла от 25°C до 65°C водяным паром с температурой 100°C, установлено, что при применении интенсификаторов число Нуссельта повышается в 2,75-6 раз, а тепловая эффективность в 2,0-3,2 раза. Гидравлическое сопротивление увеличивается в 2,8-22 раза. По сравнению с моделью идеального вытеснения за счет обратного перемешивания масла в канале тепловая эффективность снижается на 5-15%.

Выводы. В результате рассмотрения задачи теплообмена в средах с повышенной вязкостью в каналах теплообменных аппаратов с интенсификаторами установлено влияние конструктивных характеристик на эффективность процесса нагрева индустриального масла. Установлено повышение коэффициента теплоотдачи, гидравлического сопротивления и эффективности теплообмена в несколько раз. Однако за счет обратного перемешивания масла тепловая эффективность снижается на 5-15%, что необходимо учитывать при проектировании или модернизации аппаратов.

### Источники

1. Леонтьев А.И., Кузма-Кичта Ю.А., Веретенников С.В., Евдокимов О.А. Тепломассообмен и гидродинамика в закрученных потоках // Теплофизика высоких температур. 2021. Т. 59. № 5. С. 774-789.
2. Kuzma-Kichta Y. Choice and justification of the heat transfer intensification methods / Y. Kuzma-Kichta, A.I. Leontiev // Journal of Enhanced Heat Transfer. – 2018 – Т. 25, №6. – С. 465-564.
3. Хайбуллина А.И., Зиннатуллин Н.Х., Ильин В.К. Повышение эффективности работы теплообменного оборудования с использованием пульсационных методов очистки. // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2021 – Т.23, №1 – С. 59-67
4. Исаев С.А., Баранов П.А., Леонтьев А.И., Попов И.А. Интенсификация ламинарного течения в узком микроканале с однорядными наклонными овально-траншейными лунками // Письма в Журнал технической физики. 2018. Т. 44. № 9. С. 73-80.
5. Ахметова И.Г., Лапин К.В. Оптимальная периодичность изменения температуры теплоносителя на источнике теплоты и влияние скорости её изменения на потери тепловой энергии // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2023 – Т. 25, № 3 – С. 139-149.
6. Лаптев А.Г., Фарахов Т.М. Математическая модель теплоотдачи в каналах с насадочными и зернистыми слоями // Теплоэнергетика. 2015. № 1. С. 77–80.
7. Фарахов Т.М., Афанасьев Е.П., Лаптев А.Г. Тепловая эффективность каналов с интенсификаторами для углеводородных смесей // Труды Академэнерго. 2018. № 4. С. 17-27.

## ПОЛУЧЕНИЕ ВОДОРОДА С ПОМОЩЬЮ ПЛАЗМЕННОГО РАЗРЯДА

Денис Фирдависович Ахунов

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. Азат Фивзатович Гайсин

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

79273521546@mail.ru

**Аннотация.** На сегодняшний день в водородной энергетике наиболее остро стоит вопрос наиболее дешевого и менее энергозатратного способа получения чистого водорода. Одним из таких методов добычи является выделение водорода с применением электрического разряда. С развитием плазменных технологий появилась возможность применения их и в сфере добычи водорода. Данный метод позволяет существенно повысить количество выделяемых атомов водорода по сравнению с обычным электролизом.

**Ключевые слова:** плазменный разряд, водородная энергетика, электролиз, добыча водорода, электрические разряды.

## PRODUCTION OF HYDROGEN BY PLASMA DISCHARGE

Denis F. Akhunov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

79273521546@mail.ru

**Abstract.** To date, the issue of the cheapest and less energy-consuming method for producing pure hydrogen is the most acute in hydrogen energy. One of these extraction methods is the release of hydrogen using an electric discharge. With the development of plasma technologies, it became possible to use them in the field of hydrogen production. This method makes it possible to significantly increase the amount of hydrogen atoms released compared to conventional electrolysis.

**Keywords:** plasma discharge, hydrogen energy, electrolysis, hydrogen extraction, electric discharges.

Для снижения себестоимости производства водорода, необходимо сосредоточить его производство в централизованных крупных предприятиях. Но, в связи с этим, возникает проблема расходов на доставку полученного водорода к потребителю. Для решения этой проблемы необходимо установка

оборудования для генерации водорода для полномасштабного производства непосредственно рядом с потребителем. Задача данной работы — это исследование как плазменный разряд в газожидкостной среде влияет на получение газообразного водорода. Изучение данного вопроса даст необходимые параметры тока и подбора электролита для наиболее эффективной генерации атомов водорода.[1-6]

Для проведения эксперимента была собрана установка, состоящая из источника питания, разрядной камеры, измерительных приборов и видеокамеры. Источник питания поддерживает постоянное напряжение до 4 КВ и ток 10 А. Разрядная камера (рис. 1) состоит из двух специальных стеклянных труб (1), соединенные между собой диэлектрической трубкой (2), заполненной электролитом хлорида натрия. По медным электродам диаметром 1,5 мм подводились положительные и отрицательные потенциалы к электролиту.

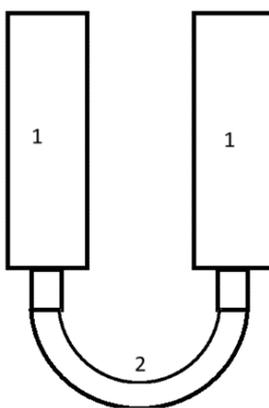


Рис. 1. Схема разрядной камеры

С начала включения источника тока наблюдался электролиз. Далее происходит электрический пробой с увеличением тока. В зависимости от поданного тока и напряжения можно наблюдать разные электрические разряды. В полученной осциллограмме (рис. 2) видны микроразряды в пузырьках газа.

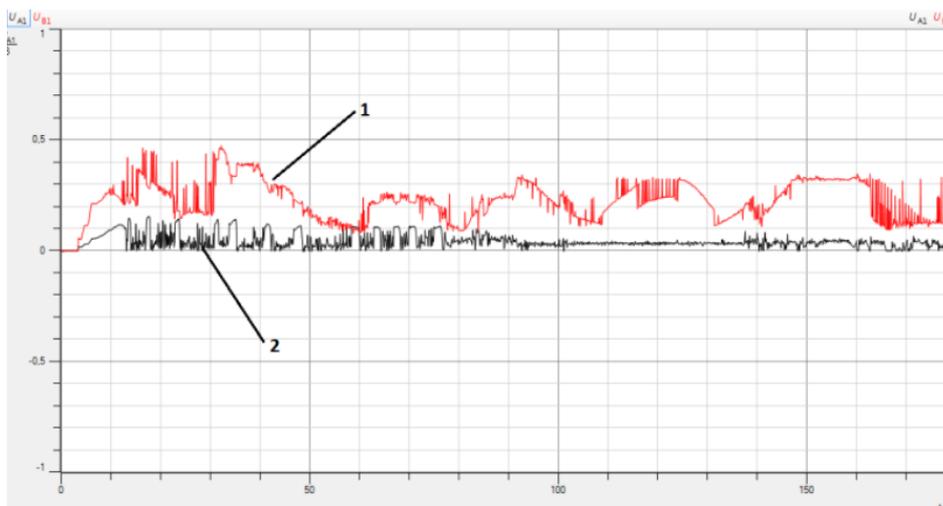


Рис. 2. Осциллограмма. 1 - напряжение, 2 – ток

Полученные данные осциллограмм и анализ видеофиксации дают знания о том, что выделения водорода из неорганического электролита увеличивается благодаря электрическим нестационарным микроразрядам после пробоя. Эксперимент показал, что данную установку можно взять как основу промышленной установки для получения газообразного водорода.

### Источники

1. Гайсин Ал.Ф., Кашапов Н.Ф. Исследование физических процессов в зоне газового разряда между жидкими электродами // Прикладная механика и техническая физика. 2018. Т.4 № 350. С. 19-22.
2. Akhatov M. F., Kayumov R. R., Mardanov R. R., et al. Voltage drop in the jet electrolytic cathode // Journal of Physics: Conference Series. 2020. 1588 (1) 012004.DOI: 10.1088/1742-6596/1588/1/012004
3. Takseitov, R.R., Galimova, R.K., Yakupov, Za.Y. Calculation of portable properties of some real gas mixtures at high temperatures // Journal of Physics: Conference Series. 2020. 1588(1). 012065.
4. Багаутдинова Л.Н., Садриев Р.Ш., Гайсин А.Ф., и др. Некоторые особенности диэлектрического барьерного разряда с жидким и твердым электродами // Теплофизика высоких температур. 2019. Т.57. № 6. С. 953-956.
5. Гайсин А.Ф., Басыров Р.Ш., Сон Э.Е. Модель тлеющего разряда между электролитическим анодом и металлическим катодом // Теплофизика высоких температур. 2015. Т.53. № 2. С.193.

6. Gajsin F.M., Galimova R.K., Khakimov R.G. Vapor-gas discharge with nontraditional electrodes // Elektronnaya Obrabotka Materialov. 1994. №5. pp.27–29. (In Russ)

УДК 628.474.76

## **АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СПОСОБОВ СНИЖЕНИЯ АНТРОПОГЕННЫХ ВЫБРОСОВ ПРИ СЖИГАНИИ УГЛЕЙ НА ОБЪЕКТАХ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ**

Милана Алексеевна Гребёнкина  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент Регина Яновна Исхакова  
milana.107710@gmail.com

**Аннотация.** В настоящее время проблема развития промышленных мощностей стоит наиболее остро. В связи с этим необходимо развивать отечественную энергетику на основе преобладающей ресурсной базы, а именно при использовании угольного топлива. В данной статье произведен анализ научных работ на тему повышения экологической безопасности угольных теплоэлектростанций, а именно способов снижения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Рассмотрены достоинства и недостатки методов очистки, а также примеры внедрения усовершенствованного оборудования в промышленную деятельность отечественных и зарубежных энергоблоков. Анализ данной информации позволит перенять накопленный опыт для эффективного перевооружения эксплуатируемых угольных энергоблоков на установки нового поколения для достижения современных экологических показателей.

**Ключевые слова:** теплоэнергетика, угольное топливо, выбросы, технологии очистки дымовых выбросов, внутритопочные мероприятия, установки пылегазоочистки.

## **ANALYSIS OF PROMISING WAYS TO REDUCE ANTHROPOGENIC EMISSIONS FROM COAL COMBUSTION AT THERMAL POWER FACILITIES**

Milana A. Grebenkina  
KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
milana.107710@gmail.com

**Abstract.** Under the current sanctions pressure on Russia, the problem of industrial potential development is most acute. In this regard, it is necessary to develop domestic energy

based on the prevailing resource base, namely the use of coal fuel. This article analyzes scientific work to improve the environmental safety of coal-fired power plants, namely, to reduce emissions of pollutants into the atmospheric air. The advantages and disadvantages of cleaning methods were considered, as well as examples of the introduction of improved equipment into the industrial activities of domestic and foreign power plants. The analysis of this information will make it possible in the future to use the accumulated experience for the effective transformation of existing coal-fired power plants into next-generation installations in order to achieve modern environmental indicators.

**Keywords:** thermal power engineering, coal fuel, emissions, technologies for cleaning flue emissions, in-furnace measures, dust gas cleaning installations, fuel improvement.

В настоящее время в связи с необходимостью преодоления глобальных экологических угроз производственный сектор стремится соответствовать концепциям устойчивого развития: разрабатываются стратегии для внедрения в энергетический сектор наилучших доступных технологий, осуществляются процессы структурной технологической перестройки в рамках четвёртого энергоперехода. Несмотря на это, основополагающая роль углеводородов в отечественной энергетике пока существенно не изменится [1]. Это связано с текущей политической и экономической ситуацией в мире. Поэтому важной задачей является разработка способов, позволяющих снизить антропогенную нагрузку на окружающую природную среду при использовании ископаемых видов топлива.

По объёму разведанных энергетических запасов преобладающими являются запасы угля, однако при его сжигании для получения энергии образуется наибольшее количество выбросов загрязняющих веществ. Среди них доминирующими являются оксиды азота, оксиды серы, оксиды углерода, твердые частицы и зола. Для решения данной экологической проблемы необходимо развитие угольной энергетики на базе новых экологически чистых технологий.

Перспективным способом снижения объёмов выбросов от объектов теплоэнергетики, является переход от прямого сжигания угля к приготовлению водоугольного топлива (ВУТ) и органоводоугольного топлива (ОВУТ) из углей различных качеств, в том числе и из отходов углеобогащения. С экологической точки зрения применение ВУТ и ОВУТ в энергетике позволит также утилизировать отходы углеобогащения и нефтепереработки, снизить потребление полезных ископаемых. Кроме того, преобразованное топливо может стать перспективной альтернативой жидкого топлива и природного газа (при газификации) [2].

Усовершенствование технологий сжигания топлива также вносит существенный вклад в подавление образования вредных веществ. Например, внедрение технологии сжигания твердых топлив в циркулирующем кипящем слое (ЦКС). Преимуществами метода являются подавление образования окислов серы и азота в процессе сжигания и возможность использования в качестве топлива низкосортные угли[3].

Мероприятиями, способствующими снижению вредных выбросов в процессе сжигания топлива в пылеугольных котлах, являются: организация двух- и трёхступенчатого сжигания, рециркуляция дымовых газов, внедрение малоэмиссионных горелочных устройств и их тангенциальная или концентрическая компоновка[4].

Перспективными технологиями очистки дымовых газов от окислов азота являются селективное некаталитическое восстановление (СНКВ) с использованием водного раствора карбамида и селективное каталитическое восстановление (СКВ) аммиаком на поверхности гетерогенного катализатора [5].

При сжигании высокосернистых углей для обеспечения нормативов допустимых выбросов оксидов серы применяются технологии мокрой известняковой и аммиачно-сульфатной очистки. В первом случае в качестве побочного продукта образуется гипс, во втором - сульфат аммония, являющийся ценным удобрением[5].

Увеличить эффективность золоулавливания и обеспечить отпук золы на утилизацию возможно с помощью замены мокрых аппаратов и циклонов на значительно более эффективные электро- или рукавные фильтры. Также перспективными технологиями для применения в энергетике являются комбинирование золоулавливающих аппаратов, например электрофильтр и тканевый фильтр, электрофильтр и аппарат мокрой очистки [3].

Важной задачей для развития отечественной угольной теплоэнергетики является охрана от загрязняющих выбросов атмосферного воздуха. Перспективное решение данной задачи может заключаться в использовании новых видов топлива, модернизации действующего оборудования, внедрения современных технологий сжигания топлива и систем пылегазоочистки.

## Источники

1. Тимофеева С.С., Смирнов Г.И. Перспективы использования угля как основного ресурса в условиях четвертого энергетического перехода // Теплоэнергетика. 2007. № 6. С. 5-11.
2. Радзюк А.Ю., Истягина Е.Б., Кулагин В.А., Жуйков А.В. Современные проблемы газификации водоугольного топлива (краткий обзор) // Журн. Сиб. федер. ун-та. Техника и технологии. 2021. 14(5). С. 487–506.
3. Тумановский А.Г., Котлер В.Р. Перспективы решения экологических проблем тепловых электростанций // Теплоэнергетика. 2007. № 6. С. 5-11.
4. Росляков П.В. Современные воздухоохраные технологии на тепловых электростанциях // Теплоэнергетика. 2016. № 7. С. 46-62.
5. Тумановский А.Г. Перспективы решения экологических проблем тепловых электростанций // Теплоэнергетика. 2007. № 6. С. 3-13.

УДК 628.477.6

## ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДА ЭНЕРГЕТИКИ И ДЫМОВЫХ ГАЗОВ ТЭС В ТЕХНОЛОГИИ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА ПОЛУЧЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ГИПСА

Элеонора Райнуровна Зайнуллина

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. Лариса Андреевна Николаева

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

my-elechka@mail.ru

**Аннотация.** В данной статье рассмотрена технология замкнутого цикла получения строительного гипса из отхода энергетики и дымовых газов ТЭС. В основе технологии применяется абсорбционный метод очистки газовых выбросов промышленных предприятий от диоксида серы с использованием суспензии карбонатного шлама. Шлам химводоподготовки представляет из себя суспензию с определенным химическим составом. Основное вещество которое включает в себя карбонатный шлам, является карбонат кальция. При взаимодействии суспензии шлама и дымовых газов ТЭС происходит химическая реакция, что приводит к образованию строительного гипса.

**Ключевые слова:** абсорбция, шламхимводоподготовки, строительный гипс, дымовые газы ТЭС.

# POSSIBILITY OF USING ENERGY WASTE AND FLUTE GASES OF CHPP IN THE CLOSED CYCLE TECHNOLOGY FOR PRODUCING BUILDING GYPSUM

Eleonora R. Zainullina

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

my-elechka@mail.ru

**Abstract.** This article discusses a closed-cycle technology for producing construction gypsum from energy waste and flue gases from thermal power plants. The technology is based on an absorption method for purifying gas emissions from industrial enterprises from sulfur dioxide using a suspension of carbonate sludge. Chemical water treatment sludge is a suspension with a certain chemical composition. The main substance that includes carbonate slurry is calcium carbonate. When a suspension of sludge and flue gases from a thermal power plant interact, a chemical reaction occurs, which leads to the formation of building gypsum.

**Keywords:** absorption, chemical water treatment hose, construction plaster, flue gases from thermal power plants.

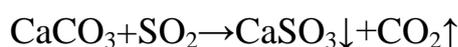
Объекты теплоэнергетики, эксплуатирующиеся на мазуте и угле, являются основными источниками газовых выбросов в окружающую среду. Особо токсичным загрязнителем, образующимся при сжигании твердого и жидкого топлива, являются диоксид серы и оксиды азота. Снижение этих выбросов является актуальной, научно-практической задачей. В РФ приняты предельно- допустимые концентрации диоксида серы в атмосферном воздухе: максимально разовая ПДК (ПДК НР) – 0,5 мг/м<sup>3</sup>, среднесуточное ПДК (ПДКСС) – 0,05 мг/м<sup>3</sup> [1].

Существуют различные технологии сероочистки газовых выбросов: мокроизвестняковый способ, мокросухой способ, сухая известняковая технология, упрощенная мокросухая сероочистка.

В статье рассматривается очистка дымовых газов от диоксида серы мокроизвестняковым способом в абсорбере шламовой суспензией карбонатного шлама с получением готового продукта двухводного гипса. Шлам – многотоннажный отход энергетики, который образуется на ТЭС в результате водоподготовки на стадии предварительной очистки природной воды. Предварительная очистка воды включает две стадии: коагуляцию и известкование. Как правило, в результате этих двух процессов образуется суспензия определенного химического состава, который зависит от химического состава исходной сырой воды. В ранних работах [2]

рассматривается применение высушенного шлама Казанской ТЭЦ-1 в качестве сорбционного материала для очистки дымовых газов от диоксида серы. В данной технологии предлагается использование влажной суспензии шлама в абсорбционных процессах.

В основе технологии получения товарного продукта гипса при очистке дымовых газов лежит химической реакция взаимодействия  $\text{SO}_2$  с  $\text{CaCO}_3$  в объеме распыления суспензии шлама с образованием сульфата кальция.



Процесс протекает в адсорбере с псевдооживленным слоем. В нижней части адсорбера накапливается суспензия  $\text{CaSO}_3$ , при барботаже воздуха через слой этой суспензии происходит доокисление  $\text{CaSO}_3$  в двуводный сульфат кальция  $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$  (гипс) [3]



В данной технологии используется адсорбер с подвижной насадкой легкие насадочные тела поддерживаются во взвешенном (псевдооживленном) состоянии. В качестве насадочных тел применяются полые или сплошные гидрофобные полиэтиленовые шарики для снижения прилипания частиц карбонатного шлама к их поверхности [4,5].

Для определения стоимости технологического оборудования принимаются различные цены, учитываются и затраты на транспортировку, расходы на монтажные работы, учитывается и себестоимость полученного товарного строительного гипса (15 руб./кг) По данной технологии окупаемость производства составляет 3,5 года, при существующей стоимости товарного гипса 30–40 руб./кг (2023 г).

### Источники

1. Распоряжение Правительства РФ от 8.06.2015 № 1316-р «Об утверждении перечня загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды».

2. Николаева Л.А., Хуснутдинова Э.М. Научные подходы в технологии очистки газовых выбросов от оксида серы на промышленных

предприятиях // Экология и промышленность России. 2021. Т. 25. № 4. С. 4-9.

3. Способ получения гипса: пат. 1315387 Рос. Федерация № 3950294, заявл. 30.05.1985; опубл. 07.06.1987, Бюл. № 21.

4. Абсорбер с псевдооживленной насадкой. Пат. 2178333 Росс. Федерация номер заявки 99110077/12 заявл. 07.05.1999; опубл. 20.01.2002.

5. Николаева Л.А., Зайнуллина Э.Р. Исследование процесса обессоливания концентрата установок обратного осмоса отходом энергетики // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 2. С. 186-195.

УДК 66.023

## **МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ТЕПЛОМАССОБМЕНА ПРИ ДЕСОРБЦИИ КОРРОЗИОННО–АКТИВНЫХ ГАЗОВ НА ТЭС**

Валентина Александровна Клочкова

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. Анатолий Григорьевич Лаптев

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

tvt\_kgeu@mail.ru

**Аннотация.** В докладе рассмотрены решения задач удаления трудно растворимых коррозионно активных газов из воды в химических цехах тепловых станций и промышленных предприятиях, математические модели и методы расчета эффективности тепло- и массообмена в насадочных десорберах. Приведены примеры расчета насадочных декарбонизаторов с использованием современными контактными устройствами, а также с учетом температурного режима.

**Ключевые слова:** водоподготовка, десорбция, насадочные колонны, математическая модель, массообмен, теплообмен.

## **MATHEMATICAL MODELS OF HEAT AND MASS TRANSFER DURING DESORPTION OF CORROSIVE GASES AT TPP**

Valentina A. Klochkova

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

tvt\_kgeu@mail.ru

**Abstract.** The report discusses solutions to the problems of removing difficultly soluble corrosive gases from water in chemical shops of thermal power plants and industrial

enterprises, mathematical models and methods for calculating the efficiency of heat and mass transfer in packed desorbers. Examples are given of calculating packed decarbonizers with modern contact devices, as well as taking into account temperature conditions.

**Keywords:** water treatment, desorption, packed columns, mathematical model, mass transfer, heat transfer.

В докладе рассматривается актуальная проблема удаления из воды коррозионно-активных газов на ТЭС [1-3]. Для этого применяются различные методы [4,5]. Для решения задач проектирования или модернизации насадочных декарбонизаторов численными методами представлена система двухмерных дифференциальных уравнений тепло- и массообмена с частными производными и межфазными источниками массы и теплопередачи.

Даны выражения для межфазных источников и коэффициента турбулентной диффузии в газовой фазе, а также граничные условия к системе уравнений с учетом турбулентного перемешивания газовой фазы на входе в слой насадки. Отмечено, что представленная система уравнений тепло и- массообмена решается численно и дает возможность профили концентраций компонента и температур в газовой и жидкой фазах от входа к выходу насадочной колонны и определять эффективность извлечения растворенных газов из воды, а также тепловую эффективность охлаждения воды и нагрева газа.

Для сокращения трудоемкости и времени численного решения представленной задачи показано применение системы дифференциальных уравнений диффузионных моделей гидродинамической структуры потоков газа и жидкости. Основными параметрами моделей являются числа Пекле (критерий Боденштейна), учитывающие обратное перемешивание газа и жидкости, а также общее и частное число единиц переноса.

