



Казанский государственный энергетический университет насчитывает свою историю с 1968 года. За время своего существования университет превратился в крупнейший научно-образовательный центр Поволжья и Урала, признанный как в России, так и в международном пространстве. Гордость университета это выпускники – целая плеяда талантливых инженеров, многие из которых стали руководителями ведущих предприятий Татарстана и России, внесли огромный вклад в развитие экономики не только в нашей стране, но и за рубежом.

В КГЭУ действуют Технопарк, Инжиниринговый центр «Компьютерное моделирование и инжиниринг в области энергетики и энергетического машиностроения», Центр компетенций и технологии в области энергосбережения; Молодежный инновационный центр, Молодежный бизнес-инкубатор, научно-образовательный центр «Компьютерные тренажеры в тепло- и электроэнергетике»; научно-технические центры и учебные классы компаний: SchneiderElectric, Bosch, Danfoss, IEK, Эван, Акку-Фертриб, Московский завод тепловой автоматики. На базе КГЭУ созданы не имеющие аналогов в России учебно-исследовательские полигоны «Подстанция 110/10 кВ» и «Распределительные сети 0,4–10 кВ».

Ученые КГЭУ занимают ведущие позиции в области электро- и теплоэнергетики, цифровых технологий, защиты окружающей среды и водных биоресурсов. Университет является участником ряда технологических платформ России. По объему и уровню выполняемых научных работ КГЭУ сегодня является наиболее динамично развивающимся вузом России.

Сегодня в КГЭУ работают над технологиями, которые изменят будущее!

ISBN 978-5-89873-605-7



9 785898 173605 7

IV ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Материалы конференции



КАЗАНСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

## ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

IV Всероссийская научно-практическая конференция

12-13 октября 2022 г., Казань

Материалы конференции



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ  
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ  
ТАТАРСТАН**

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

**IV ВСЕРОССИЙСКАЯ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
«ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ  
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ»**

Материалы конференции

Под общей редакцией ректора КГЭУ  
Э.Ю. Абдуллазянова

Казань  
2022

УДК 621.3  
ББК 31.2  
П78

Рецензенты:  
доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО «КГЭУ»  
И.В.Ившин,  
доктор технических наук, профессор  
филиала ФГБОУ ВО УГНТУ  
в г. Салавате Р.Г.Вильданов

Редакционная коллегия:  
Э.Ю.Абдуллазянов (гл.редактор), И.Г.Ахметова, Н.В.Роженцова, В.Р.Иванова

П78 IV Всероссийская. научно-практическая конференция: **«Проблемы и перспективы развития электроэнергетики электротехники»:** (Казань, 12-13 октября 2022г.) под общей редакцией ректора КГЭУ Э.Ю. Абдуллазянова. Казань: КГЭУ, 2022. 294с.

ISBN 978-5-89873-605-7

В сборнике представлены материалы IV Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники» по следующим научным направлениям:

- 1.Проектирование и эксплуатация объектов электроэнергетики.
- 2.Энерго-и ресурсосбережение промышленных и коммунальных предприятий.
- 3.Энергосиловое оборудование, электропривод и автоматизация.
- 4.Малая энергетика, возобновляемые источники энергии, светотехника.

Предназначены для научных работников, аспирантов и специалистов, работающих в сфере энергетики, а так же для студентов вузов энергетического профиля.

Ответственность за содержание материалов докладов возлагается на авторов.

УДК 621.3  
ББК 31.2

ISBN 978-5-89873-605-7

© КГЭУ, 2022

## Секция 1. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

УДК 536.5:621.313

### ТЕМПЕРАТУРНЫЙ КОНТРОЛЬ ОБМОТОК НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИНАХ

<sup>1</sup>Абдрашитов Дамир Рафилович, <sup>2</sup>Нигматзянов Радиф Ильгизарович,  
Куракина Ольга Евгеньевна, воркунов Олег Владимирович  
<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия  
damirabdrashitov2100@mail.ru, radif.nigma@mail.ru

В данном исследовании представлено разнообразие методов по защите обмоток от температурного воздействия. В результате анализа полученной информации была спроектирована схема системы по термоконтролю оборудования. Описан принцип действия данной защиты от превышения температуры.

**Ключевые слова:** электрические машины, обмотки, температура, оборудование, режим.

### TEMPERATURE CONTROL OF WINDINGS ON ELECTRIC MACHINES

Nigmatzyanov Radif Ilgizarovich, Abdrashitov Damir Rafilovich,  
Kurakina Olga Evgenievna, Vorkunov Oleg Vladimirovich  
KSPEU, Kazan, Russia  
radif.nigma@mail.ru, damirabdrashitov2100@mail.ru, esis.kgeu@bk.ru,  
vorcunov\_oleg@mail.ru

This study presents a variety of methods for protecting windings from thermal effects. As a result of the analysis of the information received, a system diagram for the thermal control of equipment was designed. The principle of operation of this overtemperature protection is described.

**Keywords:** electrical machines, windings, temperature, equipment, mode.

На сегодняшний день к электрическим машинам переменного тока относятся трансформаторы, а также асинхронные и синхронные машины[1]. Они широко применяются во всей энергетической отрасли и имеют ряд соответствующих требований, предъявляемых повсеместно.

Электрические машины должны быть надежными и обладать большим сроком службы. Для оценки данных показателей следует проанализировать нагрев установки. По его величине можно охарактеризовать нагрузку машины, условия ее охлаждения и работы, нарушение правил технической эксплуатации. Самым нагруженным элементом во всем электрооборудовании является обмотка[2]. При интенсивном воздействии температуры на данный участок нарушается

процесс старения оборудования [3], снижается прочность изоляции [4] и возникают тяжелые аварийные ситуации.

Для увеличения активного объема и мощности электрооборудования следует выбрать наиболее оптимальный температурный режим. При эксплуатации электрической машины следует использовать термоконтроль процесса работы, для увеличения общего ресурса и срока службы установки. Для использования теплового контроля на этапе проектирования необходимо внедрить в конструкцию электрических машин систему управления температурного режима. При этом, следует учитывать возможность внедрения термоконтроля в уже эксплуатирующееся электрооборудование. Разработка надежной системы контроля температуры обмоток поможет обеспечить повышенную точность измерения температурного режима оборудования.

Основные способы контроля температуры обмоток представлены в ГОСТ 11828–86[5]. В нем описаны методы термометра, сопротивления и заложенных термопреобразователей. В первом случае, температуру любого участка обмотки можно контролировать с помощью термочувствительных измерительных приборов и средств. Однако, в данном методе происходит контроль теплового состояния только на поверхности, а не по всей длине изоляции. Во втором случае, применяется свойство металлов по изменению активного сопротивления в зависимости от температурного режима. Но при применении метода следует отключать электрическую машину от сети и, тем самым, выводить ее из эксплуатации. В третьем случае, метод позволяет определять температуру в месте установки заложенных термопреобразователей. Однако, он применяется на этапе проектирования установки и не позволит внедрить систему в уже изготовленную электрическую машину.

Существуют косвенные методы теплового контроля, ориентированные на результат прямых измерений других физических величин, связанных с искомыми. Для их использования необходимо воспользоваться следующим уравнением:

$$x = F(x_1, x_2, \dots, x_n),$$

где  $x_1, x_2, \dots, x_n$  – значения величин, полученных прямым измерением.

Косвенный метод не имеет высокой точности и приемлемой достоверности.

Расчетный метод контроля включает в себя моделирование процесса нагрева электрооборудования с использованием тепловой схемы замещения. При вычислении температурного режима учитывается величина и время протекания тока. Данный метод обеспечивает низкую точность вычисления температуры обмоток.

Проведенный анализ способов контроля температуры в электрооборудовании показал, что каждый из методов имеет

существенные недостатки перед поставленной целью исследования. Наиболее целесообразным методом контроля температуры обмотки в электрической машине будет метод сопротивления, поскольку он основан на зависимости активного сопротивления от температурного режима.

При реализации процессов измерений и обработке реализации следует использовать различные подходы, основанные на исходных данных различного оборудования. Исходя из заданных параметров, можно спроектировать систему оперативного контроля температуры обмотки (рис. 1).

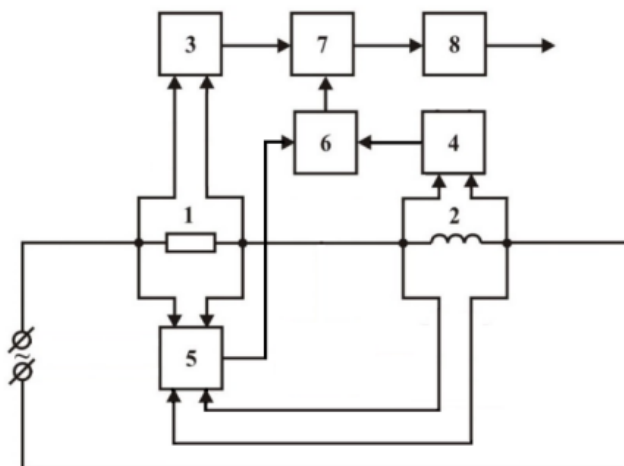


Рис. 1. Схема системы контроля температуры обмотки и тепловой защиты. 1– измерительный шунт, 2– обмотка статора в качестве термодатчика; 3,4– амплитудные детекторы, 5– фазовый детектор, 6– аналоговый перемножитель сигналов, 7– аналоговый делитель сигналов, 8– блок регистрации температуры обмотки.

Преобразование переменного напряжения в постоянное осуществляется посредством детектора, который в определенном случае имеет свойство функционировать в режиме амплитудной демодуляции. В этом случае эффективность работы детектора оценивается коэффициентом детектирования.

Для реализации априорной информации о функциональной связи между измеряемыми величинами действующего значения тока через шунт и напряжения на обмотке статора, следует использовать линейный фазовый детектор, который представляет собой устройство для демодуляции колебаний полной фазой  $\Psi(t) = \omega_0 t + \varphi(t)$ , промоделированных по фазовому углу [6].

Работа данных детекторов основана на нелинейном взаимодействии модулированного сигнала и опорного колебания. Сравнение фаз можно произвести несколькими способами:

1. Применение перемножителей колебаний входного сигнала и опорного колебания;
2. Нелинейное преобразование суммы сигналов;

3. Баланс фазовых устройств;
4. Использование фазо-чувствительных выпрямителей.

Предпочтительным является применение фазового детектора на основе перемножителя. Так, фильтр низких частот не пропустит высокочастотную составляющую. [7]

Гармонический сигнал с измерительного шунта преобразуется амплитудным детектором в электрический сигнал. Далее, он вступает на первый и второй вход фазового детектора поочередно, образуя сигнал, поступающий в аналоговый перемножитель. Оттуда он проходит в амплитудный детектор, где в дальнейшем возвращается в аналоговый перемножитель. Электрический сигнал преобразуется в диагностический после проведения необходимой процедуры вычисления отношений сигналов. Величина текущего нагрева обмотки выводится на блок регистрации температуры обмотки. Когда диагностическая контрольная информация превышает допустимую норму, на выходе из блока появляется управляющий сигнал, который подается в исполнительный элемент, тем самым осуществляя режим тепловой защиты.

Тепловой контроль может осуществлять отключение электрооборудования от сети, а также создавать оповещение оператору о недопустимом превышении параметров.

Таким образом, мы произвели анализ всех существующих методов контроля теплового режима в электрических машинах, а также выбрали наиболее оптимальную систему контроля температуры обмоток в электрооборудовании. Произвели проектирование схемы устройства для контроля температурных параметров изоляции и осуществили подробное описание принципа действия данного оборудования. В дальнейшем, планируется наглядный эксперимент с последующим детальным вычислением каждого этапа системы.

### **Список литературы**

1. Мещеряков В.Н., Сибирцев Д.С., Валтчев С., Грачева Е.И. Система управления частотным асинхронным синхронизированным электроприводом. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021;23(3):116-126.

2. НдаизейМ., ИльдархановР. Г., УсачевА. Е., Ильдарханов Г. Г. Диагностика состояния обмоток измерительного трансформатора напряжения типа НКФ-110. Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2015. – № 3(27). – С. 94-109.

3. Патент № 2507620 С2 Российская Федерация, МПК H01F 5/00. Обмотка и способ изготовления обмотки: № 2011146365/07 : заявл. 16.04.2009 : опубл. 20.02.2014 / Р. Ханов.

4. Патент № 2189099 С2 Российская Федерация, МПК H02K 3/30, H01B 3/04, H01B 3/50. Изоляция обмотки статора : № 98109346/09 : заявл. 15.05.1998 : опубл. 10.09.2002 / Т. Бауманн, Й. Эстерхельд, Р. Шулер ; заявитель АББ РИСЕРЧ ЛТД..

5. ГОСТ 11828–86. Машины электрические вращающиеся. Общие методы испытаний. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 31 с.

6. Носырев Д.Я., Махалов А.В. Пат. 2035706 Российская Федерация, МПК G01K13/08. Устройство для измерения превышения температуры обмоток электрической машины переменного тока под нагрузкой / заявитель и патентообладатель Самарский институт инженеров железнодорожного транспорта им. М.Т. Елизарова. –№ 5000585/10; заявл. 09.07.1991; опубл. 20.05.1995, Бюл. № 13. – 3 с.

7. Брякин И.В., Бочкарев И.В., Келебаев К.К. Диагностика параметров электрических машин переменного тока. Электротехнические системы и комплексы. – 2017. – № 4 (37). –С. 38–44.

8. Масков Л. Р. Разработка модели электротехнического комплекса для аппаратов воздушного охлаждения газа газового промысла №1 ООО «Газпром добыча Ямбург» с централизованной системой электроснабжения в программе MATLAB/SIMULINK / Л. Р. Масков, В. Ю. Корнилов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 2. С. 50-71. doi 10.30724/1998-9903-2022-24-2-50-71.EDN MUGGPH

9. Гизатуллин З.М., Мубараков Р.Р. Анализ излучаемых электромагнитных помех от преобразователей электроэнергии в условиях эксплуатации // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 2(54). С. 29-39. EDN QOAGMA.

УДК 621.316.91

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ И ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО РЕШЕНИЯ СИСТЕМЫ МОЛНИЕЗАЩИТЫ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

<sup>1</sup>Антропов Даниил Михайлович,<sup>2</sup>Рыжкова Елена Николаевна

<sup>1,2</sup>ФГБОУ НИУ «МЭИ», г. Москва, Россия

<sup>1</sup>AntropovDM@mpei.ru, <sup>2</sup>RyzhkovaYN@mpei.ru

В данной статье рассмотрен сравнительный анализ и выбор конкретной системы молниезащиты (далее – МЗ) на примере цеха режущих инструментов, расположенного на территории завода металлорежущих инструментов в Астраханской области.

**Ключевые слова:** молниезащита, молниеприемник, пассивный, активный.



# COMPARATIVE ANALYSIS AND SELECTION OF THE OPTIMAL SOLUTION OF THE LIGHTNING PROTECTION SYSTEM FOR INDUSTRIAL ENTERPRISES

<sup>1</sup>Antropov Daniil Mikhailovich, <sup>2</sup>Ryzhkova Elena Nikolaevna

<sup>1,2</sup>FGBOU NIU «MEI», c. Moscow, Russia

<sup>1</sup>AntropovDM@mpei.ru, <sup>2</sup>RyzhkovaYN@mpei.ru

In this article, a comparative analysis and selection of a specific lightning protection system will be considered on the example of a cutting tools workshop located on the territory of a metal cutting tools factory in the Astrakhan region.

**Keywords:** lightning protection, lightning protection, passive, active.

Во времена стремительного развития цифрового оборудования мероприятия по установке систем молниезащиты на объектах промышленности приобретают все большее значение, так как помимо угрозы жизни для людей немаловажной задачей является защита ответственного оборудования объекта от импульсных перенапряжений вследствие прямых и не прямых ударов молнии.

В научных исследованиях представлены различные точки зрения о преимуществах и недостатках использования пассивной и активной систем молниезащиты. Сравнительный анализ систем молниезащиты, проведенный Д. С. Королевым, З. М. Кидакоевым показал, что при одинаковой высоте опоры пассивного и активного молниеприемника радиус зоны защиты в 3,5 раза будет меньше у пассивной системы молниезащиты (19,12 и 68,3 соответственно). Авторы делают однозначный выбор в пользу активного молниеприемника, замечая, что он обеспечивает 99% защиты от разрядов атмосферного электричества, пассивная же – показывает лишь 5% [2].

И. Г. Сафронова, НВ. Шнайдер, А. С. Тарбеев также отмечают экономическую целесообразность активной молниезащиты, в первую очередь, для зданий с большой площадью кровли и с кровлей сложной конфигурации. Использование ионизирующего канала позволяет во много раз повысить зону защиты, активная система экономически выгоднее, проще в монтаже [6]. Е. Е. Диких предлагает использовать систему комплексной защиты объекта на основе совместного использования штыревой и активной систем, указывая на дороговизну использования пассивной молниезащиты, т.к. количество штыревых комплексов для защиты необходимо значительно больше (в 5 раз!), чем активных молниеприемников [1].

В данной статье для анализа и расчета рассматриваются две системы молниезащиты для цеха металлорежущих инструментов промышленного предприятия, расположенного в Астраханской области: пассивная система молниезащиты (далее – ПСМ) с применением одиночных молниеприемных стержней и активная система (далее – АСМ) с использованием одиночных молниеприемников с опережающей эмиссией стримера (далее – МОЭС).

Рассмотрим принципиальные различия активной и пассивной систем молниезащиты. Принцип действия обеих систем аналогичен и заключается в образовании встречного лидера, тем самым увеличивая вероятность прямого попадания молнии в устройства системы молниезащиты, однако области защиты различны – АСМ имеет форму купола, радиус действия и объем которого значительно превосходят конусообразную зону защиты ПСМ. Благодаря конструктивной особенности АСМ, а именно из-за наличия встроенного электронного устройства, которое генерирует высокочастотные импульсы, она обеспечивает более раннее формирование стримера (встречного лидера), способного перехватывать заряд молнии на значительно большем расстоянии, чем в классических вариантах ПСМ. Однако необходимо учесть факт более высокой стоимости АСМ за счет более сложного технического решения. Вместе с тем, для крупногабаритных сооружений, требующих высокой степени защиты, экономический эффект АСМ значительно возрастает, достигая 50% стоимости от затрат на ПСМ. Расчет систем произведен согласно директивным нормативным документам [3; 4; 5; 7].

Габаритные размеры рассматриваемого сооружения показаны на рис.1.

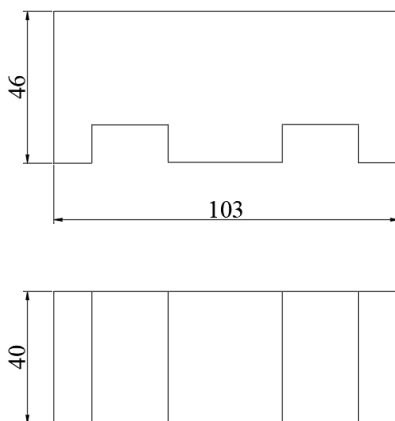


Рис. 1. Габаритные размеры цеха режущих инструментов

### Расчет пассивной системы молниезащиты

Ожидаемое количество  $N$  поражений молнией в год для зданий и сооружений сложной формы находится в соответствии с формулой (1), где величины  $S$  и  $L$  рассматриваются как длина и ширина наименьшего прямоугольника, в который может быть вписано здание или сооружение:

$$N = [(S + 6 \cdot h) \cdot (L + 6 \cdot h) - 7,7 \cdot h^2] \cdot n \cdot 10^{-6}, \quad (1)$$

где  $h$  – наибольшая высота цеха режущих инструментов, м;

$S$  – ширина цеха режущих инструментов, м;

$L$  – длина цеха режущих инструментов, м;

$n$  – среднегодовое число ударов молнии в 1 км земной поверхности в Астраханской области, согласно [4].

### Расчет зоны защиты одиночного стержневого молниеотвода

Согласно главе 7.3 [8] рассматриваемое сооружение относится к зоне В-Ia, следовательно, в соответствии с таблицей I [8] расчет ведется по формулам (2) - (5) для зоны «Б» ( $N \leq 1$ ), категория молниезащиты – II.

$$h = (r_x + 1,63 \cdot h_x) / 1,5, \quad (2)$$

где  $h$  – высота одиночного стержневого молниеотвода с учетом высоты сооружения, м;

$r_x$  – радиус зоны защиты на высоте защищаемого сооружения, м;

$h_x$  – высота зоны защиты сооружения, м.

$$h_0 = 0,92 \cdot h, \quad (3)$$

где  $h_0$  – высота защиты стержневого молниеотвода, м.

$$r_0 = 1,5 \cdot h, \quad (4)$$

где  $r_0$  – радиус зоны защиты на уровне земли, м.

$$h' = h - h_x, \quad (5)$$

где  $h'$  – высота молниеприемного стержня, м.

На рис. 2 представлена зона защиты, создаваемая одиночным стержневым молниеотводом на основе расчетных значений.

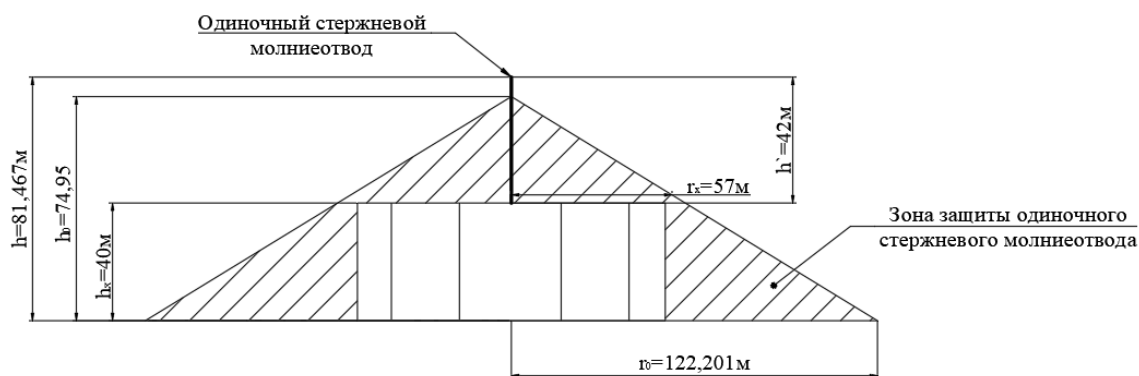


Рис. 2. Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода

### Расчет зоны защиты активно-молниеприемника с опережающей эмиссией стримера

Согласно главе 7.3 [8] рассматриваемое сооружение относится к зоне В-Іа, следовательно, по таблице І [8] категория молниезащиты – ІІ. Расчет ведется согласно [1] по формуле (6) для зданий и сооружений высотой более 5 м.

$$R_p = \sqrt{h \cdot (2 \cdot D - h) + \Delta L \cdot (2 \cdot D + \Delta L)}, \quad (6)$$

где  $R_p$  – радиус зоны защиты МОЭС на высоте рассматриваемого сооружения, м;

$h$  – высота зоны защиты сооружения с учетом высоты устанавливаемого молниеприемника, м;

$D$  – коэффициент, учитывающий категорию защищаемого сооружения ( $D=45$  м для ІІ категории молниезащиты), м;

$\Delta L$  – инициация верхнего лидера, м;

$$\Delta L = \Delta T \cdot 10^6, \quad (7)$$

где  $\Delta T$  – время инициации, мкс.

На рис. 3 представлена зона защиты, создаваемая молниеприемником с опережающей эмиссией стримера на основе расчетных значений.

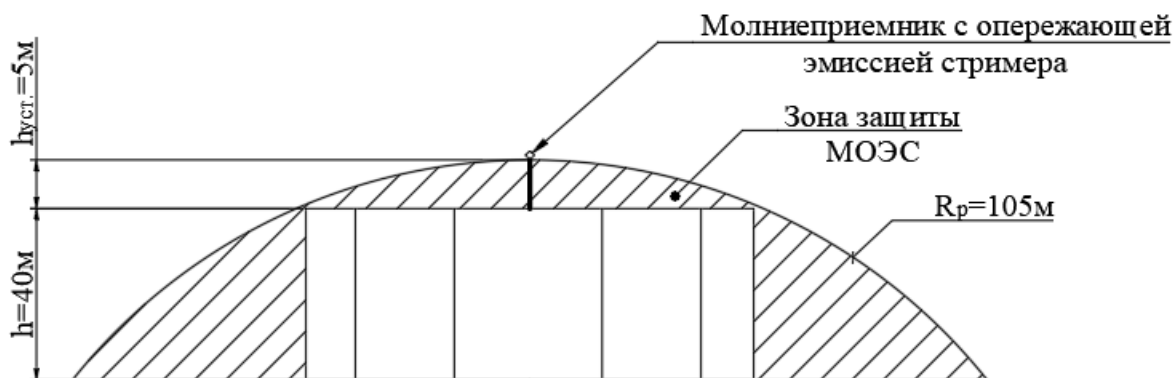


Рис. 3. Зона защиты МОЭС

В таблице представлены расчетные значения основных параметров сравниваемых систем (ПСМ и АСМ).