Для упрощенных инженерных расчетов рассмотрен модифицированный метод единиц переноса с записью выражения для высоты насадки с дополнительными слагаемыми, учитывающими отклонения от модели идеального вытеснения фаз, т.е. с учетом обратного перемешивания потоков, что увеличивает требуемую высоту насадки при заданном режиме массопередачи. Получены выражения для массообменной и тепловой эффективностей процессов. Представлены примеры расчетов насадочного декарбонизатора с кольцами Рашига, а также с современными хаотичными насадками[6]. В результате было получено универсальное выражение для расчета высоты насадки при заданной гидравлической нагрузке и требований к очистке жидкостей.

Показано преимущество современных хаотичных и регулярных насадок, применение которых позволяет снизить массогабаритные характеристики декарбонизаторов и мощность на подачу газа.

### Источники

1. Ledukhovskiy G.V., Barochkin Y.E., Zhukov V.P., Vinogradov V.N., Shatova I.A. Water deaeration in water-cooling systems of the stator winding in a turbogenerator with hydrogenwater cooling // Thermal Engineering. 2018. Т. 65. № 10. С. 751-755.
2. Ларин Б.М. Состояние водно–химического режима и систем его обеспечения на энергоблоках ПГУ(обзор) //Теплоэнергетика. 2018.№1. – с.47 - 53.
3. Ледуховский Г.В., Горшенин С.Д., Виноградов В.Н., Барочкин Е.В., Коротков А.А. Прогнозирование показателей эффективности декарбонизации воды термическими деаэраторами атмосферного давления без парового барботажа в деаэрационном баке // Тепло-энергетика. 2015. №7. – с.68 - 72.
4. Николаева Л.А., Зайнуллина Э.Р. Исследование процесса обессоливания концентрата установок обратного осмоса отходом энергетики // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 2. с. 186-195.
5. Лаптева Е.А., Шагиева Г.К., Лаптев А.Г. Сравнительная характеристика контактных насадок в декарбонизаторах и термических деаэрааторах ТЭС // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2017. № 2 (34). С. 33-42.
6. Лаптев А. Г., Башаров М. М., Лаптева Е. А. Математические модели и методы расчетов тепломассообменных и сепарационных процессов в двухфазных средах: – Казань : КГЭУ; Старый Оскол : ТНТ, 2021. – 288 с.

## СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ИЗБЫТОЧНОГО АКТИВНОГО ИЛА

Артур Ильесович Нургалиев

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Регина Яновна Исакова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

Artur\_nurgaliev022@mail.ru

**Аннотация.** В данной статье авторами рассматривается проблема утилизации крупнотоннажного отхода – активного ила, образующегося в процессе биологической очистки сточных вод. Изучены современные подходы к утилизации и переработке активного ила, оценены их преимущества и ограничения.

**Ключевые слова:** избыточный активный ил, вторичный материальный и энергетический ресурс, сточные воды, отход, утилизация.

## MODERN METHODS OF NEUTRALIZATION OF EXCESS ACTIVATED SLUDGE

Artur I. Nurgaliev

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

Artur\_nurgaliev022@mail.ru

**Abstract.** In this article, the authors consider the problem of utilization of large-tonnage waste - activated sludge formed in the process of biological wastewater treatment. Modern methods of utilization activated sludge processing and their disadvantages are dedicated.

**Keywords:** sludge, excess activated sludge, disposal, waste water, waste.

Актуальной задачей является эффективная утилизация отходов, генерируемых промышленными предприятиями. Биологическая очистка является одним из самых распространенных методов очистки сточных вод (СВ), в котором широко используется активный ил. Главным недостатком этого способа является образование избыточного активного ила (ИАИ) в аэротенках, который является многотоннажным отходом.

Активный ил представляет уникальное собрание различных микроорганизмов и простейших организмов, которые взаимосвязаны сложными метаболическими и трофическими процессами. Химический

состав активного ила обусловлен составом клеточного вещества микроорганизмов и веществ, поступающих из СВ в качестве питательного субстрата.

Избыточный активный ил имеет IV класс опасности и не оказывает сильное воздействие на окружающую среду, однако в избыточном активном иле зачастую присутствуют болезнетворные организмы и яйца гельминтов. Также в нем могут содержаться тяжелые металлы, которые не подвержены трансформации в окружающей природной среде.

Традиционно осуществляется складирование ИАИ на иловых картах и илонакопителях, где происходит сушка осадка за счет испарения влаги в естественных условиях. Текущий метод переработки не соответствует современным стандартам и приводит к продолжительной изоляции огромных земельных ресурсов и сопряжено с рисками окружающей среды загрязнения в зонах размещения отходов. В связи с этим возникает потребность в разработке и внедрении альтернативных подходов к утилизации СВ [1].

На сегодняшний день доступны множество методов переработки отходов СВ. Возможности биологической, механической, химической и термической переработки активного ила являются наиболее широко распространенными и эффективными в данной области.

Основа термической обработки активного ила состоит в нагреве ила до определенной температуры с целью удаления влаги, газов и подавления активности микроорганизмов, путем испарения содержащейся в нем жидкости. Процесс термической обработки происходит при использовании специального оборудования, такого как роторные сушильные установки или роторно-лопастные сушилки, которые обеспечивают равномерное нагревание илового материала. Температура нагрева может достигать от 100 до 400°C, в зависимости от требований процесса и свойств ила. К недостаткам данного метода можно отнести высокие энергозатраты, вероятность потери питательных веществ во время термической обработки[2].

Химическая обработка заключается в добавлении к иловому материалу химических реагентов с целью изменения его свойств, для последующего использования или утилизации. К химической обработке относится флокуляция и коагуляция, где в качестве реагентов используются сульфаты алюминия, железа и прочие вещества. Основным недостатком данного метода является применение большого количества реагентов и возможность образования отходов.

Механические методы утилизации активного ила основаны на деструкции клеточной мембраны бактерий, что приводит к значительному сокращению его массы в несколько раз. Такой подход снижает объем и вес отходов, способствуя их к более эффективной утилизации и сокращению негативного воздействия на окружающую среду. Наиболее распространенными методами являются: седиментация, фильтрация, центрифугирование. К недостаткам механических методов относятся: возможность выживания спорообразующих бактерий, ограниченная эффективность в удалении мелких и сверхмелких частиц илового материала.

Биологический метод переработки подразумевает собой обогащение активного ила полезными веществами для использования его в дальнейшем в качестве кормовых добавок и удобрений. Недостатками данного метода являются: длительность процесса, отсутствие способов разрушения клеточной стенки патогенной микрофлоры, высокая чувствительность к изменениям условий[3].

Таким образом, в статье изложены современные способы утилизации и переработки избыточного активного ила. Установлено, что каждый из существующих методов имеет как достоинства, так и недостатки. По этой причине в настоящее время проблема поиска новых способов утилизации многотоннажного отхода сточных вод является актуальной.

### **Источники**

1. Николаева Л.А., Исхакова Р.Я., Зарипова Г.М. Повышение эффективности механического обезвоживания избыточного активного ила // Вода: химия и экология. 2016. № 10(100). С. 47-51.
2. Жигарова О.Ю. Анализ методов утилизации избыточного активного ила // Молодёжь, наука, творчество - 2016: материалы XIV межвузовской научно-практической конференции студентов и аспирантов, Омск: Омский государственный технический университет. 2016. С. 607-609.
3. Джумабекова Л.Б., Хабарова Е.И. Способы утилизации избыточного активного ила - отхода биологической очистки сточных вод // Академическая публицистика. 2018. № 4. С. 13-22.

## КАК ТЕМПЕРАТУРА И ДАВЛЕНИЕ ВЛИЯЮТ НА ФОРМИРОВАНИЕ ХИМИЧЕСКИ АКТИВНЫХ АГЕНТОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА В ПОМЕЩЕНИЯХ

Лейсан Рашитовна Садыкова  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
sadykova.lr@yandex.ru

**Аннотация.** В статье предложено решение проблемы с понижением температуры в процессе озонирования воздуха или газа.

**Ключевые слова:** озон, эффект Джоуля-Томпсона.

## HOW TEMPERATURE AND PRESSURE AFFECT THE FORMATION OF CHEMICALLY ACTIVE AGENTS FOR AIR PURIFICATION IN PREMISES

Leisan R. Sadykova  
KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
sadykova.lr@yandex.ru

**Abstract.** The article proposes a solution to the problem of lowering the temperature in the process of ozonizing air or gas.

**Keywords:** ozone, Joule-Thomson effect.

Озонирование – это электрофизический способ очистки воздуха от экологически опасных веществ. Он заключается в том, что кислород, содержащийся в воздухе или газе, подвергается электрическому разряду и превращается в озон. Озон способен нейтрализовать или обезвредить токсичные вещества. Однако он быстро разлагается при повышенной температуре, что ухудшает качество очистки воздуха. Поэтому необходимо снижать температуру в зоне действия озонатора. Для этого можно использовать эффект Джоуля-Томпсона, который основан на прохождении газа через узкое отверстие в канале при постоянном разнице давлений. [1-6] Этот эффект позволяет понизить температуру воздушной смеси в реакционной камере и увеличить эффективность озонирования загрязненного воздуха [7].

## Источники

1. Филиппов Ю.В., Вобликова В.А., Пантелеев В.И. Электросинтез озона. М.: Изд-во МГУ. 1987. 236 с.
2. Понизовский А.З. Оптимизация параметров электрофизических установок для очистки воздуха от экологически вредных газообразных примесей // Электротехника. 1993 № 3. С. 59-67.
3. Лунин В.В., Попович М.П., Ткаченко С.Н. Физическая химия озона. М.: Изд-во МГУ. 1998. 480 с.
4. Кужекина И.П. Испытательные и электрофизические установки, техника эксперимента. М.: МЭИ. 1983. 263 с.
5. Месяц Г.А. Импульсная энергетика и электроника. М.: Наука. 2004. 704 с.
6. Пичугина М.Т. Мощная импульсная энергетика. Томск: Издательство ТПУ. 2005. 98 с.
7. Сандаков В.Д., Подрезов А.Н. Повышение эффективности очистки газовых сред // XIII Международная научно-техническая конференция «Современные проблемы экологии»: сб. мат. докл. Тула: Изд-во «Инновационные технологии». 2015. С. 3-5.

УДК 621.31

## ВНЕДРЕНИЕ ДЕМПФЕРНОЙ СИСТЕМЫ В ПАЗЫ БОЧКИ РОТОРА

Алмаз Илдарович Саттаров

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Артем Юрьевич Кубарев

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

sattarovalmaz130881@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассмотрена возможность внедрения демпферной системы в пазы бочки ротора, позволяющая устранить перегрев торцов у зубцов бочки ротора.

**Ключевые слова:** турбогенератор, ротор, выравнивающий паз, демпферный сегмент, каналы охлаждения.

# INTRODUCTION OF A DAMPING SYSTEM INTO THE GROOVES OF THE ROTOR BARREL

Almaz I. Sattarov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

sattarovalmaz130881@mail.ru

**Abstract.** The article considers the possibility of introducing a damper system into the grooves of the rotor barrel, which allows to eliminate overheating of the ends at the teeth of the rotor barrel.

**Keywords:** turbo generator, rotor, leveling groove, damper segment, cooling channels.

Трёхфазная система электрических токов, циркулирующих по контурам через проводники ротора и статора, представляет собой несимметричную систему, если представить токи в виде векторов на комплексной координатной плоскости. Метод симметричных составляющих, разработанный в 1918 году Чарльзом Леджейтом Фортескью, представляет собой математическую теорию многофазных электрических систем при неодинаковых условиях работы фаз. По данному методу несимметричная система делится на три составляющие: симметричная система векторов нулевой последовательности (составляющие равны в каждой фазе и уравниваются друг друга); симметричная система векторов прямой (первой) последовательности; симметричная система векторов обратной (второй) последовательности. Составляющие прямой и обратной последовательности мешают друг другу.

Из опыта эксплуатации многих генераторов завода «Электросила» [1], в том числе турбогенераторов 70-х годов изготовления, выявлено, что при работе машины в лобовых частях ротора под бандажными кольцами вследствие циркуляции в поковке ротора токов обратной последовательности зубцы бочки вала ротора перегреваются и подгорают на своих торцах на выходе из пазов. Это связано с тем, что замкнутые по длине бочки ротора линии электромагнитного поля ротора при повороте концентрируются на торцах зубцов. Перегрев зубцов приводит к нежелательным тепловым потерям энергии, а также к возможному разрушению участков дорогостоящей поковки вала ротора [2].

Устранить перегрев зубцов можно, создав для токов обратной последовательности отдельный контур для циркуляции [3].

Предлагается внедрить в конструкцию ротора подобие обмотки типа «белочья клетка», установив под клинья по всей длине выравнивающих пазов медные полосы, и соединить их в лобовых частях коронобразными медными посеребрёнными сегментами таким образом, чтобы зубцы лобовых сегментов заходили под крайние клинья всех пазов, обмоточных и выравнивающих.

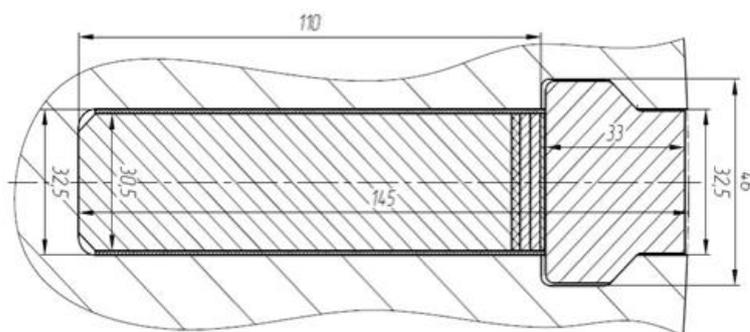


Рис. 1. Выкладка выравнивающего паза для ротора турбогенератора

Данная медная конструкция призвана снять на себя со стальной поковки вала и медной обмотки ротора токи обратной последовательности. В силу своего принципа действия данная конструкция названа демпферной (предотвращающей) системой. На рисунке 1 [4] под дюралюминиевым клином изображён набор медных проводников демпферной системы.

На рисунке 2 [5] представлен сегмент лобовой части демпферной системы, называемый демпферным сегментом.

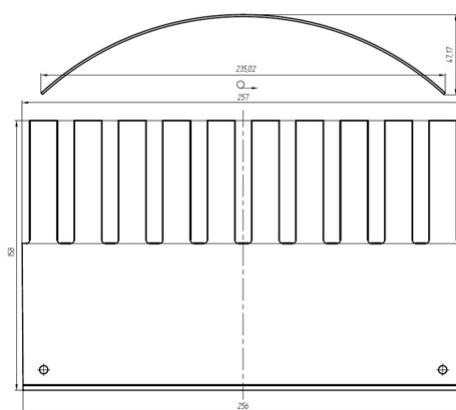


Рис. 2. Демпферный сегмент

Таким образом, внедрение демпферной системы в пазы бочки ротора устранит перегрев торцов у зубцов бочки ротора, однако изготовление

дополнительных медных деталей повысит трудоёмкость в производстве ротора.

### **Источники**

1. Крицкий М.В., Полищук В.И. Разработка системы мониторинга технического состояния обмотки ротора турбогенератора // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2016. №9-10.

2. Вьюнова Е.В., Гнездилова О.А. Исследование эффективности модернизации моделей турбогенераторов // Теория и практика современной науки. 2016. №12-1 (18).

3. Минко А.Н., Шевченко В.В. Совершенствование теплообменных систем турбогенераторов с целью повышения их эффективности // Проблемы региональной энергетики. 2019. №1 (39).

4. Коновалов Ю.В. Повышение эффективности генерирующих комплексов тепловых электростанций // Вестник ИрГТУ. 2015. №12 (107).

5. Афанасенко А.С., Дубицкий М.А., Ильин Д.В. Эффективность основного оборудования электроэнергетических систем // Вестник ИрГТУ. 2014. №7 (90).

УДК 621.313.32

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ УРОВНЯ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ДЛЯ ТРАДИЦИОННЫХ И АМОΡФНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ**

Гузель Атласовна Саттарова

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Артем Юрьевич Кубарев

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

guzel198505@mail.ru

**Аннотация.** В работе отмечено, что для объективного анализа потерь в трансформаторах целесообразно его проведение в статической и динамической формах. Показано, что аморфные трансформаторы имеют меньшие потери в стали и реактивные потери по сравнению с обычными силовыми трансформаторами.

**Ключевые слова:** силовой трансформатор, потери холостого хода, сердечник из аморфной стали, коэффициент полезного действия, нагрузочная способность.

# COMPARATIVE ANALYSIS OF THE LEVEL OF ELECTRICITY LOSSES FOR TRADITIONAL AND AMORPHOUS TRANSFORMERS

Guzel A. Sattarova

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

guzel198505@mail.ru

**Abstract.** It is noted in the paper that for an objective analysis of losses in transformers, it is advisable to conduct it in static and dynamic forms. It is shown that amorphous transformers have lower losses in steel and reactive losses compared to conventional power transformers.

**Keywords:** power transformer, no-load losses, amorphous steel core, efficiency, load capacity.

«Потери в стали» трансформаторов возникают из-за вихревых токов (также известных как токи Фуко), которые образуются при изменении магнитного поля[1]. Эти токи взаимодействуют с магнитным полем, создавая сопротивление, которое приводит к потере энергии и нагреву материала. Поэтому для объективного анализа потерь в аморфных (АМТ) и традиционных (ТСТ) трансформаторах целесообразно его проведение в статической и динамической формах, то есть по паспортным параметрам и, соответственно, по данным эксплуатации, измерений и компьютерных экспериментов [2]. Для статического анализа в таблице приведены паспортные данные силовых трансформаторов 10 кВ. Значения для трехфазных силовых трансформаторов с магнитопроводами из разных материалов (электротехническая трансформаторная сталь SiFe и АМТ) разделены знаком «/».

Паспортные показатели для традиционных / аморфных трансформаторов [3]

$S_{ном}$ кВА	$\Delta P_x$ , Вт	$\Delta Q_x$ , ВАр	$\Delta P_k$ , Вт	$\Delta Q_k$ , ВАр	$I_x$ , %	%
25	100 / 28 = 3,7	784 / 77,5	600 / 480	112,5 / 110,25	3,3 / 0,31	4,5 / 4,41
40	140 / 39 = 3,7	1255 / 120	900 / 769	180 / 176,8	3,1 / 0,3	4,5 / 4,42
63	214 / 45 = 5,8	1977 / 151	1667 / 1211	283,5 / 283,5	2,8 / 0,25	4,5 / 4,42
100	305 / 64 = 4,85	2500 / 200	1970 / 1617	4500 / 4420	2,5 / 0,2	4,5 / 4,5

160	415/90 = 4,5	2520/256	2422/2223	720/704	2,2/0,16	4,5/4,4
250	580/128 = 4,5	4750/233	3100/3129	1125/1092,5	1,9/0,093	4,5/4,37
400	830/161 = 5,15	5600/312	4400/4457	1800/1800	1,6/0,078	4,5/4,5
630	1200/238 = 5,1	6800/409	6200/6353	3780/3817,8	1,3/0,074	6,0/6,06
1000	1792/361 = 4,9	9000/677	9080/9386	70000/61700	0,9/0,068	7,0/6,17
1600	2100/490 = 4,3	1600/1085	14300/14337	9600/9687	1,0/0,678	6,0/6,06
2500	2700/550 = 4,9	2000/1400	21000/21078	15000/15175	0,8/0,56	6,0/6,07

Данные таблицы подтверждают, что потери в стали для АМТ составляют в 3.5-5 раз меньше, а реактивные потери - в 12-20 раз меньше по сравнению с обычными силовыми трансформаторами. Снижение потерь в стали в сочетании со значительным уменьшением тока холостого хода у аморфных трансформаторов приводит к снижению потерь полной, активной и реактивной мощности в линиях электроснабжения [4].

Общие тенденции изменения потерь КЗ, которые соответствуют режиму номинальной загрузки трансформаторов и отражают процессы, связанные с нагревом обмоток при протекании тока нагрузки, для гаммы приведенных в таблице 1 типов силовых трансформаторов по потерям активной мощности  $\Delta P_{КЗ}$  состоят в том, что при малых значениях  $S_{ном}$  аморфные трансформаторы имеют потери меньше, чем трехфазный силовой трансформатор. Видно также, что с увеличением мощности трансформатора более 250 кВА, потери  $\Delta P_{КЗ}$  в АМТ растут. Это относится к номинальной нагрузке трансформатора, при которой он работает в наиболее эффективном режиме. Если нагрузка трансформатора снижается, это соотношение потерь и мощности также изменяется. Что касается потерь реактивной мощности  $\Delta Q_{КЗ}$ , то они для обоих видов силовых трансформаторов практически незначительно отличаются, хотя по абсолютной величине они значительно больше, чем  $\Delta P_{КЗ}$ , и, следовательно, их влияние на потери в питающих линиях практически одинаково.

В целом, результаты статического анализа[5] подтверждают перспективность использования аморфных силовых трансформаторов в электроэнергетических системах с напряжениями до 10 кВ и мощностью до 2500 кВА в ближайшем будущем. Важно отметить, что средняя

нагрузка на силовой трансформатор в отечественных ЭЭС обычно не превышает 70% от номинальной, что говорит о дополнительных возможностях оптимизации энергопотребления и повышения эффективности использования трансформаторов. Отметим также, что ежегодные затраты на обслуживание среднего по мощности распределительного ТСТ составляют около 8% от его первоначальной стоимости. За 20 лет эксплуатации в США аналогичные затраты для аморфных трансформаторов не превышали этого значения.

Для более полной и точной информации о сравнении АМТ и ТСТ необходимо провести динамическую оценку с помощью компьютерного моделирования и анализа экспериментальных данных. Это позволит выявить возможные проблемы и недостатки каждой их технологий.

### **Источники**

1. Костинский С.С. Обзор состояния отрасли трансформаторного производства и тенденций развития конструкции силовых трансформаторов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2018. 20(1-2). С. 14-32.

2. Грачева Е.И. Влияние нагрузочной способности силовых трансформаторов на их эксплуатационные характеристики // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2017. 19(7-8). С.71-77.

3. Тихонов А.И. Особенности методики расчета холостого хода трансформатора с сердечником из аморфной стали // Вестник ИГЭУ. 2013. №4.

4. Проничев А.В. и др. К вопросу об эффективности применения аморфной стали в магнитопроводах инновационных силовых трансформаторов // Экспозиция Нефть Газ. 2020. №6 (79).

5. Амирова С.С. Энергосберегающее мероприятие на Заинской ГРЭС // Вестник Казанского технологического университета. 2014. №6.

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИЛОГИЧЕСКОГО ТОПЛИВА

Лилия Маратовна Толстова

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Регина Яновна Исакова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

lylya21112002@gmail.com

**Аннотация.** В статье предложен способ улучшения технико-экономических и экологических показателей двигателей при работе на смешанном биотопливе В20 путем повышения его качества ультразвуковой обработкой. Проведен анализ использования биотоплива дизельными двигателями и разработано ультразвуковое устройство для обработки топлива, встроенное в систему питания дизеля.

**Ключевые слова:** биотопливо, ультразвуковая обработка, дизельный двигатель, энергоэффективность.

## IMPROVING THE EFFICIENCY OF ENERGY RESOURCES THROUGH THE USE OF BI-LOGICAL FUEL

Liliya M. Tolstova

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

lylya21112002@gmail.com

**Abstract.** The article suggests a way to improve the technical, economic and environmental performance of engines when working on mixed biofuel B20 by improving its quality by ultrasonic treatment. An analysis of the use of biofuels by diesel engines has been carried out and an ultrasonic device for fuel processing built into the diesel power system has been developed.

**Keywords:** biofuels, ultrasonic treatment, diesel engine, energy efficiency.

Электроэнергетика является одной из ведущих отраслей народного хозяйства нашей страны, охватывающая энергетические ресурсы, выработку, преобразование, передачу и использование различных видов энергии [1]. Развитие электроэнергетики должно гарантировать надежное энергоснабжение предприятий и населения, уменьшение вредного воздействия на окружающую среду, а также повышение эффективности

использования энергоресурсов за счет применения энергосберегающих технологий [2].

В настоящее время переход от использования органических видов топлива к нетрадиционным источникам энергии, таким как биотопливо позволяет сократить углеродный след и улучшить экологическую обстановку. Эффективность биологического топлива заключается в возобновляемости и экономии дизельного топлива.

Биотоплива можно назвать нейтральными в отношении углеродного следа, так как все диоксиды углерода, которые выделяются при сгорании, устраняются из атмосферы благодаря фиксации углерода в процессе роста растений. Замещение бензина или дизельного топлива биотопливом позволяет обеспечить снижение выбросов парникового газа около 30-70%, в зависимости от вида топлива. Благодаря специфическому составу, применение биотоплив обычно позволяет уменьшить выбросы вредных веществ [3].

Для того чтобы повысить эффективность биотоплива, можно обработать его ультразвуком в системе питания двигателя. Благодаря этому физические и химические свойства данного топлива улучшаются, а также повышаются экономические, мощностные и экологические показатели.

Ультразвуковой прибор (Рис. 1.) имеет вид цилиндрической емкости, где установлены излучатели. Главные характеристики устройства показаны в таблице. Биотопливо B20 поступает в топливный бак, затем попадает в емкость, где уже обрабатывается ультразвуком [4]. Ультразвуковой генератор устанавливается на месте с излучателями ультразвука (Рис. 2.). Также ультразвуковая обработка смесового биотоплива B20 способствует лучшему смешиванию компонентов топлива, что повышает его качество и эффективность сгорания. Это позволяет улучшить экономические показатели, так как более полное сгорание топлива приводит к снижению его расхода. Кроме того, ультразвуковая обработка помогает очистить топливо от загрязнений и отложений, таких как сажа и другие органические вещества. Это способствует уменьшению износа двигателя и повышению его долговечности. С точки зрения экологии, использование ультразвука для обработки биотоплива B20 позволяет снизить выбросы вредных веществ в атмосферу. Более полное сгорание топлива и отсутствие загрязнений способствуют уменьшению выбросов CO<sub>2</sub>, оксидов азота и других вредных веществ [5].

Подводя итоги, можно сделать вывод о том, что без повышения

эффективности использования энергоресурсов за счет применения энергосберегающих технологий развитие электроэнергетики невозможно. Для повышения технических, экономических и экологических характеристик необходимо применить ультразвуковую обработку биотоплива.



Рис. 1. Общий вид ультразвукового прибора

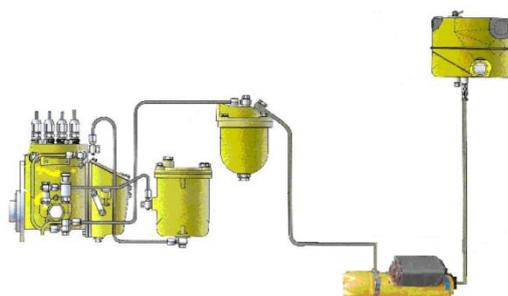


Рис. 2. Схема установки ультразвукового прибора в системе питания топливом

#### Технические характеристики ультразвукового прибора

Показатель	Значение показателя
Объем, см <sup>3</sup>	1000
Производительность, г/мин	300
Частота, кГц	22
Интенсивность колебаний, Вт/см <sup>2</sup>	2,5
Потребляемая мощность, Вт	100

#### Источники

1. Федеральный закон от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о

внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

2. Рудаков А. И., Роженцова Н. В., Фетисов Л. В. Инновации в электроэнергетических комплексах и системах // КГЭУ, 2018. С.14

3. Каменев В.Ф., Шатров М.Г., Теренченко А.С. Тепловые двигатели установок электро и теплоснабжения, использующие биотоплива. С. 11-12

4. Фадеев С.А., Загородских Б.П., Кожевников А.А. Влияние биодита, обработанного ультразвуком на экологические показатели дизелей // Материалы Межгосударственного научно-технического семинара «Проблемы экономичности и эксплуатации ДВС» С. 42–45.

5. Устройство для ультразвуковой обработки биотоплива: Пат. 88396 Рос. Федерация: МПК F 02 M 27/08 / Б. П. Загородских, С. А. Фадеев; заявитель и патентообладатель СГАУ им. Н.И. Вавилова. – № 2009127033/22; заявл. 14.07.2009; опубл. 10.11.2009, Бюл. № 31.

УДК 621.548

## **ДАЛЬНЕЙШИЕ ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ**

Сабина Бахтиёровна Хакимова

Науч. рук. проф. Рафаил Хасьянович Тукшаитов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

sbh5@mail.ru

**Аннотация.** Задачей данной статьи является рассмотрение путей повышения энергоэффективности ветроэлектрических станций, исследование особенностей их работы и выработка рекомендации.

**Ключевые слова:** ветряная электростанция, скорость ветра, энергия ветра, КПД и Коэффициент использования энергии ветра, ветрогенератор, предельная мощность.

# FURTHER WAYS TO IMPROVE THE ENERGY EFFICIENCY OF WIND POWER PLANTS

Sabina B. Khakimova

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

sbh5@mail.ru

**Abstract.** The objective of this article is to consider ways to improve the energy efficiency of wind power plants, study the features of their operation and develop recommendations.

**Keywords:** wind power plant, wind speed, wind energy, efficiency and utilization of wind energy, wind generator, maximum capacity.

На сегодняшний день общество во многом зависит от энерговооруженности государства. Большие города оснащают ТЭЦ, ГЭС и АЭС, которые также обеспечивают населённые пункты и сельское хозяйство. Вместе с тем, остаются не мало населённых пунктов, которые не имеют устойчивого электроснабжения.

Для того, чтобы обеспечить электроэнергией районы, удаленные от энергосистемы, требуется много времени и средств. Ветроэнергетика же является наиболее эффективным средством для обеспечения малого потребителя. Локальное расположение установки и простота монтажа конструкции являются явными преимуществами относительно традиционных источников энергии. Ветроэнергетическая установка – это универсальный источник энергии.

Ветряная энергетика основана на преобразовании кинетической энергии движения потоков воздуха. Принцип работы ветрогенератора: ветер дует в лопасти генератора, приводя их в движение, они, в свою очередь, вращают ротор, который преобразует энергию ветра в электрический ток.

КПД, мощность, производительность, минимальная и максимальная скорость ветра, тип ротора и высота мачты являются рабочими характеристиками ветрогенераторов.

Ветрогенератор включается в работу при минимальной скорости ветра, равной 3-5 м/с, а генерируемая мощность поступательно растёт при повышении ее скорости ветра до 13-15 м/с. При достижении скорости ветра 25 м/с работа генерирующей установки останавливается. Лопасти ветрогенератора вращаются сравнительно медленно, делая примерно 5-11 оборотов в минуту [1].

Существующие конструкции ветрогенераторов не могут сравниться с наиболее эффективными методами производства электроэнергии из-за низкого их КПД. Для того чтобы увеличить КПД ветрогенераторов, нужно изменить их рабочие или эксплуатационные характеристики [2]. Ниже рассмотрим ряд способов повышения эффективности работы ветроэнергетических установок:

- Расчет и анализ производительности ветроэнергетических установок  
Расчет мощности включает анализ скорости ветра, который осуществляется с использованием специальных метеорологических данных и моделей (см. рис.1). Зная скорость ветра, можно определить потенциальную энергию, которую может извлечь установка, по формуле 1

$$P = 0,5 \cdot V^3 \cdot S \cdot \rho \quad (1),$$

где  $P$  – мощность ветрового потока;  $V$  – скорость ветра;  $S$  – площадь поперечного сечения потока;  $\rho$  – плотность;

- Оптимизация конструкции ветроэнергетических установок  
Новейшие исследования и разработки в области аэродинамики позволяют создавать лопасти с улучшенными характеристиками, способными больше использовать энергию ветра;

- Использование инновационных материалов для повышения эффективности и снижения веса установок

Современные материалы, такие как композиты, карбоновые волокна и легкие сплавы, обладают высокой прочностью при небольшом весе, что является идеальной их характеристикой для применения в конструкциях лопастей, мачт и башен ветроустановок;

- Улучшение системы управления и контроля

Системы управления и контроля позволяют непрерывно мониторить работу ключевых узлов как генераторы, электроника управления, подшипники и трансмиссия, и своевременно обнаруживать отклонения их характеристик от нормы;

- Интеграция с другими источниками энергии и сетевым управлением

Интеграция различных источников энергии также способствует снижению зависимости от традиционных ископаемых топлив и сокращению выбросов парниковых газов, что способствует более устойчивой и экологически чистой энергетике [3].

Ветроэнергетика способствует устойчивому развитию страны, она снижает выбросы углекислого газа и обеспечивает экономическую выгоду.

Несмотря на нестабильность, визуальное и шумовое воздействие, а также географические ограничения постоянный прогресс и инновации в области ветроэнергетики продолжают повышать ее эффективность.

### **Источники**

1. Мегаконструкции. Самые большие ветрогенераторы [Электронный ресурс] URL: <https://habr.com/ru/articles/373021/> (дата обращения 01.11.2023).

2. Эффективность КПД ветрогенератора: способы увеличения, конструкция и рабочие характеристики ветряка [Электронный ресурс] URL: <https://energo.house/veter/kpd-vetrogeneratora.html> (дата обращения 01.11.23).

3. Способы повышения эффективности работы ветроэнергетических установок [Электронный ресурс] URL: <https://electricalschool.info/wind/2853-povysheniye-effektivnosti-vetroenergeticheskikh-ustanovok.html> (дата обращения 01.11.2023).

## СЕКЦИЯ 12. BIOTEХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

УДК 621.396

### АНАЛИЗ ПРИБОРОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ЧЕЛОВЕКА В ЭЛЕКТРОПОЕЗДАХ

Фанис Илдарович Акмалов

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. Роберт Накибович Хизбуллин

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

akmalfan25@gmail.com

**Аннотация.** В статье рассматриваются влияние электромагнитных полей, обычно присутствующие в электропоездах, на здоровье человека и окружающей среды. Также рассматривается важность точных приборов для обеспечения безопасности и здоровья пассажиров.

**Ключевые слова:** электропоезд, электромагнитные поля, средства измерения.

### ANALYSIS OF DEVICES FOR MEASURING THE EFFECTS OF ELECTROMAGNETIC FIELDS ON HUMANS IN ELECTRIC TRAINS

Fanis I. Akmalov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

akmalfan25@gmail.com

**Abstract.** The article discusses the influence of electromagnetic fields, usually present in electric trains, on human health. The importance of precision instruments to ensure the safety and health of passengers is also considered.

**Keywords:** metro, electromagnetic fields, measuring instruments.

В современном мире электропоезда и метрополитены играют важную роль в обеспечении эффективного транспорта для городского населения. Однако, электрификация и функционирование электропоездов могут привести к возникновению электромагнитных полей (ЭМП), которые поднимают вопросы относительно их воздействия на здоровье человека и окружающей среды. В связи с этим возникает неотложная необходимость в создании приборов для измерения ЭМП с улучшенными точностными характеристиками.

Оценка влияния ЭМП на здоровье человека является одним из ключевых аспектов в области техники безопасности. Приборы позволяют более точно измерять уровни ЭМП, что, в свою очередь, способствует более надежной оценке рисков и установлению нормативов для защиты здоровья пассажиров и работников железнодорожного транспорта [1].

Существует множество исследований, которые оценивают воздействие электромагнитных полей на здоровье человека. Основной предмет беспокойства - это потенциальные риски, связанные с долгосрочным воздействием электромагнитных полей на организм. Некоторые исследования указывают на возможные связи между длительным воздействием электромагнитных полей и различными негативными эффектами, включая повышенный риск онкологических заболеваний, нарушения сна и психоэмоциональное состояние человека [2].

В большинстве стран существуют нормативы и регулирования, ограничивающие максимальные уровни излучения ЭМП в общественных местах, включая электропоезда и метрополитены. Более точные приборы помогают обеспечить соблюдение этих нормативов, предотвращая превышение допустимых уровней излучения (см. таблицу) [3].

Наименование показателя, единица измерения	Предельно допустимые уровни
Напряженность переменного магнитного поля частотой 50 Гц, Н, А/м	80
Магнитная индукция, В, мкТл	100
Напряженность переменного электрического поля частотой 50 Гц, Е, кВ/м	5

Для минимизации потенциальных рисков могут быть приняты меры предосторожности. Например, можно увеличить расстояние между электромагнитными источниками и пассажирами. Также можно использовать специальные технологии экранирования, которые помогут снизить воздействие электромагнитных полей на человека.

Улучшение точности средств измерения ЭМП обеспечивают более четкую картину воздействия полей на организм человека, что позволит более точно оценивать уровни излучения и связь с радиационными заболеваниями. Создание таких приборов является важным шагом в направлении обеспечения безопасности и комфорта всех участников современного общества [4].

## Источники

1. Аполлонский С. М. Методы анализа электромагнитной совместимости / С. М. Аполлонский, А. Н. Горский // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2016. – № 5. – С. 33–38.
2. Горский А. Н. Электромагнитные излучения и защита от них: учеб. пособие / А. Н. Горский, Л. К. Васильева. – СПб.: ПГУПС, 2000. – 100 с.
3. СанПиН 2.24.3359–16. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах. – М., 2016. – 43 с.
4. Электромагнитные излучения и защита от них в автомобильном и железнодорожном транспорте /Левкович Т.И.[др.] Web: [http://science-bsea.bgita.ru/2010/mashin\\_2010/levkovich\\_elekto.htm](http://science-bsea.bgita.ru/2010/mashin_2010/levkovich_elekto.htm)

УДК 621.3.029: 616.12 – 008.64

## ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА РАБОТНИКОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

Назлыгуль Назимовна Габдрахманова<sup>1</sup>, Рамиль Рустамович Ахметов<sup>2</sup>

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Валерий Михайлович Бутаков

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>nazgab25@inbox.ru, <sup>2</sup>akhmetow0w@gmail.com

**Аннотация.** В статье рассматривается воздействие электромагнитных полей на работников энергетической отрасли. Анализируется роль и потенциальные источники электромагнитных полей в энергетической отрасли и их влияние на здоровье работников. Также рассматриваются методы оценки и контроля электромагнитных полей, а также меры по снижению риска для работников энергетической отрасли.

**Ключевые слова:** энергетическая отрасль, линии электропередач, электромагнитное поле.

# THE INFLUENCE OF ELECTROMAGNETIC FIELDS ON WORKERS IN THE ENERGY INDUSTRY

<sup>1</sup>Nazlygul N. Gabdrakhmanova, <sup>2</sup>Ramil R. Akhmetov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>nazgab25@inbox.ru, <sup>2</sup>akhmetow0w@gmail.com

**Abstract.** The article discusses the impact of electromagnetic fields on workers in the energy industry. The role and potential sources of electromagnetic fields in the energy industry and their impact on the health of workers are analyzed. Methods of assessment and control of electromagnetic fields, as well as measures to reduce the risk for employees of the energy industry are also considered.

**Keywords:** energy industry, power lines, electromagnetic field.

Энергетическая отрасль включает в себя широкий спектр деятельности, связанный с производством, передачей и распределением электроэнергии. В результате этих процессов генерируются электромагнитные поля (ЭМП), которые регулярно воздействуют на работников, подвергая их потенциально опасным последствиям для их здоровья[1]. Несмотря на значительный объем исследований в этой области, недостаточно данных для подтверждения или опровержения существующей проблемы.

Электромагнитные поля в современном мире становятся все более распространенными, поскольку они являются неотъемлемой частью технологий и устройств, которыми население пользуется ежедневно.

Источниками ЭМП промышленной частоты (50 Гц) являются линии электропередач (ЛЭП) напряжением выше 330 кВ, высоковольтные открытые распределительные устройства (коммутационные аппараты, устройства защиты и автоматики, измерительные приборы, соединительные шины). Опасной зоной воздействия ЛЭП 600 кВ является пространство на расстоянии до 20 м от ближайших проводов, а у ЛЭП 750 кВ – до 30 м[2].

Ряд исследований показывает, что длительное воздействие ЭМП может вызывать различные заболевания и расстройства здоровья у работников энергетической отрасли. Воздействие ЭМП может привести к развитию электромагнитной гиперчувствительности, повышенному риску развития онкологических заболеваний, неврологическим расстройствам и другим негативным последствиям.

Одна из основных формул, используемых для описания воздействия электромагнитных полей на органы и ткани, называется специфической поглощенной мощностью (*Specific Absorption Rate, SAR*). Измерение *SAR* позволяет получить объективные показатели для определения максимальной величины электромагнитного воздействия различных устройств. Коэффициент *SAR* вычисляется следующим образом[3]:

$$SAR = \sigma \frac{|E|^2}{\rho}, \frac{Вт}{кг} \quad (1)$$

где  $\sigma$  – электрическая проводимость материала,  $|E|$  – среднеквадратическая норма электрического поля,  $\rho$  – плотность живых тканей.

Существуют различные методы и меры для оценки и контроля уровня ЭМП в рабочей среде. К ним входят: измерение интенсивности и частоты ЭМП, анализ радиочастотного спектра, использование дозиметров и других устройств помогают контролировать уровень и степень воздействия на работников [4]. Однако перечисленных методов и мер недостаточно.

Для усиления защиты работающих на открытых распределительных устройствах (ОРУ) и воздушных ЛЭП напряжением 330 – 750 кВ от ЭМП промышленной частоты используются экраны [5]. В данной работе рассмотрены перспективные решения проблемы влияния электромагнитного излучения, основанные на синтезе композиционных волокон химическим осаждением металлов из водных растворов, вакуумном осаждении металлов на поверхность пористых органических материалов, формировании пористых матриц для фиксации жидких радиопоглощающих материалов, а также формировании многослойных радиопоглощающие конструкции градиентного типа на основе металлоорганических волокон. В качестве индивидуальных средств защиты от воздействия ЭМП промышленной частоты ОРУ и воздушных ЛЭП применяются индивидуальные экранирующие комплекты (спецодежда, спецобувь, средства защиты рук, лица). Вышеперечисленные решения также могут использоваться в вопросе индивидуальной защиты.

### Источники

1. Rob. N. Khizbullin, B.V. Chuvykin, Rad. N. Khizbullin and A.A. Makhov / The implementation of new digital technologies during preshift

examinations of personnel at enterprises. E3S Web of Conferences 288, 01087 (2021).

2. СанПиН 2.2.4.1191-03. Электромагнитные поля в производственных условиях.

3. Электромагнитные поля и излучения: учебное пособие / И.С. Окраинская. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2021. – 105 с.

4. Оптико-электронные приборы и биодозиметрический контроль в медицине: монография / А.И. Ларюшин, Р.Н. Хизбуллин. - Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2018. - 248 с.

5. ГОСТ 12.4.154-85. ССБТ. Устройства, экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты. Общие технические требования, основные параметры и размеры.

УДК 615.47

## **СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРЕВОЖНО-ФОБИЧЕСКИХ РАССТРОЙСТВ В СРЕДЕ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ**

Александр Дмитриевич Иванов  
ФГБОУ ВО «ПГУ», г. Пенза, Россия  
Sailtothe54@gmail.com

**Аннотация.** Современные информационные технологии позволяют врачу и пациенту оперативно взаимодействовать совместно на расстоянии друг от друга в режиме реального времени. Целью настоящей работы является разработка оригинальной системы поддержки принятия врачебных решений (СППВР) для оценки тревожно-фобических расстройств с применением технологии виртуальной реальности (VR). *Материалы и методы.* Объектом исследования является среда виртуальной реальности, в которую погружается человек, подверженный проявлению иррационального страха. Физиологическое состояние человека регистрируется посредством беспроводного электроэнцефалографа, обеспечивающего регистрацию электрической активности головного мозга по 16 каналам. *Результаты.* Проведен анализ существующих СППВР в области диагностики и лечения фобических заболеваний. Предложено новое техническое решение для оценки тревожно-фобических расстройств в среде виртуальной реальности. *Выводы.* Представлена СППВР для оценки тревожно-фобических расстройств в VR, которая позволяет отойти от субъективной оценки по шкалам психоэмоционального состояния человека (ответы на вопросы могут быть даны не объективно), дополнив оценкой объективных

электрофизиологических маркеров, зарегистрированных в среде виртуальной реальности.

**Ключевые слова:** виртуальная реальность, фобические тревожные расстройства, цифровое пространство, фобии, ЭЭГ, СППВР

## **A SYSTEM FOR DETERMINING ANXIETY-PHOBIC DISORDERS IN A VIRTUAL REALITY ENVIRONMENT**

Alexander D. Ivanov

Penza State University, Penza, Russia

Sailtothe54@gmail.com

**Abstract.** Modern information technologies allow the doctor and the patient to interact quickly together at a distance from each other in real time. The purpose of this work is to develop an original medical decision support system (DSS) for the assessment of anxiety-phobic disorders using virtual reality (VR) technology. Materials and methods. The object of the study is a virtual reality environment in which a person is immersed, subject to the manifestation of irrational fear. The physiological state of a person is recorded by means of a wireless electroencephalograph, which provides registration of the electrical activity of the brain through 16 channels. Results. The analysis of existing DSS in the field of diagnosis and treatment of phobic diseases is carried out. A new technical solution for the assessment of anxiety-phobic disorders in a virtual reality environment has been proposed. Conclusions. The article presents a DSS for the assessment of anxiety-phobic disorders in VR, which allows moving away from the subjective assessment on the scales of a person's psychoemotional state (answers to questions may not be given objectively), supplemented by an assessment of objective electrophysiological markers registered in the virtual reality environment.

**Keywords:** virtual reality, phobic anxiety disorders, digital space, phobias, EEG, SPD.

На современном этапе становления цифровых технологий и персонализированной медицины наблюдаются тенденции синтезирования различных направлений. Данное явление стало особенно актуально для развития «цифровой медицины». Современные информационные технологии позволили врачу и пациенту оперативно взаимодействовать совместно на расстоянии друг от друга в режиме реального времени [1].

С развитием «цифровой медицины» вводится понятие «Медицинские информационные технологии» (МИТ) [2].

В современном представлении, МИТ являются инструментом для достижения нового уровня качества, доступности и эффективности оказания медицинской помощи. МИТ позволяют контролировать

различные этапы диагностики и лечения пациентов, помогая врачам получать больше достоверной информации о состоянии здоровья пациента. Особое внимание занимают системы поддержки принятия врачебных решений (СППВР). Согласно общепринятому определению, СППВР – это программно-аппаратная реализация инструментов регистрации, обработки и анализа диагностической информации, обеспечивающей снижение врачебных ошибок и повышения качества оказываемой медицинской помощи [3].

Цель работы автора настоящей статьи – провести анализ существующих СППВР в области диагностики и лечения фобических заболеваний и разработать оригинальную СППВР для оценки тревожно-фобических расстройств с применением технологии виртуальной реальности. Задачей настоящей работы является проведение исследований отдельных улов СППВР, обеспечивающих повышение эффективности диагностики пациента с тревожно-фобическими расстройствами.

В последнее время в мировой и отечественной практике для восстановления мозговых нарушений в комплексе с медикаментозными средствами лечения используются терапевтические методы, базирующиеся на погружении в VR.