#### Основные расчетные значения параметров молниезащиты

Сравнительные характеристики	Тип молниезащиты	
	Пассивный стержневой молниеприемник	Активная система молниезащиты
Ожидаемое количество поражений молнией в год, N	0,172	0,172
Категория молниезащиты	II	II
Дистанция удара D, м	-	40
Высота одиночного стержневого молниеотвода с учетом высоты сооружения h, м;	81,467	45
Высота защиты стержневого молниеотвода, м	74,95	45
Радиус зоны защиты на уровне земли, м	122,201	105
Высота молниеприемного стержня, м	41,467	5

На основе полученных результатов можно сделать вывод, что использование активной системы молниезащиты является более предпочтительной для эксплуатации на ответственных сооружениях промышленности. В первую очередь это связано с тем, что высота молниеприемника пассивной системы защиты во много раз превышает аналогичный параметр у активной системы молниезащиты (41,467 м против 5 м). Так же стоит отметить фактор экономической целесообразности для применения на крупногабаритных объектах промышленного назначения.

## Список литературы

1. Диких Е.Е. Анализ активной и пассивной систем молниезащиты образовательного учреждения // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2018. №1. С. 178–182.

2. Королев Д.С., Кидакоев З.М. Сравнительный анализ систем молниезащиты // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2017. №1. С. 851–854.

3. Правила устройства электроустановок : официальные тексты: сб. / ред. А. М. Меламед. Изд. 7-е. Москва : Изд-во НЦ ЭНАС, 2007. 549 с.

4. РД 34.21.122-87 Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений / сост. Э.М. Базелян, В.И. Поливанов, В.В. Шатров, А.В. Цапенко // Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200003090>.

5. СО 153-34.21.122-2003 Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций / сост. Э.М. Базелян, В.И. Поливанов, В.В. Шатров, А.В. Цапенко // Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200034368>.

6. Сафронова И.Г., Шнайдер Н.В., Тарбеев А.С. Традиционные и альтернативные способы молниезащиты объектов // THE SCIENTIFIC HERITAGE. 2020. №55. С. 62–64.

7. NFC 17-102  
Protection des structures et des zones ouvertes contre la foudre par paratonnerrea'  
dispositif d'amorçage (Молниезащита системами с упреждающей стримерной  
эмиссией) // Режим доступа:  
[http://https://www.stellait.ru/sites/default/files/documents/17nf\\_c\\_17-102\\_ed.2.pdf](http://https://www.stellait.ru/sites/default/files/documents/17nf_c_17-102_ed.2.pdf).

8. Савина Н. В. Выбор схемных и технических решений для улучшения качества электроэнергии в адаптивных сетях с тягой переменного тока / Н. В. Савина, И. А. Лисогурский, Л. Н. Лисогурская // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 3. С. 42-54. doi 10.30724/1998-9903-2022-24-3-42-54. EDN LYXICS.

УДК 621.311.4

## ВНЕДРЕНИЕ ГИБРИДНЫХ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПОЛИМЕРНЫХ ИЗОЛЯТОРОВ

<sup>1</sup>Атрашенко Ольга Сергеевна, <sup>2</sup>Былинкин Ярослав Юрьевич  
<sup>1,2</sup>Камышинский технологический институт (филиал) федерального  
государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования

«Волгоградский государственный технический университет», г. Камышин,  
Россия

<sup>1</sup>olgapasmenko@yandex.ru,<sup>2</sup>yarusb3@gmail.com

В рамках цифровизации электрических сетей и развития интеллектуальных методов диагностики электрооборудования актуальным направлением является развитие и усовершенствование мероприятий по обеспечению высокого уровня безопасности объектов энергетических систем. Существуют методики и технические решения имеют свои недостатки, проблема обнаружения перекрытого или пробитого изолятора на воздушной линии является наиболее актуальной для электрических сетей. Необходимо использовать гибридные экспертные системы (ГЭС), которые позволят объединить методы диагностики, создать базы данных и смоделировать развитие дефектов при разных факторах и условиях эксплуатации.

**Ключевые слова:** полимерный изолятор, ультразвук, повреждение, ИК-диагностика, УФ-диагностика, сеть эхо-состояний ESNs.

## INTRODUCTION OF HYBRID EXPERT SYSTEMS FOR DIAGNOSTICS OF POLYMER INSULATORS

<sup>1</sup>Atrashenko Olga Sergeevna, <sup>2</sup>Bylinkin Yaroslav Yurievich

<sup>1,2</sup>Kamyshin Technological Institute Volgograd state technical university, Kamyshin,  
Russia

<sup>1</sup>olgapasmenko@yandex.ru,<sup>2</sup>yarusb3@gmail.com

As part of the digitalization of electric networks and the development of intelligent methods for diagnosing electrical equipment, the development and improvement of measures to ensure a high level of safety of power system facilities is an urgent area. There are techniques and technical solutions that have their drawbacks, the problem of detecting a blocked or broken isolator on an overhead line is the most relevant for electrical networks. It is necessary to use hybrid expert systems (HPPs), which will allow you to combine diagnostic methods, create databases and simulate the development of defects under different factors and operating conditions.

**Keywords:** polymer insulator, ultrasound, damage, IR - diagnostics, UV diagnostics, network of echo states ESNs.

Диагностика любого оборудования должна начинаться с анализа особенностей его конструкции и выявления слабых мест.

В последнее время полимерные композитные изоляторы с кремнийорганической защитной оболочкой (ПКИ) на номинал действующего напряжения 35–500 кВ получают все более широкое распространение, замещая фарфоровые и стеклянные изоляторы. Полимерные изоляторы более лёгкие и благодаря их гибкости, снижается вероятность разрушения. Эксплуатационные свойства полимерных изоляторов отличаются положительными характеристиками, что особенно важно в районах с повышенным уровнем загрязнения [1].

Слабыми местами конструкции полимерных изоляторов являются герметичность защитной оболочки в месте ее сопряжения с металлической

арматурой, и граница раздела между оболочкой и стеклопластиковым стержнем. Согласно опыту эксплуатации, большинство повреждений и отказов полимерных изоляторов, так или иначе, связаны с нарушением герметичности защитной оболочки и проникновением влаги в изолятор.

Одним из характерных последствий развития такого дефекта является пробой ПКИ: прохождение электрической дуги сквозь стеклопластиковый стержень, границу раздела «стеклопластиковый стержень — защитная оболочка» или границу раздела «ребро — защитная оболочка» без выхода или с выходом на поверхность, сопровождающееся разрушением изоляционного элемента [2].

Пробой изолятора — конечная стадия постепенно развивающегося дефекта, который проходит несколько этапов.

Начальная стадия повреждения — проникновение воды в изолятор, незначительные повреждения стержня вблизи оконцевателя без образования дендритов по границе раздела, незначительная начальная эрозия защитной оболочки; сохранение исходных показателей по электрической и механической прочности; прогнозируемый ресурс работы до разрушения — не менее 1 года.

Средняя степень повреждения — проникновение воды в изолятор, образование дендритов на границе раздела вблизи оконцевателя на длину до 5-10 см, значительная эрозия защитной оболочки без образования сквозных отверстий; остаточный ресурс по электрической и механической прочности — не менее 80%; прогнозируемый ресурс работы до разрушения — не менее 1/2 года.

Предаварийное состояние — проникновение воды в изолятор, образование дендритов на границе раздела на длину более 50 см, значительная эрозия защитной оболочки с образованием сквозных отверстий; остаточный ресурс по электрической и механической прочности — менее 80%; прогнозируемый ресурс работы до разрушения — не более 1/2 года.

Для уменьшения разрушительного воздействия влаги защитную оболочку ПКИ на этапе производства покрывают специальным гидрофобным составом [3]. Влагу и загрязнители на поверхности защитной оболочки и внутри ПКИ можно причислить к одному из характерных дефектов ПКИ. Очевидно, что обнаружение влаги на начальной стадии эрозии — актуальная проблема, так как это трудно осуществить методом визуального осмотра и методами регистрации ИК или УФ излучений, которые эффективны в основном на последних стадиях развития разрушения ПКИ. Однако контроль влаги и загрязнений на ранних



стадиях образования на поверхности композитных изоляторов методом регистрации ЧР пока не был предложен [4].

Одним из развивающихся методов определения дефектов изолятора, является ультразвуковой контроль, который способен по изменению уровня и анализ характера сигнала обнаружить неисправность [8].

Однако, применение данных методов включают в себя трудозатраты ремонтных бригад, необходимость правильной интерпретации данных. Основным направлением развития диагностики электрооборудования согласно Положения ПАО «Россети» «О единой технической политике в электросетевом комплексе» контроль технического состояния электросетевого оборудования должен выполняться дистанционным и с применением автоматизированных средств, систем мониторинга и технического диагностирования.

Для решения данной задачи в эксплуатации воздушных линий предлагается использовать стационарные ультразвуковые датчики, воспринимающие ультразвук, распространяющийся по конструкции изолятора во время его перекрытия. В основе датчика резонансный пьезоэлемент, с выходом 0–10 В или 4–20 мА. Датчики размещаются стационарно и непрерывно передают сигнал в собственный блок сбора данных или в систему мониторинга [5].

Далее полученные данные о состоянии изоляторов, характеристиках при отключении линий можно использовать при обработке результатов и прогнозирования работ по техническому обслуживанию воздушных линий.

На состояние изоляторов влияет неблагоприятных условий, классификация которых является критически важной задачей для поддержания работоспособности системы.

Для оценки факторов и причин отказа линий, связанных с отключением линий, известно много методов и систем моделирования [6]. Из анализа данных публикаций можно сделать вывод, что необходимо использовать нейронные сети для возможности оптимизации моделей, применением фильтров и возможностью самоадаптации и самообучению.

Сеть эхо-состояний ESNs представляют собой ветвь рекуррентных нейронных сетей (RNN), которая привлекла внимание благодаря своей упрощенной и недорогой в вычислительном отношении процедуре обучения [7].

Данная гибридная система, содержащая источник информации (ультразвуковой датчик) о состоянии изоляторов и нейронной сети эхо-состояний для обработки данных, может позволить: выявить классификацию и оценку загрязнений изоляторов; условия появления и

развития различных видов повреждений, спрогнозировать необходимость технического обслуживания; предотвратить отключения линий; повысить надежность работы электрических сетей.

### Список литературы

1. Гатауллин А. М. Метод неразрушающего контроля полимерных композитных изоляторов напряжением 35 кВ / А. М. Гатауллин, В. Л. Матухин, И. И. Низамов // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. – 2015. – № 2(219). – С. 119-125. – DOI 10.5862/JEST.219.13. – EDN TXMSTD.

2. Дистанционная диагностика дефектов в высоковольтных изоляторах / А. В. Голенищев-Кутузов, Л. В. Ахметвалеева, Г. Р. Еникеева [и др.] // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2020. – Т. 22. – № 2. – С. 117-127. – doi 10.30724/1998-9903-2020-22-1-117-127. – EDN HOZVCL.

3. Гатауллин А.М. Комплексный метод оценки характера повреждений, их локализации и прогнозирования разрушения изоляторов высоковольтного электрооборудования по характеристикам частичных разрядов / А. М. Гатауллин, Д. Ф. Губаев // Проблемы региональной энергетики. – 2022. – № 1(53). – С. 152-160. – doi 10.52254/1857-0070.2022.1-53.12. – EDN CУХКАФ.

4. Дистанционно измеряемые диагностические параметры, позволяющие оценивать остаточный ресурс высоковольтных изоляторов / А. В. Голенищев-Кутузов, Д. А. Иванов, Р. И. Калимуллин, А. В. Семенников // Известия Российской академии наук. Серия физическая. – 2020. – Т. 84. – № 12. – С. 1763-1766. – doi 10.31857/S0367676520120224. – EDNJUFZBY.

5. Чередеев Г. Ультразвуковая оптическая диагностика оборудования/ Чередеев Г. // Новости Электротехники– 2021. - № 1(127) – С. 42.

6. Симонов, Н. Опыт и перспективы применения искусственных нейронных сетей в электроэнергетике / Н. Симонов, Н. Ивнев // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2019. – № S4(15). – С. 42-48.

7. StéfanoFrizzoStefenon,LaioOrielsMan,NemesioFavaSopelsa Neto,Luiz HenriqueMeyer,AdemirNied,Echo state network applied for classification of medium voltage insulators / StéfanoFrizzoStefenon // International Journal of Electrical Power & Energy Systems – 2022. –Vol. 134.

8. Иванов, Д. А. Исследование электрофизических процессов и старения материала высоковольтных изоляторов для определения их рабочего ресурса / Д. А. Иванов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 2. С. 132-146. doi 10.30724/1998-9903-2022-24-2-132-146.

УДК 621.311

## **КОРРЕКТИРОВКА НОРМАТИВНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ Г. МОСКВЫ**

Ахметшин Азат Ринатович  
Казанский государственный энергетический университет, г. Казань  
dr.akhmetshin@ieee.org

В результате исследования были получены актуальные значения удельных нагрузок многоквартирных жилых домов г. Москвы. Эффективность использования новых удельных нагрузок многоквартирных жилых домов определяется снижением бюджетных расходов на оплату мощности технологического присоединения и стоимости городских подстанций. Результатом научно-исследовательской работы станет разработка проекта изменений в Московские городские строительные нормы 3.01-01 «Жилые здания» в части удельных расчетных электрических нагрузок типовых многоквартирных домов для г. Москвы на основании данных по их фактическим значениям.

**Ключевые слова:** энергоэффективность, RStudio, электрические нагрузки, график мощности, жилые здания, электропотребление, циркулярная экономика.

## **CORRECTION OF NORMATIVE VALUES OF ELECTRIC LOAD FOR DESIGN OF RESIDENTIAL BUILDINGS IN MOSCOW**

Akhmetshin Azat Rinatovich  
KSPEU, Kazan, Russia  
dr.akhmetshin@ieee.org

As a result of the study, the actual values of the specific loads of multi-apartment residential buildings in Moscow were obtained. The efficiency of using new specific load loads of multi-apartment residential buildings is determined by a decrease in budget expenditures for paying for the capacity of technological connection and the cost of urban substations. The result of the research work will be the development of a draft amendment to the Moscow city building codes 3.01-01 "Residential buildings" in terms of the specific design electrical loads of typical apartment buildings for Moscow based on data on their actual values.

**Keywords:** energy efficiency, RStudio, electrical loads, power graph, residential buildings, power consumption, circular economy.

В настоящее время для расчета нагрузок жилых зданий в г. Москве применяют СП 256.1325800.2016 «Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа», в тоже время оценочные расчеты демонстрируют, что фактические нагрузки ниже в 1,5-2,5 раза [1, 2].

Для получения исходных данных о реальных электрических нагрузках использовались «умные» счетчики электроэнергии. Современные счетчики электроэнергии имеют функцию контроля качества электроэнергии [3], в частности уровня напряжения относительно нормативных значений в квартирах [4, 5] у потребителей. Наличие несимметрии напряжения во ВРУ многоквартирных жилых домов ведет к увеличению потерь электроэнергии во внешней сети жилого комплекса.

В качестве исходных данных для проведения расчетов для данной группы были получены получасовые профили мощности многоквартирных жилых домов. У многоквартирных жилых домов со встроенными помещениями коммерческого назначения профили мощности включают в себя как нагрузку квартир, мест общего пользования и т.д., так и коммерческую нагрузку.

Период наблюдения мощности пилотной выборки многоквартирных жилых домов составил с 01 по 30 ноября 2021 г.

Для всех домов выборочных совокупностей был определен день с максимальной нагрузкой за интервал наблюдения. В разрезе этого дня найдено значение максимальной мощности, а в дальнейшем и максимальной удельной мощности многоквартирных жилых домов.

Проверка гипотезы о нормальном распределении максимальной удельной мощности квартир выборочной совокупности многоквартирных жилых домов г. Москвы подтвердила, что данные выборки распределены в соответствии с законом нормального распределения. Это позволяет использовать для проверки наличия в исследуемой выборке выбросов расчетный критерий Граббса.

Значения максимальной удельной мощности,  $p$ -value, меньше 0,05, можно считать выбросами и удалить из выборки.

Проверка крайних значений максимальной удельной мощности квартир выборки многоквартирных жилых домов г. Москвы показала, что выбросов в данной выборке нет. Исходя из этого, нет необходимости в проверке других значений выборки. Таким образом, все данные выборки принимаются для дальнейших исследований.

По результатам статистической обработки для выборочной совокупности многоквартирных жилых домов была определена

зависимость максимальной удельной мощности от количества квартир в многоквартирных жилых домах. На рис. 1 приведена эта зависимость, рассчитанная по данным за ноябрь 2021 г., и линия тренда для наглядной иллюстрации тенденции изменения изучаемой зависимости.

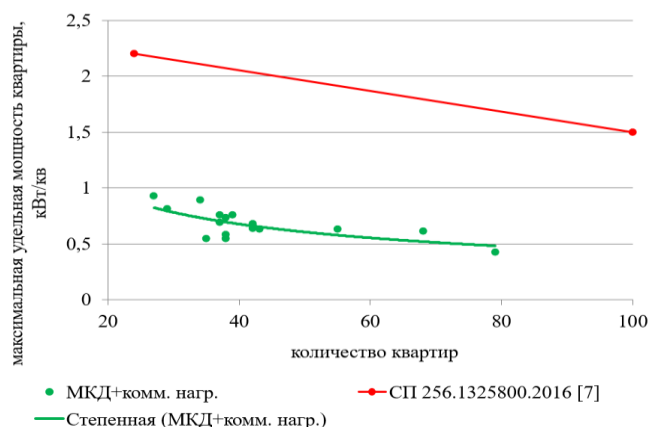


Рис. 1. Зависимость максимальной удельной мощности от количества квартир для многоквартирных жилых домов по данным за ноябрь 2021 г.

На рис. 1 нанесены значения электрических нагрузок квартир многоквартирных жилых домов г. Москвы, приведенные в [7].

Как видно из рис. 1, удельная мощность квартир в многоквартирных жилых домах уменьшается с увеличением их количества. Значения электрических нагрузок квартир многоквартирных жилых домов г. Москвы, рассчитанные для периода с 1 по 30 ноября 2021 г., лежат ниже нормативных значений [1, 2, 7].

Статистическая обработка удельной мощности квартир пилотных выборочных совокупностей многоквартирных жилых домов г. Москвы была поделена на группы: до 5, 6 – 10, 11 – 18 и 19 – 25 этажей и выполнялась на основе данных за ноябрь 2021 г. Результаты расчета удельной мощности квартир многоквартирных жилых домов г. Москвы необходимо уточнить по данным зимних месяцев как наиболее энергозатратных месяцев года.

По имеющимся выборкам групп многоквартирных жилых домов получены доверительные интервалы, в пределах которых находится истинное значение удельной мощности генеральной совокупности многоквартирных жилых домов г. Москвы.

Для выборочных совокупностей всех групп многоквартирных жилых домов была получена зависимость максимальной удельной мощности квартир от их количества. С увеличением количества квартир в

многоквартирных жилых домах значение их максимальной удельной мощности также снижается.

### Список литературы

1. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р. и др. Актуализация удельных электрических нагрузок дошкольных образовательных и общеобразовательных учреждений // Вестник Чувашского университета. 2021. № 1. С. 134-145.

2. Солуянов Ю.И., Ахметшин А.Р., Солуянов В.И. Энергоресурсосберегающий эффект в системах электроснабжения жилых комплексов от актуализации нормативов электрических нагрузок // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 1. С. 156-166.

3. Абдуллазянов Э.Ю., Зарипова С.Н., Федотов А.И., Ахметшин А.Р. Улучшение показателей качества электроэнергии в распределительных сетях напряжением 0,4-10 кВ. Энергетика Татарстана. №1. 2012. С. 3-7.

4. Абдуллазянов Э.Ю., Ахметшин А.Р. Выбор оптимального технического решения для обеспечения нормативного уровня напряжения в распределительных сетях 0,4-10 кВ // Вестник ИрГТУ. №6. 2011. С. 113-118.

5. Akhmetshin A., Mendeleev D., Marin G. Improvement of Electricity Quality Indicators in Electric Networks with Voltage of 0.4-10 kV // Proceedings - 2020 International Russian Automation Conference. RusAutoCon. 2020. 2020. pp. 454-458. articlenumber 9208158. doi 10.1109/RusAutoCon49822.2020.9208158.

6. Солуянов Ю.И., Ахметшин А.Р., Солуянов В.И. Актуализация удельных электрических нагрузок помещений общественного назначения, встроенных в жилые здания // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 3. С. 47-57.

7. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Чернова Н.В., Ахметшин А.Р. Анализ фактических электрических нагрузок объектов индивидуального жилищного строительства // Электроэнергия. Передача и распределение. 2021. № 5(68). С. 60-65.

8. Лансберг А.А., Виноградов А.В., Виноградова А.В. Структура парка силовых трансформаторов с высшим напряжением 6-10 кВ на примере электросетевой организации филиала ПАО «Россети Центр»-«Орелэнерго», обслуживающей сельские электрические сети // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021. Т. 23. № 5. С. 34-45. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-5-34-45.

## ДИАГНОСТИКА ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ХРОМАТОГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗА РАСТВОРЁННЫХ ГАЗОВ

<sup>1</sup>Багавиев Рамис Фанисович, <sup>2</sup>Куракина Ольга Евгеньевна  
<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
<sup>1</sup>ramis.bagavieff@yandex.ru, <sup>2</sup>esis.kgeu@bk.ru

Проанализирован метод диагностики трансформаторного масла, такой как – хроматографический анализ растворённых газов. Определены проблемы диагностики диэлектрика и особенности данного метода.

**Ключевые слова:** анализ, диагностика, химический состав, хроматографический анализ.

## DIAGNOSTICS OF TRANSFORMER OIL USING CHROMATOGRAPHIC ANALYSIS OF DISSOLVED GASES

<sup>1</sup>Bagaviev Ramis Fanisovich, <sup>2</sup>Kurakina Olga Evgenievna  
<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan  
<sup>1</sup>ramis.bagavieff@yandex.ru, <sup>2</sup>esis.kgeu@bk.ru

The method of transformer oil diagnostics, such as chromatographic analysis of dissolved gases, is analyzed. The problems of dielectric diagnostics and the features of this method are determined.

**Keywords:** analysis, diagnostics, chemical composition, chromatographic analysis.

Чтобы обеспечить надлежащую работоспособность маслonaполненных аппаратов необходимо производить контроль качества трансформаторного масла. В правилах устройства электроустановок (ПУЭ) и правилах технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭЭП) регламентируются нормативные значения показателей качества, периодичности и объемов испытаний.

В соответствии государственными стандартами необходимо рассмотреть основные требования, предъявляемые к маслам:

- Электрофизические свойства – высокая электрическая прочность и электрическое сопротивление, малые диэлектрические потери;
- Физико-химические свойства – минимальная вязкость, эффективный теплоотвод, стабильность, способность растворять воду, низкая плотность, инертность к материалам аппарата[1].

Основываясь на эти требования, выделяются два вида анализа масла: полный и сокращённый. В рамках данного исследования рассмотрен полный анализ трансформаторного масла, в частности,

хроматографический анализ растворённых газов (ХАРГ). Данная методика служит для обнаружения повреждений и дефектных конструктивных узлов, а также твёрдой электроизоляции. К сожалению, этот анализ не отражает качество и состояние самого масла.

Хроматографический анализ растворённых газов основан на принудительном извлечении газов, разделении их для последующего определения концентрации каждого. Важно отметить, что этот метод учитывает растворимость газов, их содержание в газообразной фазе и части, оставшейся в масле. Основной целью измерений являются эксплуатационные факторы, которые влияют на концентрацию растворённых в масле газов. Таковыми факторами можно назвать:

- Изменения нагрузки трансформаторов;
- Действие на масло больших токов КЗ;
- Донаполнение масляного резервуара другим или таким же видом масла;
- Изменение скорости старения масла.

В ходе анализа необходимо выделить две группы дефектов: термического характера (наблюдаются газы – этилен  $C_2H_4$ , метан  $CH_4$ , этан  $C_2H_6$ ,  $CO$  и  $CO_2$ ); электрического характера (водород  $H_2$ , ацетилен  $C_2H_2$ ) [2].

Из данных групп дефектов можно сделать вывод, что ХАРГ позволяет обнаружить перегревы токоведущих соединений и ослабление контакта между узлами, дефекты твердой изоляции и электрические разряды в масле.

Выбран объект, подлежащий ХАРГ: автотрансформатор АТДЦТН-200000/220/110. Между фазами «А» и «В» трансформатора произошло замыкание отдельных пластин из-за попадания металлической стружки на верхнее ярмо. Отмечено обильное выделение газов:  $C_2H_4$ ,  $CH_4$  и  $C_2H_6$ . На основании РД 153-34.0-46.302-00 можно спрогнозировать термический дефект в диапазоне высоких температур. Тепловизионный контроль показал область нагрева верхней части объекта. Акустический метод указал на магнитопровод фазы «В» (рис.1). После чистки верхнего ярма и слива масла результатов не наблюдалось, следовательно, стружка опустилась ниже и при нагрузке более 50 МВА выделялось выделение газов (рис.2).