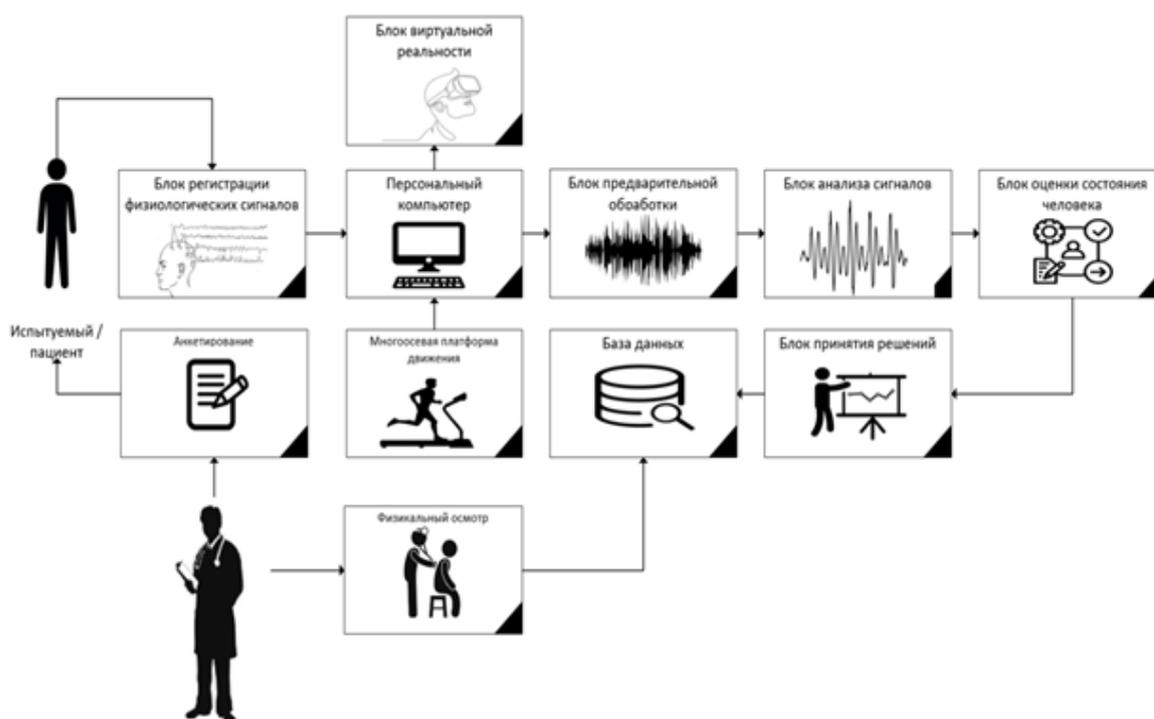
Известна СППВР реабилитации пациента с тревожно-фобическими расстройствами с использованием VR [4]. Для реализации известной системы используется компьютер с программами изображения виртуальной среды и подвижного объекта в виде схематического изображения пациента. Сущность решения состоит в создании нейротехнологий реабилитации пациентов с нейрокогнитивными расстройствами. К недостаткам системы относятся: невозможность просмотра физиологических параметров в режиме реального времени, отсутствие интегрированных систем обработки сигналов, отсутствие свободной двигательной активности человека.

Также известна СППВР с использованием среды VR и данных биосигналов [5]. Анализ данной работы показал, что сущность системы заключается в воздействии виртуальной реальностью, регистрации физиологических сигналов, анализе физиологических параметров, а также оценки состояния и принятия решения о результатах внешнего воздействия, сохранение результатов исследования в базу данных. Воздействие VR осуществляется посредством шлема и трекеров/джойстиков. Регистрация физиологических параметров осуществляется путем регистрации ЭЭС. Недостатком системы является низкая эффективность автоматического принятия решения по контролю и

коррекции экспозиции тревожно-фобического расстройства, вызывающей иррациональный страх.

На основании анализа недостатков существующих систем сделан вывод о необходимости создания и внедрения в клиническую практику врача психиатра и невролога нового поколения СППВР для оценки тревожно-фобических расстройств, обеспечивающих оперативную и эффективную диагностику и лечение фобических заболеваний.

Работа предлагаемой СППВР (см. рисунок) заключается в воздействии виртуальной реальностью и многоосевой платформы движения, регистрации физиологических сигналов, предварительной обработке и анализе физиологических параметров, а также персонализированном анкетировании, осмотре пациента и принятия решения о результатах внешнего воздействия, сохранение результатов исследования в базу данных.



Структурная схема предлагаемой СППВР

Предлагаемое решение включает в себя следующие основные узлы: узел предварительного анкетирования и физикального осмотра, блок регистрации физиологических сигналов и персональный компьютер, блок предварительной обработки и анализа физиологических сигналов, база

данных и блок оценки состояния пациента, блок принятия решения, многоосевая платформа движения и блок виртуальной реальности.

### **Источники**

1. Tychkov A.Y., Chernyshov D.S., Bofanova N.S., Alimuradov A.K., Ovchinnikov D.L., Sotnikov A.M. Virtual Reality Implementation for Assessment and Treatment of Phobic Anxiety Disorders // 5<sup>th</sup> Scientific School Dynamics of Complex Networks and their Applications (DCNA). 2021, PP. 202-205.

2. Клейменова Е.Б., Яшина Л.П. Роль медицинских информационных технологий в обеспечении безопасности пациентов // Медицинские информационные системы №3, 2020, PP 13-24.

3. Белов В.С. Системы поддержки принятия врачебных решений в мобильной системе охраны здоровья населения // Здоровье - основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения. 2017. Т. 12. № 2. С. 495-497.

4. Shelepin Yu.E., Muravyeva S.V., Shelepin E.Yu., Yakimova E.G., Shelepin K.Yu. Method of rehabilitation of patients using a virtual environment. RU No.2654767, publ. 22.05.2018.

5. Aimone K.A., Sesoleman T., Garten A.S., Vidyarti K.J.M., Pinot L.G., Shabior M.A., Baranovsky P.H., Rupsingh R.R., Ashby M., V.Tadic P. System and method for enhanced learning using virtual reality environment and bio signal data. US2022/0179449. Public page. Date: June 9, 2022.

УДК 621-313.3

## **РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЧЕЛОВЕКА**

К.А. Ильин<sup>1</sup>, Р.Н. Хизбуллин<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>Kirill04.il2@yandex.ru, <sup>2</sup>Robert.Khizbullin@mail.ru

**Аннотация.** Концептом является носимое устройства на запястье руки. Функционалом данного устройства является измерение физиологических параметров человека, а именно: температура тела, частота сердечных сокращений, артериальное давление, уровень кислорода в крови. Актуальность прибора заключается в повышении безопасности при эксплуатации транспортных средств.

Приспособление будет представлять собой многофункциональное регистрирующее устройство, определяющее физиологические параметры человека. Данное устройство позволит сократить количество аварийных ситуаций за рулем, связанных с резким изменением его состояния.

**Ключевые слова:** физиологические параметры, устройство, транспортное средство, безопасность, многофункциональность, определение.

## **DEVELOPMENT OF A MOBILE DEVICE FOR DETERMINING BASIC HUMAN PHYSIOLOGICAL PARAMETERS**

K.A.Ilyin<sup>1</sup>, R.N.Khizbullin<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> KSPEU, Kazan

<sup>1</sup>Kirill04.il2@yandex.ru, <sup>2</sup>Robert.Khizbullin@mail.ru

**Abstract.** The concept is a wearable device on the wrist of the hand. The functionality of this device is to measure human physiological parameters, namely: body temperature, heart rate, blood pressure, blood oxygen level. The relevance of the device is to improve the safety of vehicle operation. The device will be a multifunctional recording device that determines the physiological parameters of a person. This device will reduce the number of accidents at the wheel due to sudden changes in its condition.

**Keywords:** physiological parameters, device, vehicle, safety, multifunctionality, definition.

Норма физиологических параметров у каждого человека разная, но практически во всех датчиках эти показания берутся равными медицинским стандартам [1]. Разрабатываем браслет должен будет считывать сразу 5 различных параметров: частоту сердечных сокращений (ЧСС), артериальное давление (АД), температуру тела, сатурацию SpO<sub>2</sub>, карбоксигемоглобин HbCO [2]. Добиться идеальной точности данных измерений, не прибегая к увеличению размеров, практически невозможно, но их погрешность можно свести к минимуму. Измерения планируется производить при помощи специального браслета напрямую с запястья человека [3]. На данном этапе рассматриваются два способа считывания информации: на просвет и на отражение [4]. Расположение на запястье выбрано так, как это место на теле человека, с которого не только будет удобно собирать информацию, но и ему самому устройство не будет доставлять проблем и дискомфорта в процессе ношения [5]. Принцип разрабатываемого прибора близок к «умным» часам многих компаний, но, в отличие от них, планируется считывать все приведенные выше данные.

Наименование устройства	Частота сердечных сокращений	Артер. давление	Темп. тела	Сатурация, SpO <sub>2</sub>	Измерение карбоксигемоглобина, HbCO
Huawei Watch	+	-	-	+	-
Xiaomi Watch	+	-	-	+	-
Samsung Galaxy Watch	+	+	+	+	-
Разрабатываемое устройство	+	+	+	+	+

В таблице приведены различные модели и параметры, которые они могут считывать.

Прибор разрабатывается для использования в транспортных средствах. Аварийные случаи на дорогах не редко происходят из-за того, что состояние человека ухудшилось и он либо уснул, либо потерял возможность контролировать ситуацию [6]. Браслет должен будет непрерывно считывать информацию, и при отклонении от нормы, подавать сигналы водителю, но если он на них не реагирует, то отправлять сигнал SOS через ГЛОНАСС. В таких случаях к нему в срочном порядке будут выдвигаться различные службы и предотвратить аварийную ситуацию [7].

### Источники

1. Хизбуллин, Р. Н. Автономный медицинский регистратор для диагностики физиологического состояния водителей и машинистов во время управления транспортным средством // Современные проблемы безопасности жизнедеятельности: интеллектуальные транспортные системы и ситуационные центры: материалы V Межд. научно-практической конф. ITSForum-KAZAN 2018. — Казань: Центр инновационных технологий, 2018. Ч. 1. С. 459-465.

2. Хизбуллин, Р. Н. Автоматизированный медицинский аппаратный комплекс для предсменного осмотра персонала энергетических

предприятий / Р.Н. Хизбуллин, А.И. Ларюшин // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2014. № 1-2. С.125-133.

3. Оптико-электронные приборы и биодозиметрический контроль в медицине: монография / А.И. Ларюшин, Р.Н. Хизбуллин. - Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2018. - 248 с.

4. Rob. N. Khizbullin, B.V. Chuvykin, Rad. N. Khizbullin and A.A. Makhov /The implementation of new digital technologies during pre-shift examinations of personnel at energy enterprises. E3S Web of Conferences 288, 01087 (2021).

5. Rob. N. Khizbullin, L.S. Sabitov, Rad. N. Khizbullin, P.P Pavlov, A.N. Khusnutdinov and A.R. Abdullina /Medical and Biological Problems in the Control of Therapeutic Exposure Parameters in Sports Medicine and Ways of Their Solution in New Medical Instruments and Systems. ISTC-IETEM-2019.

6. R.N. Khizbullin, E.M. Khusnutdinova, P.P Pavlov, V.P. Fandeyev, A. N. Khusnutdinov and I.V. Cherepenkin /Comprehensive test procedure for digital instruments and devices of automated versatile systems. E3S Web of Conferences 157, KTTI-201901005 (2020).

7. Robert Khizbullin, Radik Khizbullin, Valerii Galiakhmetov /Instrument implementation of an automated complex for recording physiological parameters of drivers. E3S Web of Conferences 157, KTTI-2019, 01005 (2020).

УДК 621-313.3

## **СОПРОТИВЛЕНИЕ КОЖИ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОРГАНИЗМА**

Р.И. Кашапов<sup>1</sup>, В.М. Бесчастный<sup>2</sup>

Науч. рук. д.т.н., проф. Р.Н. Хизбуллин

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

<sup>1</sup>ramis.baur@mail.ru, <sup>2</sup>beschastnyj01@bk.ru

**Аннотация.** Данная статья исследует взаимосвязь между электрическим сопротивлением кожи и психофизиологическим состоянием организма. Электрическое сопротивление кожи отражает организацию нервной системы и ее реакции на различные психологические и физические стимулы. В статье рассматриваются методы измерения электрического сопротивления кожи и его применение в психофизиологических исследованиях. Сделаны выводы о возможности использования электрического сопротивления кожи в качестве нейрофизиологического индикатора психофизиологического состояния организма. Эти результаты могут быть полезными

для различных областей, где оценка психофизиологического состояния имеет важное значение.

**Ключевые слова:** электрическое сопротивление кожи, методы, медицина, эмоциональная реакция.

## **SKIN RESISTANCE AS AN INDICATOR OF PSYCHOPHYSIOLOGICAL STATE OF THE ORGANISM**

R.I. Kashapov<sup>1</sup>, V.M. Beschastnyi<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>, KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>ramis.baur@mail.ru, <sup>2</sup>beschastnyj01@bk.ru

**Abstract.** This article explores the relationship between the electrical resistance of the skin and the psychophysiological state of the body. The electrical resistance of the skin reflects the organization of the nervous system and its response to various psychological and physical stimuli. The article discusses methods for measuring electrical resistance of the skin and its application in psychophysiological studies. Conclusions are drawn about the possibility of using electrical resistance of the skin as a neurophysiological indicator of the psychophysiological state of the body. These results may be useful in various fields where assessing psychophysiological state is important.

**Keywords:** electrical resistance of the skin, methods, medicine, emotional reaction.

Электрическое сопротивление кожи (ЭСК) основан на измерении электрической проводимости кожи, которая может изменяться в зависимости от эмоционального состояния человека. ЭСК связано с активностью симпатической нервной системы, которая отвечает за реакцию на стрессовые ситуации. Под воздействием стресса или эмоционального возбуждения, симпатическая активность увеличивается, что приводит к изменению ЭСК. Это объясняет количество и интенсивность эмоциональных реакций, таких как страх, волнение или радость [1-2].

Один из методов измерения ЭСК - электродермальная активность (ЭДА). Эта процедура включает в себя прикрепление электродов к коже и измерение электрического сигнала, генерируемого через кожные покровы. Полученные данные могут быть выявления пиковых изменений, которые указывают на эмоциональные реакции. Однако стоит отметить, что является абсолютным показателем психофизиологического состояния, и его интерпретация требует профессиональных знаний. Результаты могут

быть влиянием других факторов, таких как температура окружающей среды или физическая активность [1-2].

Существуют различные приборы для измерения электрокожной активности. Наиболее интересным отечественным прибором является, разработанный в Рязанском государственном радиотехническом университете, аппаратный комплекс для измерения электрокожного сопротивления. Примененная в приборе методика экзосоматического измерения ЭДА основана на использовании постоянного тока [3]. При этом в самом приборе и в методике измерения имеются недостатки, которые влияют на точность и достоверность регистрируемых показателей.

Предлагается для устранения артефактов, связанные с различными артефактами такими как: отвлекающие громкие звуки, обязательно открытые глаза при проведении процедуры, произвольное движения пациента, применить следующие усовершенствования в приборе, а именно внедрить опорный канал регистрации, трехосевые акселерометры, температурный датчик, прецизионные ОУ для усиления сигналов ЭДА. Данные мероприятия позволят повысить достоверность и точность регистрации сигналов ЭДА и в следствии адекватной оценки психофизиологического состояния.

В заключение отметим, что электрическое сопротивление кожи является полезным исследовательским инструментом, позволяет оценить эмоциональные реакции и стрессовые состояния, которые могут быть полезными в психологии и в медицине [3-6].

### **Источники**

1. Калашников, В.Н. Электрическое сопротивление кожи как индикатор психофизического состояния человека [Текст] / В.Н. Калашников – Электрон.дан.- 2013.

2. Букзайн В. Использование электрической активности кожи в качестве индикатора эмоций // Иностран. психология. — 1994. стр. 57—66.

3. Стрелков Н.Н., Набатчикова Л.П. Тестирования аппаратного комплекса для измерения электрокожной активности на стоматологическом приеме // Российский стоматологический журнал — 2013. Стр.49-51.

4. Ларюшин А.И., Никитина М.В., Хизбуллин Р.Н. Компактные оптико-электронные устройства на основе светодиодов для локальной физиотерапии: монография. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2003. — 159 с.

5. Ларюшин А.И., Хизбуллин Р.Н. Оптико-электронные приборы и биодозиметрический контроль в медицине: монография. –Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2018. 248 с.

6. Хизбуллин Р.Н. Оптический двухканальный пульсоксиметр на основе лазерных датчиков для решения актуальных задач в медицинской практике // Фотоника. – 2017. – №.1. –С.144-157.

УДК 65.011.56:621.38

## РАЗВИТИЕ БИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ADAS

Даниил Евгеньевич Лобанов

Науч. рук. проф. Роберт Накибович Хизбуллин

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

danik.lobanov.2013@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассматривается биотехническая система ADAS для интегрирования в систему управления автомобилем на основе контроля физиологического состояния водителя. Цель внедрения биотехнических систем контроля является повышение безопасности на дорогах путем не только информирования водителя и привлечения его внимания, но также оперативной помощи водителю, и в случае необходимости, интегрированная система автоматически принимает экстренные меры для обеспечения безопасности, не требуя вмешательства водителя.

**Ключевые слова:** автомобиль, безопасность, биотехническая система ADAS, физиологическое состояние водителя.

## DEVELOPMENT OF BIOTECHNICAL ADAS SYSTEMS

Daniil E. Lobanov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

danik.lobanov.2013@mail.ru

**Abstract.** The article discusses the biotechnical ADAS system for integration into the car control system based on the control of the physiological state of the driver. The purpose of implementing biotechnical control systems is to improve road safety by not only informing the driver and attracting his attention, but also operational assistance to the driver, and if necessary, the integrated system automatically takes emergency measures to ensure safety without requiring driver intervention.

**Keywords:** car, safety, biotechnical system ADAS, physiological condition of the driver.

ADAS - Advanced Driver Assistance System - это комплекс алгоритмов, которые сотрудничают с водителем для обеспечения безопасного управления транспортным средством. Задача системы ADAS - увеличить уровень безопасности на дороге путем предупреждения и привлечения внимания водителя.

Одной из важнейших целей системы является – обеспечение безопасности движения, исключая человеческий фактор. Водитель может столкнуться с различными проблемами, которые могут негативно повлиять на его способность управлять транспортным средством. Например, усталость, сонливость, проблемы со здоровьем, такие как инфаркт или инсульт. Внезапное ухудшение здоровья может привести к потере сознания или снижению реакции на дорожные ситуации, что может привести к аварии [1, 6].

Система ADAS может распознать внезапное ухудшение здоровья водителя по различным признакам. Например, она может отслеживать движения глаз и головы водителя, чтобы определить, если он отклоняется от своей обычной манеры вождения. Также система может использовать датчики для измерения физиологических параметров водителя, таких как частота сердечных сокращений и уровень кислорода в крови. Если эти параметры выходят за пределы нормы, система может предупредить водителя о возможной проблеме и даже автоматически вмешаться, например, остановив автомобиль на безопасном расстоянии от дороги. Также система может быть интегрирована с медицинскими устройствами, которые могут передавать информацию о здоровье водителя напрямую в систему ADAS. Система ADAS использует различные датчики и алгоритмы для определения изменений в поведении и физиологии водителя, что может указывать на возможное ухудшение его здоровья [2, 5, 6, 8].

Датчики, встроенные в рулевое колесо для измерения частоты сердечных сокращений и уровня кислорода в крови, используют технологию, называемую пульсоксиметрия. Это метод, который измеряет изменения в кровеносных сосудах, чтобы определить частоту сердечных сокращений и уровень кислорода в крови [3-4, 8].

Датчики пульсоксиметра обычно состоят из двух светодиодов - один излучает инфракрасный свет, а другой - красный свет. Эти светодиоды размещаются на противоположных сторонах пальца или уха водителя, и

они работают вместе с фотодиодом для измерения поглощения света кровью.

Данные от датчиков передаются в систему ADAS, где они обрабатываются и могут быть отображены водителю на панели приборов или переданы в систему предупреждения о состоянии водителя [3-4, 7].

Если водитель потерял сознание, то система ADAS может обнаружить это по изменению позиции руля и педалей, а также отсутствию реакции на предупреждающие сигналы и звуковые сигналы. В этом случае, система может перевести автомобиль на край дороги и остановить его или поддерживать постоянную скорость и направление до прибытия экстренной помощи. В случае остановки при подобной ситуации система автоматически активирует аварийные сигналы, чтобы предупредить других водителей о возможной опасности на дороге. Некоторые системы ADAS могут быть связаны с системой аварийного вызова, которая автоматически отправляет сигнал о помощи на специальный номер в случае необходимости.

Важно отметить, что реакция системы ADAS на потерю сознания водителя может различаться в зависимости от типа и модели автомобиля, а также настроек системы. Поэтому водителям важно ознакомиться с функциями своего автомобиля и правильно использовать системы ADAS для максимальной безопасности на дороге [3, 7].

### **Источники**

1. Хизбуллин, Р. Н. Автономный медицинский регистратор для диагностики физиологического состояния водителей и машинистов во время управления транспортным средством // Современные проблемы безопасности жизнедеятельности: интеллектуальные транспортные системы и ситуационные центры: материалы V Межд. научно-практической конф. ITSForum-KAZAN 2018. — Казань: Центр инновационных технологий, 2018. Ч. 1. С. 459-465.

2. Хизбуллин, Р. Н. Автоматизированный медицинский аппаратный комплекс для предсменного осмотра персонала энергетических предприятий / Р.Н. Хизбуллин, А.И. Ларюшин // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2014. № 1-2. С.125-133.

3. «ГЛОНАСС / ГНСС - Форум». Рынок бортового оборудования и технологий ADAS[Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.aggf.ru/projects/Рынок%20бортового%20оборудования%20и%20технологий%20ADAS.pdf>

4. Оптико-электронные приборы и биодозиметрический контроль в медицине: монография / А.И. Ларюшин, Р.Н. Хизбуллин. - Казань: Казан. гос. энерг.ун-т, 2018. - 248 с.

5. Rob. N. Khizbullin, B.V. Chuvykin, Rad. N. Khizbullin and A.A. Makhov /The im-plementation of new digital technologies during pre-shift examinations of personnel at energy enterprises. E3S Web ofConferences 288, 01087 (2021).

6. Rob. N. Khizbullin, L.S. Sabitov, Rad. N. Khizbullin, P.P Pavlov, A.N. Khusnutdi-nov and A.R. Abdullina /Medical and Biological Problems in the Control of Thera-peutic Exposure Parameters in Sports Medicine and Ways of Their Solu-tion in New Medical Instruments and Systems. ISTC-IETEM-2019.

7. R.N. Khizbullin, E.M. Khusnutdinova, P.P Pavlov, V.P. Fandeyev, A. N. Khusnutdinov and I.V. Cherepenkin /Comprehensive test procedure for digital in-struments and devices of automated versatile systems. E3S Web ofConferences 157, KTTI-201901005 (2020).

8. Robert Khizbullin, Radik Khizbullin, Valerii Galiakhmetov /Instrument implemen-tation of an automated complex for recording physiological parameters of drivers. E3S Web ofConferences 157, KTTI-2019, 01005 (2020).

УДК 621.373.826

## ПЕРЕДАЧА ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В МЕДИЦИНСКИХ ЦЕЛЯХ С ПОМОЩЬЮ ОПТОВОЛОКНА

Е.В. Матвеев<sup>1</sup>, А.Р. Кабиров<sup>2</sup>

Науч. рук. д.т.н., проф. Р.Н. Хизбуллин

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

<sup>1</sup>fastercup@gmail.com, <sup>2</sup>aynur.kabirov.2001@mail.ru

**Аннотация.** В статье показано применение оптического волокна для передачи лазерного излучения различным органам, как для лечения, так для измерения некоторых физиологических параметров. Оптоволокно применяются в различных медицинских аппаратах в хирургии и терапии. Малые геометрические размеры оптоволокна и высокая эффективность обусловили их широкое применение в диагностических и лечебных целях.