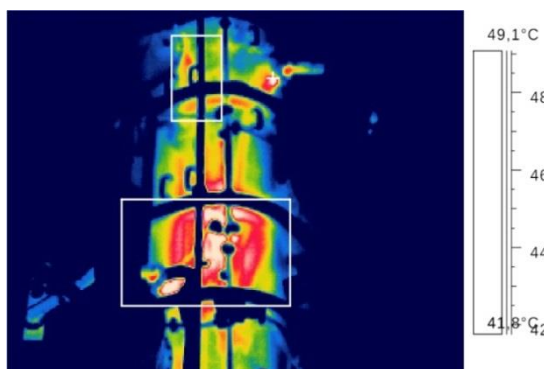


Рис.1. Локальный нагрев верхней части трансформатора

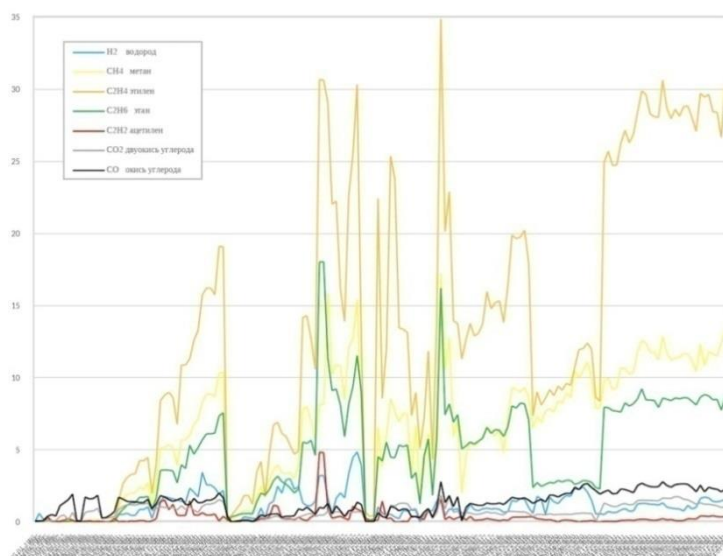


Рис.2. Превышение концентрации газов над граничными значениями от времени

На основании полученных данных персоналом приняты следующие решения:

- Трансформатор желательно эксплуатировать с полностью включенной системой охлаждения, даже резервные маслонасосы и вентиляторы охлаждения;
- Ограничение максимальной нагрузки до 70 МВА [3].

Подводя итоги, можно сказать, что хроматографический анализ растворённых газов позволяет определять неисправности электрооборудования и вовремя предпринимать необходимые меры.

### Список литературы

1. Гайнутдинова, Д. Ф. Современное состояние методов диагностики качества трансформаторных масел / Д. Ф. Гайнутдинова // Инновационное

развитие и потенциал современной науки: Материалы Международной (заочной) научно-практической конференции, Прага, 17 февраля 2020 года / под общей редакцией А.И. Вострецова. – Прага: Научно-издательский центр "Мир науки" (ИП Вострецов Александр Ильич), 2020. – С. 10-13.

2. Хальясмаа, А. И. Методы интерпретации результатов хроматографического анализа масла трансформаторного оборудования / А. И. Хальясмаа, В. К. Овчинников // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2021. – Т. 13. – № 1(49). – С. 177-190.

3. Брякин, И. В. Система мониторинга технического состояния силового трансформатора по состоянию масла / И. В. Брякин, И. В. Бочкарев // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 1(53). С. 34-46. EDN MGRAAT.

4. Ившин И.В., Галяутдинова А.Р., Владимиров О.В., Низамиев М.Ф., Усманов И.К. Методика онлайн оценки технического состояния трансформаторной подстанции 35/6(10) кВ по коэффициенту экспресс-анализа // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021. Т. 23. № 4. С. 14-26. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-4-14-26.

5.Новобрицкий В.А., Федосов Д.С. Анализ работы устройств релейной защиты в переходном режиме, сопровождающемся насыщением трансформатора тока. Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021. Т. 23. № 5. С. 71-85. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-5-71-85.

6.Басенко В. Р., Низамиев М. Ф., Ившин И. В., Владимиров О. В. 3D модель силового трансформатора для исследования его технического состояния по вибрационным параметрам // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 3. С. 130-143. DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-3-130-143. EDN TTLTLL

УДК: 621.311.1

## **МОНИТОРИНГ ГОЛОЛЁДНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ НА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ**

Баязитов Искандер Ирекович  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
bayazitov.iskander2015@yandex.ru

В данной работе рассмотрена система мониторинга гололёдных образований на линиях электропередач. Определены основные параметры мониторинга. Предложены экономически выгодные разработки и системы мониторинга.

**Ключевые слова:** электроснабжение, гололёд, датчик, система «умных подстанций».

## MONITORING OF ICE FORMATIONS ON OVERHEAD POWER LINES

Iskander Irekovich Bayazitov  
KSPEU, Kazan  
bayazitov.iskander2015@yandex.ru

In this paper, a system for monitoring icy formations on power lines is considered. The main parameters of monitoring are defined. Cost-effective developments and monitoring systems are proposed.

**Keywords:** power supply, ice, sensor, system of "smart substations".

В связи с активной электрификацией и агрессивными погодными условиями, в частности зимы, в Российской Федерации разрабатываются и внедряются системы мониторинга гололёдной обстановки на линиях электропередач.

По статистике аварийности линий в РФ около 25% аварий приходится на обрыв или повреждение воздушной линии, вызванных гололёдом.

Как правило, гололёд образуется на территориях некоторых энергосистем. Важно отметить, что это явление вызывает провисания, обрывы, разрушение изоляторов и опор, а также другие дорогостоящие неисправности воздушных линий электропередач (ЛЭП). Существует два направления обнаружения и мониторинга гололёдообразования:

1. Прогнозирование возможного гололёда, основываясь на прогнозе погоды, окружающей среды линии;

2. В рамках данной работы автором рассматривается неразрушающий контроль мониторинга гололёдообразований[1-2]. Неразрушающий контроль подразумевает использование датчиков, анализирующих такие параметры как:

- Физическая среда;
- Вес и натяжение линии;
- Электрические характеристики проводов;
- Условия распространения сигналов по воздушной линии.

Среди известных систем раннего обнаружения гололёда можно выделить «САТ-1» (Рис.1), которая доработана под условия эксплуатации

Российской Федерации учёными Казанского государственного энергетического университета.

Данная система основана на измерении тяжения проводов в пролёте, закреплённых на анкерах и учитывающая параметры, указанные выше.

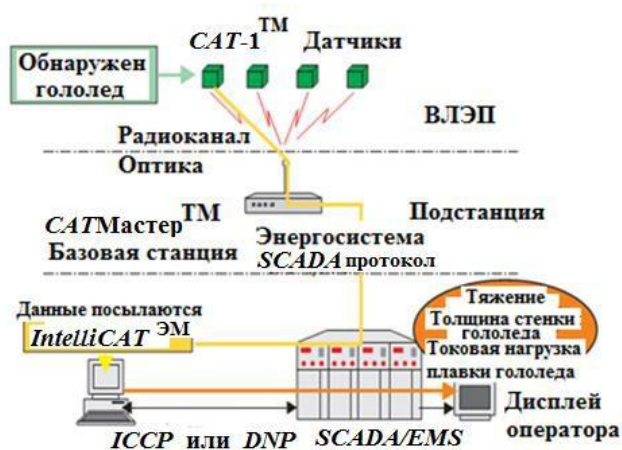


Рис.1. Схема работы системы «САР-1»

К сожалению, есть незначительные недостатки данной системы:

- Один датчик = один пролёт – для достоверности измерений нужно увеличивать количество датчиков и устройств для передачи данных;
- Необходима тщательная настройка под ЛЭП;
- Нагрузка на сервера из-за большого количества датчиков

Но учёные из Казанского государственного университета нашли решения, позволяющие уменьшить затраты заказчика. Этими решениями были: разработка и изготовление более лёгких корпусов для датчиков (Рис.2); совмещение датчика и устройства передачи данных; доработка самих транслирующих устройств, усиливая их мощность и увеличение пропускной скорости информации для обработки данных сервером [3-5].



Рис.2. Датчик мониторинга образования гололёда

Внедрение такой системы позволяет повысить эффективность энергосистемы, сократить время локализации и определения мест обрыва ВЛ, тем самым уменьшить издержки на восстановление линии и повысить бесперебойность подачи электроэнергии потребителю, использовать ВЛ с максимальной пропускной способностью, избегая при этом пережога провода и излишнего отключения потребителей, производить плавку при близких к максимально допустимым температурам провода, ускоряя процесс плавки гололёда.

### Список литературы

1. Ярославский Д. А. Разработка устройства для системы мониторинга и количественного контроля гололёдообразования на воздушных линиях электропередачи / Д. А. Ярославский, М. Ф. Садыков // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2017. – Т. 19. – № 3-4. – С. 69-79.

2. Горячев М. П. Определение механических нагрузок на воздушных линиях электропередачи / М. П. Горячев, М. Ф. Садыков // Электроэнергетика глазами молодежи - 2018: Материалы IX Международной молодежной научно-технической конференции. В 3-х томах, Казань, 01–05 октября 2018 года / Ответственный редактор Э.В. Шамсутдинов. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2018. – С. 193-194. – EDN FQDEXI.

3. Система оперативного мониторинга технического состояния воздушных линий электропередач / М. П. Горячев, М. Ф. Садыков, Д. А. Иванов, Т. Г. Галиева // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве: Материалы IV Национальной научно-практической конференции. В 2-х томах, Казань, 06–07 декабря 2018 года / Редколлегия: Э.Ю. Абдуллазянов [и др.]. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2018. – С. 104-109. – EDN JJJIZE.

4. Виноградов А. В., Чернышов В. А., Семенов А. Е., Мороз А. О. Способ мониторинга технического состояния элементов воздушной линии электропередач // Агротехника и энергообеспечение. – 2014. – № 3(3). – С. 64-68. – EDN XBХНЗР.

5. Татарников Д. А. Мониторинг состояния воздушных линий электропередачи дистанционными методами / Д. А. Татарников // Географическое изучение территориальных систем: Сборник материалов

XV Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, Пермь, 11–12 мая 2021 года / Под редакцией А.А. Сафаряна. – Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2021. – С. 341-343.

6. Куок Кыонг Л., Маклецов А. М., Альзаккар А и др. Разработка алгоритма симметрирования нагрузок в сетях 0,4 кВ при распределенной нагрузке вдоль линии / // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 2. С. 87-97. doi 10.30724/1998-9903-2022-24-2-87-97. EDN BQYNEH.

УДК 536.521

## ТЕМПЕРАТУРНЫЙ АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ МЕТАЛЛОВ С ПОМОЩЬЮ ИНФРОКРАСНОЙ ТЕРМОМЕТРИИ

<sup>1</sup>Гатупов Ленар Ирекович, <sup>2</sup>Тукшаитов Рафаил Хасьянович  
<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
<sup>1</sup>lenar.gatupov@mail.ru, <sup>2</sup>trh\_08@mail.ru

Вданной статье приведены значения температурных показаний различных типов металлов с помощью контактного термометра и бесконтактного пирометра. Рассмотрены факторы, влияющие на погрешность измерительных приборов.

**Ключевые слова:** бесконтактный термометр, пирометр, коэффициент излучения, погрешность измерения, термометрия, температура, объект.

## TEMPERATURE ANALYSIS OF VARIOUS TYPES OF METALS WITH THE HELP OF INFRARED THERMOMETRY

<sup>1</sup>Gatupov Lenar Irekovich, <sup>2</sup>Tukshaitov Rafail Khasyanovich,  
<sup>1,2</sup>FSBEI HE "KSPEU", Kazan  
<sup>1</sup>lenar.gatupov@mail.ru, <sup>2</sup>trh\_08@mail.ru

This article presents the values of temperature readings of various types of metals using a contact thermometer and a non-contact pyrometer. The factors influencing the error of measuring instruments are considered.

**Keywords:** non-contact thermometer, pyrometer, emissivity, measurement error, thermometry, temperature, object.

Одним из важнейших путей обеспечения надежности, безопасности и экономичности предприятий является, несомненно, своевременное выявление отклонений технического состояния электрооборудования от норм эксплуатации, которое значительно снижает затраты на его ремонт и предотвращает возможный ущерб от вероятных отказов, достигающий в отдельных случаях сотни тысяч рублей. [1] Одним из важнейших

параметров для выявления неисправной работы электрооборудования является значение температуры объекта. Поэтому внедрение приборов инфракрасной техники (ИКТ) в энергетику является одним из основных направлений развития высокоэффективной системы технической диагностики, которая обеспечивает возможность контроля теплового состояния электрооборудования и электроустановок без вывода их из работы, выявления дефектов на ранней стадии их развития, сокращения затрат на техническое обслуживание за счет прогнозирования сроков и объемов ремонтных работ [2]. Большую популярность при ИК-диагностике получили бесконтактные термометры именуемые в научной литературе пирометрами. Их достоинством является измерения температуры промышленного оборудования в широких пределах и малодоступных местах [3]. Однако при этом присутствуют ряд факторов, существенно влияющих на точность измерений, поэтому для повышения точности измерения их надо проверять, а также периодически сопоставлять с результатами показаний контактных приборов, используемых в качестве контрольных [4]. Сравнительно высокая точность измерения также обеспечивается при измерении температуры излучения неметаллических материалов. Это обусловлено тем, что значение коэффициента излучения большинства объектов не превышает 0,90. Однако при измерении различных типов металлов коэффициент излучения, которых составляет от 0,10 до 0,90 показания приборов становятся различны [5,6].

#### *Методика эксперимента и результаты.*

Измерения проводились при комнатной температуре 26 градусов Цельсия на расстоянии порядка 1 м перпендикулярно по отношению к объекту измерения. Измерения проводились двумя ИК-термометрами, пирометром типа GM-300 и контактным термоэлектрическим термометром TM902C.

В начале эксперимента измеряемые материалы были разложены на столе для принятия температуры окружающей среды, было выдержанно 20 минут. После чего были сделаны замеры температуры материалов результаты измерения приведены в таблице 1. Аналогичный процесс был проделан с электроплиткой Scarlett SC-HP700S12 до ее включения. Некоторые измерения различных металлов приведены в таблице 1.

Вторым этапом эксперимента был опыт с нагреванием объекта. Нагревание материалов проходило в трёх режимах работы электроплиты в 1, 3 и 5 режиме. Перед тем как положить испытуемый объект на электроплитку, на каждом из режимов, выдерживалось около 5 минут для нагрева поверхности плиты после чего делался замер температуры поверхности. Далее испытуемый объект клался по центру поверхности электроплитки, после чего выдерживалось примерно 3-5 минут для нагрева

материала, после чего проводились замеры температур. Результаты приведены в таблице 2.

Таблица 1

Анализ показаний пирометра Venetech GM300 и контактного термометра ТМ-902С при измерении температур различных металлов.

При комнатной температуре 26°С  
Температура поверхности плиты GM 300 – 25,5°С  
Температура поверхности плиты ТМ 902С – 26,2 °С

Материал	Показания	Значение температуры, °С				
Алюминий	Venetech GM300	26,1	26	25,6	25,9	25,9
	ТМ 902С	27,3	27	26,9	27,1	26,8
	Погрешность	4,4	3,7	4,8	4,4	3,4
	Коэффициент сопряжения %	1,04	1,04	1,05	1,04	1,03
Алюминий (полированный)	Venetech GM300	25,2	25	25	24,9	24,7
	ТМ 902С	27,2	27,4	27,2	27,1	27,2
	Погрешность	7,4	8,8	8,1	8,1	9,2
	Коэффициент сопряжения %	1,07	1,09	1,08	1,08	1,09
Медная проволока	Venetech GM300	25	24,9	24,8	24,9	25
	ТМ 902С	27,6	27,5	27,6	27,6	27,7
	Погрешность	9,4	9,5	10,1	9,8	9,7
	Коэффициент сопряжения %	1,09	1,09	1,10	1,10	1,10
Сталь окисленный	Venetech GM300	25,3	25,3	25,2	25,1	25,1
	ТМ 902С	27,3	27,4	27,3	27,3	27,4
	Погрешность	7,3	7,7	7,7	8,1	8,4
	Коэффициент сопряжения %	1,07	1,08	1,08	1,08	1,08

Таблица 2

Анализ показаний пирометра Venetech GM300 и контактного термометра ТМ-902С при измерении температур различных металлов.

1 режим плиты  
Температура поверхности плиты GM 300 – 150 °С  
Температура поверхности плиты ТМ 902С – 110 °С

Материал	Показания	Значение температуры, °С				
Алюминий	Venetech GM300	84,3	90,4	79,4	77,9	75,8
	ТМ 902С	111,2	124	103,7	108,1	106,2
	Погрешность	24,2	27,1	23,4	27,9	28,6
	Коэффициент сопряжения %	1,24	1,27	1,23	1,28	1,29
Алюминий (полированный)	Venetech GM300	40,3	36,3	35,4	41,2	38,4
	ТМ 902С	71,2	67,1	69,4	69,8	66,5
	Погрешность	43,4	45,9	49	41	42,3
	Коэффициент сопряжения %	1,43	1,46	1,49	1,41	1,42
Медная проволока	Venetech GM300	156	155	153	161,2	158,8
	ТМ 902С	91	93	89	94	92
	Погрешность	41,7	40	41,8	41,7	42,1
	Коэффициент сопряжения %	1,42	1,4	1,42	1,42	1,42
Сталь окисленный	Venetech GM300	153	162	172	159	165
	ТМ 902С	77	81	90	79	83
	Погрешность	49,7	50	47,7	50,3	49,7
	Коэффициент сопряжения %	1,5	1,5	1,48	1,5	1,5



В результате проведенного эксперимента отклонение температур металлических объектов сильно разнятся. При комнатной температуре погрешность между пирометром и термоэлектрическим термометром составляет 1,5- 2 градуса Цельсия, что не является критичным. Более большая разниться начинает проявляться при нагреве металлов и чем выше температура, тем сильнее разница между приборами. Разница в температуре достигала 50-100 градусов Цельсия, а погрешность 50-60%, что при измерении электрооборудования является не допустимым. Отсюда следует, что при обследовании электрооборудования необходимо применять ИК-термометры с корректором коэффициента излучения.

### Список литературы

- 1.РД 34.45-51.300-97. Объем и нормы испытаний электрооборудования. Приложение 3. Тепловизионный контроль электрооборудования и воздушных линий электропередач
- 2.РД 153-34.0-20.363-99. Методика инфракрасного контроля электрооборудования и ВЛ.
- 3.Тукшаитов Р.Х. Типовые и филаментные светодиодные лампы. Каким образом можно оперативно оценить их качество. Часть 3. – Полупроводниковая светотехника. 2019. № 3 (59). С. 9–11.
- 4.Фрунзе А.В. Методические погрешности энергетических пирометров и способы их минимизации // Метрология - № 7- С. 25-
- 5.Тукшаитов Р. Х., Фрунзе А. В., Мусин Д. Т. К оценке точности бесконтактной термометрии методом физического моделирования температуры поверхности металлов с разной излучательной способностью // Практическая силовая электроника 2021. № 4. С. 46-51.
- 6.Излучательные свойства твердых материалов. Под ред. Шейндлина А.Е. – М.: «Энергия», 1974. – 471 с.
- 7.Городнов А.Г. Методика определения параметров схемы замещения электромеханического модуля с повышенным электромагнитным моментом / А. Г. Городнов, В. Ю. Корнилов, Е. Ю. Федоров // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 3. С. 185-197. doi 10.30724/1998-9903-2022-24-3-185-197. EDN XKBCWQ.

## **СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ОПЕРАТИВНЫМ ПЕРСОНАЛОМ ПРИ ОПЕРАТИВНО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ УПРАВЛЕНИИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ СЕТЯМИ 6-10 кВ**

<sup>1</sup>Дьяконов Александр Андреевич, <sup>2</sup>Семенова Наталья Геннадьевна  
<sup>1,2</sup>Оренбургский государственный университет, г. Оренбург, Россия  
aad\_94@mail.ru, ng\_sem@mail.ru

В статье рассматривается система поддержки принятия решений при оперативно-технологическом управлении оперативным персоналом распределительными электрическими сетями 6-35кВ, описываются актуальные проблемы оперативно-технологического управления.

**Ключевые слова:** система поддержки принятия решений, оперативно-технологическое управление, диспетчер.

## **DECISION SUPPORT SYSTEM FOR OPERATIONAL PERSONNEL IN OPERATIONAL AND TECHNOLOGICAL MANAGEMENT OF DISTRIBUTION ELECTRIC NETWORKS 6-10 kV**

<sup>1</sup>Dyakonov Alexander Andreevich, <sup>2</sup>Semenova Natalya Gennadievna  
<sup>1,2</sup>Orenburg State University, Orenburg, Russia  
aad\_94@mail.ru, ng\_sem@mail.ru

The article discusses the decision support system for operational and technological management of operational personnel of 6-35 kV distribution electric networks, describes the actual problems of operational and technological management.

**Key words:** decision support system, operational and technological management, dispatcher.

В процессе оперативно-технологического управления распределительными сетями (РЭС) 6-35кВ оперативный персонал осуществляет решение следующих задач: ведение режимов работы электрической сети, обеспечивающие нормативные условия энергоснабжения потребителей, обеспечение требований качества электрической энергии, планирование и подготовка ремонтных работ, а также предотвращение и ликвидация технологических нарушений при производстве, преобразовании, передаче и распределении электрической энергии [1].

Развитие современных городских РЭС 6-35кВ усложняет работу оперативного персонала при осуществлении ими функций оперативно-технологического управления. Например, при предотвращении и ликвидации нарушений нормального режима работы диспетчер должен

определить комплекс мероприятий направленных для устранения нарушений нормального режима работы РЭС. При этом диспетчер принимает решение в кратчайшие сроки, при неполной (недостовойной) информации о технологическом нарушении, а также несет законодательную ответственность за принимаемые им решения бездействие. Все это создает стрессовую ситуацию, что осложняет правильность и обоснованность принимаемого решения. В связи с чем, становится актуальным внедрение в эксплуатацию распределительных электрических сетей 6-35кВ автоматизированных и интеллектуальных систем поддержки принятия решений (СППР).

Современные СППР (DecisionSupportSystem) представляют собой системы, призванные оказывать помощь лицу принимающее решение в неструктурированных и слабоструктурированных многокритериальных задачах, которыми и являются задачи, возникающие перед оперативным персоналом при оперативно-технологическом управлении РЭС. Классические архитектуры СППР представляются по-разному, в зависимости от решаемой задачи. Обобщая известные подходы выделяют следующие элементы: системы управления данными (thedatamanagementsystem); системы управления моделями (themodelmanagementsystem); машина знаний (theknowledgeengine); интерфейс пользователя (theuserinterface); пользователь – лицо принимающее решение (theuser(s)) [2].

В соответствии с вышеизложенным структуру системы поддержки принятия решений оперативным персоналом в процессе оперативно-технологического управления предполагается организовать в четырёх модулях, рисунок.

Первый модуль представляет собой систему сбора и управления данными. В данном модуле происходит сбор информации с помощью систем SCADA (the supervisory control and data acquisition), регистраторов комплексных величин PMU (Phasor Measurement Units), автоматизированных систем управления технологического процесса (АСУТП), телемеханики, телеуправления и оборудования, входящих в автоматизированную систему контроля и учета электрической энергии, а также ввод человеком-оператором[3]. Ввод данных осуществляется автоматически в режиме реального времени, это связано с технологическим процессом генерации, передачи и потребления электрической энергии. Оперативный персонал должен получать актуальную информации о состоянии оборудования, входящих в его операционную зону, а также информацию о параметрах режима,

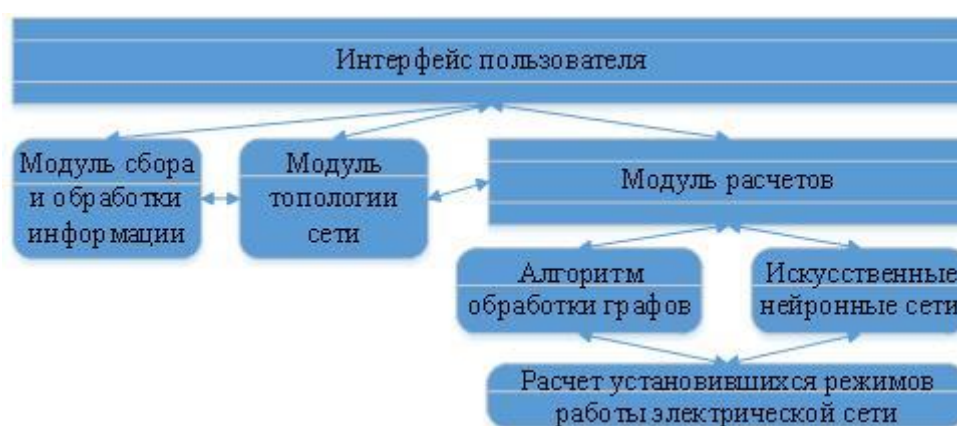
метеорологическую информацию, техническую документацию (акты разграничения балансовой принадлежности, акты технологического присоединения, положения о взаимоотношениях и другие), эксплуатационную документацию и т.д. Так как РЭС 6-35кВ является «живой» т.е. в течении дня постоянно изменяются параметры режима и топология сети необходим инструмент позволяющий собирать и хранить изменяющуюся информацию.