**Ключевые слова:** оптическое волокно, артроскопия, медицина, лазерные лучи.

## TRANSMISSION OF OPTICAL RADIATION FOR MEDICAL PURPOSES USING OPTICAL FIBER

E.V. Matveev<sup>1</sup>, A.R. Kabirov<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>, KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>fastercup@gmail.com, <sup>2</sup>aynur.kabirov.2001@mail.ru

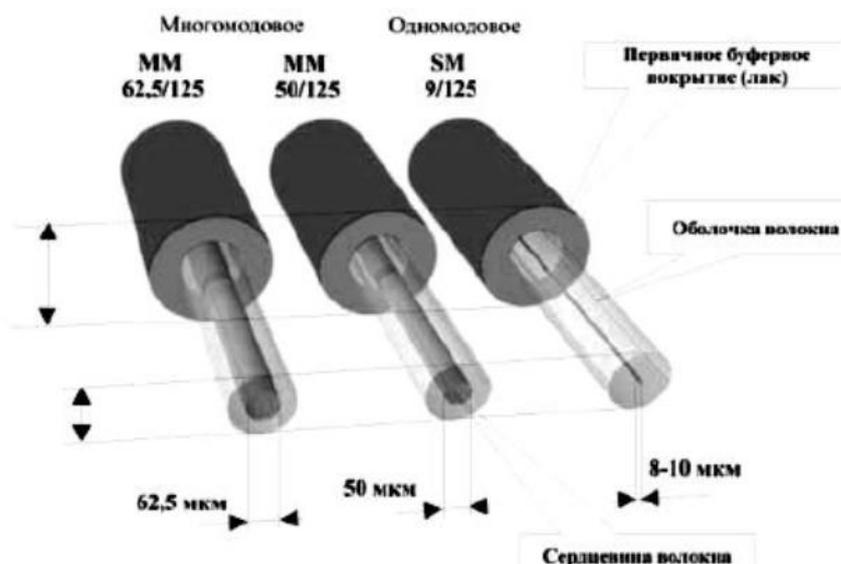
**Abstract.** The article shows the use of optical fiber for transmitting laser radiation to various organs, both for treatment and for measuring certain physiological parameters. Optical fibers are used in various medical devices in surgery and therapy. The small geometric dimensions of optical fibers and their high efficiency have led to their widespread use for diagnostic and therapeutic purposes.

**Keywords:** optical fiber, arthroscopy, medicine, laser beams.

Использование оптического волокна в медицинских лазерных устройствах позволяет передавать лазерное излучение для лечения внутренних или внешних органов [1]. Оптические волокна способны точно и безопасно доставлять мощные лазерные лучи в нужную область. Этот метод обычно используется в различных медицинских процедурах, таких как лазерная хирургия, эндоскопия, дерматология и офтальмология. Оптические волокна обеспечивают минимально инвазивное лечение, точную абляцию тканей и эффективную доставку лазерной энергии в определенные места, не повреждая окружающие ткани [2].

Оптические волокна в артроскопии, можно использовать для измерения температуры и других параметров тела. Их также можно использовать во время хирургических процедур [3].

Основным преимуществом использования оптоволокон в артроскопии является то, что оно позволяет проводить безболезненную операцию, которая предполагает меньшие разрезы, меньший дискомфорт для пациента и более быстрое заживление по сравнению с традиционными хирургическими методами [4].



Строение оптоволокна

Оптические волокна помимо использования в эндоскопии и артроскопии, широко используются при исследовании и лечении сердца и кровеносных сосудов. Также в медицине используют оптоволокно для прямого лазерного излучения на рану, для остановки кровотечений [5].

В заключении можно сказать, что применение оптоволокна в медицинских лазерных устройствах для диагностики заболеваний дает многочисленные преимущества. Он обеспечивает точную и целенаправленную доставку лазерной энергии к пораженным участкам, сводя к минимуму повреждение окружающих здоровых тканей [6]. В целом, использование оптоволокна в медицинских лазерных устройствах улучшает диагностику заболеваний за счет повышения точности, качества изображений и комфорта пациентов.

### Источники

1. Межевов В.С., Плотников В.М., Стрельцов А.П. Промышленное применение волоконных лазеров. — М.: НТО «ИРЭ-Полус», 2009
2. Курков А.С., Дианов Е.М. Непрерывные волоконные лазеры средней мощности // Квантовая электроника. 2004 Т. 34 № 10 С. 881—900.
3. Калчугина Н.С. Оптоволоконные методы исследований, 2014. № 3 (11). С. 15-45
4. Miyamoto Y. et al. Smart Processing Development of Photonic Crystals and Fractals // Int. J. Applied Ceramic Technology. 2004 № 1 P. 40-48.

5. Takeda W., Kirihara S., Miyamoto Y., Sakoda K., Honda K. Localization of Electromagnetic Waves in Three-Dimensional Fractal Cavities // Phys. Rev. Lett. 2004 5 March.

6. Оптико-электронные приборы и биодозиметрический контроль в медицине: монография / А.И. Ларюшин, Р.Н. Хизбуллин. - Казань: Казан. гос. энерг.ун-т, 2018. - 248 с

УДК 621.38:615.47

## **ГИДРОМАНЖЕТНАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ ЛОДЫШЕЧНО-ПЛЕЧЕВОГО ИНДЕКСА**

Айдар Альбертович Махов

Науч. рук. проф. Роберт Накибович Хизбуллин

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

2257005@bk.ru

**Аннотация.** В статье рассматривается создание гидроманжетной системы (ГС) для скрининг исследования оценки состояния сердечно-сосудистой системы. ГС предназначена для измерения артериального давления с повышенной точностью на 4-х конечностях с одновременной записью пульсовых волн, лодыжечно-плечевого индекса давления (ABI), скорости пульсовой волны (PWV), индекса жесткости.

**Ключевые слова:** гидроманжетная система, сердечно-сосудистая система, пульсовая волна, лодыжечно-плечевой индекс давления, индекса жесткости.

## **HYDROCUFF SYSTEM FOR ASSESSING THE ANKLE-BRACHIAL INDEX**

Aidar A. Makhov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

2257005@bk.ru

**Abstract.** The article discusses the creation of a hydrocuff system (HS) for screening studies to assess the state of the cardiovascular system. HS is designed to measure blood pressure with increased accuracy on 4 limbs with simultaneous recording of pulse waves, ankle-brachial pressure index (ABI), pulse wave velocity (PWV), and stiffness index.

**Keywords:** hydrocuff system, cardiovascular system, pulse wave, ankle-brachial pressure index, stiffness index.

От достоверности формы воспроизведения пульсовой волны зависит точность представления гемодинамических параметров, основанных на обработке ее амплитудно-временных характеристик. В первую очередь это связано с оценкой систолической и диастолической составляющих давления, параметров, характеризующих эластичность и жесткость артерий, производительность работы сердца. Отсутствие датчиков давления, удовлетворяющих требованиям систем мониторинга гемодинамических параметров сдерживает процесс создания перспективных приборов. Поэтому разработка гидроманжетной системы оценки состояния сердечно-сосудистой системы (ССС) является актуальной задачей [1-2].

Отличительной особенностью предлагаемой методики оценки гемодинамических параметров является использование жидкостной манжеты для восприятия пульсовых волн запястья, фаланги пальца руки, лодыжки, фаланги большого пальца ноги. Схема расположения датчиков и основных блоков системы оценки состояния сердечно-сосудистой системы показана на рис. 1 [1-2].

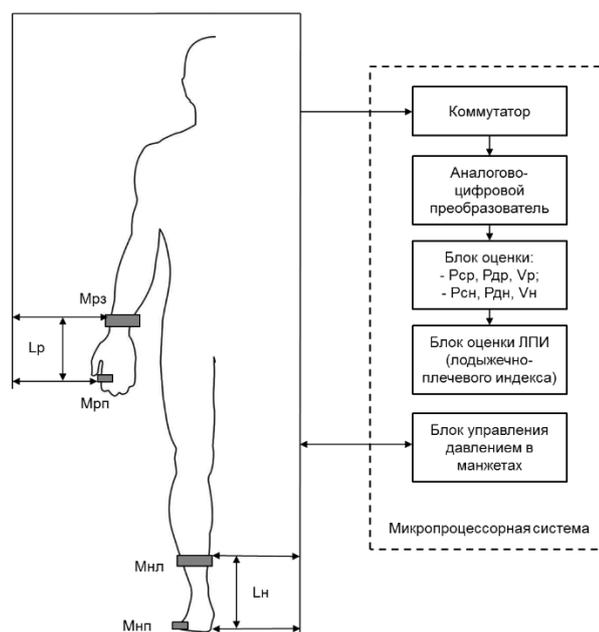


Рис. 1. Схема расположения датчиков и структура основных блоков комплекса оценки состояния сердечно-сосудистой системы

В нее включены манжеты, с расположенными на них датчиками давления на запястье, фаланге пальца руки, лодыжке, большом пальце ноги  $M_{рз}$ ,  $M_{рп}$ ,  $M_{нл}$  и  $M_{нп}$ . Приведенная схема расположения

гидроманжет позволяет определять на основании анализа формы пульсовой волны значения систолического, диастолического давлений на руке и ноге и на основании измеренного расстояния между датчиками  $L_{руки}$ ,  $L_{ноги}$  с учетом времени ее распространения скорость пульсовой волны  $V$ .

Приведенная схема позволяет рассчитывать лодыжечно-плечевой индекс - один из основных параметров оценки состояния ССС [2-4].

Датчики необходимо располагать вблизи артерий. Считывание информации о пульсациях поверхности тела при прохождении пульсовой волны, осуществляется коммутатором. Далее полученные сигналы обрабатываются в микропроцессорной системе (рисунок 2) [4-6].

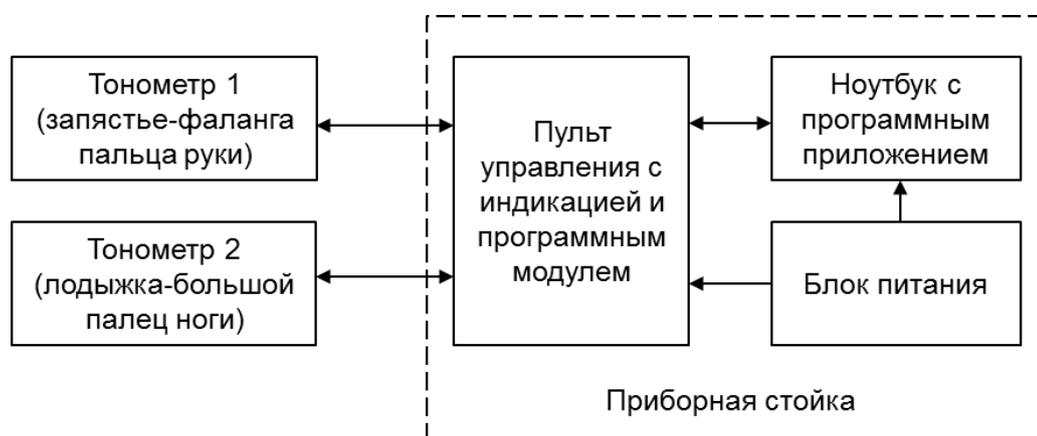


Рис. 2. Укрупненная структура системы оценки состояния сердечно-сосудистой системы

### Источники

1. Геращенко М.С. Использование гидроманжетного тонометра для оценки гемодинамических параметров с повышенной точностью / Геращенко М.С., Волкова Н.А., Геращенко С.М. // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2016. № 3 (39). С. 114-123.

2. Геращенко М.С. Оценка погрешности гидроманжетного тонометра / Геращенко М.С., Геращенко С.И., Геращенко С.М. // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2016. № 4 (18). С. 106-111.

3. Хизбуллин, Р. Н. Автономный медицинский регистратор для диагностики физиологического состояния водителей и машинистов во время управления транспортным средством // Современные проблемы безопасности жизнедеятельности: интеллектуальные транспортные системы и ситуационные центры: материалы V Межд. научно-

практической конф. ITS Forum-KAZAN 2018. — Казань: Центр инновационных технологий, 2018. Ч. 1. С. 459-465.

4. Оптико-электронные приборы и биодозиметрический контроль в медицине: монография / А.И. Ларюшин, Р.Н. Хизбуллин. - Казань: Казан. гос. энерг.ун-т, 2018. - 248 с.

5. Rob. N. Khizbullin, B.V. Chuvykin, Rad. N. Khizbullin and A.A. Makhov /The implementation of new digital technologies during pre-shift examinations of personnel at energy enterprises. E3S Web ofConferences 288, 01087 (2021).

6. Robert Khizbullin, RadikKhizbullin, ValeriiGaliakhmetov /Instrument implementation of an automated complex for recording physiological parameters of drivers. E3S Web ofConferences 157, KTTI-2019, 01005 (2020).

УДК 621.38:615.47

## **РАЗРАБОТКА МАТРИЧНОЙ СИСТЕМЫ НА БАЗЕ СВЕТОДИОДОВ ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ ОБШИРНЫХ ПАТОЛОГИЙ**

Р.Р. Мухаметзянов<sup>1</sup>, Э.А. Мухамедзянов<sup>2</sup>, И.В. Токтаров<sup>3</sup>

Науч. рук. д.т.н., проф. Р.Н. Хизбуллин

<sup>1,2,3</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

<sup>1</sup>rishat05282000@gmail.com, <sup>2</sup>emil20.03.012@gmail.com, <sup>3</sup>toktarovigor@outlook.com,

**Аннотация.** В статье представлен принцип работы матричной системы на базе инфракрасных светодиодов, описано их воздействие на человеческий организм, описан аппарат терапевтического воздействия в гибком и жестком исполнении. Сделаны выводы о целесообразности применения такого устройства в лечебных целях.

**Ключевые слова:** светодиодная матричная система, суперяркие светодиоды, инфракрасное излучение, терапевтическое воздействие.

## **DEVELOPMENT OF A MATRIX SYSTEM BASED ON LEDS FOR THE TREATMENT OF EXTENSIVE PATHOLOGIES**

Rishat.R.Mukhametzyanov<sup>1</sup>, Emil.A.Mukhamedzyanov<sup>2</sup>, Igor'.V. Toktarov<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>rishat05282000@gmail.com, <sup>2</sup>emil20.03.012@gmail.com, <sup>3</sup>toktarovigor@outlook.com

**Abstract.** The article presents the principle of operation of a matrix system based on infrared LEDs, describes their effect on the human body, and describes a device for

therapeutic effects in a flexible and rigid design. Conclusions are drawn about the feasibility of using such a device for medicinal purposes.

**Keywords:** LED matrix system, super-bright LEDs, infrared radiation, therapeutic effects.

В целях эффективного лечения и восстановления обширных патологий предлагается создание светотерапевтического аппарата, воздействующего, как на большую площадь (порядка  $1200 \text{ см}^2$ ), так и на ограниченные ткани организма, электромагнитным излучением от полупроводниковых супер ярких светодиодов в видимой или инфракрасной области спектра [1]. Для наилучшего лечебного эффекта выбирается излучение, для которого доминируют процессы эффективного пропускания ткани. В коже наблюдается так называемое оптическое окно в интервале длин волн 400-1000 нм, в котором проникновение света вглубь тканей максимально. Характеристики излучателей не должны превышать следующих показателей: напряжение питания – 9 В, ток – не более 200 мА, подходящим является отечественный светодиод типа У-320Б производство АО «НИИ «Полнос» им. М.Ф. Стельмаха, г. Москва [2].

Для создания терапевтического устройства необходимо использовать систему матриц из 6 и более светодиодов суммарной мощностью от 60 мВт до 100 мВт [3]. Используя принципы построения матриц на основе суперярких светодиодов и для получения светового поля около  $6 \text{ см}^2$ , разработана схема расположения и включения одной светодиодной секции, представленной на рис. 1 [4].

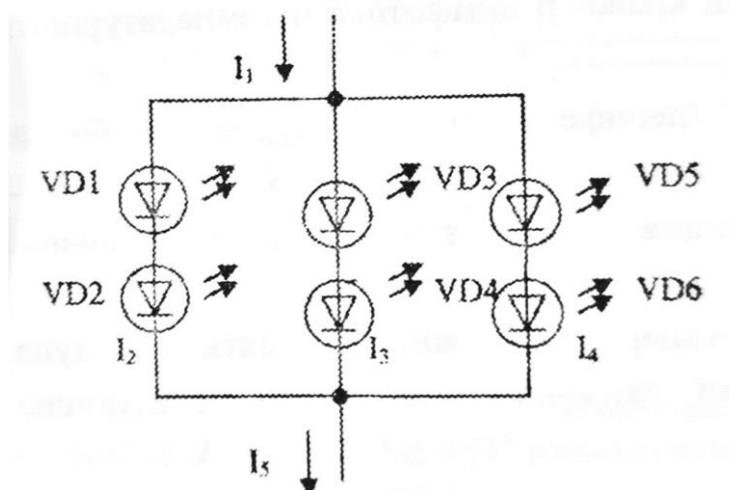


Рис. 1. Схема включения светодиодных излучателей VD1-VD6 типа У-320Б

Теоретическое обоснование использования в биомедицине инфракрасного излучения представлено в работах Амбарцумяна Р.В. и Елисеева П.Г. [5]. Отмечено, что входящий в состав молекул воды кислород при переходе в синглетное состояние в крови вызывает активизацию биохимических реакций в организме человека. На рис.2 изображено поглощение и рассеяние лазерного излучения в коже [6].

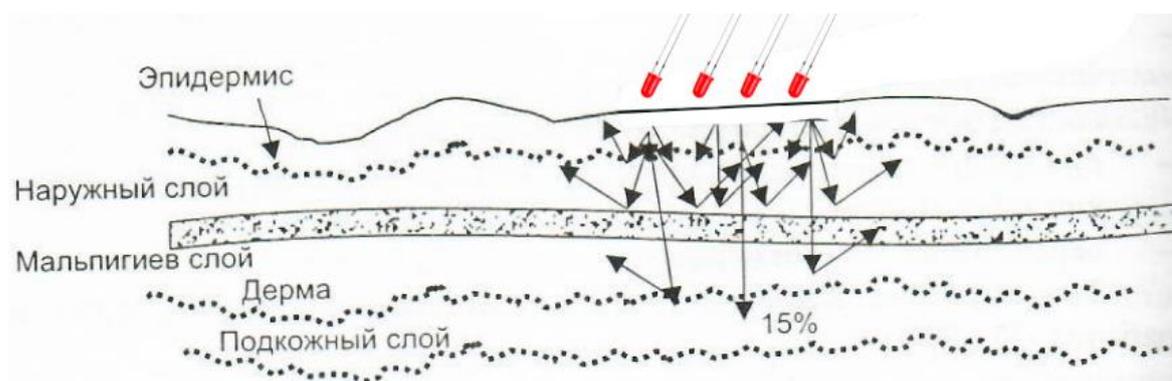


Рис.2 Ход и отражения оптических лучей в слоях кожи

Таким образом, мы можем получить комбинированное устройство, которое сочетает в себе лазерную и световую терапию [7], позволяет точно настраивать терапевтическое воздействие в зависимости от конкретных потребностей пациента, что позволяет использовать это устройство не только в медицинских учреждениях, но и домашних условиях [8].

### Источники

1. Оптико-электронные приборы и биодозиметрический контроль в медицине: монография / А.И. Ларюшин, Р.Н. Хизбуллин. - Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2018. - 248 с.
2. Компактные оптико-электронные устройства на основе светодиодов для локальной физиотерапии: монография /Ларюшин А.И., Никитина М.В., Хизбуллин Р.Н. - Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2003. – 159 с. ISBN 5-89873-108-3.
3. Хизбуллин Р.Н. Оптический двухканальный пульсоксиметр на основе лазерных датчиков для решения актуальных задач в медицинской практике /Хизбуллин Р.Н. //Фотоника. – 2017. – №.1. –С.144-157.
4. Хизбуллин Р.Н. Принципы построения трехволнового двухканального лазерного пульсоксиметра //Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. - №2.-2022.-С. 96-107.

5. Хизбуллин Р.Н. Научно-практическое обоснование конструкции и расчет оптической части лазерного пульсоксиметра ПСОЗ- 2КЛ //Измерение. Монито-ринг. Управление. Контроль. - №2.-2022. -С. 108-122.

6. Rob. N. Khizbullin, L.S. Sabitov, Rad. N. Khizbullin, P.P Pavlov, A.N. Khusnutdinov and A.R. Abdullina /Medical and Biological Problems in the Control of Therapeutic Exposure Parameters in Sports Medicine and Ways of Their Solution in New Medical Instruments and Systems. ISTC-IETEM-2019.

7. R.N. Khizbullin, E.M. Khusnutdinova, P.P Pavlov, V.P. Fandeyev, A. N. Khusnutdinov and I.V. Cherepenkin /Comprehensive test procedure for digital instruments and devices of automated versatile systems. E3S Web ofConferences 157, КТТИ-201901005 (2020).

8. Обоснование выбора чувствительного элемента прецизионного датчика температуры /Хизбуллин Р.Н., Замалтдинов М.Ф //Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2011. – № 1-2. – С. 38-45.

УДК 621.38:615.47

## **НЕИНВАЗИВНАЯ ЛАЗЕРНАЯ ДИАГНОСТИКА: ФОТОПЛЕТИЗМОГРАФИЯ И ЕЕ МЕДИЦИНСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ**

Р.Р. Мухаметзянов<sup>1</sup>, Э.А. Мухамедзянов<sup>2</sup>, И.В. Токтаров<sup>3</sup>

Науч. рук. д.т.н., проф. Р.Н. Хизбуллин

<sup>1,2,3</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

<sup>1</sup>rishat05282000@gmail.com, <sup>2</sup>emil20.03.012@gmail.com, <sup>3</sup>toktarovigor@outlook.com

**Аннотация.** В данной статье исследуется актуальность и проблемы неинвазивной лазерной диагностики с помощью фотоплетизмографии. Обсуждаются технические аспекты, связанные с достоверностью и точностью измерений, а также методы устранения артефактов, вызванных внешними факторами. Проводится сравнение между поверхностными датчиками отражения и датчиками пропускания, анализируя их структуру и применимость в медицинских условиях.

**Ключевые слова:** неинвазивная лазерная диагностика, фотоплетизмография, достоверность измерений, артефакты, поверхностные датчики отражения, датчики пропускания, медицинские приложения.

# NON-INVASIVE LASER DIAGNOSTICS: PHOTOPLETHYSMOGRAPHY AND ITS MEDICAL APPLICATIONS

R.R. Mukhametzyanov<sup>1</sup>, E.A. Mukhamedzyanov<sup>2</sup>, I.V. Toktarov<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>rishat05282000@gmail.com, <sup>2</sup>emil20.03.012@gmail.com, <sup>3</sup>toktarovigor@outlook.com

**Abstract.** This article explores the relevance and challenges of non-invasive laser diagnostics through photoplethysmography. Technical aspects related to the accuracy and precision of measurements are discussed, along with methods to mitigate artifacts caused by external factors. A comparison is made between reflection-based surface sensors and transmissive sensors, analyzing their structure and applicability in medical contexts.

**Keywords:** non-Invasive Laser Diagnostics, photoplethysmography, measurement Reliability, artifacts, reflection-Based Surface Sensors, transmissive Sensors, medical Applications.

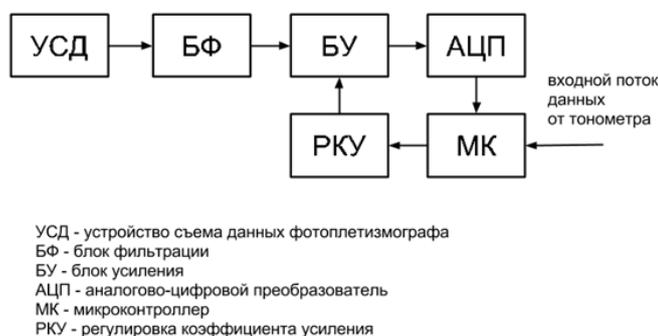
Неинвазивные методы диагностики в медицине приобретают все большее значение. Среди них особое внимание привлекает фотоплетизмография, представляющая собой технику, использующую лазерное излучение для измерения пульсации крови и оксигенации в организме. Этот метод обещает надежные результаты без необходимости внутренних вмешательств, что делает его особенно привлекательным для клинических исследований.

Однако, на пути к надежным результатам возникают проблемы, связанные с точностью измерений. Пациенты могут двигаться, влажность и другие внешние факторы могут исказить данные, приводя к артефактам. Для преодоления этих сложностей, исследователи фокусируются на разработке методов фильтрации сигнала и усовершенствовании алгоритмов обработки данных[1].

Поверхностные датчики отражения, размещаемые на коже пациента, и датчики пропускания, проникающие в ткани, представляют два основных вида датчиков в фотоплетизмографии. Выбор между ними зависит от конкретных потребностей исследования. Поверхностные датчики обладают удобством использования, но могут быть подвержены влиянию внешних факторов. Датчики пропускания, в свою очередь, могут обеспечивать более точные измерения, но требуют более аккуратного размещения и контроля внешних условий [2, 3].

Датчики фотоплетизмографии состоят из светодиодов и фотодиодов. Светодиоды генерируют свет, который направляется на кожу пациента, а

фотодиоды регистрируют отраженный свет или свет, прошедший через ткани. Полученные сигналы обрабатываются компьютером, который формирует графики, отображающие динамику пульсации крови и уровень оксигенации. Схематичный пример работы фотоплетизмографической установки представлена на рисунке [4, 5].



#### Пример работы фотоплетизмографической установки

Фотоплетизмография, несмотря на сложности, представляет собой перспективный метод диагностики в медицине. Усовершенствования, такие как добавление сканирующих датчиков и учет изобестетической точки пациента, открывают возможность точнее и надежнее мониторить состояние пациентов. Эти технические улучшения позволят осуществлять более точные и эффективные медицинские исследования, повышая качество ваших наблюдений и делая ваши открытия более значимыми в области медицинской науки [6, 7].

#### Источники

1. Оптико-электронные приборы и биодозиметрический контроль в медицине: монография / А.И. Ларюшин, Р.Н. Хизбуллин. - Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2018. - 248 с.
2. Компактные оптико-электронные устройства на основе светодиодов для локальной физиотерапии: монография /Ларюшин А.И., Никитина М.В., Хизбуллин Р.Н. - Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2003. – 159 с. ISBN 5-89873-108-3.
3. Хизбуллин Р.Н. Оптический двухканальный пульсоксиметр на основе лазерных датчиков для решения актуальных задач в медицинской практике /Хизбуллин Р.Н. //Фотоника. – 2017. – №.1. –С.144-157.

4. Хизбуллин Р.Н. Принципы построения трехволнового двухканального лазерного пульсоксиметра //Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. - №2.-2022.-С. 96-107.

5. Хизбуллин Р.Н. Научно-практическое обоснование конструкции и расчет оптической части лазерного пульсоксиметра ПСОЗ- 2КЛ //Измерение. Монито-ринг. Управление. Контроль. - №2.-2022. -С. 108-122.

6. Rob. N. Khizbullin, L.S. Sabitov, Rad. N. Khizbullin, P.P Pavlov, A.N. Khusnutdi-nov and A.R. Abdullina /Medical and Biological Problems in the Control of Thera-peutic Exposure Parameters in Sports Medicine and Ways of Their Solu-tion in New Medical Instruments and Systems. ISTC-IETEM-2019.

7. R.N. Khizbullin, E.M. Khusnutdinova, P.P Pavlov, V.P. Fandeyev, A. N. Khusnutdinov and I.V. Cherepenkin /Comprehensive test procedure for digital in-struments and devices of automated versatile systems. E3S Web of Conferences 157, КТТИ-201901005 (2020).

УДК 615.47

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА «ДИСПЕРСИЯ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АЛЬФА-РИТМА» С МИНИАТЮРНЫМ МНОГОКАНАЛЬНЫМ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАФОМ**

Антон Эдуардович Павлов<sup>1</sup>, Павел Павлович Павлов<sup>2</sup>

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. Роберт Накибович Хизбуллин

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>pavlov-1557-104@yandex.ru, <sup>2</sup>pavlov2510@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассматривается исследования для определения расстройств психики и заболеваний сосудистого, токсического и травматического типов методом дисперсии амплитудно-частотных характеристик альфа-ритма (ДАЧХАР). В ходе исследований, предложен миниатюрный 21-канальный электроэнцефалограф. Особенностью разработанного электроэнцефалографа является использование беспроводного усилителя позволяющего работать с пассивными и активными электродами, мокрыми и сухими, что уменьшает время подготовки пациента для обследования.

Исследование с помощью миниатюрного многоканального электроэнцефалографа методом ДАЧХАР с высокой достоверностью выявляет психофизиологическое состояние пациента.

**Ключевые слова:** электроэнцефалография, электроэнцефалограф, метод дисперсии амплитудно-частотных характеристик альфа-ритма.

## **OUTLOOK FOR USING THE METHOD “DISPERSION OF AMPLITUDE-FREQUENCY CHARACTERISTICS OF ALPHA RHYTHM” WITH A MINIATURE MULTICHANNEL ELECTROENCEPHALOGRAPH**

Anton E. Pavlov<sup>1</sup>, Pavel P. Pavlov<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>pavlov-1557-104@yandex.ru, <sup>2</sup>pavlov2510@mail.ru

**Abstract.** The article discusses research to determine mental disorders and diseases of vascular, toxic and traumatic types using the method of dispersion of amplitude-frequency characteristics of the alpha rhythm (DAFCAR). During the research, a miniature 21-channel electroencephalograph was proposed. A special feature of the developed electroencephalograph is the use of a wireless amplifier, which allows working with passive and active electrodes, wet and dry, which reduces the time it takes to prepare a patient for examination.

A study using a miniature multichannel electroencephalograph using the DAFCAR method reveals the psychophysiological state of the patient with high reliability.

**Keywords:** electroencephalography, electroencephalograph, method of dispersion of amplitude-frequency characteristics of the alpha rhythm.

Дисперсия амплитудно-частотных характеристик альфа-ритма – сокращенно ДАЧХАР или метод Росмана – это метод скрининга для оценки психического здоровья, включающий 3- или 5-минутную регистрацию ЭЭГ в состоянии покоя и 3-минутную пробу с гипервентиляцией легких [1]. Метод ДАЧХАР основан на предположении, что психопатология является следствием изменений в нейронно-глиальной сети головного мозга. Эти изменения определяются путем анализа абсолютных значений и спектральной дисперсии альфа-ритма стандартной ЭЭГ. Для визуальной оценки эти данные представлены в виде дисперсионных картограмм зависимости доли мощности от частоты и позиции ЭЭГ отведения.

Результатом обследования является количественное значение интегральной оценки психического здоровья (ИОПС), а также рекомендации по дальнейшему обследованию пациента. Значение ИОПС представляет собой комплексную оценку психического здоровья на основе

анализа двух величин: нейрофизиологического уровня когнитивности (НУК) и нейрофизиологического уровня стрессоустойчивости (НУС). Значения НУК и НУС оцениваются по 6 базовым индексам ДАЧХАР[2].

С помощью метода ДАЧХАР можно определить возможные нарушения психики: от расстройства личности до шизотипического расстройства и синдрома профессионального выгорания, а также заболевания сосудистого, токсического и травматического типа[3].

Исследование методом ДАЧХАР поддерживается в программе Здоровье-экспресс на анализаторе-мониторе биопотенциалов головного мозга Нейровизор-БММ, однако это достаточно большой прибор и использование его должно проходить в специально оборудованном помещении. Поэтому был разработан миниатюрный 21-канальный электроэнцефалограф с усилителями постоянного напряжения, массой менее 20 гр. и габаритами менее 30x25x15 мм. Усилитель является беспроводным, может работать как с мокрыми, так и с сухими электродами, а также с активными электродами, что уменьшает время подготовки пациента для обследования. Масса электродного шлема составляет порядка 100 гр. [4].

Использование с помощью нового миниатюрного электроэнцефалографа можно проводить не в оборудованном помещении, понадобится только персональный компьютер (ПК), но он также может записывать ЭЭГ на встроенную карту памяти.

Программное обеспечение NeoRes для данного энцефалографа будет поддерживать метод ДАЧХАР, также как и проведение ЭЭГ в режиме реального времени.

Преимуществами использования миниатюрного многоканального электроэнцефалографа являются [5-7]:

- Выявление с высокой достоверностью психофизиологического состояния пациента (чувствительность метода ДАЧХАР 96%, специфичность – 92%).
- Быстрое и точное установление психофизиологического состояния пациента.
- Малое время подготовки пациента к обследованию: с мокрыми электродами менее 10 минут, с сухими менее 1 минуты.
- Данные при каждом обследовании записываются на ПК или на карту памяти усилителя.

## Источники

1. Иванов Л.Б. Спектр мощности ЭЭГ: ошибки и практика применения (лекция вторая). Дисперсионный анализ ЭЭГ по Росману // Медицинский алфавит. 2022. №9. С. 38-43.
2. Росман С.В. Нейрофизиологические основы экспертизы в психиатрии // Российский кардиологический журнал. 2023;28(5S). С. 13.
3. Росман С.В., Шпак Л.В. Новые подходы к оценке полиморфизма альфа-ритма энцефалограмм в диагностике шизофрении // Психиатрия. 2013. 6. С. 64-69.
4. Catalog NEUROPHYSIOLOGY [Электронный ресурс]. <https://mks.ru/en/support/promo/>, 07.09.2023.
5. Rob. N. Khizbullin, L.S. Sabitov, Rad. N. Khizbullin, P.P Pavlov, A.N. Khusnutdinov and A.R. Abdullina /Medical and Biological Problems in the Control of Therapeutic Exposure Parameters in Sports Medicine and Ways of Their Solution in New Medical Instruments and Systems. ISTC-IETEM-2019.
6. R.N. Khizbullin, E.M. Khusnutdinova, P.P Pavlov, V.P. Fandeyev, A. N. Khusnutdinov and I.V. Cherepenkin /Comprehensive test procedure for digital instruments and devices of automated versatile systems. E3S Web of Conferences 157, KTTI-201901005 (2020).
7. Robert Khizbullin, Radik Khizbullin, Valerii Galiakhmetov /Instrument implementation of an automated complex for recording physiological parameters of drivers. E3S Web of Conferences 157, KTTI-2019, 01005 (2020).

УДК 621.3.029: 616.12 – 008.64

## ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТУЮ СИСТЕМУ РАБОТНИКОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Ева Сергеевна Снежинская <sup>1</sup>, Аида Радиковна Абдуллина <sup>2</sup>

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. Роберт Накибович Хизбуллин

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г.Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>s.theses@mail.ru, <sup>2</sup>77aida77@gmail.com

**Аннотация.** В тезисе рассматривается влияние электромагнитных полей (ЭМП) на сердечно-сосудистую систему работников железнодорожного транспорта. Долгосрочное воздействие высоких и сверхвысоких частот ЭМП связано с изменениями в сердечной активности, а исследования магнитных полей сверхнизких

частот показывают высокую заболеваемость ишемической болезнью сердца (ИБС) среди машинистов и жителей, находящихся рядом с линиями электропередачи.

**Ключевые слова:** электромагнитное поле, сердечно-сосудистая система, ишемическая болезнь сердца, промышленный магнитный фон.

## **INFLUENCE OF ELECTROMAGNETIC FIELDS ON THE CARDIOVASCULAR SYSTEM OF RAILWAY TRANSPORT WORKERS**

Eva S. Snezhinskaya <sup>1</sup>, Aida R. Abdullina <sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan, Russia

<sup>1</sup>s.theses@mail.ru, <sup>2</sup>77aida77@gmail.com

**Abstract.** This thesis examines the impact of electromagnetic fields on the cardiovascular system. Long-term exposure to high and ultra-high frequency EMFs is associated with changes in cardiac activity, while research on extremely low-frequency magnetic fields shows a high prevalence of ischemic heart disease among locomotive engineers and residents living near power transmission lines.

**Keywords:** electromagnetic field, cardiovascular system, ischemic heart disease, industrial magnetic background.

Сердечно-сосудистая система человека сильно взаимосвязана с его нервной системой и реагирует на электромагнитные поля (ЭМП). Сердце, как биоэлектрическая система, реагирует на внешние электросигналы.

Исследования с начала 1960-х годов [1] показали, что регулярное воздействие высоких и сверхвысоких частот ЭМП ведет к схожим изменениям в сердечно-сосудистой системе: снижению артериального давления, замедлению сердечного ритма и задержке проводимости внутри желудочков сердца.

Анализ результатов долгосрочных исследований [2] сосредоточены на влиянии магнитных полей сверхнизких частот на сердечно-сосудистые заболевания. Данные исследования включали машинистов разных видов железнодорожного транспорта, где магнитные поля превышали геомагнитное поле в сравнении с городским населением. У машинистов электролокомотивов обнаружена более высокая заболеваемость ИБС по сравнению с машинистами электропоездов [5]. В результате анализа выяснено, что ИБС начинается у машинистов электролокомотивов в молодом возрасте 20-29 лет, в то время как у машинистов электропоездов -

только с 40 лет. Результаты медицинских исследований представлены в таблице.

Распространенность сердечно-сосудистых заболеваний среди работников железнодорожного транспорта и городского населения

Исследуемые группы	Заболеваемость (на 1000 человек)			
	20-29 лет	30-39 лет	40-49 лет	50-59 лет
Машинисты и их помощники	33,9	81,1	198,7	288,7
Обслуживающий персонал ж/д транспорта	22,6	54,7	110,7	210,5
Городское население	16,4	47,2	110,9	197,7

Приведенные выше результаты подтверждаются другим исследованием, которое показывает, что заболеваемость ИБС и гипертонической болезнью среди машинистов метрополитена в 2 раза выше по сравнению с наземными бригадами обслуживания [3]. Также было обнаружено, что жители, проживающие близко к линиям электропередачи (ЛЭП), имеют более высокое распространение артериальной гипертензии.

Имеются результаты анализа влияния промышленного магнитного фона на случаи сердечно-сосудистой патологии [4]. Этот анализ показал выраженную цикличность числа инфарктов миокарда: увеличение в будни и снижение в выходные (см. рисунок 1). Это связано с интенсивной работой промышленных источников, вызывающих увеличение искусственного магнитного поля.

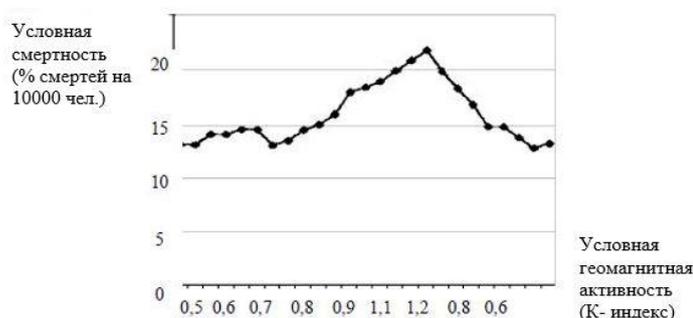


Рис. 1. Смертность от сердечно-сосудистых заболеваний в связи с естественными колебаниями геомагнитной активности

Таким образом, связь между магнитными полями и сердечно-сосудистыми заболеваниями требует дальнейшего исследования, учитывая их влияние на разные аспекты здоровья работников городского рельсового и железнодорожного транспорта.

### **Источники**

1. Ультранизкочастотные магнитные поля от электротяги как профессиональный фактор риска ИБС / Н.Г. Птицина, В.А. Кудрин, Дж. Виллорези и др. // Медицина труда и пром. экология. - 1996. - Т. 12. - С. 22 - 25.

2. Оптико-электронные приборы и биодозиметрический контроль в медицине: монография / А.И. Ларюшин, Р.Н. Хизбуллин. - Казань: Казан. гос. энерг.ун-т, 2018. - 248 с.

3. Robert Khizbullin, RadikKhizbullin, ValeriiGaliakhmetov /Instrument implementation of an automated complex for recording physiological parameters of drivers. E3S Web ofConferences 157, КТТИ-2019, 01005 (2020).

4. Корневский Н. А. и др. Прогнозирование ишемической болезни сердца у работников локомотивных бригад на основе гибридных нечетких моделей //Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2020. – Т. 8. – №. 3. – С. 4-5.

5. Орлова Н. В., Старокожева А. Я. Факторы риска сердечно-сосудистых заболеваний среди машинистов локомотивов железнодорожного транспорта //Медицинский алфавит. – 2020. – №. 2. – С. 37-40.

## **СНИЖЕНИЕ УРОВНЯ ПСИХОЭМОЦИОНАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ И СТРЕССА НА ОСНОВЕ ОЦЕНКИ РАБОТЫ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ПОМОЩИ БОС**

Софья Юрьевна Тверская

Науч. рук. д-р техн. наук, доц. Александр Юрьевич Тычков

ФГБОУ ВО «ПГУ», г. Пенза, Россия

tverskaya\_sofya@mail.ru.

**Аннотация.** Достаточное число современных научных исследований в области медицины направлено на снижение психоэмоционального напряжения и стресса у людей. В настоящее время учащается использование музыки в терапии для восстановления эмоционального здоровья и для определения клинически значимых параметров психического здоровья инвалидов в условиях его свободной двигательной активности. В работе представлен алгоритм восстановления психоэмоционального состояния человека с применением биологической обратной связи (БОС) для оценки состояния человека и дальнейшего улучшения программы восстановления.

**Ключевые слова:** ЭЭГ, биологическая обратная связь, внешнее музыкальное воздействие, психоэмоциональное напряжение, стресс, эмоциональное здоровье.

## **REDUCING PSYCHOEMOTIONAL TENSION AND STRESS BASED ON ASSESSMENT OF THE FUNCTION OF THE NERVOUS SYSTEM WITH THE HELP OF BFB**

Sofya Yu. Tverskaya

PSU, Penza, Russia

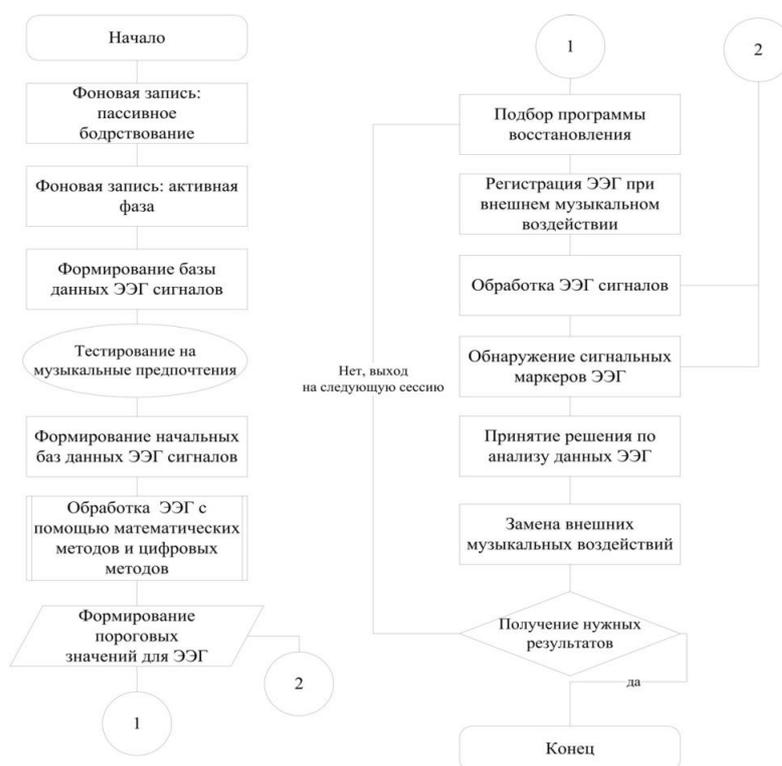
tversky\_sofya@mail.ru

**Abstract.** A sufficient number of modern scientific research in the field of medicine is aimed at reducing psycho-emotional tension and stress in people. Currently, the use of music in therapy to restore emotional health and to determine clinically significant parameters of the mental health of disabled people in conditions of free motor activity is becoming more frequent. The paper presents an algorithm for restoring a person's psycho-emotional state using biofeedback (BFB) to assess the person's condition and further improve the recovery program.

**Keywords:** EEG, biofeedback, external musical influence, psycho-emotional stress, stress, emotional health.

В современном мире тема снижения уровня психоэмоционального напряжения и стресса достаточно актуальна. Существует множество способов, которые позволяют это сделать, и постоянно разрабатываются новые методы.

Музыка активно используется в программах снижения уровня стресса человека. Исследование влияния внешних музыкальных воздействий на человека позволяют повысить эффективность реабилитации психического здоровья человека. Известны исследования [1, 2], изучающие терапевтическое применение музыки для коррекции различных патологических состояний и реабилитации человека. Так же выделяются результаты использования музыки в процедурах тренингов по принципу биологической обратной связи [3]. Автором были проведены первоначальные исследования о влиянии музыки на человека [4, 5] и получены первые данные. В данной работе представлен алгоритм восстановления психоэмоционального состояния человека (см. рисунок).



Алгоритм восстановления психоэмоционального состояния человека с применением биологической обратной связи

Биологическая обратная связь введена как элемент контроля состояния. Она позволяет оценивать состояние человека, а также совершенствовать программу восстановления психоэмоционального состояния человека. То есть осуществляется подбор внешних музыкальных

воздействий в соответствии с реакцией человека на них, полученной из обработки и анализа ЭЭГ.

Суть алгоритма заключается в регистрации ЭЭГ в спокойном состоянии и при внешних музыкальных воздействиях, в зависимости от музыкальных предпочтений испытуемых. После регистрации проводится сравнение результатов ДО/ПОСЛЕ внешнего воздействия, то есть обработка ЭЭГ (цифровая и математическая) и сравнение данных результатов. Дополнительно проводится субъективный анализ в виде тестов с испытуемыми ДО/ПОСЛЕ воздействий и сравнивается с результатами обработанных ЭЭГ. При воздействии оказывают влияние так же музыкальные предпочтения испытуемых, которые заранее анализируются при помощи тестов.

### Источники

1. Федотчев А. И., Радченко Г. С. Музыкальная терапия и музыка мозга: состояние, проблемы и перспективы исследований. Успехи физиол. наук. 2013. Т. 44 №4. С. 34-48.

2. Федотчев А.И. Возможности коррекции психофизиологического состояния человека с помощью музыкальных воздействий, управляемых биопотенциалами мозга пациента // Психическое здоровье. 2013. Т. 11. № 3. С. 51-55.

3. Федотчев А. И., Бондарь А. Т., Парин С. Б., Полевая С. А., Бахчина А. В., Радченко Г. С. Эффекты музыкально-акустических воздействий, управляемых ЭЭГ осцилляторами субъекта. Рос.физиол. журн. им. И.М. Сеченова. 2015.Т.101 №8. С. 970-977.

4. Тверская, С. Ю. Влияние музыки на мозг человека / С. Ю. Тверская // Тинчуринские чтения - 2023 "Энергетика и цифровая трансформация": Материалы Международной молодежной научной конференции. В 3-х томах, Казань, 26–28 апреля 2023 года / Под общей редакцией Э.Ю. Абдуллазянова. Том 1. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2023. – С. 544-547. – EDN NPLXNL.