Второй модуль представляет собой систему создания и редактирования топологии сети. В данный модуль вносится информация о нормальной схеме электрических соединений, параметры объектов электросетевого хозяйства, привязка потребителей к объектам, указываются социально значимые объекты, параметры устройств релейной защиты и устройств автоматики (РЗА), а также поврежденные и (или) выведенные в ремонт элементы сети. В нем формируются и редактируются все зависимости между объектами электросетевого хозяйства и данными поступающие из первого модуля. Также для обеспечения работоспособности математических аппаратов, применяемые в следующем модуле, необходимо создание иерархии приоритетов узлов нагрузок, в качестве которых планируется выбрать: категории социальной значимости объектов; категории надежности электрической нагрузки; суммарной установленной мощности потребителей ( $S$ , МВА).

Третий модуль содержит математические методы и аппараты для: расчетов установившихся режимов, определения последовательности деления участков РЭС 6-35кВ и оценки состояния режимов. Конфигурация распределительной сети 6-35кВ, как правило, представлена кольцевой схемой, работающей в разомкнутом режиме, это применяется для упрощения процесса оперативно-технологического управления, снижения токов короткого замыкания и настройки РЗА. Таким образом необходимо определить методику определения мест размыкания сети, возможные пути передачи электрической энергии для каждого узла нагрузки и комплексно оценить состояние режима с учетом надежности, условиями осуществимости режима, а также его экономичности. Под условиями осуществимости режима подразумевается режим, при котором не происходит превышение длительно допустимых и аварийных токов в линиях электропередач, оборудовании, а также превышение параметров качества электрической энергии РЭС в соответствии с ГОСТ 32144-2013. Расчет установившихся режимов различных конфигураций осуществляется с целью определения параметров режима, анализа фактических небалансов, определения загруженности ЛЭП и

оборудования. В качестве математического метода планируется использовать алгоритмы обработки графов и применения искусственных нейронных сетей.

Четвертый модуль представляет собой интерфейс для лица принимающего решение, в котором отображается вся поступающая информация о режиме работы оборудования, содержатся фильтры для ранжирования конфигураций, полученных в третьем модуле. В соответствии с ранжированием по значимости возможны три варианта выбора оптимальной разомкнутой конфигурации распределительной сети по надежности (социальной значимости, надежности, мощности).



Блок-схема системы поддержки принятия решений

Предложенная структура СППР позволит оперативному персоналу эффективнее осуществлять оперативно-технологическое управление РЭС 6-35кВ. Результаты ранжирования возможных конфигураций позволят быстро и с точки зрения надежности определить наилучшие возможные варианты конфигурации распределительной сети для предотвращения и ликвидации технологического режима работы, что значительно облегчит работу диспетчера при выборе мероприятий по ликвидации аварии.

### Список литературы

1. Правила технической эксплуатации станций и сетей. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2003. – 304 с.
2. Соловьев, Н.А. Основы теории принятия решений для программистов: учебное пособие. / Н.А. Соловьев, Е.Н. Чернопрудова, Д.А. Лесовой. – Оренбург: Оренбургский гос. ун-т., 2012. – 187 с.
3. Phadke A.G. Synchronized Phasor Measurements. A Historical Overview. – IEEE/PES Transmission and Distribution Conf., 2002, vol. 1.

4. Савенко А.Е. Оптимизация схемы присоединения рассредоточенных источников электроэнергии к распределительным электрическим сетям Темрюкского района / А. Е. Савенко, А. Г. Рыбин // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 1(53). С. 76-85. EDNXYITGG.

5. Альзаккар А., Местников Н. П., Максимов В. В., Валеев И. М. Оценка индекса устойчивости напряжения электрических сетей питающих зарядные станции электромобилей с применением многослойного персептрона // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 2. С. 35-48. doi 10.30724/1998-9903-2022-24-2-36-49. EDN LJDNGG

УДК 621.316.721:723

## ВЫБОР РЕЖИМА НЕЙТРАЛИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

<sup>1</sup>Жигадло Алексей Анатольевич, <sup>2</sup>Немчинов Никита Александрович,  
<sup>3</sup>Рыжкова Елена Николаевна

<sup>1,2,3</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва, Россия

<sup>1</sup>ZhigadloAA@mpei.ru, <sup>2</sup>NemchinovNA@mpei.ru, <sup>3</sup>RyzhkovaYN@mpei.ru

При выборе режима нейтрали в сетях 3-35 кВ проводят расчет емкостного тока однофазного замыкания на землю в режиме изолированной нейтрали. При больших токах замыкания на землю для предотвращения повреждения оборудования обязательна компенсация дугогасящим реактором. Для обеспечения надежного отключения аварии релейной защитой при малых токах замыкания возможно применение низкоомного резистивного заземления нейтрали, увеличивающего ток замыкания, а для обеспечения надежного срабатывания в любых эксплуатационных условиях применяют регулируемые резисторы. В статье приведена методика выбора режима нейтрали промышленного предприятия на основе расчета емкостных токов однофазного замыкания на землю при условии надежного отключения аварии, а также краткое сравнение возможных альтернатив.

**Ключевые слова:** однофазное замыкание на землю, емкостной ток, компенсация емкостного тока, режим нейтрали, изолированная нейтраль, дугогасящий реактор, резистивное заземление, ТАДТМ, релейная защита.

## SELECTION OF NEUTRAL MODE IN POWER SUPPLY SYSTEMS OF INDUSTRIAL FACILITIES

<sup>1</sup>Zhigadlo AlekeseyAnatolyevich, <sup>2</sup>Nemchinov Nikita Aleksandrovich,  
<sup>3</sup>Ryzhokova Elena Nikolaevna

<sup>1,2,3</sup>NationalResearchUniversity «MPEI», Moscow, Russia

<sup>1</sup>ZhigadloAA@mpei.ru, <sup>2</sup>NemchinovNA@mpei.ru, <sup>3</sup>RyzhkovaYN@mpei.ru

When choosing the neutral mode in 3-35 kV electrical networks, the capacitive current of a single-phase earth fault in the isolated neutral mode is calculated. At high earth fault currents, compensation by an arc-suppression reactor is required to prevent damage to the equipment. To ensure reliable disconnection of a circuit by relay protection at low circuit currents, it is possible to use a low-resistance resistive neutral grounding that increases the circuit current, and regulated resistors are used to ensure reliable operation in any operating conditions. The article presents a method for selecting the neutral mode of an industrial facility based on the calculation of capacitive currents of a single-phase earth fault under the condition of reliable shutdown of the circuit, as well as a brief comparison of possible alternatives.

**Keywords:** single-phase earth fault, capacitive current, capacitive current compensation, neutral mode, isolated neutral, arc-suppression reactor, resistive grounding, TADTM, relay protection.

Сети промышленных объектов с номинальным напряжением 3-35 кВ могут выполняться как с изолированной нейтралью, так и с нейтралью, заземленной через дугогасящий реактор или резистор. Первичными факторами выбора того или иного режима нейтрали являются значение емкостного тока однофазного замыкания на землю (далее – ОЗЗ) и корректная работа релейной защиты. Компенсацию емкостного тока дугогасящим реактором необходимо выполнять, если он превышает следующие значения:

- 30 А при напряжении 3-6 кВ;
- 20 А при напряжении 10 кВ;
- 15 А при напряжении 20 кВ;
- 10 А при напряжении 35 кВ.

Если емкостной ток не превышает указанные значения, то возможно применение изолированной нейтрали или резистивного заземления нейтрали [2].

Резистивное заземление может быть высокоомным и низкоомным. При перемежающемся дуговым замыкании возникают перенапряжения неповрежденных фаз, обусловленные колебаниями при переходе тока дуги через нуль и повторным зажиганием. Высокоомное заземление применяется для ограничения дуговых перенапряжений при ОЗЗ. Значение сопротивления выбирается из условия равенства емкостного тока  $I_c$  и тока через сопротивление нейтрали  $I_{RN}$ :

$$R_N = \frac{U_{НОМ}}{\sqrt{3}I_c}. \quad (1)$$

Ток замыкания  $I_3$  в этом случае равен векторной сумме токов  $I_c$  и  $I_{RN}$ . Из их равенства следует, что  $I_3 = \sqrt{2}I_c$ . Этому значению тока часто бывает

недостаточно для обеспечения селективной работы релейной защиты на отключение аварии.

Применение низкоомных заземлений позволяет обеспечить необходимые условия работы релейной защиты на отключение. Сопротивление нейтрали выбирается таким образом, что при ОЗЗ ток замыкания не превышает максимального тока срабатывания защиты  $I_{C33max}$ :

$$R_N = \frac{U_{НОМ}}{\sqrt{3}I_{C33max}}. (2)$$

При выборе сопротивления заземления нейтрали необходимо также рассмотреть, как дополнительные активные токи будут воздействовать на оболочки кабелей[3]. Кабели с медной оболочкой очень чувствительны к токам ОЗЗ. Использование высокоомного заземления может создать такие условия, что по оболочке будет длительно протекать ток  $\sqrt{2}I_c$ , что представляет опасность для неё. Протекание дополнительных активных токов при низкоомных заземлителях может вызвать повреждение свинцовых оболочек кабелей с бумажной изоляцией. Эти факторы необходимо учитывать, но при применении неуправляемых резисторов это представляется проблематичным.

На практике сопротивление заземления нейтрали подбирается таким образом, что при ОЗЗ активная составляющая тока будет находиться в диапазоне 30-60 А. Так как длительное протекание таких токов замыкания недопустимо, необходимо применение быстродействующей релейной защиты от однофазных замыканий, работающей на отключение. Следует отметить, что при данных токах выполнить эту защиту довольно просто. Номинальную мощность заземляющего устройства в данном случае можно выбирать с учетом того, что эти токи ОЗЗ протекают кратковременно, что потенциально снизит затраты на заземляющее устройство [1].

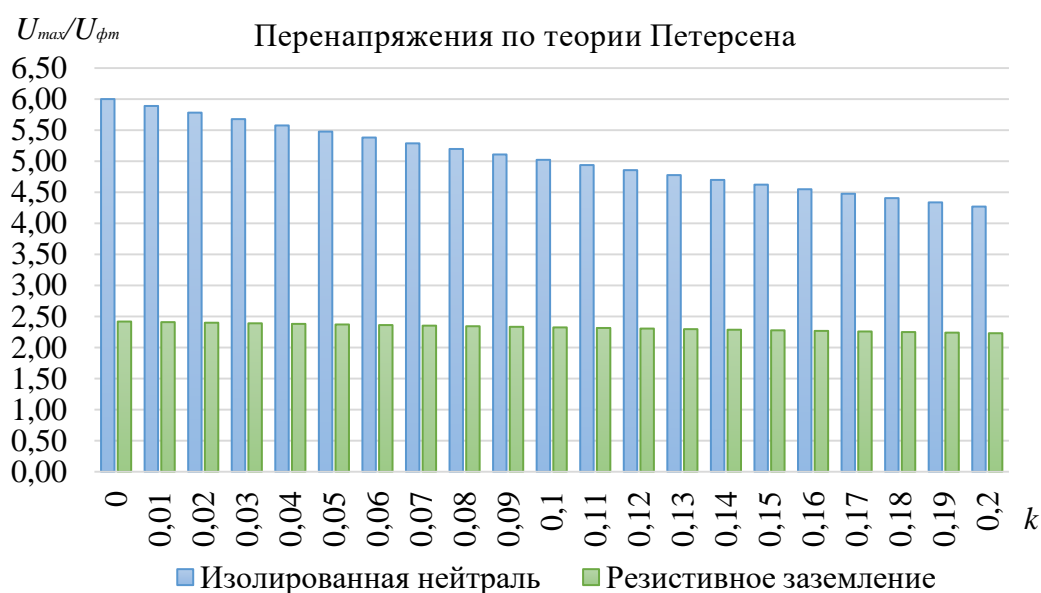
Выбор режима нейтрали был проведен для распределительной сети 10 кВ предприятия с током ОЗЗ  $I_c = 13,6$  А. Так как  $I_c < 20$  А выбран резистивный режим нейтрали. Расчет сопротивления резистора проведен на основе вышеуказанного метода по достижению активной составляющей тока ОЗЗ в диапазоне 30-60 А:

$$30 \leq \frac{U_{НОМ}}{\sqrt{3}R_N} \leq 60, (3)$$



где  $U_{ном} = 10000$  В,  $R_N$  – расчетное сопротивление резистивного заземления. Решение неравенства показало, что  $R_N$  должно находиться в диапазоне от 96,2 Ом до 196,1 Ом. Был выбран нерегулируемый резистор РЗН ВО 10,  $R_N = 125$  Ом, активная составляющая тока будет равна 46,2 А.

Для выбранного значения сопротивления в соответствии с методикой [1] были рассчитаны максимальные кратности дуговых перенапряжений по теории Петерсена по сравнению с таковыми для данной сети с режимом изолированной нейтрали, результаты расчетов приведены на рисунке.



$K$  – коэффициент, зависящий от соотношения фазных и междуфазных емкостей кабелей

Сравнение кратностей перенапряжений для одной и той же сети с разными режимами заземления нейтрали

Помимо нерегулируемого возможно применение регулируемых резисторов, имеющих ряд преимуществ по сравнению первыми. Регулируемые резисторы позволяют полностью избавиться от феррорезонансных явлений при ОЗЗ и ещё заметнее снизить величину и состав высших гармоник. Также применение регулируемого сопротивления обеспечивает надежное срабатывание релейной защиты на отключение независимо от эксплуатационных изменений схемы сети.

Для снижения или полной компенсации емкостных токов замыкания возможно применение дугогасящих реакторов. ДГР являются эффективным методом снижения дуговых перенапряжений в случае полной компенсации емкостного тока и практическом отсутствии несимметрии сети. К недостаткам ДГР можно отнести невозможность

снижения феррорезонансных явлений и компенсации токов частотой выше промышленной [4]. Кроме того, большинство реакторов, эксплуатируемых в России, являются ступенчаторегулируемыми, для которых точная настройка компенсации практически недостижима, поэтому для ограничения перенапряжений применяют так называемое комбинированное заземление нейтрали с включением высокоомного резистора параллельно ДГР.

Для компенсации малых токов замыкания также возможно применение устройств ТАДТМ, снабженных конденсаторными приставками и обладающих рядом преимуществ по сравнению с реакторами: высокой дискретностью регулирования индуктивного сопротивления; отсутствием необходимости применения нейтралей образующих устройств; возможностью реализации высокоомного или низкоомного резистивного сопротивления в одном устройстве [5].

Проведенное на основе сети конкретного предприятия исследование позволило обобщить данные по возможным режимам нейтрали, результаты приведены в таблице.

Сравнение результатов исследования

Тип нейтрали \ Воздействие	Перенапряжения, $U_{max}/U_{фm}$	Феррорезонанс	Гармонические составляющие
Изолированная нейтраль	3 – 4	Присутствует	Присутствуют
Компенсированная нейтраль с точной компенсацией	2,27 при расстройке не более $\pm 5\%$	Присутствует, ДГР может быть подвержен ФРП	Слабо ограничены, дополнительные гармоники от ДГР
Компенсированная нейтраль с расстройкой компенсации	2,88 ÷ 3,03 при расстройке более $\pm 5\%$	Присутствует, ДГР может быть подвержен ФРП	Присутствуют, дополнительные гармоники от ДГР
Высокоомное резистивное заземление	2,22 ÷ 2,56 при $\frac{I_R}{I_c} \geq 0,5$	Отсутствует при $\frac{I_R}{I_c} = 0,5$	Существенно ограничены
Низкоомное резистивное заземление	2,18 ÷ 2,35	Возможен, так как $\frac{I_R}{I_c} \geq 0,5$	Существенно ограничены
Комбинированное заземление	До 2,6 при $\frac{I_R}{I_c} \geq 0,7 \frac{I_c - I_L}{I_c}$	Маловероятен, так как $\frac{I_R}{I_c} < 0,5$	Ограничены

Окончательное решение о режиме нейтрали стоит принимать на основе технико-экономического сравнения вышеупомянутых способов заземления нейтрали.

### Список литературы

1. Вайнштейн Р.А., Коломиец Н.В., Шестакова В.В. Режимы заземления нейтрали в электрических системах.– Томск: Изд-во ТПУ, 2006.– 118с.

2.Правила устройства электроустановок, 7-е изд.– М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 1999-2005.

3.Резистивное заземление нейтрали в сетях 6-35 кВ с СПЭ-кабелями. Подходы к выбору резисторов и принципам построения защиты от ОЗЗ [Электронный ресурс]/А. Ширковец и др.// Информационно-справочное издание Новости Электротехники. - №2(50). – 2008. – Режим доступа: <http://www.news.elteh.ru/arh/2008/50/14.php>, свободный.

4. Рыжкова Е.Н., Младзиевский Е.П., Цырук С.А. Методика определения показателей эффективности сетей 6-35 кВ в зависимости от состояния нейтрали // Промышленная энергетика. – 2021. – №1. – С.2-12.

5. Рыжкова Е.Н., Фомин М.А., Садовская К.О. О практической возможности изменения режима нейтрали сетей с малыми токами замыкания на землю // Промышленная энергетика. – 2012. - №7. – С. 17-20.

УДК 621.311

## ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПОДСТАНЦИЙ С ВЫСШИМ НАПРЯЖЕНИЕМ 110-220 КВВ ПЕРИОД ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

<sup>1</sup>Зонхоев Геннадий Борисович, <sup>2</sup>Дашеев Дмитрий Евгеньевич, <sup>3</sup>Жалсанов Павел Алдарович

<sup>1,2,3</sup>Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, г. Улан-Удэ, Россия

<sup>1</sup>zgb13@mail.ru, <sup>2</sup>dasheevd@mail.ru, <sup>3</sup>pashazhalsanov@gmail.com

В статье рассматриваются технология проектирования подстанций с высшим напряжением 110-220 кВ в период цифровой трансформации электроэнергетики и возникающие, в связи с этим вопросы по применению некоторых терминов и определений, отображающих технологический процесс проектирования и реконструкций в действующих на данном этапе и на перспективу развития нормативно-технических документов (НТД) и стандартов организаций, осуществляющих данный вид деятельности. В результате анализа используемых в настоящее время терминов было выявлено, что ряд применяемых терминов подстанций с высшим напряжением 35-750 кВ, являются некими справочными данными, не имеющих утвержденных определений в соответствующих нормативно-технических документах. Также

возникают вопросы к некоторым применяемым требованиям НТД, в частности, норм технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ(НТП ПС). Такое создавшееся положение в реальных условиях проектирования вызывает неоднозначную реакцию и в процессе учебного проектирования, т.е. при подготовке специалистов для данных объектов электроэнергетики.

*Ключевые слова:* технология проектирования подстанций, нормативно-технические документы, стандарты организаций, нормы технологического проектирования.

## ISSUES OF DESIGN OF SUBSTATIONS WITH THE HIGHER VOLTAGE OF 110-220 KV DURING THE DIGITAL TRANSFORMATION OF THE ELECTRIC POWER INDUSTRY

<sup>1</sup>Zonkhoev Gennady Borisovich, <sup>2</sup>Dasheev Dmitry Evgenievich, <sup>3</sup>Zhalsanov Pavel Aldarovich

<sup>1,2,3</sup> East Siberia State University of Technology and Management, Ulan-Ude, Russia  
<sup>1</sup>zgb13@mail.ru, <sup>2</sup>dasheevd@mail.ru, <sup>3</sup>pashazhalsanov@gmail.com

The article discusses the technology for designing substations with a higher voltage of 110-220 kV during the period of digital transformation of the electric power industry and the questions that arise in connection with the use of certain terms and definitions that reflect the technological process of design and reconstruction in the existing at this stage and in the future development of regulatory and technical documents (NTD) and standards of organizations engaged in this type of activity. As a result of the analysis of the currently used terms, it was revealed that a number of the used terms of substations with the highest voltage of 35-750 kV are some kind of reference data that do not have approved definitions in the relevant regulatory and technical documents. There are also questions about some of the applicable requirements of the NTD, in particular, the norms for the technological design of AC substations with a higher voltage of 35-750 kV (NTP PS). Such a situation that has arisen in real design conditions causes an ambiguous reaction in the process of educational design, i.e. when training specialists for these electric power facilities.

*Keywords:* substation design technology, normative and technical documents, organization standards, technological design norms.

Одним из главных документов в технологии проектирования объектов электроэнергетики, в частности, подстанций различного уровня напряжений и их роли в электроэнергетической системе являются «Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ» (НТП ПС)[1]. В этом документе, в соответствии с параграфом №6, выбор схем электрических соединений распределительных устройств (РУ) должен осуществляться в соответствии с другим, сопутствующим документом, таким как «Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций 35-750 кВ. Типовые решения» [2].

В этом документе в перечне типовых схем по классам напряжения 35-750 кВ в качестве основного признака области их применения обычно

выделяются четыре типа подстанций: тупиковые, ответвительные, проходные и узловые (ТОПУ). Однако известно, что классификация подстанций по способам их присоединения ТПУ к участку электроэнергетической системы не имеет нормативного или стандартного определения (нет таких норм или стандартов), т.е. является справочно-рекомендательной информацией [3] и, строго говоря, не может являться основой для применения в НТД. Сложилась парадоксальная ситуация, что в стандарте организации в качестве основного признака применения той или иной типовой схемы используется не нормируемое определение, а некоторое «понятие» в общепризнанном смысле и нашедшее применение в практике проектирования сложнейшей и ответственной отрасли, коим является электроэнергетика.

На современном этапе развития электроэнергетики, в период её цифровой трансформации был выпущен стандарт организации ПАО «Россети» [4], СТО 34.01-21-004-2019, где сделана попытка повлиять на сложившуюся ситуацию. Так, в [4] в параграфе 3 «Термины, определения, сокращения и обозначения» в п.3.24 дано определение, что следует понимать под узловой подстанцией с высшим напряжением 35 кВ, однако и здесь не указан способ их присоединения в терминологии ТПУ к участку электроэнергетической системы, не говоря уже о подстанциях с высшим напряжением 110-220 кВ.

Неоднозначную реакцию вначале вызывает также положение в НТП ПС, п.7.15., цитируем: «Оборудование и ошиновка в цепи Т (АТ) должны выбираться, как правило, с учетом установки в перспективе Т (АТ) следующего по шкале мощности. При этом в цепях ВН и СН всех трехобмоточных АТ и ВН и НН двухобмоточных Т выбор оборудования по номинальному току и ошиновки по нагреву производится по току Т (АТ), устанавливаемого в перспективе, с учетом его допустимой перегрузки. Для трехобмоточных Т в цепях СН и НН выбор оборудования и ошиновки следует производить по току перспективной нагрузки с учетом отключения второго Т» [1]. Казалось бы, что такая явная «избыточность» в параметрах выбираемого оборудования и ошиновок продиктована тем обстоятельством, что при перспективном увеличении нагрузки по истечению регламентируемого срока (5-10) лет, достаточно при реконструкции подстанции заменить лишь трансформатор на следующий по шкале мощности без замены оборудования и ошиновок.

При этом установка дополнительного силового трансформатора в практике реконструкционных мероприятий не находит применения, более того, считается неэкономичной. Для выяснения всех обстоятельств

необходимо рассмотреть, в чем же заключается эта самая «избыточность». Для этого обратимся к таблице.

Параметры силовых трансформаторов средней мощности с высшим напряжением 110 кВ.

$S_{тр.}[МВ*А]$	$S_{ф. тр.}[МВ*А]$	$I_{ф.}[А]$
25	8,33	130
32	10.667	166.7
40	13.3	207
63	21	328
80	26.67	414

Теперь, если мы обратимся к каталожным данным жесткой ошиновки с ВН 110 кВ, например, Самарского завода «Электроцит» (СЭЦ), то увидим, что минимальная токовая нагрузка, на которую она рассчитана, начинается со значения в 630(690) А, т.е. её параметры перекрывают весь диапазон фазных токовых нагрузок всего ряда силовых трансформаторов средней мощности, включая допустимые перегрузки. При этом остальные типоразмеры, характеризующие данную конструкцию(междуфазное расстояние, высота установки и др.), не претерпевают каких-либо изменений, включая параметры термической и электродинамической стойкости. Аналогичное положение также характерно при анализе пропускной способности коммутационных аппаратов по току, таких как, высоковольтные выключатели и разъединители.

Выводы.1.Положение НТП ПС в п.7.15 выглядит совершенно излишним. Или номенклатуру электрооборудования и ошиновок следует выпускать с более дифференцированной шкалой по току. Данное утверждение требует дополнительных исследований и, прежде всего, технико-экономических обоснований.

2.Что же касается классификации Топу, то она должна быть «узаконена» в соответствующих НТД.

### Список литературы

1. СТО 56947007-29.240.10.248-2017 Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ (НТП ПС): Стандарт организации ПАО «ФСК ЕЭС»: утв. приказом ПАО «ФСК ЕЭС» от 25.08.2017 №343[сайт]. – URL: <http://www.fsk->

ees.ru/upload/docs/STO\_56947007-29.240.10.248-2017\_new.pdf(дата обращения: 30.05.2022)

2.СТО 56947007-29.240.30.010-2008 Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций 35-750 кВ. Типовые решения : стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС» : утв. приказом ОАО «ФСК ЕЭС» от 20.12.2007 №441 [сайт]. – URL: <https://www.fsk-ees.ru/upload/docs/56947007-29.240.30.010-2008.pdf> (дата обращения: 30.05.2022)

3.Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. -3-е изд., перераб.и доп. -М.: ЭНАС, 2009. -392с.: ил.

4.СТО 34.01-21-004-2019 Цифровой питающий центр. Требования к технологическому проектированию цифровых подстанций напряжением 110-220 кВ и узловых цифровых подстанций напряжением 35 кВ : стандарт организации ПАО «Россети»: утв. приказом ПАО «Россети» от 29.03.2019 № 64 [сайт]. – URL: [https://standartgost.ru/g/%D0%A1%D0%A2%D0%9E\\_34.01-21-004-2019](https://standartgost.ru/g/%D0%A1%D0%A2%D0%9E_34.01-21-004-2019) (дата обращения: 30.05.2022)

5.Бирюлин, В. И. Исследование проблем качества электроэнергии в сетях напряжением 0,4 КВ // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 1(53). С. 109-121. EDN SYNKNP.

УДК 621.311

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛА ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА В ОДНОКОНТУРНОЙ RLC-СХЕМЕ**

Иркагалиева Илюза Ильнуровна  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия  
irkagalieva2001@mail.ru

В статье получены приближенные выражения для определения параметров сигнала переходного процесса в одноконтурной цепи на основе строгого решения.

**Ключевые слова:** сигнал переходного процесса, линия электропередач, аperiodический режим, колебательный режим.

## **DETERMINATION OF TRANSIENT SIGNAL PARAMETERS IN A SINGLE-CIRCUIT RLC CIRCUIT**

Irkagalieva Iluzalnurovna  
Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia  
irkagalieva2001@mail.ru

The article reveals approximate expressions for determining the parameters of the transient signal in a single-circuit circuit based on a strict solution.

**Keywords:** transient signal, power line, aperiodic mode, oscillatory mode.

При моделировании сигналов переходного процесса (СПП) в линиях электропередач (ЛЭП) применяется строгое решение, полученное в пакете *PSCAD*. Для визуализации механизма образования СПП используется однофазная модель ЛЭП. В трехфазных линиях схема замещения усложняется, переходя в многоконтурную. Сигнал переходного процесса становится многомодальным. Определение параметров сигналов переходного процесса становится затруднительным [1-4].

Найдем приближенные выражения для определения параметров СПП в одноконтурной цепи на основе строгого решения. Целью является его использование для нахождения параметров многомодального СПП в многоконтурной цепи.

Основными параметрами СПП являются величина максимального тока, частота свободных колебаний, длительность переднего фронта и длительность заднего фронта.

Проанализируем одноконтурную RLC-схему (рис.1) с целью приближенного определения параметров СПП [5].

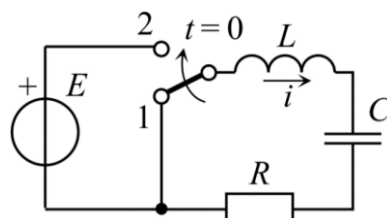


Рис. 1. Одноконтурная RLC-схема

При замыкании ключа, в зависимости от значения активного сопротивления могут возникнуть два режима: колебательный или апериодический. Апериодический режим возникает, если величина активного сопротивления превышает удвоенное волновое сопротивление контура:

$$R_{\text{крит}} = 2 \cdot \sqrt{L/C} \quad (1)$$

Значение тока в колебательном режиме вычисляется по формуле:

$$i(t) = \frac{E}{\omega_{св} \cdot L} e^{-\delta \cdot t} \sin \omega_{св} t \quad (2)$$



где  $\omega_{св}$  – частота свободных колебаний в колебательном режиме,  $\delta$  – коэффициент затухания.

$$\omega_{св} = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2} \quad (3)$$

где  $\omega_0$  – резонансная частота.

$$\omega_0 = 1/(\sqrt{LC}) \quad (4) \quad \delta = R/(2L) \quad (5)$$

Максимальное значение величины тока - это значение  $i(t)$  из формулы (2) в момент времени, когда производная  $i(t)$  по времени равна нулю. Из полученной формулы выражается значение времени и подставляется в эту производную для нахождения максимальной величины тока:

$$I_{мак} = i(t) \Big|_{t_0 = \frac{\arctg\left(\frac{\omega_{св}}{\delta}\right)}{\omega_{св}}} = \frac{E}{\sqrt{\frac{L}{C} - \left(\frac{R}{2}\right)^2}} \cdot e^{-\delta t_0} \cdot \sin(\omega_{св} t_0) \quad (6)$$

Величина тока в аperiodическом режиме определяется выражением:

$$i(t) = \frac{E}{2L\sqrt{\delta^2 - \omega_0^2}} \left[ e^{-(\delta - \sqrt{\delta^2 - \omega_0^2})t} - e^{-(\delta + \sqrt{\delta^2 - \omega_0^2})t} \right] \quad (7)$$

где  $\omega$  – частота колебаний.

$$\omega = \sqrt{\delta^2 - \omega_0^2} \quad (8)$$

Максимальная величина тока определяется из равенства нулю производной по времени от выражения (7):

$$I_{мак} = i(t) \Big|_{t_0 = \frac{1}{\omega} \cdot \ln \sqrt{\frac{\delta + \omega}{\delta - \omega}}} = \frac{E}{2\sqrt{\left(\frac{R}{2}\right)^2 - \frac{L}{C}}} \cdot e^{-\frac{\delta}{\omega} \ln \sqrt{\frac{\delta + \omega}{\delta - \omega}}} \cdot \left[ e^{\ln \sqrt{\frac{\delta + \omega}{\delta - \omega}}} - e^{-\ln \sqrt{\frac{\delta + \omega}{\delta - \omega}}} \right] \quad (9)$$

Рассмотрим 2 вида приближенных решений для максимальной величины тока. Первое решение вычисляется как отношение ЭДС к активному сопротивлению для апериодического режима по формуле (6). Второе решение вычисляется как отношение ЭДС к волновому сопротивлению для колебательного режима по формуле (7).

Результаты применения перечисленных подходов для одноконтурной RLC-схемы при изменяющемся активном сопротивлении сведены в таблицу. Параметры контура:  $E = 100000$  В,  $L = 0,1$  Гн,  $C = 1$  мкФ, волновое сопротивление =  $316,23$  Ом.

Определение величины максимального тока СПП

R, Ом	Приближенные решения		I <sub>max</sub> строгое, А	Относительная ошибка, %
	I <sub>max</sub> (1 решение), А	I <sub>max</sub> (2 решение), А		
1	100000	316,23	315,44	0,25
128	781,25	316,23	238,40	32,65
316,23	316,23	316,23	172,75	83,05
632,46	158,11	316,23	116,33	35,91
8192	12,21	316,23	12,11	0,83

Рассчитаем максимальную амплитуду тока при изменяющемся активном сопротивлении для других вариантов L и C и найдем относительную ошибку в точке перегиба, когда активное сопротивление равно волновому (рис.2).

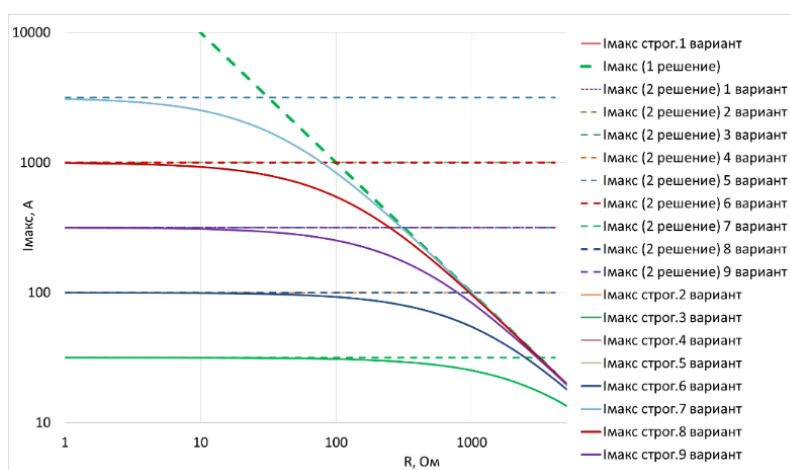


Рис. 2. Зависимость максимального тока от активного сопротивления

Из рис. 2 видно, что строгое решение асимптотически стремится к приближенным 1-му и 2-му приближенным решениям. Максимальная относительная ошибка приближенного решения для различных вариантов L и C остается постоянной и равна 83,05%.

## Список литературы

1. Новожилов А. Н., Исупова Н. А., Колесников Е. Н., Кудабаев Д. А. Анализ методов моделирования коммутационных переходных процессов в электрических сетях с изолированной нейтралью // Электротехника. - 2013. - №1. - С. 7-10.

2. Волков О. В., Коржов А. В., Коровин Ю. В. Оценка переходных процессов в распределительной сети с применением моделирования на ЭВМ // Энерго- и ресурсосбережение в теплоэнергетике и социальной сфере: материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов, ученых. - 2017. - №1. - С. 47-51.

3. Калентионюк Е.В., Филипчик Ю.Д. Математическое моделирование электромеханических переходных процессов в энергосистеме с аварийным дефицитом активной мощности и действия противоаварийной автоматики // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого. - 2(45). - №45-51. - С. 47-51.

4. Powers E., Shin Y., Grady W. Time-Frequency Diagnosis, Condition Monitoring, and Fault Detection // Time-Frequency Signal Analysis and Processing. - 2016. - Second Edition. - pp. 857 -913.

5. Зевеке Г.В., Ионкин П.А., Нетушил А.В. Основы теории цепей. Учебник для вузов. - М.: Энергия, 1975. - 148 с.

6. Гибадуллин Р. Р., Низамиев М. Ф., Ившин И. В. [и др.] Стенд для исследования работоспособности и качества функционирования электротехнических комплексов и систем электроприводов с регуляторами частоты // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 1. С. 164-175. doi 10.30724/1998-9903-2022-24-1-164-175. EDN WZGQOI

УДК 629.064.5

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЗОНЫ

<sup>1</sup>Клочкова Наталья Николаевна, <sup>2</sup>Обухова Алла Васильевна  
<sup>1,2</sup>Самарский Государственный Технический университет, г. Самара  
<sup>1</sup>Klochkova.nata@yandex.ru, <sup>2</sup>AV.Obukhova@yandex.ru

В материале представлена автоматизация проектирования системы электроснабжения с применением программного средства Microsoft Excel. Автоматизированы основные этапы проектирования подстанции: расчет нагрузок, выбор ЛЭП и трансформаторов, электрический расчет сети, расчет токов короткого замыкания и потерь электроэнергии, а также выбор выключателей и разъединителей. Расчеты

выполняются в автоматическом режиме по параметрам, заданным пользователем. Программа проста в использовании, время расчета практически равно нулю, что позволяет рассматривать различные варианты при проектировании без дополнительных затрат времени.

**Ключевые слова:** проектирование, автоматизация, электроснабжение, напряжение ток, трансформаторы, подстанции

## **AUTOMATION DESIGN OF POWER SUPPLY OF AN INDUSTRIAL ZONE**

<sup>1</sup>Klochkova Natalia Nikolaevna, <sup>2</sup>Obukhova Alla Vasilyevna  
<sup>1,2</sup>SamSTU, Samara

<sup>1</sup>Klochkova.nata@yandex.ru, <sup>2</sup>AV.Obukhova@yandex.ru

The article presents the automation of the design of the power supply system using Microsoft Excel software. The main stages of substation design are automated: load calculation, selection of power lines and transformers, electrical network calculation, calculation of short-circuit currents and power losses, as well as the selection of switches and disconnectors. Calculations are performed automatically according to the parameters set by the user. The program is easy to use, the calculation time is almost zero, which allows you to consider various options when designing without additional time.

**Keywords:** design, automation, power supply, voltage, current, transformers, substations

Проектирование систем электроснабжения, главных понизительных подстанций ведется обычно по принятой методике, чаще унифицированной, что дает возможность создания автоматизированной системы проектирования, определенной группы объектов и определенных пунктов проекта. В данной работе рассматривается автоматизация проектирования ГПП 110 – 220/6 – 10 кВ. Автоматизация расчета представлена на базе программного средства Microsoft Excel. Microsoft Excel выбран, исходя из доступности для любых пользователей, возможности создания баз данных, с которыми работает конкретный потребитель, получение графиков и диаграмм, быстрота обновлений [5].

Автоматизация проектирования заключается в автоматизации расчетов и выборе электрооборудования в программе MS Excel, как наиболее распространенной и доступной [3, 5].

Основными пунктами являются: ввод исходных данных; базы данных; выбор трансформаторов и сечения питающей ЛЭП; электрический расчет; расчет токов короткого замыкания КЗ; расчет потерь энергии; выбор электрооборудования.

Каждый пункт в программе оформляется на отдельном листе. Для удобства пользователей результаты расчета выводятся на отдельный лист.

Исходные данные. В качестве исходных данных задаются следующие параметры:  $tg\phi$  энергосистемы, длина питающей ЛЭП до точки подключения, тип проводника питающей ЛЭП, напряжение питающей сети и распределительной сети, мощность КЗ в центре питания, уровни напряжения в центре питания в max и min режимах и т.д. Основная часть исходных данных заполняется вручную, а значения типа проводника питающей ЛЭП, напряжения питающей и распределительной сети выбираются из раскрывающихся списков.

Кроме основных исходных данных пользователь должен ввести данные по используемому электрооборудованию и параметры потребителей низшего напряжения в отдельной таблице. Для этой цели предусматриваются ячейки для ввода данных или выпадающие списки оборудования. Программой предусмотрено введение до 140 разных потребителей.

Создание базы данных. Для более полной автоматизации расчета в разработанной программе проектирования ГПП созданы отдельные листы, которые содержат таблицы справочными данными, такими как: параметры трансформаторов, ЛЭП, высоковольтных выключателей и т.п.

Автоматизация расчетов. Все пункты расчета производятся на отдельных листах для удобства использования и проверки результатов. Расчетные формулы выполняются с помощью функций Excel с помощью ссылок на ячейки содержащие значения, используемые в формулах, это позволяет отслеживать и менять все значения в наглядном виде на листе, а не обращаться к формулам и как следствие сделать расчет полностью автоматическим.

*Лист 1. «Расчет мощности».* Проводится определение расчетной мощности объектов, питающихся от ГПП по методу коэффициента спроса [1,4]. Внешний вид листа «Расчет мощности» приведен на рис. 1

*Лист 2. «S<sub>mn</sub>+ЛЭП».* Проводится автоматический выбор трансформаторов и ЛЭП, которая переносится на лист результатов.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
Определение расчетной мощности объектов										Белые ячейки - перенос с предыдущего листа				
										Расчет данного листа				
№	Объединенные в подстанции 6-10/0,4 электропотребители	Категория надежности	Руст, МВт	cosφ	tgφ	Кс	Рр, МВт	Qр, МВАр	Sp, МВА					
<b>Итого ГПП</b>							<b>14,6625</b>	<b>10,00116</b>	<b>17,74858</b>					
1	Ремонтно-механический завод	2	10	0,8	0,75	1	10	7,5	12,5					
2	Завод железобетонных изделий	3	0,95	0,85	0,619744	1	0,95	0,588757	1,117647					
3	Котельная	1	3,8	0,9	0,484322	1	3,8	1,840424	4,222222					
4	Станция технического обслуживания	3	1,1	0,85	0,619744	1	1,1	0,681719	1,294118					
5	Завод металлоконструкций	2	1,2	0,75	0,881917	1	1,2	1,058301	1,6					
6	Прочая нагрузка	3	0,2	0,9	0,484322	1	0,2	0,096864	0,222222					

Рис. 1. Лист «Расчет мощности»

Выбор трансформатора проводится по двум условиям:

1. Выбор по расчетной мощности [1,4]
2. Проверка по аварийному режиму

$$K_{з.а} \geq \frac{S_p}{S_{н.тр}} \quad (1)$$

где  $K_{з.а}$  – коэффициент загрузки трансформатора в аварийном режиме, принимается по ПУЭ [6];  $S_{н.тр}$  – номинальная мощность трансформатора.

Результаты выбора трансформаторов представлены на рис. 2.

Расчет мощности трансформаторов									
Расчетная мощность одного трансформатора								12,67756	
Стандартная мощность трансформатора								16	
Кз.а								1,109286	
Проверка загрузки в аварийном режиме								ВЕРНО	
Принятая стандартная мощность трансформатора								16	

Параметры трансформаторов										
Тип	Sn.тр, МВА	Пределы регулирования		Уном обмоток			Потери, кВт		Ток XX, Ixx %	Напряже ние КЗ, ик %
		п ступеней	ступень р	ВН	НН	НН	XX	КЗ		
ТДН-16000/110	16	19	1,78	115	6,5	11	19	85	0,7	10,5

Рис. 2. Выбор трансформаторов ГПП

Выбор сечения проводников осуществляется по экономической плотности тока, проверке по нагреву токами аварийного режима и проверкой на коронирование и максимальное сечение.

*Лист 3. Электрический расчет.* В электрический расчет питающей сети входит определение уровней напряжений и мощностей в узлах сети, а также выбор ответвления трансформаторов с РПН в максимальном и минимальном режиме в режиме стабилизации [1, 4].

*Лист 4. Расчет токов КЗ.* Расчет токов короткого замыкания на высшем и низшем напряжении ГПП проводится для правильного выбора и проверки электрооборудования [2].

*Лист 5. Расчет потерь электроэнергии и себестоимость передачи электроэнергии.* Результаты данного расчета используются в технико-экономических расчетах и для определения себестоимости передачи и распределения электроэнергии. Методика расчета потерь электроэнергии и себестоимости передачи принята из [1, 4].

Результаты всех расчетов представляются на отдельном листе (рис.3), что позволяет пользователю не вникать в процесс расчета и выбора, а также изменять расчетные ячейки по недосмотру или нечаянно.

	A	B	C	D	E	F
1		<b>Показатель</b>	<b>Результат</b>			
2	1	Номинальная мощность тр-ров ГПП, МВА	40			
3	2	Коэффициент загрузки трансформаторов	0,22			
4	3	Коэффициент загрузки трансформаторов аварийный	0,44			
5	4	Сечение ЛЭП	240			
6	5	<b>Максимальный режим</b>				
7		Принятое ответвление трансформатора в max режиме	-5			
8		Вторичное напряжение в максимальном режиме, кВ	10,48			
9		Погрешность регулирования напряжения, %	-0,22			
10	6	<b>Минимальный режим</b>				
11		Принятое ответвление трансформатора в min режиме	3,00			
12		Вторичное напряжение в минимальном режиме, кВ	10,44			
13		Погрешность регулирования напряжения, %	-0,57			
14	7	<b>Потери электроэнергии</b>				
15		Потери ЭЭ в ЛЭП, кВт*час	9471,17377			
16		Потери ЭЭ в трансформаторах, кВт*час	916252,489			
17		Суммарные годовые потери электроэнергии, кВт*час	925723,662			
18	8	Выбор электрооборудования		Un, кВ	Iоткл, кА	In, А
19		Выключатель вводной ВН	ВЭБ	220	50	2500
20		Выключатель вводной НН	LF	10	25	2000

Рис. 3. Лист «Результаты»

Программа проста в использовании, время расчета практически равно нулю, что позволяет рассматривать различные варианты при проектировании без дополнительных затрат времени. Все листы, кроме «Исходные данные», имеют защиту от случайных или намеренных изменений, установленную с помощью функционала EXCEL.

### Список литературы

1. Ключкова Н.Н. Распределительные устройства в системах электроснабжения: учеб.пособие / Н. Н. Ключкова, А. В. Обухова; Самар.гос.техн.ун-т. - 2-е изд.- Самара, 2013.- 47 с.
2. Правила устройства установок ПУЭ изд. 7. Новосибирск.Изд. Норматика, 2021г.
3. Обухова А.В., Ключкова Н.Н., Ключков А.А. Автоматизация расчета электрических нагрузок потребителей электроэнергии жилого района Международная научно-практическая конференция: Наука, образование, общество Тамбов, 29 ноября 2019г «Научный альманах» № 11-2(61). С. 55-60.
4. Неклепаев В.Н., Крючков И.П. Электрическая часть станций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. Учеб.пособие для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1989.

5. Александер Майкл, Куслейка Ричард. Excel 2019. Библия пользователя.: Пер. с англ. – СПб.: ООО "Диалектика", 2019. – 1136 с.: ил. – Парал.тит. англ.

6. Булатов Ю.Н., Крюков А.В., Суслов К.В. Исследование режимов работы изолированной системы электроснабжения с управляемыми установками распределенной генерации, накопителями электроэнергии и двигательной нагрузкой Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021. Т. 23. № 5. С. 184-194. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-5-184-194.

7.Котин Д.А. Использование однофазного синхронного многообмоточного генератора с постоянными магнитами для электроснабжения автономного потребителя / Д. А. Котин, И. А. Иванов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 1. С. 29-38. doi 10.30724/1998-9903-2022-24-1-29-38. EDN TBRQRH.

УДК 621.316.721:723

## **ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА РЕЖИМА НЕЙТРАЛИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ**

<sup>1</sup>Немчинов Никита Александрович,<sup>2</sup>Жигadlo Алексей Анатольевич,  
<sup>3</sup>Рыжкова Елена Николаевна

<sup>1,2,3</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва, Россия

<sup>1</sup>NemchinovNA@mpei.ru, <sup>2</sup>ZhigadloAA@mpei.ru, <sup>3</sup>RyzhkovaYN@mpei.ru

Экономический аспект является важным фактором при выборе режима нейтрали в электрической сети. Его можно представить в виде ущерба от перерыва в электроснабжении и от влияния на электрооборудование неблагоприятных явлений, сопутствующих однофазному замыканию на землю. Окончательный выбор режима нейтрали следует осуществлять на основе сравнения степени снижения ущерба от перенапряжений, феррорезонансных явлений и высших гармоник. Для эффективного снижения влияния перенапряжений используют компенсированную нейтраль, а для уменьшения ущерба от неблагоприятных явлений в целом используют режим резистивной нейтрали. При использовании регулируемого резистора можно добиться полного снижения феррорезонансных явлений и ещё большего снижения ущерба от других явлений.

**Ключевые слова:** однофазное замыкание на землю, ущерб, перенапряжения, феррорезонанс, высшие гармоники, режим нейтрали, дугогасящий реактор, резистивное заземление.

## **ECONOMIC JUSTIFICATION OF THE CHOICE OF NEUTRAL MODE IN THE POWER SUPPLY SYSTEMS OF INDUSTRIAL FACILITIES**

<sup>1</sup>Nemchinov Nikita Aleksandrovich, <sup>2</sup>Zhigadlo Alekesey Anatolyevich,  
<sup>3</sup>Ryzhokova Elena Nikolaevna



The economic aspect is an important factor when choosing the neutral mode in the electrical network. It can be represented in the form of damage from a power supply interruption and from the influence of negative phenomena accompanying a single-phase earth fault. The final choice of the neutral mode should be made on the basis of comparing the degree of reduction of damage from overvoltage, ferroresonance and higher harmonics. To effectively reduce the effect of overvoltage, a compensated neutral is used, and to reduce the damage from negative phenomena in general, a resistive neutral mode is used. By using a regulated resistor, a complete elimination of ferroresonance and reduction of even more damage from other phenomena can be achieved.

**Keywords:** single-phase earth fault, damage, overvoltage, ferroresonance, higher harmonics, neutral mode, arc-suppression reactor, resistive grounding.

Важным фактором при выборе режима нейтрали является экономический аспект выбора того или иного выбора заземления. Однако точный технико-экономический расчет при конкретном выборе заземления очень сложен по причине огромного количества переменных и условий, которых необходимо учесть.

Оценку эффективности конкретного режима нейтрали можно осуществить на основе денежного ущерба от двух факторов: перерыва в электроснабжении при аварии (у потребителя и электроснабжающей организации) и последствиями, вызванными неблагоприятными явлениями при аварийной ситуаций.

Перерыв в электроснабжения может выражаться через недоотпуск продукции за время отключения и фактор внезапности отключения. Внезапное отключение электроэнергии влечёт за собой брак сырья, потери времени и энергии на восстановление технологического процесса. Денежный ущерб от перерыва в электроснабжении можно посчитать как сумму ущерба от недоотпуска энергии от электроснабжающей организации и сумму ущерба для потребителя. При наличии технологического и электрического резерва предприятия, и если они полностью покрывает электропотребление предприятия, влиянием недовыработки продукции за время отключения и фактором внезапности отключения на экономический ущерб можно пренебречь. При этом суммарный ущерб будет складываться из затрат, которое понесло предприятие на установку и поддержание необходимого резерва и недоотпуском ЭЭ, который не зависит от наличия резерва у потребителя [3].

К неблагоприятным явлениям, сопутствующим ОЗЗ, можно отнести дуговые перенапряжения, феррорезонансные процессы и высшие гармоники. Ущерб от этих явлений можно считать пропорциональным

ущерб от их воздействия на электрооборудование. Перенапряжения способны вывести электрооборудование из работы и вызвать пробой изоляции (рис.1). Феррорезонансные процессы в основном воздействуют на трансформаторы напряжения, вызывая повышение тока в их обмотках выше допустимых значений и, как следствие, разрушение изоляции, что приводит к тепловому разрушению прибора. Данный тип аварии является причиной ложного срабатывания релейной защиты, возникновения высших гармоник в сети и неправильной работы систем коммерческого учёта. Наличие в сети высших гармоник вызывает дополнительные потери мощности и ненормативный нагрев изоляции[5]. Режим нейтрали сетей среднего напряжения (3-35кВ) может быть выполнен в виде изолированной нейтрали, нейтрали, заземлённой через резистор или дугогасящий реактор[4]. Сравним эффективность снижения воздействия от неблагоприятных эффектов при резистивном заземлении и заземлении через дугогасящий реактор.