5. С. Ю. Тверская, А. Ю. Тычков, А. К. Алимуратов Способ адаптивной коррекции эмоционального состояния посредством музыкального воздействия // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2023. – Т. 26, № 2. – С. 44-49

## ВОЗДЕЙСТВИЕ ЭМП НА ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ И ЧЕЛОВЕКА

И.В. Токтаров<sup>1</sup>, Э.А. Мухамедзянов<sup>2</sup>, Р.Р. Мухаметзянов<sup>3</sup>

Науч. рук. д.т.н., проф. Р.Н. Хизбуллин

<sup>1,2,3</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

<sup>1</sup>toktarovigor@outlook.com, <sup>2</sup>emil20.03.012@gmail.com,

<sup>3</sup>rishat05282000@gmail.com

**Аннотация.** Воздействие ЭМП на электромобили и здоровье человека остается предметом активных исследований и дискуссий. Для обеспечения безопасности и надежности электромобилей, производители должны уделять внимание ЭМС и ЭМП-совместимости, а также разрабатывать соответствующие меры защиты. Нарушение электромагнитной совместимости может привести к сбоям в работе устройств, перебоям в передаче данных, а также к серьезным последствиям, особенно в случае критически важных систем, таких как медицинское оборудование и системы безопасности.

**Ключевые слова.** ЭМС, электромобиль, электромагнитная индукция, магнитное поле, безопасность, электротранспорт.

## IMPACT OF EMF ON ELECTRIC VEHICLE EQUIPMENT AND HUMAN HEALTH

I.V. Toktarov<sup>1</sup>, E.A. Mukhamedzyanov<sup>2</sup>, R.R. Mukhametzyanov<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>toktarovigor@outlook.com, <sup>2</sup>emil20.03.012@gmail.com,

<sup>3</sup>rishat05282000@gmail.com

**Abstract.** The impact of Electromagnetic Fields (EMF) on electric vehicles and human health remains a subject of active research and discussion. To ensure the safety and reliability of electric vehicles, manufacturers must focus on Electromagnetic Compatibility (EMC) and EMF compatibility and develop appropriate protective measures. Violation of electromagnetic compatibility can lead to malfunction of devices, data interruptions, as well as serious consequences, especially in the case of critical systems such as security systems.

**Keywords:** EMC, electric vehicle, electromagnetic induction, magnetic field, electric transport.

Электромагнитная совместимость (ЭМС) – это способность электронных устройств, систем и оборудования работать в одном и том же электромагнитном окружении без взаимных помех. ЭМС означает, что устройства не должны испытывать нежелательных электромагнитных воздействий, которые могли бы повлиять на их нормальное функционирование, и не должны самостоятельно создавать такие помехи для других устройств. ЭМС играет критическую роль в электротранспорте, особенно в современных электрических и гибридных автомобилях. Перебои или отказы в работе электроники в автомобилях могут привести к серьезным аварийным ситуациям. ЭМС обеспечивает стабильную работу ключевых систем электромобиля, что важно для безопасности водителей, пассажиров и других участников движения. ЭМС также имеет значение для комфорта и удобства пассажиров. Электроника в автомобиле может влиять на работу систем комфорта, таких как радио, системы связи и системы развлечений. Хорошо спроектированная и совместимая электроника обеспечивает бесперебойную работу этих систем. Многие страны и регионы имеют строгие нормы и стандарты, касающиеся электромагнитной совместимости для электротранспортных средств. Несоблюдение стандартов может привести к юридическим проблемам и запрету продаж автомобилей [1].

В электромобилях существует множество электронных систем, и несколько из них подвержены наибольшему влиянию электромагнитной совместимости (ЭМС) из-за их важной роли и чувствительности к электромагнитным помехам. Электронные системы управления двигателем, батарейная управляющая система, системы рекуперативного торможения, системы связи и навигации. Наибольшее количество магнитных помех в электромобилях связано с работой электрического двигателя [2].

Производители автомобилей применяют несколько методов и стратегий для обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) автомобилей, в том числе экранирующие материалы для изготовления корпусов критических компонентов, такие как электрические двигатели и инверторы. Экранирование помогает предотвратить распространение магнитных помех за пределы компонента и защищает близлежащие системы. Установка фильтров и дросселей на электрических линиях и кабелях может помочь уменьшить высокочастотные помехи. Правильное заземление и развязка компонентов и систем помогают предотвратить распространение помех по электрическим цепям. Электромобили оснащены блоками управления и фильтрами, которые обеспечивают

дополнительную защиту от магнитных помех, а также кабели и провода с хорошими свойствами сдерживания электромагнитных помех [3].

Эффекты воздействия электромагнитных полей на человека могут накапливаться при продолжительном и многолетнем воздействии, и это может привести к возникновению отдаленных последствий, включая дегенеративные процессы в центральной нервной системе, возможные случаи рака крови (лейкоза), опухолей мозга и нарушений гормонального баланса. Дети, беременные женщины (включая эмбрионы), а также люди с заболеваниями центральной нервной системы, проблемами гормонального фона, болезнями сердца и сосудов, аллергиями и ослабленным иммунитетом могут быть особенно уязвимыми. Люди, подвергшиеся длительному воздействию электромагнитных полей, могут испытывать физические и психологические симптомы, включая слабость, раздражительность, быструю утомляемость, нарушения памяти, сна и внутреннего состояния. Эти симптомы могут усиливаться со временем и влиять на качество жизни. Учитывая важную роль коры больших полушарий и гипоталамуса в психическом функционировании человека, длительное и многократное воздействие на уровни электромагнитных излучений, допустимые для человека, может способствовать развитию психических расстройств.

Разработка и внедрение более строгих и совершенных стандартов ЭМС для транспортных средств, инвестирование в исследования и разработки новых технологий и материалов, применение современных технологий, таких как беспроводные коммуникации и цифровые сети - методы развития ЭМС в транспорте. Оно имеет большое значение, поскольку способствует улучшению надежности, безопасности для людей и эффективности транспортных средств

### **Источники**

1. Электромагнитная совместимость электрооборудования электроэнергетики и транспорта. В.Н.Яковлев, В.И.Пантелеев, В.П. Суров, Издательский дом МЭИ, 2010. – 588с.

2. R.N. Khizbullin, E.M. Khusnutdinova, P.P Pavlov, V.P. Fandeyev, A. N. Khusnutdinov and I.V. Cherepenkin /Comprehensive test procedure for digital instruments and devices of automated versatile systems. E3S Web of Conferences 157, KTTI-201901005 (2020).

3. Сафиуллин, Р.Н. Системы тягового электропривода транспортных средств : учебное пособие / В.В. Резниченко; Р.Н. Сафиуллин .— Москва : Директ-Медиа, 2020 .— 365 с.

УДК 577.3

## ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА

Эдгар Николаевич Тюгелев<sup>1</sup>, Ленар Олегович Уткин<sup>2</sup>

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. Роберт Накибович Хизбуллин

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>tugelev22@mail.ru, <sup>2</sup>lenar\_1101@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассмотрены вопросы о том, как электромагнитное поле влияет на организм человека и к каким заболеваниям он может привести. Представлены последствия влияния электромагнитных полей, а также предложены профилактические меры.

**Ключевые слова:** электромагнитное поле, организм человека, заболевания, последствия, профилактические меры.

## INFLUENCE OF ELECTROMAGNETIC FIELDS ON THE HUMAN BODY

Edgar N. Tyugelev<sup>1</sup>, Lenar O. Utkin<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>tugelev22@mail.ru, <sup>2</sup>lenar\_1101@mail.ru

**Abstract.** The article considered questions about how the electromagnetic field affects the human body and what diseases it can lead to. The consequences of the influence of electromagnetic fields are presented, and preventive measures are proposed.

**Keywords:** electromagnetic field, human body, diseases, consequences, preventive measures.

За последние несколько десятилетий влияние электромагнитных полей (ЭМП) на человеческий организм значительно увеличилось. Ежедневно современный человек подвергается воздействию электромагнитных полей и волн: излучений сотовых вышек, мобильных телефонов, высоковольтных линий передач, электротранспорта,

микроволновых печей и других устройств. В медицинских учреждениях во время проведения рентгенологических исследований.

Уровни ЭМП, вызывающие реакцию организма у гиперчувствительных людей, значительно ниже уровней, обычно вызывающих неблагоприятные последствия для здоровья.

От длины волны зависит насколько глубоко может распространяться ЭМП. Длинноволновые поля оказывают специфическое воздействие на внутренние органы, спинной и головной мозг, а коротковолновые воздействуют только на кожу. Влияние источников с повышенным уровнем ЭМП на здоровье человека более выражено. Высокочастотная электромагнитная стимуляция разогревает ткани тела. Ионные токи крови вызывают повреждение клеток [1-3].

Из-за недостаточной терморегуляции мозг и другие органы (в том числе почки и ткани человека) более восприимчивы к радиационному воздействию. Заболевания в тканях и органах возникают из-за перегрева. Это электромагнитное поле может подавлять рефлекс, снижать кровяное давление, замедлять сердечные сокращения, изменять состав крови и затуманивать хрусталик глаза.

Человеческий организм всегда реагирует на электромагнитное поле. Тем не менее, чтобы эта реакция стала патологической и привела к развитию заболевания, требуются определенные условия: высокий уровень поля и продолжительное воздействие. При длительном воздействии электромагнитного поля на организм, биологический эффект накапливается со временем, что может привести к возникновению отдаленных последствий, таких как центральные нервные системы, рак крови, опухоли мозга и гормональных расстройств.

Симптомы, которые обычно наблюдаются у лиц с гиперчувствительностью: нервная система (усталость, напряжение, нарушения сна); кожа (покалывание, жжение, высыпания); тело (ломота и боль в мышцах); глаза (жжение); ряд незначительных симптомов, затрагивающих уши, нос и горло, а также расстройства желудка.

Негативное влияние ЭМП на иммунный ответ организма описаны во множестве научных статей [1-5], где показаны, что в ответ на ЭМП процессы иммуногенеза нарушаются, зачастую в сторону их подавления.

В настоящее время во весь рост встала проблема эффективной защиты биосферы от техногенных электромагнитных полей [4-5]. Полученные научные результаты за последние десятилетия позволяют в подробностях проследить первичные биофизические механизмы взаимодействия ЭМ волн с живыми организмами, сформулировать на этой

основе научно обоснованные рекомендации по снижению риска для населения в связи с растущим повсеместно электромагнитным загрязнением окружающей среды.

### Источники

1. Африканова Л. А. Влияние электромагнитного излучения различных режимов на сердечную деятельность (в эксперименте) / Л. А. Африканова, Ю. Г. Григорьев // Радиационная биология. Радиоэкология. – 1996. – Т. 36, № 5. – С. 691–699
2. Корепанова, А. С. Электромагнитное излучение, его воздействие на человека / А. С. Корепанова. —// Молодой ученый. — 2017. — № 37 (171). — С. 7-10.
3. А.Н. Кузнецов Биофизика электромагнитных воздействий.- М.: Энергоатомиздат, 1994-206 с.
4. Неганов В. А. Особенности воздействия электромагнитных волн КВЧ диапазона на биологические объекты: Основные направления научных исследований и тенденции и в разработке КВЧ аппаратуры // Вестн. новых мед. технологий 1994 - Т.1, №2.- С. 13-18.
5. Оптико-электронные приборы и биодозиметрический контроль в медицине: монография / А.И. Ларюшин, Р.Н. Хизбуллин. - Казань: Казан. гос. энерг.ун-т, 2018. - 248 с.

УДК: 612.821.7

## СИСТЕМЫ ОТСЛЕЖИВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ВОДИТЕЛЯ

Альфина Марсовна Хайруллина<sup>1</sup>, Снежана Андреевна Семенова<sup>2</sup>

Науч. рук. д.т.н, проф. Роберт Накибович Хизбуллин

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>Alfinochka.marsovna17@mail.ru, <sup>2</sup>snezhana.semenova-2003@mail.ru

**Аннотация.** В данной работе проводится анализ существующих систем контроля за состоянием водителя на дороге. Рассматривается алгоритм работы систем, которые используются различными производителями автомобилей.

**Ключевые слова:** система мониторинга, алгоритм, безопасность движения, автомобиль.

## DRIVER STATUS TRACKING SYSTEMS

Alfina M. Khairullina<sup>1</sup>, Snezhana A. Semenova<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>Alfinochka.marsovna17@mail.ru, <sup>2</sup>snezhana.semenova-2003@mail.ru

**Abstract.** In this paper, the analysis of existing systems for monitoring the condition of the driver on the road is carried out. The algorithm of operation of systems that are used by various car manufacturers is considered.

**Keywords:** monitoring system, algorithm, traffic safety, car.

В настоящее время многие дорожно-транспортные происшествия (ДТП) случаются из-за нескольких причин: нетрезвое состояние водителя, сложные дорожные условия, усталость водителя. Именно по этим причинам многие автопроизводители стараются интегрировать в свои автомобили системы, позволяющие обеспечивать безопасное движение всем участникам дорожного движения.

Состояние усталости и переутомления могут снижать внимание водителя на 50% и более, что существенно увеличивает вероятность возникновения ДТП[1]. Как правило, во время длительных поездок усталость приходит быстрее, в частности, в тёмное время суток. При управлении автомобилем необходимо повышенное внимание, а это в свою очередь, влияет на нагрузку зрительных органов. Долгие поездки в тёмное время суток и плохие погодные условия увеличивают накопление усталости, что сказывается на ухудшении внимания.

Для предупреждения водителя о потенциально опасном состоянии многие автопроизводители внедряют системы, которые способны определять отклонение состояния от нормы по признакам мимики и глаз. Наиболее часто состояние водителя определяется с помощью видеонаблюдения. Такая система следит не только за мимикой, но и за положением головы, отличного от вертикального состояния [2-3]. В прошлом системы контроля только оповещали водителя об утомлённом состоянии, но современные системы могут влиять на процесс управления автомобилем с дополнительным предупреждением о риске возникновения ДТП.

В 1977 году компания Nissan первая запатентовала и разработала систему контроля за состоянием водителя. В основе системы лежит контроль состояния в начале поездки с целью определения стиля вождения и реакции, где значения принимались за эталонные, а также в течение всей

поездки, для контроля за изменением поведения водителя. В случае выявления системой усталости водителя подавался сигнал о необходимости отдыха.

Если говорить об отечественных разработках в сфере контроля состояния водителе, то можно рассмотреть систему компании «КСОР Групп» – Антисон [4]. Данная система работает за счёт трёх технологий: искусственного интеллекта, интернета вещей и граничных вычислений. Соответственно, комплекс тоже состоит из трёх блоков: устройства наблюдения; нейросети, которая обучается на основе размеченного DataSet и до обучается в процессе эксплуатации; центра мониторинга, где накапливается информация по автопарку и круглосуточно работают диспетчеры. Принцип работы системы следующий – на водителя направлена ИК-видеокамера с широкой зоной покрытия, информацию обрабатывает вычислительный модуль с функцией сбора и анализа информации на основе нейросети. Видеокамера работает в постоянном режиме, которая фокусируется на 30 лицевых точках водителя. Антисон отличается от многих аналогов точностью распознавания событий, что позволяет настраивать распознавание тревожных событий под пользователя. Тревожными признаками является: закрытые глаза, зевание, частые моргания, определенные жесты [5]. Если система определяет, что состояние водителя свидетельствует о потере концентрации, в кабину поступает звуковой сигнал со световой индикацией.

Антисон уже устанавливается в общественном транспорте города Москва с 2018 года, что позволило снизить количество ДТП с участием общественного транспорта на 30%.

Важно отметить, что система постоянно совершенствуется и все данные можно получить в режиме реального времени, которая включается каждый раз во время начала смены. В случае отключения камеры, диспетчер сразу же выясняет причину отключения и оповещает владельца транспорта. Также планируется внедрять мониторинг работоспособности транспортного средства.

Подводя итоги, можно сказать, что системы контроля состояния водителя в будущем будут занимать важное место в безопасности дорожного движения. Внедрение этих технологий может позволить не только осуществлять контроль за водителями общественного транспорта, но и всех водителей в целом, что позволит снизить вероятность ДТП по причинам усталости и других потенциально опасных признаков.

## Источники

1. Система распознавания усталости водителя. URL: <http://znanieavto.ru/komfort/datchik-ustalostivoditelya.html> (дата обращения: 27.10.2023)
2. Дементиенко В. В., Дорохов В. Б. Оценка эффективности систем контроля уровня бодрствования человека оператора с учетом вероятностной природы возникновения ошибок при засыпании // Журнал высшей нервной деятельности. 2013. Т. 63, № 1. С. 24–32.
3. Герус С. В., Дементиенко В. В., Шахнарович В. М. Система мониторинга состояния водителя и безопасность на автомобильном транспорте // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. 2009. № 8. С. 46–52.
4. Бонч-Бруевич В. В., Дементиенко В. В., Кремез А. С., Макаев Д. В. Дистанционный контроль бодрствования водителя в рейсе // Автоматизация в промышленности. 2015. № 2. С. 33–35.
5. Самофалов, И. В., Нефедьев А. И. Интеллектуальная система контроля психоэмоционального состояния водителя автотранспортного средства // Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт. 2020. № 2. С. 46–49.

## СОДЕРЖАНИЕ

### СЕКЦИЯ 1. КОНТРОЛЬ, АВТОМАТИЗАЦИЯ И ДИАГНОСТИКА ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ, ПОДСТАНЦИЙ И РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ

<b>Бапфутвабо Луи</b> Исследование частичных поверхностных разрядов на границе воздух/стекло между металлическими электродами. ....	3
<b>Гайфиева Л.Ф.</b> Сравнение особенностей эксплуатации масляных и элегазовых выключателей 110 кВ. ....	6
<b>Закиров И.И.</b> Анализ принципов работы электронных стабилизаторов напряжения. ....	9
<b>Закиров Д.Ф., Захаров А.В.</b> Динамика развития разрядов на загрязненной поверхности изоляторов в процессе их увлажнения	12
<b>Исаева О.В., Рамазанова Р.И.</b> Моделирование игры «оптовые рынки электроэнергии» ....	15
<b>Казакова Д.В.</b> Возможности интеграции возобновляемых источников энергии в электросетевой комплекс. ....	17
<b>Махмутов А.Д.</b> Экспериментальная вибродиагностика опоры ВЛ 220 кВ. ....	21
<b>Махмутов А.Д.</b> Практические методы диагностирования линий электропередач. ....	24
<b>Махмутов А.Д.</b> Виды диагностики для решения задач в электроэнергетике. ....	27
<b>Назмутдинова Л.М.</b> Интегрированные системы предоставления и получения диагностической информации в АСУТП. ....	30
<b>Ньетерейе Фредерик</b> Расчёт радиальной напряженности электрического поля на поверхности диэлектрического барьера измерительной ячейки. ....	33
<b>Самойлов П.В.</b> Обзор методов диагностики асинхронных двигателей в процессе эксплуатации. ....	36
<b>Самойлов П.В.</b> Оценка ресурса изоляции обмоток асинхронного двигателя. ....	39
<b>Семерякова О.В.</b> Оценка перспектив применения активных молниеотводов на объектах электрогенерации. ....	42

<b>Сираев К.Р., Вагапов А.И.</b> Частичные разряды в изоляции высоковольтного оборудования. . . . .	45
<b>Таджиев Х.М.</b> Задачи контроля изоляции воздушных линий электропередачи. . . . .	48
<b>Таджиев Х.М.</b> Структурная схема датчика тока утечки и алгоритм его работы. . . . .	51

## **СЕКЦИЯ 2. ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ, НАДЕЖНОСТЬ, ДИАГНОСТИКА**

<b>Абдурашитов С.Ф., Любишев А.А.</b> Определение технического состояния изоляторов методом свободных колебаний с использованием лазерных технологий . . . . .	55
<b>Бусеккин Ш.А., Вагапов Г.В.</b> Моделирование частичных разрядов в твердом диэлектрическом материале . . . . .	58
<b>Валюк А.С., Кузеев Д.Р., Галиева Т.Г.</b> Роботизированное беспилотное устройство для ремонта ВЛЭП под напряжением. . . . .	61
<b>Гайнутдинов А.А., Максимов В.В.</b> Математические методы оценки качества работ двухуровневых автоматизированных систем управления. . . . .	65
<b>Гайнутдинов А.А., Максимов В.В.</b> Экономическая эффективность двухуровневых автоматизированных информационно-измерительных систем контроля и учета электроэнергии. . . . .	67
<b>Галиева А.И.</b> Влияние ветра на воздушные линии электропередачи и причины их повреждений. . . . .	70
<b>Иксанова Э.Р., Валиуллин С.Р.</b> Методы диагностики изоляции. . . . .	73
<b>Иркагалиева И.И.</b> Моделирование переходного процесса в трехпроводной линии . . . . .	76
<b>Иркагалиева И.И.</b> Моделирование переходного процесса в однопроводной линии с нагрузкой в виде параллельного колебательного контура. . . . .	79
<b>Кадирова А.Т., Козлов В.К., Минегалиев И.М.</b> Определение влагосодержания трансформаторного масла визуальным способом. . . . .	82
<b>Каминский С.О., Мухаметжанов Р.Н.</b> Переход к сетям SMART GRID: Новые вызовы в оценке надежности. . . . .	86
<b>Картузов П.Н., Валиуллина Д.М.</b> Востребованность распределенной и децентрализованной генерации . . . . .	90

<b>Кузеев Д.Р., Валюк А.С., Любишев А.А.</b> Роботизированное беспилотное устройство для диагностики проводов и изоляторов ВЛЭП. ....	93
<b>Кустов Р.Ю., Куракина О.Е.</b> Причины возникновения гармоник в силовой сети. ....	97
<b>Любишев А.А., Абдурашитов С.Ф.</b> Анализ решений по диагностике дефектов перегрева оборудования подстанции на основе технологии тепловизионной съёмки. ....	100
<b>Минегалиев И.М.</b> Определение влагосодержания трансформаторного масла методом Карла Фишера. ....	103
<b>Рахимов А.И.</b> Влияние регулярного технического обслуживания кабельных линий на стабильность электроснабжения. ....	105
<b>Субханова А.М., Куракина О.Е.</b> Применение натуральных эфиров в качестве изоляционной жидкости в трансформаторах. ....	108
<b>Тухфатуллин И.Р.</b> Удельные параметры и постоянная распространения для линий 10 и 220 кВ. ....	111
<b>Фарраев А.И., Максимов В.В.</b> Влияние внедрения системы автоматического восстановления сети 6/10 кВ на показатели SAIDI и SAIFI. ....	114
<b>Шипиловских Н.А.</b> Влияние силовых моментов на электроустановки. ....	117
<b>Яхин Ш.Р., Галиев И.Ф.</b> Анализ методов оценки эффективности мероприятий по модернизации распределительных сетей. ....	119

### СЕКЦИЯ 3. ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ

<b>Антипов В.В.</b> Эффективное управление нагрузкой как инструмент оптимизации системы электроснабжения. ....	123
<b>Гаффанова А.Р.</b> Анализ применения автоматизированной системы управления освещения. ....	125
<b>Гусаров А.Г.</b> Преимущества установки устройств защиты от дуговых пробоев и искровых промежутков в эксплуатируемых жилых и общественных зданиях. ....	128
<b>Зотина А.А.</b> Освещение многоквартирных домов. ....	133
<b>Калимуллин А.И.</b> Эффективное использование автоматизации для оптимизации процессов в электроэнергетике. ....	136
<b>Латыпов И.А.</b> Роль и значимость смарт-сетей в современной электроэнергетике. ....	139