Дугогасящий реактор является эффективным методом снижения дуговых перенапряжений в случае полной компенсации емкостного тока и практического отсутствия несимметрии сети. Практика использования дугогасящих реакторов в России показывает, что ущерб от дуговых перенапряжений относительно изолированной нейтрали снижается на 30%. Наличие плавной регулировки индуктивности позволяет снизить ущерб ещё сильнее. Дугогасящие реакторы не только практически не дают снижения феррорезонансных явлений по сравнению с изолированной нейтралью, но и могут сами являться их источниками. Уровни высших гармоник, создаваемых дугогасящим реактором, могут составлять 1-1,5% от величины компенсируемого тока [2]. Дугогасящие реакторы способны компенсировать только токи промышленной частоты, поэтому ущерб от высших гармоник практически не снижается.

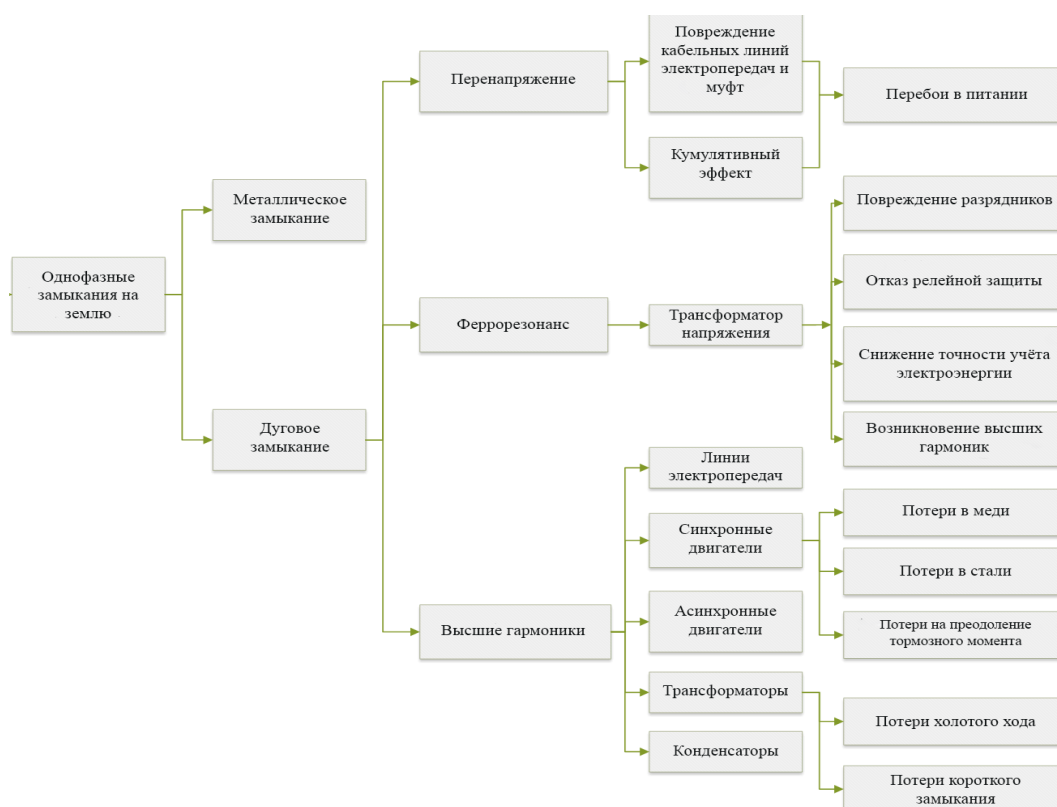


Рис.1. Структурная схема составных частей ущерба от отдельных видов угроз, связанных с однофазными замыканиями на землю

Резистивное заземление создаёт путь для разрядки паразитных ёмкостей, благодаря чему возникают гораздо меньшие дуговые перенапряжения по сравнению с изолированной нейтралью. Возникновение феррорезонанса при регулируемом резисторе исключается в принципе. Наличие активного тока в нерегулируемом резисторе снижает величину и состав гармонических составляющих в два раза. Использование регулируемого резистора позволит снизить этот показатель ещё заметнее. Кроме того, резистивное заземление нейтрали требует меньших капиталовложений, чем дугогасящий реактор. Применение высокоомных резисторов позволяет, как и в режиме компенсированной нейтрали, оставить в работе повреждённый участок линии при ОЗЗ [1].

На рисунке 2 представлена диаграмма числа отказов в сети при компенсированном заземлении нейтрали со степенью оснащения устройствами автоматического регулирования  $R_{arc} = 0,9$  и высокоомном режиме заземления нейтрали в зависимости от степени изношенности сети.

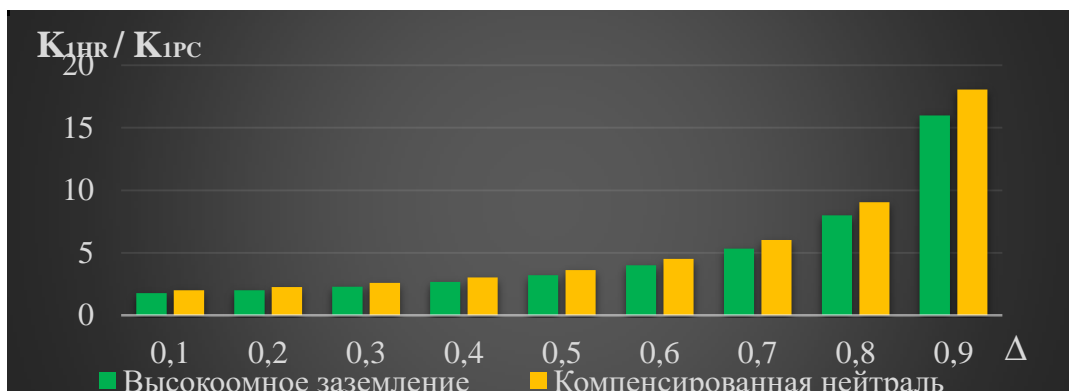


Рис.2. Сравнение числа аварийных отключений в сети с компенсированным и высокоомным заземлением нейтрали при различной степени изношенности сети  $\Delta$

Анализ резистивного заземления и заземления через дугогасящий реактор показывает, что регулируемое резистивное заземление является наиболее экономически целесообразным и эффективным методом снижения ущерба от неблагоприятных явлений.

### Список литературы

1. Вайнштейн Р.А., Коломиец Н.В., Шестакова В.В. Режимы заземления нейтрали в электрических системах. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006.– 118с.
2. Винокурова Т.Ю., Шагурина Е.С., Шуин В.А. Математическая модель для оценки минимального уровня высших гармоник в токе однофазного замыкания на землю в компенсированных сетях 6–10 кВ // Вестник ИГЭУ. –2013. –№6. –С. 5.
3. Китушин В.Г. Надежность энергетических систем. Ч. 1. Теоретические основы: Учебное пособие. Новосибирск: Изд-во НГТУ. - 2003.– 252 с.
4. Правила устройства электроустановок, 7-е изд.– М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 1999-2005.
5. Рыжкова Е.Н., Младзиевский Е.П., Цырук С.А. Методика определения показателей эффективности сетей 6-35 кВ в зависимости от состояния нейтрали // Промышленная энергетика. – 2021. – №1. – С.2-12.

УДК 621.317.791

## ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА АНАЛИЗАТОРОВ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

<sup>1</sup>Ольховой Антон Владиславович, <sup>2</sup>Семенова Ольга Дмитриевна

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
<sup>1</sup>olhovoya@gmail.com, <sup>2</sup>ollivka@bk.ru

В данной статье рассмотрены современные анализаторы качества электроэнергии. Изучены их характеристики достоинства и недостатки. Рекомендован для применения АКЭ ChauvinArnouxF27.

**Ключевые слова:** анализатор качества электроэнергии, КНИ, качество электрической энергии, сравнение анализаторов

## TECHNICAL AND ECONOMIC ASSESSMENT OF POWER QUALITY ANALYZERS

<sup>1</sup>Olhovoy Anton Vladislavovich, <sup>2</sup>Semenova Olga Dmitrievna  
<sup>1,2</sup>FSBEI HE "KSPEU", Kazan  
<sup>1</sup>olhovoya@gmail.com, <sup>2</sup>ollivka@bk.ru

This article discusses modern power quality analyzers. Their characteristics, advantages and disadvantages are studied. Recommended for use with ACE Chauvin Arnoux F27.

**Keywords:** power quality analyzer, THD, power quality, analyzer comparison

Сохранение приемлемого качества электроэнергии стало в последние годы серьёзной проблемой. Крупные промышленные и бытовые потребители несут большие экономические потери из-за его ухудшения. Причиной такого положения является широкое использование нелинейных нагрузок (на каждом уровне напряжения), например, бытовых электроприборов, люминесцентных ламп, регулируемых приводов, компьютеров с одновременным уменьшением количества резистивных нагрузок. Кроме того, параметры электропитания ухудшаются из-за нагрузок, работающих с меняющимся потреблением электрической энергии (особенно реактивной), коротких замыканий в системе и коммутаций конденсаторов и мощных нагрузок.

В связи с этим появляются всё более и более высокие требования, относящиеся к качеству электроэнергии и его контролю. Сегодня качество электрической энергии стало пониматься как «продукт», который может быть лучше или хуже, несоблюдение требований к нему, подтверждаемое результатами измерений, может стать основой взаимных финансовых требований операторов системы распределения и потребителей.

Одним из параметров, принимаемых во внимание при оценке качества электроэнергии, является уровень искажений напряжения. Эти искажения характеризуются величинами каждого гармонического компонента в спектре сигнала. Чем они больше, тем больше искажено напряжение. Количественной мерой искажения формы является

суммарный коэффициент нелинейных искажений (THD), определяемый выражением:

$$THD = \sqrt{\sum_{n=2}^N \left(\frac{G_n}{G_1}\right)^2}, \quad (1)$$

где  $N$  – количество рассматриваемых гармоник [1].

Рассмотрим сравнение анализаторов качества электроэнергии в отношении измерений нелинейных искажений напряжения и тока, основанное на технических характеристиках приборов.

На сегодня промышленность выпускает целый ряд анализаторов качества электроэнергии. В таблице 1 представлены анализаторы с диапазоном измерения КНИ до 500%.

Таблица 1

АКЭ с диапазоном измерения до 500%

Модель анализатора	КНИ, %
Ресурс-PQA	0,5-30
Электромонитор-3.3Т1	0-49,9
АКЭ-823	0-100
PQM-700	0-200
ND20	0-400
ПКЭ-А	0 -200
Fluke 43В	0-100
ПКК-57	0-99,9

В таблице 2 приведены измерители качества электроэнергии с возможностью замера более 500%. Максимальное значение, которое анализаторы качества электроэнергии сегодня замеряют является 1000%.

Таблица 2

АКЭ с диапазоном измерения более 500%

Модель анализатора	КНИ,%
F27	0.2-600
Fluke 1738	0-1000
GSC60R	0-1000
Chauvin Arnoux C.A 8220	0-999,9
Fluke 1748	0 - 1000

Анализаторы, диапазон измерения КНИ у которых больше 500%, более предпочтительны для замеров качества электроэнергии в сетях, где мощность нелинейных потребителей сравнима с мощностью самой сети, т.к. при этом коэффициент нелинейных искажений больше. А для сетей, в которых мощность сети больше мощности потребителей подойдут анализаторы с диапазоном измерения менее 500% [2]. Для измерения домашних сетей не нужен АКЭ с возможностью замерять КНИ 1000%, достаточно будет 100%, т.к. в таких сетях данное значение не превышает[3].

В таблице 3 представлены расширенные технические характеристики сравниваемых анализаторов. В данной таблице показаны показатели диапазона измеряемой мощности, коэффициента нелинейных искажений и цены на рынке.

Таблица 3

Технико-экономические показатели анализаторов

Модель	КНИ, %	Погрешность	Мощность	Погрешность	Цена, руб.
До 300 тыс. рублей					
Chauvin Arnoux F27	0,2-600	1% ± 2 ед.	10 Вт...600 кВт AC/DC	2% ± 2 ед.	29 322
ND20	0-400	±5%	-1.65 кВт..1.4 кВт ..1.65 кВт	±0,5 %	31 000
ПКЭ-А	0 - 200	абсолютная, % ±0,05 KI(h) < 1,0 относительная, % ±5,0 KI(h) > 1,0	от 0,01P <sub>н</sub> до 2,25P <sub>н</sub>	±(0,1 – 4,0) % в зависимости от используемых клещей	89 000
Ресурс-PQA	0,5-30	$K_u < U_{\text{НОМ}}/U_{(1)}:$ ± 0,05 · $U_{\text{НОМ}}/U_{(1)}$ $K_u$ $\geq U_{\text{НОМ}}/U_{(1)} : \pm 5,0$	от 0,8·U <sub>НОМ</sub> до 1,2·U <sub>НОМ</sub>	±0,5 %	95 800
ChauvinArnouxC. A 8220	0-999,9	± (1 % + 5 ед.)	0...9999 кВт	± (1%) Cos Φ ≥ 0.8 ± (1.5 % + 10 ед.) 0.2 ≤ Cos Φ < 0.8	132 000
GSC60R	0-1000	—	0...9,999 кВт	± (2 % + 7 ед. счета + погрешность	182 000

				преобразователя )	
PQM-700	0-200	$\pm 0,05 \times \text{THD}_{\text{изм}}$	от $0,8 \cdot U_{\text{НОМ}}$ до $1,2 \cdot U_{\text{НОМ}}$	$\pm 0,01$ $\cdot \sqrt{\delta_U^2 + \delta_I^2 + \delta_P^2}$ $\cdot P(E_p)$	212 040
Fluke 43B	0-30	$\pm 10 \%$	250 Вт ... 1,56 ГВт	$\pm (4 \% + 4 \text{ ед. мл.разр.})$	210 208
До 700 тыс. рублей					
Электромонитор-3.3Т1	0-49,9	—	от $0,01 I_H U_H$ до $1,5 I_H \cdot 1,2 U_H$	$\pm 0,015 X_{\text{изм.}}$ при $I_{\text{НОМ}}, U_{\text{НОМ}}, \cos \varphi = 1,0$	352 000
ПКК-57	0 – 99,9	$\pm (15\% + 2 \text{ ед. сч.})$	0 - 9999,9 МВт В пределах диапазонов измерений фазных напряжений , токов и фазовых углов	$\pm (0,01 \times X + 2 \text{ е.м.р.})$	381 870
Fluke 1738	0-1000	$\pm 0,5\%$	4 кВт/40 кВт	$1,2 \% + 0,005 \%$	435 162
АКЭ-823	0-100	—	0,1 Вт – 9,999 МВт	$\pm (1,0\% + 6 \text{ ед. сч.})$ - при $\cos \varphi > 0,5$	643 500
Fluke 1748	0 - 1000	$\pm 2,5 \%$	4 кВт/40 кВт	$1,2 \% + 0,005 \%$	700 000

По диапазону и погрешности измерения КНИ лучше всего оказался анализатор Fluke 1738. Также, при использовании с устройством токоизмерительных клещей i40S-EL, можно замерять мощности до 40 кВт с погрешностью  $1,2 \% + 0,005 \%$ , что вполне подходит для широкого применения в энергетике. С помощью данного анализатора можно замерять показания как трехфазной сети, так и однофазной сети, что тоже является плюсом данного устройства.

#### *Выбор анализатора качества электроэнергии.*

Из всех представленных анализаторов наименьшую цену имеет Chauvin Arnoux F27. По диапазону измерения КНИ и мощности он также вполне приемлем для широкого применения в энергетике, а погрешности измерения прибора очень малы. Однако данный прибор сложно найти на рынке, что создает проблему его покупки. Второй прибор Chauvin Arnoux C.A 8220 в 4,5 раза дороже, но он позволяет увеличить диапазон измерения КНИ до 1000%, также возможности измерения



мощности у данного прибора больше и погрешность измерения меньше первого варианта, но для практики возможности данного прибора не имеют значения.

Таким образом, из всех сравниваемых анализаторов качества электроэнергии наиболее предпочтительным в сравнении цена/качество является анализатор ChauvinArnoux F27 со своими возможностями замера коэффициента нелинейных искажений до 600% и измерения мощности от 10 Вт и до 600 кВт, имея небольшую цену в 29 332 рубля. Данный анализатор отлично подойдет как для замеров качества электроэнергии дома, так и для замеров в промышленных условиях.

### Список литературы

1. Анализатор качества электроэнергетики – сравнительные испытания [Электронный ресурс]. URL: <https://khomovelectro.ru/articles/sravnitelnye-ispytaniya-analizatorov-kachestva-elektroenergii-izmerenie-garmonicheskikh-iskazheniy.html> (дата обращения: 25.04.2022).
2. Барутсков И.Б., Вдовенко С.А., Цыганков Е.В. Гармонические искажения при работе преобразователей частоты // Главный энергетик. 2011. № 6. С. 5-15
3. Семенова О.Д., Тукшаитов Р.Х. К характеристике соотношения между коэффициентами нелинейных и гармонических искажений и устранению их разночтения // 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. 301-305.
4. Электроприбор. Эксперт рынка измерительного оборудования [Электронный ресурс] URL: <https://www.electronpribor.ru/catalog/pribory-izmereniya-pokazatelej-kachestva-elektricheskoy-energii-pke/> (дата обращения: 04.03.2022)
5. ТехноАс. Контрольно-измерительные приборы, разработка и поставка [Электронные ресурсы]. URL: <https://www.technoac.ru/catalog/elektroizmeritelnye-pribory/analizatory-kachestva-elektroenergii/> (дата обращения: 04.03.2022).
6. Бирюлин, В. И. Исследование проблем качества электроэнергии в сетях напряжением 0,4 кВ / В. И. Бирюлин, Д. В. Куделина, И. В. Брежнев // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 1(53). С. 109-121. EDN SYNKNP.

7. Савина, Н. В. Выбор схемных и технических решений для улучшения качества электроэнергии в адаптивных сетях с тягой переменного тока / Н. В. Савина, И. А. Лисогурский, Л. Н. Лисогурская // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 3. С. 42-54. doi 10.30724/1998-9903-2022-24-3-42-54. EDN LYXICS.

УДК 621.311(470)

## ЭТАПЫ РАЗРАБОТКИ И ВНЕДРЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГРУППОЙ МАЛЫХ ГЭС

<sup>1</sup>Рудаков Александр Иванович, <sup>2</sup>Мухаматяров Мират Ринатович  
<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»  
<sup>1</sup>rud-38@mail.ru, <sup>2</sup>vcc\_99@mail.ru

Разработкой и внедрением автоматизированной системы управления группой малых ГЭС предусматривается некоторое число завершенных этапов, каждый из которых соответствует реализации определенным задачам.

Вначале (на первом этапе) решаются задачи автоматизации коммерческого учета электроэнергии. Второй этап реализации АСУ может быть отнесен к автоматизации процесса производства электроэнергии и характеристики автономии малых ГЭС. Третий этап разработки и реализации АСУ микроГЭС начинается и кончается выделением опорных ГЭС.

**Ключевые слова:** автоматизированная система, группа малых ГЭС, автоматика, коммерческий учет, производство, электроэнергия.

## STAGES OF THE DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF AN AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR THE GROUP OF SMALL HYDROELECTRIC POWER STATIONS

Rudakov Alexander Ivanovich, Mukhamatyarov Mirat Rinatovich  
<sup>1,2</sup>FSBEI HE "KSPEU", Kazan  
rud-38@mail.ru, vcc\_99@mail.ru

The development and introduction of an automated control system of a group of small hydroelectric power stations provides for a certain number of completed stages, each of which corresponds to the implementation of certain tasks.

At first (at the first stage), the tasks of automation of commercial accounting electricity are solved. The second stage in the implementation of the ACS can be attributed to the automation of the electricity production process and the characteristics of the autonomy of small hydroelectric power stations. The third stage in the development and implementation of ACS MicroPes begins and ends with the release of support hydroelectric power stations.

**Key words:** automated system, group of small hydroelectric power stations, automation, commercial accounting, production, electricity.

В настоящее время развитие как большой, так и малой гидроэнергетики невозможно без применения систем автоматического управления (САУ ГА) и автоматического регулирования (САР ГА).

Их разработка на основе микропроцессорных средств определяется необходимостью модернизации физически изношенных существующих систем гидроавтоматики. Системы управления, внедрённые в производствоболее 25 лет тому назад, не отвечают современным требованиям и ГОСТам. Они не могут быть интегрированы в комплексную автоматизированную систему управления технологическими процессами (АСУ ТП) ГЭС. Кроме того, выработан практически весь резерв запасных частей. Поэтому, такие системы автоматизации и автоматикинеобходимо признать морально и физически устаревшими.

АСУ ТП – это комплекс программных и технических средств, предназначенных для создания систем автоматизации и автоматизации управления технологическим оборудованием и производственными процессами. АСУ ТП обычно состоит из ряда отдельных систем автоматического управления (САУ) и комплексных устройств, объединенных единым решением для автоматизации технологических процессов.

АСУ ТП, наряду с САУ содержит в своем составе систему автоматического регулирования (САР). Для снижения себестоимости продукции автономных хозяйств, необходимо уменьшение электро- и энергоемкости ее производства. Также необходимо постоянно повышение качества электроэнергии.

Снижение электроемкости продукции можно добиться сокращением технологическихпотерь электроэнергии в электроустановках и применением в производстве энергосберегающих технологий, особое внимание необходимо отдавать электротехнологиям. Обеспечение повышенного технологического эффекта при сохранении потребляемой мощности добиваются использованием современных светодиодников, тепло излучателей и другого электрооборудования специального назначения. Значительно экономию электроэнергиипозволяет достичь автоматизацией производственных процессов.

К основным показателям качества электроэнергии в соответствии с ГОСТ 13109-97 [2] относятся параметры выходного напряжения, характеризующиеся номинальной величиной и частотой. Поэтому, важнейшим элементом микрогидроэлектростанции (микроГЭС) является система стабилизации, обеспечивающая статически устойчивый режим работы гидроагрегата и стабилизацию его выходного напряжения [3].

Построениестабилизации частоты тока микроГЭС обычно делят на два класса:

- на стабилизацию частоты вращения приводного двигателя;

– на генерирование переменного тока стабильной частоты при переменной скорости привода.

Регулирование частоты вращения турбины состоит в изменении угла поворота рабочих лопастей. При этом выравниваются мощности, развиваемой турбиной, и мощности нагрузки. Главными недостатками регулирования турбинами являются сложность их конструкции, а также необходимость в электромеханической системе регулирования частоты вращения установки.

Разработка систем автоматического управления гидроагрегатами возникла в связи с необходимостью модернизации систем гидроавтоматики. Системы управления, находящиеся в эксплуатации последние 15–25 лет, уже не отвечают современным требованиям и стандартам. Они практически, не могут внедряться в АСУ ТП ГЭС. Системы морально и физически устарели.

Разработка и внедрение автоматизированной системы управления (АСУ) группой микроГЭС включает перечень этапов, каждый из которых предназначает реализацию определённого числа задач.

#### *Первый этап.*

На первом этапе рассматриваются и решаются задачи автоматизации учета элект-роэнергии, как необходимого условия работы миниГЭС в энергорынке. На этом же этапе разрабатывается аппаратное и программное обеспечение для сбора и передачи полученных данных получасовых графиков отпуска электроэнергии. После этого формируется отчетная документация по действующим нормативным документам. Дополнительными заданиями данного этапа является тестирование счетчиков аппаратной платформы и каналов связи, подготовка персонала к работе с новым оборудованием.

#### *Второй этап.*

Целью второго этапа является реализация АСУ, которая заключена в автоматизации производства электроэнергии и обеспечении его автономности. Во всех этих случаях находятся методы дистанционного управления микроГЭС, методы автоматизации контроля их работы и защиты оборудования. Решаются проблемы уменьшения числа работников. На рассматриваемом этапе значительно увеличивается информационное обеспечение, так как для получения заданного режима малых ГЭС необходимо осуществлять:

– контроль уровня воды в верхнем бьефе и отключение агрегатов при достижении минимального уровня;

- контроль режимов работы генераторов с путём применения измерительных средств;
- контроль параметров механизмов миниГЭС (подшипников генераторов, узлов передач и т.п.) и осуществление их остановки при достижении предельных значений вибрации, температуры и т.п.;
- регистрация аварийных и предаварийных ситуаций, а также присутствия посторонних лиц на территории микроГЭС.

Решение проблем информационного обеспечения режима микроГЭС требует расширения аппаратно-программной части локальных систем управления. Оно также требует установления датчиков механических, тепловых и электрических параметров, их исполнительных органов (ИО).

*Третий этап.* Разработка и реализация АСУ микроГЭС заключается в расчёте мощности, числа и квалификации персонала опорных ГЭС. На этих станциях монтируется дополнительное оборудование для проведения местной автоматизированной системы управления и объединенных с ними малых ГЭС. Это гарантирует обмен определёнными данными между малыми ГЭС и сервером локальной АСУ. Наряду с этим, соединение микроГЭС, позволяет предусматривать аварийные ситуации и ликвидировать аварии если они возникают с наименьшими потерями. Локальные сети опорных ГЭС нужны для автономного управления и регулирования режимами работы микроГЭС, в полном соответствии с окружающей средой. Они оперативно проводят анализы режимов работы оборудования, и информируют диспетчеров соответствующей микроГЭС о непредусмотренных аварийных ситуациях. Анализируют тенденции изменения параметров (электрических, механических), регистрируют их и организуют полноценный информационный обмен между объектами управления и диспетчерским центром. Экономический эффект, связанный с улучшением управляемости микроГЭС, от повышения надёжности и эффективности её работы, компенсирует расходы через 3-4 года.

### **Список литературы**

1. Авилов В.Д. Малая энергетика. Ч.1,2. /В.Д. Авилов, Л.Е. Серкова// Ж. «Национальные приоритеты России» №1(1), 2009.- С.1 – 26.
2. Городов Р.В. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учебное пособие / Р.В. Городов, В.Е. Губин, А.С. Матвеев. – 1-е

изд. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. - 294 с.

3. Нуриахметов И.Б. Системы автоматического регулирования низконапорными гидроагрегатами микроГЭС для автономных потребителей. /И.Б. Нуриахметов, А.И. Рудаков// Сб. тр. всерос. н-техн. конф. «Проблемы электротехники, электроэнергетики и электротехнологий (ПЭЭЭ). Тольятти: изд-во ТГУ, 2017 г. С.523-529.

4. Семкин, Б.В. Опытнo-конструкторская разработка микро-ГЭС/ Б.В. Семкин, М.И. Стальная, П.П. Свит, Э.И. Пурдик // Охрана природы, гидротехническое строительство, инженерное оборудование Сборник тез докл научн - техн конф Часть 3 НГАС - Новосибирск -1996 С 126-127.

5. Сидорова, А. В. Python как инструментарий оптимизации режима ГЭС в составе ЭЭС / А. В. Сидорова, А. А. Черемных, А. Г. Русина // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Т. 13. № 2(50). С. 119-132

6. Бирюлин, В. И. Повышение эффективности работы солнечной электростанции / В. И. Бирюлин, Д. В. Куделина, А. Н. Горлов // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2020. – Т. 12. – № 3(47). – С. 28-39. – EDN DFUJMQ.

УДК 621.311

## **НОВЫЕ УДЕЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

Солуянов Владимир Иванович  
АО «Татэлектромонтаж», г. Казань  
e-mailvs@tatem.ru

В настоящее время для расчета нагрузок жилых и общественных зданий в Московской области применяют СП 256.1325800.2016 «Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа». Как показали оценочные расчеты специалистов АО «Татэлектромонтаж», нормативы, указанные в СП 256.1325800.2016 «Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа», завышены по сравнению с реальными значениями электрических нагрузок. Для решения проблемы необходимы актуализация электрических нагрузок и внесение изменений в Постановление от 17 августа 2015 года № 713/30 «Об утверждении нормативов градостроительного проектирования Московской области».

**Ключевые слова:** интеллектуальные приборы учета, RStudio, электрические нагрузки, электроснабжение, график мощности, электропотребление.

## **NEW SPECIFIC ELECTRIC LOADS FOR THE DESIGN OF RESIDENTIAL BUILDINGS IN THE MOSCOW REGION**

Soluyanov Vladimir Ivanovich  
JSC Tatelektromontazh, Kazan  
e-mail vs@tatem.ru

Currently, to calculate the loads of residential and public buildings in the Moscow region, SP 256.1325800.2016 “Electrical installations of residential and public buildings. Rules for design and installation. As the estimated calculations of the specialists of Tatelektromontazh JSC showed, the standards specified in SP 256.1325800.2016 “Electrical installations of residential and public buildings. Design and installation rules”, are overestimated compared to the actual values of electrical loads. To solve the problem, it is necessary to update the electrical loads and amend the Decree of August 17, 2015 No. 713/30 “On approval of urban planning standards for the Moscow Region”

**Keywords:** smart metering devices, RStudio, electrical loads, electricity supply, power graph, power consumption.

В настоящее время для расчета нагрузок жилых зданий в Московской области применяют СП 256.1325800.2016 «Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа», в то же время оценочные расчеты специалистов АО «Татэлектромонтаж» демонстрируют, что фактические нагрузки ниже в 2-3 раза [1, 2].

Для получения исходных данных о реальных электрических нагрузках использовались интеллектуальные приборы учета электроэнергии, которые способны и контролировать качество электроэнергии [3] в квартирах, данный факт позволил выявить отклонения напряжения от нормативных требований [4, 5] у потребителей.

В качестве исходных данных для проведения расчетов были получены часовые профили мощности МКД, включающие в себя нагрузку квартир, мест общего пользования и т.д.

Период наблюдения мощности пилотной выборки МКД группы январь 2017 г. по январь 2019 г. Для статистической обработки в качестве наиболее энергозатратных были взяты летние (июнь – август) и зимние (декабрь – февраль) периоды 2017 - 2019 гг.

Для всех домов выборочных совокупностей был определен день с максимальной нагрузкой за интервал наблюдения. В разрезе этого дня найдено значение максимальной мощности, а в дальнейшем и максимальной удельной мощности МКД.

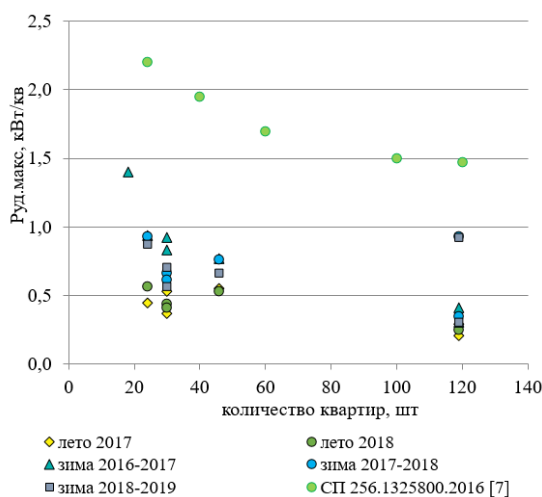
Нагрузка МКД в зимние месяцы года значительно выше нагрузки летних месяцев.

Рассматриваемые выборочные совокупности МКД были проверены на соответствие распределения максимальных удельных мощностей нормальному распределению. Уровень значимости для проверки гипотезы принят равным 0,05.

Для максимальной удельной мощности квартир выборочных совокупностей МКД Московской области была получена оценка среднеквадратичного отклонения и дисперсии. На основании этих данных был проведен расчет минимального объема репрезентативной выборки при величине доверительного интервала  $\pm 5$  от среднего и доверительной вероятности 95%.

Для максимальной удельной мощности выборочных совокупностей МКД Московской области было определено среднее значение и оценочный интервал для среднего генеральной совокупности.

На рисунке приведены значения максимальной удельной мощности в зависимости от количества квартир МКД Московской области за период наблюдения. Также на рис. 1 нанесены значения удельной электрической нагрузки квартир МКД, приведенные в СП 256.1325800.2016 «Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа» [6, 7].



Максимальная удельная мощность в зависимости от количества квартир МКД Московской области за период наблюдения

По рисунку можно оценить интервал изменения максимальной удельной мощности МКД Московской области с определенным количеством квартир, в том числе и в зависимости от времени года. По рис. 1 хорошо видно, что летние значения максимальной удельной мощности МКД заметно меньше зимних.

Также можно сделать вывод, что значения удельной мощности, рассчитанные по рассматриваемым в данной научно-исследовательской работе выборкам МКД Московской области, получились значительно ниже нормативных значений, приведенных в СП 256.1325800.2016



«Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа».

Вся обработка данных по электрическим нагрузкам МКД Московской области проводилась на основе репрезентативной выборки. При этом важным результатом исследования является изменение количества объектов в репрезентативных ежемесячных выборках.

Следствие данного факта – недопустимо при ограниченных выборках использовать ранее полученные результаты. Этот вывод будет далее проверен по итогам зимних измерений. Необходимо определять квартиры, которые в период наблюдения не эксплуатируются, поскольку формальный учет всех квартир приведет к неоправданному снижению их удельных расчетных электрических нагрузок.

### Список литературы

1. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р. и др. Анализ фактических электрических нагрузок многоквартирных жилых домов Московской области // Промышленная энергетика. 2022. № 4. С. 20-28.

2. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р. и др. Актуализация удельных электрических нагрузок дошкольных образовательных и общеобразовательных учреждений // Вестник Чувашского университета. 2021. № 1. С. 134-145.

3. Абдуллазянов Э.Ю., Зарипова С.Н., Федотов А.И., Ахметшин А.Р. Улучшение показателей качества электроэнергии в распределительных сетях напряжением 0,4-10 кВ // Энергетика Татарстана. №1. 2012. С. 3-7.

4. Абдуллазянов Э.Ю., Ахметшин А.Р. Выбор оптимального технического решения для обеспечения нормативного уровня напряжения в распределительных сетях 0,4-10 кВ // Вестник ИрГТУ. №6. 2011. С. 113-118.

5. Akhmetshin A., Mendeleev D., Marin G. Improvement of Electricity Quality Indicators in Electric Networks with Voltage of 0.4-10 kV // Proceedings - 2020 International Russian Automation Conference. RusAutoCon. 2020. 2020. pp. 454-458. articlenumber 9208158. DOI 10.1109/RusAutoCon49822.2020.9208158.

6. Солуянов Ю.И., Ахметшин А.Р., Солуянов В.И. Актуализация удельных электрических нагрузок помещений общественного назначения, встроенных в жилые здания // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 3. С. 47-57.

7. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Чернова Н.В., Ахметшин А.Р.

Анализ фактических электрических нагрузок объектов индивидуального жилищного строительства // Электроэнергия. Передача и распределение. 2021. № 5(68). С. 60-65.

УДК 621.311.4

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОЖИДАЕМОЙ НАГРУЗКИ ПРОЕКТИРУЕМОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

<sup>1</sup>Сидоров Александр Евгеньевич, <sup>2</sup>Ляшко Максим Юрьевич  
<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
asidorini@rambler.ru<sup>1</sup>, lyashkomaxim555@gmail.com<sup>2</sup>

Вданной работе рассматривается вопрос формирования обобщённой структуры проектируемой системы электроснабжения летательного аппарата, для которых далеко не всегда правомерно использование априорных статистических данных, поскольку состав бортовых потребителей, режим их работы и условия окружающей среды могут отличаться принципиальной новизной, а также возможных подходов к решению проблемы синтеза структуры.

**Ключевые слова:** проектируемая система, электроснабжение, анализ, структура, синтез, техническая система, летательный аппарат.

## FORECASTING THE EXPECTED LOAD OF THE PROJECTED AIRCRAFT POWER SUPPLY SYSTEM

Sidorov Alexander Evgenievich<sup>1</sup>, Lyashko Maxim Yurievich<sup>2</sup>  
<sup>1,2</sup>FSBEI HE "KSPEU", Kazan, Republic of Tatarstan  
asidorini@rambler.ru<sup>1</sup>, lyashkomaxim555@gmail.com

This paper considers the issue of forming a generalized structure of the projected aircraft power supply system, for which it is not always legitimate to use a priori statistical data, since the composition of on-board consumers, their operating mode and environmental conditions may differ in fundamental novelty, as well as possible approaches to solving the problem of structure synthesis.

**Keywords:** projected system, power supply, analysis, structure, synthesis, technical system, aircraft.

В практике проектирования систем электроснабжения промышленного назначения для оценки ожидаемого электропотребления используется, как правило, статистический подход, что диктуется случайным характером работы потребителей. В работах Б. В. Гнеденко и Б. С. Мешеля и других авторов разработаны основы, так называемой, теории нагрузок и даны практические методы математического анализа нагрузок промышленных электроэнергетических систем [1].

В системах электроснабжения летательных аппаратов (ЛА) случайный характер электропотребления не столь очевиден, поскольку на

пилотируемых ЛА экипажем осуществляется централизованное управление работой бортового оборудования, а на беспилотных ЛА предусматривается программное управление. Однако, как показывает практика, рассмотрение процесса функционирования бортовых потребителей как строго детерминированного приводит к существенно завышенным оценкам ожидаемого электропотребления по сравнению с действительными показателями. Это указывает на отсутствие жесткой корреляционной зависимости между нагрузкой отдельных, потребителей ЛА и суммарной нагрузкой системы электроснабжения и говорит о целесообразности использования статистических методов расчета [2].

Исходным положением этих методов является предположение, что при заданных графиках распределения нагрузки для отдельных потребителей график распределения значений суммарной нагрузки системы можно считать гауссовским стационарным случайным процессом. В этом случае график распределения нагрузки системы представляется возможным охарактеризовать двумя интегральными величинами: генеральным средним значением нагрузки и ее генеральной дисперсией [3].

Для практического использования этих методов необходимо располагать статистическими данными, которые позволили бы оценить значения указанных параметров в различных условиях работы, наиболее характерных для систем электроснабжения того или иного вида. Установленные относительное генеральное среднее значение нагрузки и ее генеральная дисперсия используются затем в качестве исходных данных при проектировании аналогичных систем электроснабжения [4].

Однако при проектировании систем электроснабжения для перспективных летательных аппаратов далеко не всегда правомерно использовать указанные априорные статистические данные, поскольку состав бортовых потребителей, режим их работы и условия окружающей среды могут отличаться принципиальной новизной. Исходными данными при проектировании систем электроснабжения для перспективных ЛА могут, очевидно, служить только показатели, характеризующие функционирование непосредственно исследуемой системы электроснабжения [5].

Это вынуждает осуществлять на начальном этапе проектирования системы электроснабжения для перспективных летательных аппаратов несколько иной подход к установлению генерального среднего значения расчетной нагрузки и ее генеральной дисперсии, основываясь не на статистическом анализе возможных функциональных связей между

бортовыми потребителями, а на рассмотрении возможных функциональных состояний проектируемой системы. Метод расчета показателей ожидаемого потребления электрической энергии в проектируемой системе электроснабжения ЛА, основанный на предлагаемом подходе к рассматриваемой проблеме, излагается ниже [6].

Моменты включения бортовых потребителей ЛА и продолжительности их рабочих циклов являются случайными величинами. Однако для каждого этапа полета летательного аппарата на основании анализа состава бортового оборудования и выполняемых ими функциональных операций могут быть установлены вероятные средние значения интенсивности включения бортовых потребителей ( $\lambda_{kv}$ ) и интенсивности их работы  $\mu_{kv} = (t_{kv})^{-1}$ , где  $t_{kv}$  - среднее значение продолжительности  $v$ -го рабочего цикла  $k$ -го потребителя. Отсюда представляется возможным рассматривать работу системы электроснабжения ЛА как случайный поток событий с интенсивностями  $\lambda_{1v}, \dots, \lambda_{kv}, \dots, \lambda_{nv}$ , понимая под событиями наступление возможных с точки зрения потребления электроэнергии состояний системы электроснабжения в целом. Это позволяет использовать для анализа нагрузок проектируемой системы математический аппарат теории массового обслуживания, если установлен характер потока событий [7].

В системе электроснабжения ЛА этот поток вследствие много режимности функционального процесса является нестационарным, а интенсивность включения бортовых потребителей и интенсивность обслуживания являются функциями времени. В то же время, как показывает статистическая обработка результатов измерения потребляемой мощности в системах электроснабжения указанного вида, каждый режим работы системы, соответствующий определенному этапу полета ЛА, правомерно рассматривать как марковский процесс случайных событий [8].

Это позволяет нестационарный поток событий в системе электроснабжения ЛА представить в виде ориентированной последовательности простейших марковских процессов, применив кусочную аппроксимацию по интервалам, для которых параметры  $\lambda_{kv}$  и  $\mu_{kv}$  могут быть приняты как постоянные величины. Количество  $m_u$  и  $\tau_v$  продолжительность таких интервалов будет определяться характером функционирования системы электроснабжения и допустимым отклонением расчетного коэффициента использования системы от его генерального значения.

## Список литературы

1. Морозовский В.Т., Синдеев И.М., Рунков К.Д. Системы электроснабжения летательных аппаратов. Москва: Машиностроение, 1973. 420 с.
2. Веретенников Л.П. Исследование процессов в судовых электроэнергетических системах. Теория и методы. Ленинград: Судостроение, 1973. 376 с.
3. Лазарев И.А. Синтез структуры систем электроснабжения летательных аппаратов. Москва: Машиностроение. 1976. 254 с.
4. Берж К. Теория графов и её применение. - Москва: Иностранная литература. 1972. 319 с.
5. Воронов Ю.Н., Сидоров А.Е., Васильев А.Н. Обобщенная структура проектируемой системы электроснабжения самоходного артиллерийского орудия // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2008. №1-2. С. 132-135.
6. Ступаченко А.А. САПР технологических операций. Ленинград: Машиностроение. 1988. 233 с.
7. Идрисова А.Р., Роженцова Н.В., Мухаметзянова Ф.М. Мероприятия по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях // Энергоэффективность и энергобезопасность производственных процессов. Тольятти. 2016. С. 97 -100.
8. Булатов О.А., Фетисов Л.В. Повышение энергоэффективности распределения электрической энергии в сетях низкого напряжения с применением вольтодобавочных трансформаторов // Материалы Международной научно-практической конференции «Современные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации». Кишинев. 2017. С. 13-17.
9. Червоненко А.П., Котин Д.А., Рожко А.В. Перевод нагрузки с основной сети на резервную с применением типового АВР // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021. Т. 23. № 5. С. 160-171. doi:10.30724/1998- 9903-2021-23-5-3-160-171

УДК 621.316.1

## ПРОСТЕЙШАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ СИГНАЛОВ

<sup>1</sup>Тухфатуллин И. Р., <sup>2</sup>Хузяшев Р. Г.  
<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
<sup>1</sup>iskander.tukhfatullin@mail.ru, <sup>2</sup>142892@mail.ru

Работа решает задачи определения механизмов формирования переходных сигналов в линиях электропередач (ЛЭП). Это важно для совершенствования волнового метода определения места повреждения.

**Ключевые слова:** PSCAD, сигнал переходного процесса, однофазное замыкание на землю (ОЗЗ), частичный разряд (ЧР), ЛЭП, контур, постоянная времени.

## THE SIMPLEST MODEL FOR THE FORMATION OF TRANSITION SIGNALS

<sup>1</sup>Tukhfatullin I. R., <sup>2</sup>Huzashev R. G

<sup>1,2</sup> FGBOU VO "KGEU", Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>iskander.tukhfatullin@mail.ru, <sup>2</sup>142892@mail.ru

The work solves problems of identification of mechanisms of formation of transition signals in power lines. This is important for improving the wave method of determining the fault location.

**Keywords:** PSCAD, transient signal, partial discharge, transmission line, circuit, time constant.

Моделирование параметров распространения гармонических сигналов в ЛЭП отражено в работах [1, 2]. Актуальность данной темы обусловлена анализом экспериментальных данных, в которых наблюдаются переходные сигналы, формируемые при ОЗЗ и при ЧР. Экспериментальные данные позволяют сравнить параметры обоих типов переходных сигналов. Построение схем замещений для обоих механизмов формирования переходных сигналов указывает на их схожесть. Обоснованием этого является [3] и наши результаты упрощения схемы замещения модели ОЗЗ. При ЧР  $C_1 < C_2$  была составлена схема с помощью [4]:

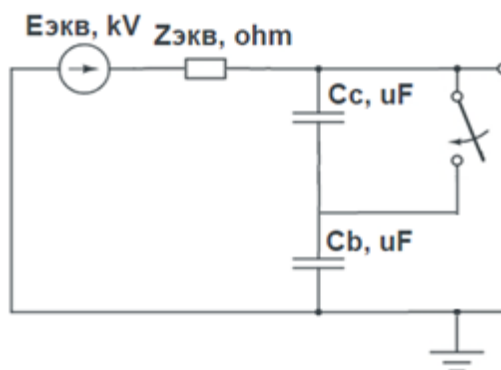


Рис. 1. Схема замещения однофазной линии с двумя ёмкостями.

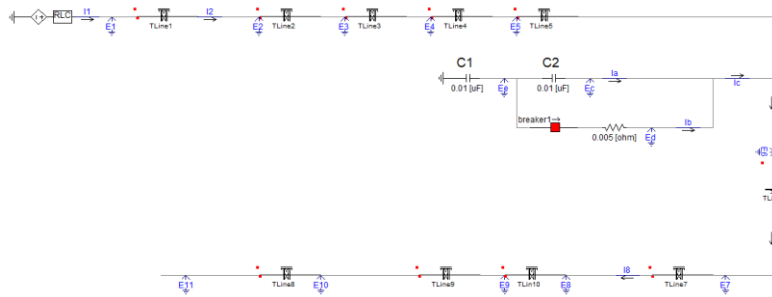


Рис. 2. Схема проекта в пакете PSCAD.

Проводились замеры в пакете PSCAD [5] на нулевом и пятидесятом километрах при подключении к линии контура с последовательными конденсаторами, к одному из которых параллельно подсоединен ключ. До возникновения ЧР диаграммы токов и напряжений обладают постоянной “подставкой”. Сильное влияние на замеры оказала поперечная проводимость. Составим график зависимости постоянной подставки для тока и напряжения от поперечной проводимости для момента времени 0,1 с. Графики практически не отличаются от одного значения, кроме графика тока  $I_b$ , который имеет линейную зависимость от поперечной проводимости.

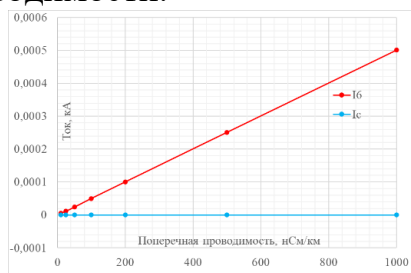


Рис. 3. Зависимость постоянной подставки  $I_b$  от проводимости.

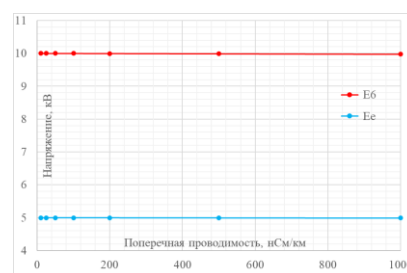


Рис. 4. Зависимость постоянной подставки  $E_b$  от проводимости.

Были составлены и пронормированы графики напряжения сверху ключа, тока сверху ключа и тока в контуре “ёмкость+ключ”:

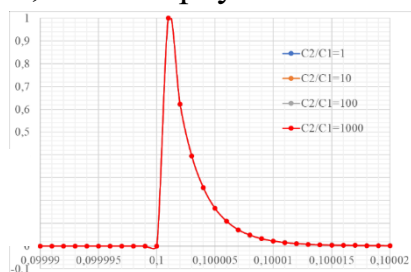


Рис. 5. Диаграмма тока  $I_b$ .

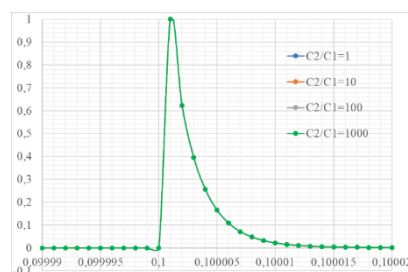


Рис. 6. Диаграмма тока в  $I_b$ .

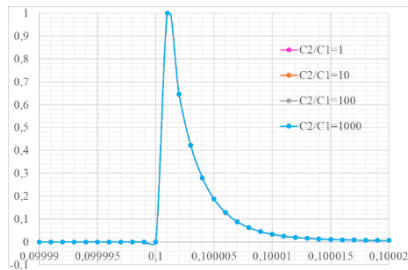


Рис. 7. Диаграмма напряжения Еб.

Кривые при разных соотношениях ёмкостей практически соответствуют друг другу. Мы считали волновое сопротивление линии, когда согласованная нагрузка с сопротивлением, равным волновому сопротивлению, имеет минимальное отражение. Для распространяющегося по линии импульса ЛЭП представляет нагрузку, равную волновому сопротивлению. Таким образом, волновое сопротивление 570 Ом. Постоянная времени заряда конденсатора по графикам с РП примерно 2,5мкс. Эту схему с РП можно эквивалентировать схемой с СП.

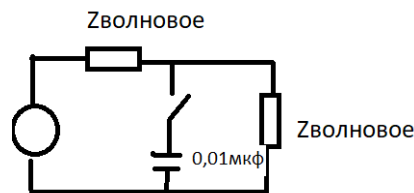


Рис. 8. Эквивалентная схема с сосредоточенными параметрами.

Тогда постоянная времени высчитывается как произведение сопротивления и ёмкости и равно 2,85 мкс. Таким образом, модель, в которой параллельные друг другу ёмкости равны (ОЗЗ), практически соответствует формуле. Была составлена таблица с указанными значениями постоянной времени ( $\tau$ ), исходной амплитудной величины ( $I_1$ ,  $U_1$ ) и сопротивлением, выраженным по формуле постоянной времени. Видно, что в случаях при ЧР вычисленное сопротивление перестает соответствовать волновому.