<b>Мазитов Д.Р., Исаков В.М., Галеева Р.У.</b> Учет профиля нагрузки при расчете повышающих коэффициентов в зависимости от соотношения активной и реактивной мощности. ....	142
<b>Нагимуллина А.Л.</b> Системы мониторинга и диагностики воздушных ЛЭП. ....	145
<b>Нагимуллина А.Л., Гаврилов В.А.</b> Автоматизация распределительных сетей с применением технологии ATS на основе RTU. ....	148
<b>Назмутдинова Л. М.</b> Оптимальная диспетчеризация каскадных гидроэлектростанций. ....	151
<b>Олейник Ф.Ю., Куракина О.Е.</b> Причины возникновения потерь при передаче электроэнергии. ....	154
<b>Петров А.Р.</b> Анализ показателей надежности магнитных пускателей внутрицехового электроснабжения. ....	157
<b>Петрова Р.М.</b> Отказоустойчивость низковольтного электрооборудования на примере автоматических выключателей, магнитных пускателей и контакторов. ....	160
<b>Пинин Д.И.</b> Проблемы электроснабжения крупных городов и мегаполисов. ....	163
<b>Сафин А.И.</b> Повышение пропускной способности в линиях электропередач (ЛЭП). ....	166
<b>Сафонов А.Ш., Галеева Р.У.</b> Влияние токоограничения на симметричный переходной процесс в кабельной линии. ....	169
<b>Хайруллин А.С.</b> Роль информационных технологий в современной электроэнергетике. ....	172
<b>Хасанов Т.А., Сафонов А.Ш.</b> Анализ зарубежных и отечественных цифровых систем контроля низковольтных выключателей. ....	175
<b>Хусаинов И.И.</b> Разработка и эффективное применение дугогасительной системы для разъединителя. ....	179
<b>Чернов Е.И.</b> Анализ технологий снижения потерь в электросетях разного класса напряжения. ....	181
<b>Шафигуллин А.Г.</b> Автоматизация систем электроснабжения. ....	184

## СЕКЦИЯ 4. ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА И СВЕТОТЕХНИКА. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ

<b>Аминов Э.А.</b> Сравнение различных способов корректировки светотеневой границы автомобильных фар .....	188
<b>Баганов М.А.</b> Измерение температуры с помощью микроконтроллера AVR .....	191
<b>Быков П.М.</b> Измерение и отображение параметров частичных разрядов при помощи контактного датчика с LCD-дисплеем .....	194
<b>Вагапов А.И.</b> Мониторинг состояния поверхности высоковольтного изолятора на основе машинного обучения .....	197
<b>Гараева А.Н.</b> Разработка цифрового измерителя температуры	200
<b>Елфутин М.Д.</b> Выбор датчиков тока и напряжения для монтажа в стенд «Силовой трансформатор» .....	203
<b>Елфутин М.Д.</b> Обработка данных платой Arduino Uno с датчиков измерения силы тока и электрического напряжения .....	205
<b>Закиев Ф.Ф.</b> Модернизация узла учета газа на базе расходомера ИРВИС-Ультра .....	208
<b>Климов Е.Д.</b> Сравнение монокристаллических и поликристаллических фотоэлементов .....	211
<b>Кочеткова А.А., Шакирзянов М.А.</b> Исследование разрядных процессов в высоковольтной изоляции оптическим (УФ) методом ..	214
<b>Маслов С.Ю.</b> Общий подход к построению учебных стендов по изучению работы микроконтроллеров на базе фон-неймановской структуры .....	217
<b>Муратов И.И.</b> Цифровой осциллограф для измерения медленно изменяющихся сигналов .....	220
<b>Помысова А.Ю.</b> Состояние и перспективы российской микроэлектроники .....	222
<b>Помысова А.Ю.</b> Обзор библиотек для программирования микроконтроллеров серии STM32 .....	225
<b>Романов А.С., Шакиров И.И.</b> Принцип действия и применение диодных оптронов с оптическим каналом открытого типа .....	228
<b>Сагитов Э.Р.</b> Методы диагностики дефектов разомкнутого контура в преобразователях силовой электроники .....	231
<b>Саидгараева Р.Р.</b> Сравнительный анализ точного расчета параметров автономного инвертора напряжения и приближенного метода основной гармоники .....	234

<b>Саидгараева Р.Р.</b> Обзор особенностей контроллера ТМ1637 при его подключении к 32-х разрядным микроконтроллерам . . . . .	237
<b>Сатдинов А.А.</b> Рекуперация электромобиля: восстановление энергии и повышение эффективности движения . . . . .	240
<b>Сахибгареева А.Р.</b> Система управления солнечными трекерами . . . . .	243
<b>Федотов В.В.</b> Гибридный датчик положения для сервоприводов . . . . .	246
<b>Хаметханов Р.Э.</b> Генератор сигналов на микросхеме . . . . .	249
<b>Шакиров И.И., Романов А.С.</b> Микроконтроллерное управление нагрузкой в электронных цепях переменного тока . . . . .	252
<b>Юсупова Д.А.</b> Многослойные печатные платы с высокой плотностью компонентов . . . . .	255
<b>Яникаева К.Ю.</b> Современное состояние и перспективы развития электроники в мире . . . . .	258
<b>Яникаева К.Ю.</b> О применении квантовых точек в нанoeлектронике. . . . .	261

## **СЕКЦИЯ 5. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ФИЗИКИ, ХИМИИ, МАТЕМАТИКИ**

<b>Аракчеев Д.В.</b> Решение проблемы интерференцирования звуковых волн в автозвуке . . . . .	265
<b>Билалов А.Р., Секенов А.С.</b> Антиферромагнетики в термоэлектрической энергетике . . . . .	268
<b>Дибает Р.Т.</b> Синтез, структура и особенности формирования бифазных гибридных композиций на основе бетона. . . . .	271
<b>Дмитриев Г.Н., Шириев Р.Р.</b> Квантовые сенсоры в медицине. . . . .	274
<b>Кедяров М.В.</b> О перспективах применения постоянного тока для питания электрооборудования. . . . .	277
<b>Китанин Д.С., Иванов В.В.</b> Проблемы температурной стабилизации при проведении ЯКР экспериментов в стибните $Sb_2S_3$ . . . . .	280
<b>Семенов М.Н., Мухаметзянов А.Р., Ахунов Д.Ф., Гайсин А.Ф.</b> Исследование вольт-амперной характеристики электролитно плазменной сварки стали и его сплавов . . . . .	282
<b>Филимонов А.А.</b> Создание моделей на основе пользовательских уравнений в Comsol multiphysics. . . . .	285
<b>Шипиловских Н.А.</b> Проблемы понятия материи. . . . .	287

**СЕКЦИЯ 6. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ.  
ЭЛЕКТРОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ И ЗАРЯДНАЯ  
ИНФРАСТРУКТУРА**

<b>Аксенов Р.Э., Сайфутдинов Ф.Ф., Сафин Т.В.</b> Сравнительная оценка характеристик тяговых аккумуляторов в электротранспорте. ....	291
<b>Галиев Р.Р., Хаткевич Д.М.</b> Способы улучшения качества регулирования. ....	296
<b>Кинёв Д.В., Афиногентов Д.А.</b> Анализ существующих технических решений в области тягового электропривода для электромобиля. ....	299
<b>Комиссаров Н.В., Лобанов С.А., Мугинов И.И.</b> Электромобильный транспорт и зарядная инфраструктура. ....	303
<b>Корнилов С.В., Кудинов Д.В.</b> Концепция комплексного проекта по развитию инфраструктуры и применения ТС на водородных ТЭ. ....	307
<b>Ндикурийо О.</b> Влияние способов прокладки кабельных линий на их тепловой режим эксплуатации. ....	312
<b>Саляхияев Р.Р., Вильданов И.И.</b> Современные направления развития систем электропривода в сфере электромобилей. ....	315
<b>Сафаров И.И.</b> Автомобильный транспорт на водородных топливных элементах: современное состояние. ....	318
<b>Сафиуллин Б.И., Аухадеев А.Э., Вахитов Х.Ф., Кинёв Д.В.</b> Изготовление опытного образца диагностического комплекса зарядных станций переменного тока. ....	322
<b>Сафиуллин Б.И., Аухадеев А.Э., Вахитов Х.Ф.</b> Разработка системы управления наземной беспилотной платформы с применением операционной системы ROS. ....	325
<b>Смирнова Д.И.</b> Асинхронные двигатели в промышленности. .	328
<b>Токтаров И.В., Мухамедзянов Э.А., Мухаметзянов Р.Р.</b> Разработка автоматизированного электропривода для электромобиля. ....	331
<b>Хаткевич Д.М., Галиев Р.Р.</b> Моделирование электропривода с электромагнитной порошковой муфтой. ....	333

## СЕКЦИЯ 7. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОБЕЗОПАСНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

<b>Бережной Я.А., Иванова В.Р.</b> Разработка и внедрение системы автоматического полива теплицы . . . . .	337
<b>Васильев А.В.</b> Влияние работы зарядно-выпрямительных устройств на качество электрической энергии на промышленных предприятиях. . . . .	340
<b>Денисова А.Р., Семенова О.Д., Мухаметова А.Р., Мухарлямов И.Р.</b> Влияние высших гармоник напряжения и тока на электрооборудование и оценка ущерба от нарушений показателей качества электроэнергии. . . . .	344
<b>Жукова А.А.</b> Основы безопасности труда в профессии токаря.	350
<b>Мухаметова А.Р.</b> Применение умных трансформаторов для повышения энергоэффективности. . . . .	353
<b>Павлов Д.В.</b> Перспективы развития батарей в электромобилях. . . . .	355
<b>Саттаров А.И.</b> Улучшение энергетических параметров генераторов путем изменения геометрии паза под обмотку ротора. . .	358
<b>Саттарова Г.А.</b> Повышение энергоэффективности парка силовых трансформаторов электрических станций . . . . .	361
<b>Шаяхметов Б.Р.</b> Анализ существующих способов автоматизации освещения мест общего пользования в многоквартирном доме. . . . .	364

## СЕКЦИЯ 8. БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА В ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СРЕДЕ

<b>Богданова А.Н.</b> Особенности обеспечения безопасности труда на комбинированной энергоустановке ветряных электростанций и солнечных фотоэлектрических установок. . . . .	368
<b>Богданова М.С., Шаяхметов Р.Р.</b> Сравнительный анализ мер безопасности и практик эксплуатации ветровых электростанций: обзор и рекомендации. . . . .	371
<b>Габдракипова Д.Л., Нуртдинова Г.Ф.</b> Зависимость работоспособности человека от температуры в помещении. . . . .	375
<b>Галимов А.И.</b> Эффективность систем мониторинга и контроля качества воздуха в рабочей среде для обеспечения безопасности труда. . . . .	378

<b>Закирова Р.И., Фаттахова К.И.</b> Анализ вредных производственных факторов на солнечных электростанциях. . . . .	381
<b>Замдиханова Д.Р., Гиззатова Р.Р.</b> Международный опыт и передовые практики в области безопасности труда. . . . .	383
<b>Иванова Д.Д.</b> Искусственный интеллект для обеспечения безопасности на производствах. . . . .	387
<b>Курмашова А.Р., Кунилова К.В.</b> БЖД в контексте формирования качества жизни населения. . . . .	390
<b>Миранов С.Р.</b> Разработка учебного стенда по испытаниям сиз. . . . .	393
<b>Мухаметзянов И.И., Филимонов С.С.</b> Анализ шумопоглощения различных материалов. . . . .	396
<b>Сушков И.Г.</b> Контроль управления рисками безопасности в гражданском строительстве . . . . .	398
<b>Титова К.О., Хусаенова А.А.</b> Влияние циркадных ритмов на работоспособность и состояние здоровья студентов. . . . .	402
<b>Хайретдинова Н.Р.</b> Технология обеспечения безопасности персонала при замене и ремонте силового масляного трансформатора 10/0,4 кВ . . . . .	405
<b>Якушова А.А., Шумова В.А.</b> Особенности охраны труда на заводе машиностроения. . . . .	408

## СЕКЦИЯ 9. РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

<b>Багурина К.М., Долманюк Л.В.</b> Анализ методов повышения чувствительности, быстродействия и селективности автоматических выключателей . . . . .	412
<b>Билалов Р. Р.</b> Применение интеллектуальных разъединителей с целью повышения стабильности и надежности электроснабжения. .	415
<b>Гатина Д.Р., Крюков Д.С.</b> Методы минимизации влияния гололедно-изморозевых отложений на проводах линий электропередачи на работу высокочастотных защит . . . . .	418
<b>Гиззатуллин Р.Р.</b> Методы предиктивной аналитики ячеек КРУ 6-35 кВ с вакуумными выключателями. . . . .	421
<b>Гиззатуллин Р.Р.</b> Особенности эксплуатации комплектных распределительных устройств в цифровой подстанции . . . . .	424

<b>Зайниев Р.А.</b> Имитационные и алгоритмические модели в релейной защите. Использование алгоритмической модели в защите дальнего резервирования.....	427
<b>Зинатуллин А.Р.</b> Влияние двигательной нагрузки на работу противоаварийной автоматики .....	430
<b>Крюков Д.С.</b> Анализ факторов, указывающих на развитие витковых замыканий в обмотках трансформаторов 6-10/0,4 кВ. ....	433
<b>Кузнецов Р.Р.</b> Разработка алгоритма системы релейной защиты для повышения эффективности защиты дальнего резервирования .....	435
<b>Лоиков Н.М.</b> Диагностика силовых трансформаторов методом частичных разрядов. ....	439
<b>Мударисов Р.Р.</b> Защиты от однофазных замыканий на землю в сетях 6-35 кВ. ....	442
<b>Мусин Р.Р.</b> Релейная защита силовых трансформаторов .....	445
<b>Радивоевич А.В.</b> Особенности оптических трансформаторов тока и напряжения .....	448
<b>Сагиров В.Р.</b> Разработка программного обеспечения распределенной системы обнаружения гололёдно-изморозевых отложений. ....	451
<b>Ситдииков К.А.</b> Локальные и интегральные методы контроля гололёда на линиях электропередач .....	454
<b>Смирнова Д.И.</b> Эффективность однократного действия автоматического повторного включения на воздушных линиях 6-10 кВ. ....	457
<b>Хорьяков А.И.</b> Параллельная работа трансформаторов и оптимизация энергосистем .....	460
<b>Якупов А.Ф., Аккузин В.В., Сухойкин М.В.</b> Современные инновационные технологии и решения в электроэнергетике для повышения эффективности надежности энергосистем. ....	463

## СЕКЦИЯ 10. ИНЖЕНЕРНАЯ ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

<b>Васильева А.М.</b> Технология замкнутого цикла утилизации фосфогипса на предприятиях. ....	468
<b>Ганин А.И., Васильев А.В.</b> Анализ транспортных потоков и оценка выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от транспортных средств на территории г.о. Тольятти. ....	470

<b>Донскова А.А., Базин Д.А.</b> Вибрация в энергетических машинах. Как с ней бороться в настоящее время. ....	472
<b>Ибатуллина Д.Э.</b> Биоразлагаемые упаковки. ....	476
<b>Ибрагимова А.Р.</b> Экологические и энергетические показатели продуктов пиролиза природного газа. ....	479
<b>Колбесенова Я.А.</b> Экологические проблемы окружающей среды. ....	482
<b>Куренкова Е.А., Овчинников А.В.</b> История очистных сооружений в Республике Татарстан. ....	484
<b>Нурмехамитова В.А.</b> Анализ выбора предикторов нейросетевых моделей для расчета концентраций примесей на примере г. Казань. ....	488
<b>Платонова М.С.</b> Идентификация и удаление высокотоксичных соединений в выбросах заводов по энергетической утилизации твёрдых коммунальных отходов. ....	491
<b>Салихова Г.Р.</b> Пути утилизации осадков сточных вод промышленных предприятий. ....	494
<b>Фасыхов А.Р.</b> Углеродный след промышленных отходов: переработка или отказ от переработки. ....	496
<b>Хадиева А.Р.</b> Влияние пластиковых отходов на водные экосистемы. ....	500
<b>Хайрутдинова А.И.</b> Методы очистки газовых выбросов от углекислого газа (CO <sub>2</sub> ) . ....	502
<b>Хизбуллин А.Р., Николаева Л.А.</b> Рециклинг строительных отходов как альтернатива снижения уровня загрязнения окружающей среды. ....	505
<b>Шром И.А., Новикова С.В., Валиев В.С., Файзуллин Р.И.,</b> Разработка способа оценки накопления металлов в организме жителей крупных городов. в условиях полиметаллического загрязнения. ....	509

## **СЕКЦИЯ 11. ЭНЕРГОРЕСУРСОЭФФЕКТИВНЫЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ И НЕФТЕГАЗОПЕРЕРАБОТКЕ**

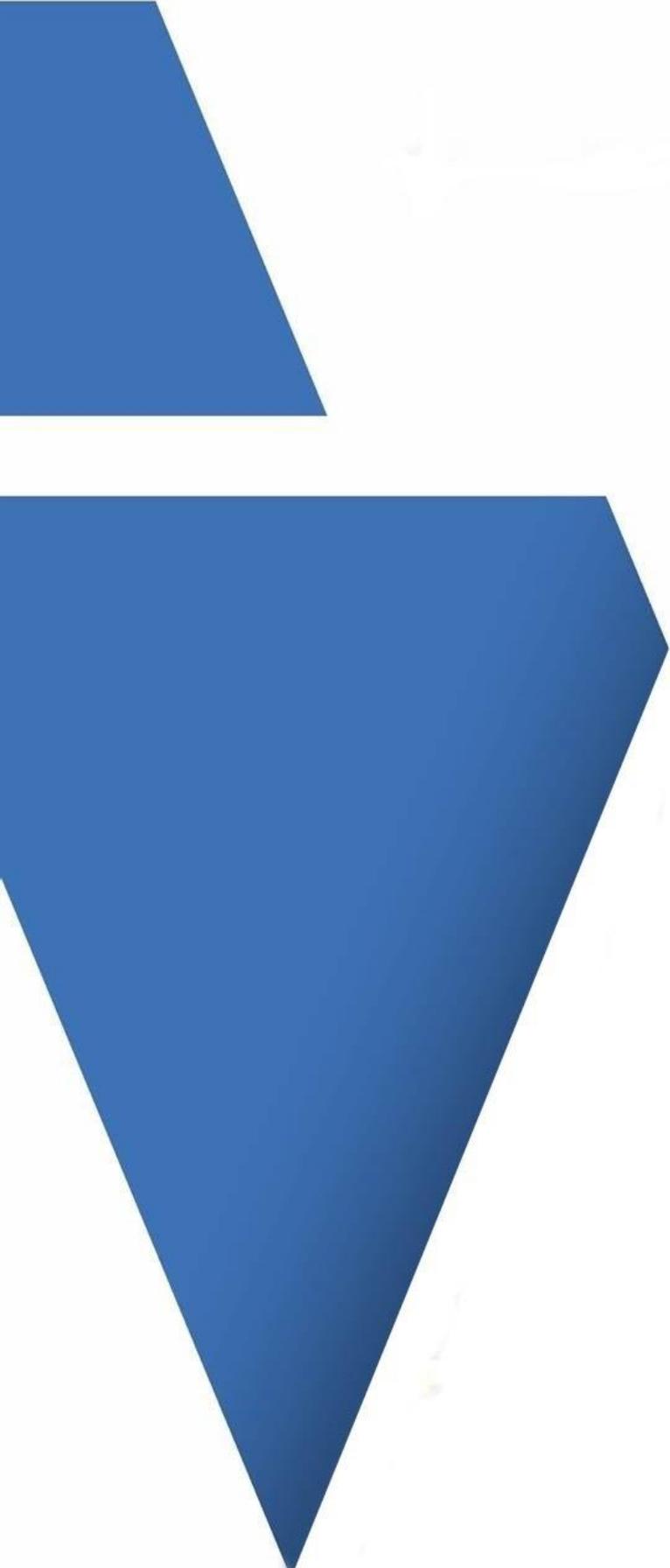
<b>Арсланов А.Д., Кашаев Р.С.</b> Разработка системы контроля проточного ПМР-анализатора. ....	514
<b>Ахмитшин А.А.</b> Метод теплового числа единиц переноса в расчетах противоточных теплообменников с интенсификаторами ..	517

<b>Ахунов Д. Ф.</b> Получение водорода с помощью плазменного разряда. ....	520
<b>Гребёнкина М.А.</b> Анализ перспективных способов снижения антропогенных выбросов при сжигании углей на объектах теплоэнергетики. ...	523
<b>Зайнуллина Э.Р.</b> Возможность использования отхода энергетики и дымовых газов ТЭЦ в технологии замкнутого цикла получения строительного гипса. ....	526
<b>Клочкова В.А.</b> Математические модели теплообмена при десорбции коррозионно-активных газов на ТЭС. ....	529
<b>Нургалиев А.И.</b> Современные способы обезвреживания избыточного активного ила. ....	532
<b>Садыкова Л.Р.</b> Как температура и давление влияют на формирование химически активных агентов для очистки воздуха в помещениях. ....	535
<b>Саттаров А.И.</b> Внедрение демпферной системы в пазы бочки ротора. ....	536
<b>Саттарова Г.А.</b> Сравнительный анализ уровня потерь электроэнергии для традиционных и аморфных трансформаторов. ....	539
<b>Толстова Л.М.</b> Повышение эффективности при использовании биологического топлива. ....	543
<b>Хакимова С.Б.</b> Дальнейшие пути повышения энергоэффективности ветроэлектрических станций. ....	546

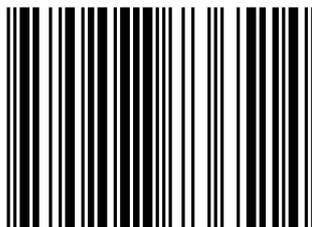
## СЕКЦИЯ 12. BIOTEХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

<b>Акмалов Ф. И.</b> Анализ приборов для измерения воздействия электромагнитных полей на человека в электропоездах. ....	550
<b>Габдрахманова Н. Н., Ахметов Р. Р.</b> Влияние электромагнитных полей на работников энергетической отрасли. ...	552
<b>Иванов А.Д.</b> Система определения тревожно-фобических расстройств в среде виртуальной реальности. ....	555
<b>Ильин К.А., Хизбуллин Р.Н.</b> Разработка мобильного устройства определения основных физиологических параметров человека. ....	559
<b>Кашапов Р.И., Бесчастный В.М.</b> Сопротивление кожи как показатель психофизиологического состояния организма. ....	562

<b>Лобанов Д.Е.</b> Развитие биотехнических систем ADAS. . . . .	565
<b>Матвеев Е.В., Кабиров А.Р.</b> Передача оптического излучения в медицинских целях с помощью оптоволокна. . . . .	568
<b>Махов А.А.</b> Гидроманжетная система оценки лодышечно-плечевого индекса. . . . .	571
<b>Мухамедзянов Э.А., Мухаметзянов Р.Р., Токтаров И.В.</b> Разработка матричной системы на базе светодиодов для лечения обширных патологий. . . . .	574
<b>Мухаметзянов Р.Р., Мухамедзянов Э.А., Токтаров И.В.</b> Неинвазивная лазерная диагностика: фотоплетизмография и ее медицинское применение. . . . .	577
<b>Павлов А. Э., Павлов П.П.</b> Перспективы использования метода «дисперсия амплитудно-частотных характеристик альфаритма» с миниатюрным многоканальным электроэнцефалографом. .	580
<b>Снежинская Е.С., Абдуллина А.Р.</b> Влияние электромагнитных полей на сердечно-сосудистую систему работников железнодорожного транспорта. . . . .	583
<b>Тверская С.Ю.</b> Снижение уровня психоэмоционального напряжения и стресса на основе оценки работы нервной системы при помощи бос. . . . .	587
<b>Токтаров И. В., Мухамедзянов Э.А., Мухаметзянов Р.Р.,</b> Воздействие ЭМП на технические средства электромобиля и человека. . . . .	590
<b>Тюгелев Э. Н., Уткин Л.О.</b> Влияние электромагнитных полей на организм человека. . . . .	593
<b>Хайруллина А. М., Семенова С.А.</b> Системы отслеживания состояния водителя. . . . .	595



ISBN 978-5-89873-651-4



9 785898 736514 >