Результаты моделирования

		C2/C1=1	C2/C1=10	C2/C1=100	C2/C1=1000
Токи (Iб)	I1, кА	-0,0060424	-0,001094	-0,00011413	-6,44379E-06
	$\tau$ , мкс	2,14814	2,14814	2,14814	2,14814
Напряжения (Еб)	U1, кВ	1	1	1	1
	$\tau$ , мкс	2,38533	2,38533	2,38533	2,38533
Токи (Iс)	I1, кВ	-0,01209672	-0,00219983	-0,00024006	-2,46769E-05
	$\tau$ , мкс	2,4213333	2,4213333	2,4213333	2,4213333
	R, Ом	484,26666	48,426666	4,8426666	0,48426666



Опыт рассмотрения одноконтурной схемы, для которой имеется аналитическое решение, показал, что максимальные значения тока и напряжения рассчитываются по аналитической формуле, зависящей от величины возмущения (или изменения) напряжения на конденсаторе до и после, в установившемся режиме, включения ключа. Все остальные временные параметры переходного сигнала от величины возмущения не зависят. Результат в таблице доказывает вышесказанное.

### Список литературы

1. Хузяшев Р.Г., Кузьмин И.Л., Новиков С.И. Анализ параметров свободных колебаний в линии электропередач при моделировании замыканий на землю // Электроэнергетика глазами молодёжи: матер. IV Междунар. науч.-техн. конф. Иваново, 2015. Т. 2. С. 46–50.

2. Исследование скорости распространения сигналов переходных процессов по воздушным линиям электропередачи / Р.Г. Хузяшев [и др.] // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2017. Т. 13, № 3. С. 24–31.

3. Влияние параметров схемы регистрации на форму и амплитуду частичных разрядов / А. М. Ба Бораик, А. Е. Усачев, А. Ю. Кубарев // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2017. – Т. 19. – № 1–2. – С. 127-136. – EDN ZBTITR.

4. CircuitLab [Электронный ресурс]. <https://www.circuitlab.com> (дата обращения: 24.04.22)

5. PSCAD [Электронный ресурс]. <https://www.pscad.com> (дата обращения: 12.04.22)

УДК 621.315.21

### МЕТОДЫ ПОИСКА МЕСТ ПОВРЕЖДЕНИЙ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ

<sup>1</sup>Хамадеева Зиля Рафисовна, <sup>2</sup>Воркунов Олег Владимирович

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

<sup>1</sup>khamadeevazilya@gmail.com

Кабельные линии (КЛ) и линии электропередач (ЛЭП) являются главной частью сети и передают электроэнергию на дальние расстояния. Для обеспечения бесперебойной работы сети и устройств должны быть обеспечены минимальные требования безопасности и надежности эксплуатации кабельных линий. Со временем кабельные линии могут выйти из строя, тем самым могут привести к перебоям или к

опасным последствиям. В данной статье рассмотрены существующие методы поиска повреждения кабельных линий.

**Ключевые слова:** кабельные линии, короткое замыкание, повреждения кабельной оболочки, индукционный метод, акустический метод, петлевой метод, емкостный метод.

## METHODS FOR SEARCHING DAMAGE POINTS OF CABLE LINES

<sup>1</sup>KhamadeevaZilyaRafisovna, <sup>2</sup>Vorkunov Oleg Vladimirovich

<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan

<sup>1</sup>khamadeevazilya@gmail.com

Cable lines (CL) and power lines (TL) are the main part of the network and transmit electricity over long distances. To ensure the uninterrupted operation of the network and devices, the minimum requirements for the safety and reliability of the operation of cable lines must be met. Over time, cable lines can fail, which can lead to interruptions or dangerous consequences. This article discusses the existing methods for searching for damage to cable lines.

**Key words:** cable lines, short circuit, cable sheath damage, induction method, acoustic method, loop method, capacitive method.

В наше время электричество является основополагающей частью нашей жизни. Электричество есть практически везде и передается потребителям по линиям электропередач или кабельным линиям. В основном кабельные линии прокладывают по воздуху или под землей.

Преимуществом порядка прокладки под землей является общедоступность, так как для этого не требуется постройка больших и дорогих линий, что очень удобно в густонаселенных городах и районах, и это гарантирует защиту от посторонних лиц, экономится количество кабеля тем, что прокладка осуществляется по короткому расстоянию от источника до потребителей. Но и с этим возрастает сложность поиска повреждений.

Основные факторы, из-за которых повреждаются кабельные линии и их главные недостатки, которые существенно влияют на надежность кабелей, относятся такие показатели, как осушение, электрическое старение и высыхание изоляции. Это происходит, прежде всего, из-за естественного разложения (кристаллизация) пропиточного состава.[1]

Главной конструктивной частью является внешняя оболочка, т. к. высокие диэлектрические характеристики силового кабеля обеспечиваются при отсутствии постоянного влияния на него природных факторов: влаги, воздуха. Основным материал – свинец и алюминий. Но кроме заводского брака, из-за которого со временем может выйти из строя кабель, существуют и другие причины:

– механические повреждения при прокладке или других строительных работах;

- раздувание в виде спирали (иногда с образованием трещин) в результате воздействия в течение длительного времени периодических циклов нагрева и охлаждения, а также при высоких сетевых перегрузках;

- распад внешней оболочки под влиянием наружных механических факторов;

- естественная химическая коррозия из-за оказания воздействия различных реагентов, содержащихся в почве;

- разрушение внешнего защитного слоя благодаря блуждающим токам от электрифицированного транспорта.

В высоковольтных кабелях (20-35 кВ) даже при незначительном нарушении изоляции из-за высокого напряжения начинается ионизация воздуха с появлением частичных разрядов.

При зрительном осмотре токопроводящих жил кабеля, прежде всего необходимо обратить внимание на такие характерные дефекты, как:

- неправильная форма секторной или круглой жилы;
- западание или, наоборот, выпирание отдельных элементов проволакивания;

- наличие заусениц на токопроводящих жилах.[1]

Все эти дефекты способствуют фальсификации напряженности электрического поля с образованием локальных флуктуаций, что является серьезной проблемой при напряжениях в сетях выше 10 кВ.

Основные методы, применяемые для определения места повреждения кабеля, показаны на рис. Как видно из рисунка, существующие методы обнаружения возможных повреждений кабелей делятся на два класса: дистанционные и топографические. [2]

Установив факт повреждения кабеля, сначала определяют предыдущую площадь, а затем уточняют конкретное место и характер возможных недостатков.

Для этого применяют следующие методы дефектоскопии.

- акустический. Используется для определения повреждений напрямую на трассе с помощью искусственно созданного акустического удара с последующей регистрацией соответствующими приборами;

- индукционный. Основан на принципе преобразования радиосигнала, который возникает в месте пробоя изоляции при прохождении через кабель импульса частотой от 800 до 1000 Гц с силой тока 15-20 А;[2]

– емкостной. Позволяет использовать нужные формулы для определения расстояния до места повреждения при обрыве кабельных каналов в соединительной муфте;

– петлевой. Применяется в случаях, когда один из неповрежденных проводников, проводящих электричество, прерывается, а сопротивление соседних неповрежденных проводников в месте повреждения не должно превышать 5 кОм. Место повреждения определяется последующим сжиганием с помощью специального газового аппарата или кенотрона, а затем соответствующими методами;

– импульсный. Он предусматривает использование специального устройства ИКЛ, фиксирующего интервал времени между отправкой импульса по кабелю и его отражением с последующей обработкой результатов; - колебательный разряд. Выявление пробоев изоляции в кабельных муфтах.



Методы поиска мест повреждений кабельных линий.

Основные работы по поиску мест повреждения кабельной линии включают такие этапы как:

– выполнение технических мероприятий обеспечивающих безопасность работ, выполняемых со снятием напряжения.

– определить вид повреждения с помощью мегомметра или омметра, выбрав способ локализации площади и места поражения. Если потребуется произвести прожиг кабеля с высоковольтной проводкой. Определение зоны повреждения кабельной линии. Определение местоположения поврежденных кабелей. Безопасное удаление поврежденных кабельных каналов.

Каждый из существующих методов эффективен в своем отдельном случае, имеет свои возможности применения. Однако, как правило, большая часть кабельных линий остается неисследованной, поскольку часто оказывается, что документация со схемами прокладки отсутствует или является неинформативной. Обнаружение мест повреждений на схожих кабелях одними беспрожиговыми методами и акустическим поиском является недостаточным, поэтому наиболее доступным методом отыскания мест повреждения остается прожиговый метод. Исходя из опыта, полученного в результате локализации и характера возможного повреждения кабельных линий, важно выбрать наиболее совершенный метод анализа для каждой конкретной ситуации и, соответственно, поисковое устройство. Квалифицированные поисковые наборы позволяют мгновенно обнаружить неисправность и определить глубину залегания кабеля.

### Список литературы

1. Путеводитель по энергетике. [Электронный ресурс]. – URL:<http://pue8.ru/kabelnye-linii/320-povrezhdeniyakabelnykh-linij.html/> (дата обращения: 15.04.2022).
2. Есболов М.Б., Современные методы определения места повреждения кабельных линий напряжением 10кВ. /Есболов М.Б., Каракулин М.Л./ Труды университета. – М., 2020. – №2. – С. 128-132.
3. Грищенко, Д.Н. Методы и средства контроля состояния кабельных линий // Научные основы современного прогресса. – М., 2016. – № 45. – С. 20-26.
4. Пустовой, Д.А. Методы мониторинга, диагностики и повышения надежности кабельных линий // Инновационная наука. – М., 2017. – № 2-1. – С. 64-78.
5. Организационные и методические рекомендации по проведению испытаний электрооборудования и аппаратов электроустановок потребителей. М.: ЗАО «Энергосервис», 2004. – 240 с.
6. Определение места повреждения локационным методом на линиях электропередачи с ответвлениями / Р. Г. Минуллин, Ю. В. Писковацкий, В. А. Касимов [и др.] // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Т. 13. № 3(51). С. 69-80.
7. Илюшин, П. В. Особенности обеспечения надёжного электроснабжения промышленных потребителей в изолированных энергосистемах / П. В. Илюшин, А. М. Тыквинский // Вестник Казанского

государственного энергетического университета. – 2019. – Т. 11. – № 1(41).  
– С. 39-50. – EDN ECDDJL.

УДК 621.316.721:723

## УСТРОЙСТВО ОГРАНИЧЕНИЯ ДУГОВЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ В СЕТЯХ С КОМПЕНСАЦИЕЙ ЕМКОСТНЫХ ТОКОВ ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ

<sup>1</sup>Харабурова Маргарита Дмитриевна, <sup>2</sup>Васин Валерий Евгеньевич,  
<sup>3</sup>Рыжкова Елена Николаевна

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва, Россия

<sup>1</sup>KharaburovaMD@mpei.ru, <sup>2</sup>VasinVY@mpei.ru, <sup>3</sup>RyzhkovaYN@mpei.ru

При оценке возникновения и воздействия замыканий на землю в сети основополагающим фактором является скорейшее определение и устранение места повреждения, особенно в случаях, когда необходимо снизить негативное влияние горения дуги в сетях подстанций с компенсацией емкостного тока. В данной статье приведена модель устройства, позволяющая увеличить надежность защиты от дуговых перенапряжений в сетях с компенсированным режимом заземления нейтрали за счет использования земляного резистора, обладающего практически неограниченной термической стойкостью, с регулируемым значением величины сопротивления.

**Ключевые слова:** емкостной ток замыкания на землю, режим нейтрали, дуговые перенапряжения.

## ARC OVERVOLTAGE LIMITATION DEVICE IN NETWORKS WITH COMPENSATION OF CAPACITIVE EARTH FAULT CURRENTS

<sup>1</sup>Kharaburova Margarita Dmitrievna, <sup>2</sup>Vasin Valerii Evgenevich,  
<sup>3</sup>Ryzhkova Elena Nikolaevna

National Research University «MPEI», Moscow, Russia

<sup>1</sup>KharaburovaMD@mpei.ru, <sup>2</sup>VasinVY@mpei.ru, <sup>3</sup>RyzhkovaYN@mpei.ru

When assessing the occurrence and impact of earth faults in the network, it is extremely important to identify and eliminate the damage site as soon as possible, especially in cases where it is necessary to reduce the negative impact of arcing in substation networks with capacitive current compensation. This article presents a device model allowing to increase the reliability of arc overvoltage protection in networks with a compensated neutral grounding mode due to the use of an earth resistor with almost unlimited thermal resistance, with an adjustable resistance value.

**Keywords:** capacitive earth fault current, mode of neutral, arc overvoltages.

Однофазные замыкания на землю (ОЗЗ) являются довольно частым аварийным явлением в распределительных сетях напряжением 6-35кВ и составляют не менее 75% всех повреждений [1].

Известно, что при выборе режима нейтрали ПУЭ устанавливает четкие границы необходимости компенсации емкостного замыкания на землю (табл.), но нет конкретных рекомендаций относительно применения резистивного заземления.

Допустимые токи замыкания на землю

	Сети, не имеющие железобетонных и металлических опор на воздушных линиях электропередачи				Сети собственных нужд ТЭС
	3–6	10	15–20	35	
Номинальное напряжение, кВ	3–6	10	15–20	35	6–20
Емкостной ток замыкания на землю, А	30	20	15	10	5

При этом выбор заземления также обусловлен определенными условиями и требованиями к электробезопасности, бесперебойному питанию и ряду других причин, которые должны учитываться при более детальном анализе сети электроснабжения.

В России наибольшее применение получила изолированная нейтраль, но в целях ограничения возможных дуговых перенапряжений в сетях среднего напряжения все чаще используется режим заземления нейтрали через высокоомный и низкоомный резистор, который снижает величину перенапряжений до 2,2-2,5Uф.

Основанием для зарождения ОЗЗ могут стать: износ или повреждение электрической изоляции; механические нарушения по причине некорректной эксплуатации электротехнического оборудования; повреждение кабельных линий в ходе производства земляных работ и т.д.

Предотвращение данного явления и его быстрое отключение – необходимость для соблюдения требуемого уровня надежности электроснабжения потребителей, так как однофазные замыкания на землю в сети могут вызвать значительные перенапряжения, возникновение феррорезонансных процессов, а также перерасти в двухфазное или даже трехфазное короткое замыкание.

Тем более актуальной задача незамедлительного определения поврежденного участка линии и оперативное устранение данного повреждения становится в условиях постоянного роста количества и протяженности линий, так как происходит увеличение значения емкостного тока до десятков и сотен ампер, что воздействует на длительность горения дуги, подвергает опасности как людей, находящихся рядом с местом возникновения ОЗЗ, так и электрооборудование.

Кроме того, при замыканиях на землю возможно появление дуговых замыканий, обладающих прерывистым характером, когда происходит неустойчивое горение дуги и как следствие возрастание дуговых перенапряжений до 3,5-4 раз от номинального фазного напряжения. Очевидно, что чем больше значение тока замыкания, тем больше выделяемое значение выделяемого тепла, оказывающего негативное влияние на токоведущие части оборудования, и тяжелее процесс гашения дуги из-за ее повторных зажиганий под действием восстанавливающегося напряжения на дуговом промежутке в момент перехода тока через нулевое значение.

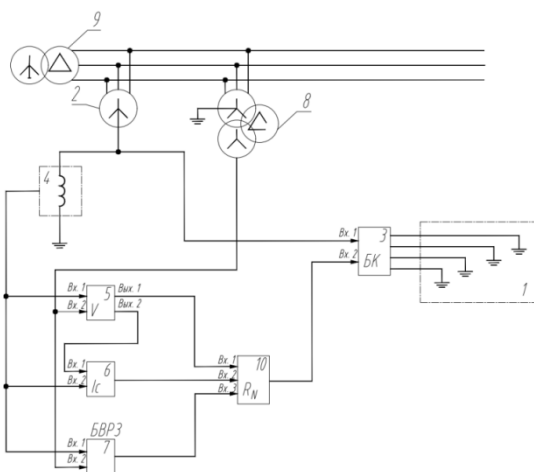
В большинстве случаев для сетей с изолированной нейтралью применяется дополнительное защитное активное сопротивление с целью предотвращения возникновения дуговых перенапряжений [2].

Однако, данное техническое решение имеет ряд недостатков при условии использования в сетях с компенсацией емкостных токов. Кроме того применение активного сопротивления неизменной величины не позволяет получить требуемое значение накладываемого активного тока при любом режиме работы.

Такая ситуация характерна для сетей с компенсацией емкостного тока на подстанциях, где защита от замыканий на землю работает исключительно на сигнал или из-за неселективности защит при изменении конфигурации сети и разных режимов замыканий на землю (металлические, устойчивые, через перемежающуюся дугу). В первых двух случаях наложение на место возникновения ОЗЗ большой величины активного тока приведет к дополнительным повреждениям, ухудшению условий самопогасания дуги и возможному переходу однофазного замыкания в многофазное. Существует также проблема с недостаточной энергоемкостью резисторов, неспособностью в течение достаточно длительного времени рассеивать энергию без повреждения самой структуры материала резистора [4].

Для повышения надежности и достижения оптимального воздействия защитного резистора при возникновении перенапряжений в процессе ОЗЗ в сетях с компенсированной нейтралью было разработано устройство ограничения дуговых перенапряжений в сетях 6-35кВ с компенсированной нейтралью (рис.), которое позволяет реализовать в режиме реального времени адаптацию под эксплуатационные изменения в сети и исключить перенапряжения в режиме перемежающегося горения дуги.





1 - заземляющий резистор; 2 - нейтралеобразующее устройство; 3 - блок коммутаторов; 4 - токовая обмотка дугогасящего реактора; 5 - блок всережимного измерителя настройки компенсации сети; 6 – блок определения емкостного тока; 7 – блок выбора режима замыкания; 8 – измерительный трансформатор напряжения; 9 – силовой трансформатор; 10 – блок вычисления значения величины защитного резистора

Структурная схема устройства ограничения дуговых перенапряжений в сетях с компенсацией емкостных токов замыкания на землю

Отличительная черта данного устройства заключается в том, что в нормальном режиме работы ток нулевой последовательности через дугогасящий реактор (ДГР) не протекает и функции устройства блокируются. При возникновении перенапряжений блоком всережимного измерителя настройки компенсации 5 определяется величина расстройки компенсации напряжения, и по известному току ДГР блоком 6 определяется значение емкостного тока, а затем на основе выявления режима дуговых перенапряжений по фактам возрастания значения напряжения на нейтрали и производной фазного напряжения, отслеживаемых блоком 7 выбора режима замыкания, вычисляется необходимая величина защитного резистора. В качестве защитного резистора используется «земляной резистор» в виде электродной системы, заглубленной в землю, обладающей практически неограниченной термической стойкостью [5].

Автоматика модели отключается в установившемся режиме горения дуги, так как дополнительный активный ток может спровоцировать разрушение изоляции и выход из строя электрооборудования.

Такое техническое решение позволяет регулировать величину сопротивления резистора даже при изменении конфигурации сети в режиме ОЗЗ и ограничивает значение дуговых перенапряжений путем протекания избыточного заряда с нейтрали через резистор.

Использование данного устройства сведет к минимуму возможность возникновения перенапряжений и их негативных влияний в режиме

перемежающегося горения дуги, а также позволит наиболее эффективно использовать активное сопротивление заземления при изменениях в структуре сети, что в свою очередь обеспечит высокую надежность работы сетей с компенсированной нейтралью.

### Список литературы

1. Рыжкова Е.Н., Востросаблина В.А. О некоторых аспектах применения резистивного заземления нейтрали // Промышленная энергетика. - 2016. - №10. – С.54-61.

2. Востросаблина В.А. Резисторное заземление нейтрали в сетях среднего напряжения: «за» и «против» // Электроэнергия: передача и распределение. – 2014. – № 4(25). – С. 76 – 79.

3. Козлов В.Н., Булычев А.В., Соловьев И.В. Комплекс оборудования для управляемого заземления нейтрали в сетях 6–35 кВ // Энергетика. - 2017.- №2. –С.18-20.

4. Дмитриев С. Н., Нестеров С. В., Целебровский Ю. В. Электрические сети малых городов. Обеспечение надежности и безопасности электроснабжения // Новости ЭлектроТехники. 2010. - №6 (66).

5. 171479 Российская Федерация: МПК Н02Н 9/08 (2006.01) / Е.Н. Рыжкова, Е.П. Младзиевский; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «НИУ "МЭИ"». - №2017103674; заяв. 03.02.2017; опубл. 01.06.2017, Бюл. № 16.

УДК 621.3.019.3

### ВЛИЯНИЕ ПУСКОВОГО УСКОРЕНИЯ НА РЕЖИМ ДВИЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА

<sup>1</sup>Черепенькин Иван Вячеславович, <sup>2</sup>Хуснутдинов Азат Назипович, <sup>3</sup>Лазарев Павел Сергеевич, <sup>4</sup>Малев Николай Анатольевич  
<sup>1,2,3,4</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
<sup>1</sup>iwan.tcherepenkin@yandex.ru

В статье рассмотрено влияние движения электроподвижного состава и его параметров на ходовую скорость и расход энергии. Все чаще возникает необходимость в повышении экономии электроэнергии на тяговое движение, что становится возможным благодаря увеличению пускового ускорения. Исходя из этого следует провести анализ способов повышения пускового ускорения, выделить достоинства и недостатки данных способов, а также сделать выводы о целесообразности применения данного метода.

**Ключевые слова:** пусковое напряжение, тяговый двигатель, скорость, пусковые потери, расход электроэнергии, режим ведения.

## THE EFFECT OF STARTING ACCELERATION ON THE MODE OF MOVEMENT OF ELECTRIC ROLLING STOCK

<sup>1</sup>Ivan Vyacheslavovich Cherepenkin, <sup>2</sup>Azat Nazipovich Khusnutdinov<sup>3</sup>Lazarev Pavel Sergeevich, <sup>4</sup>Maleev Nikolay Anatolyevich  
<sup>1,2,3,4</sup>«KSPEU», Kazan  
<sup>1</sup>iwan.tcherepenkin@yandex.ru

The article considers the influence of the movement of an electric rolling stock and its parameters on the running speed and energy consumption. Increasingly, there is a need to increase energy savings for traction, which becomes possible due to an increase in starting acceleration. Based on this, it is necessary to carry out an analysis of ways to increase the starting acceleration, highlight the advantages and disadvantages of these methods, as well as draw conclusions about the feasibility of using this method.

**Keywords:** starting voltage, traction motor, speed, starting losses, power consumption, driving mode.

Несмотря на большое число исследований в области разработки оптимальных методов управления движением поездов, задача снижения расхода электроэнергии на тягу окончательно не решена [1].

Режим движения электроподвижного состава по перегону определяется:

1) тяговыми и тормозными параметрами подвижного состава – типом состава, типом тягового двигателя (часовой., мощностью и электромеханическими характеристиками), системой управления непосредственная, косвенная – автоматическая или неавтоматическая), тормозными средствами поезда, способом ведения поезда – в период пуска и езды по автоматической характеристике;

2) продолжительностью выбега при подходе к остановочному пункту, которая определяется скоростью в момент начала торможения и различной интенсивностью торможения (тормозным замедлением);

3) трассой маршрута (продольный и поперечный профиль, длина перегона).

При рассмотрении влияния этих факторов возможны два случая:

а) электроподвижной состав имеет заданное электрическое тяговое оборудование;

б) электрическое тяговое оборудование может быть выбрано в зависимости от наиболее рационального режима ведения электроподвижного состава [2].

Режим езды обуславливает величину ходовой скорости и расход электроэнергии. Влияние основных тяговых параметров и способа ведения

подвижного состава ходовую скорость и расход электроэнергии следует анализировать отдельно. Необходимо выявить:

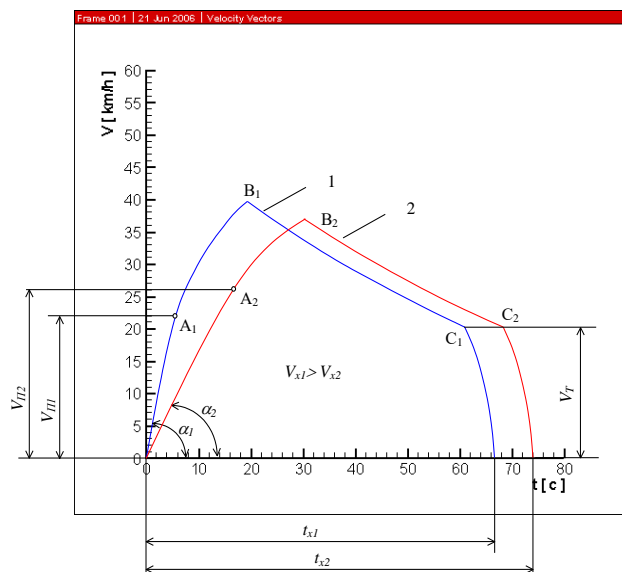
1) как изменяется ходовая скорость  $v_x$ . При этом изменение ходовой скорости будет вызывать соответствующее изменение расхода электроэнергии. При всех возможных диаграммах движения  $v = f(t)$  площадь  $S$ , ограниченная кривой движения, будет одинаковой, так как  $L = \text{const}$ ;

2) как изменяется расход электроэнергии при постоянной ходовой скорости  $v_x = \text{const}$ . В этом случае при всех возможных диаграммах движения будут одинаковыми не только площади  $S$ , но и ходовое время  $t_x$ .

Рассмотрим влияние способа движения электроподвижного состава и его параметров на ходовую скорость и расход энергии. При заданном типе электроподвижного состава и заданной длине перегона [3]. В процессе движения электроподвижного состава данного типа на перегоне можно получить различные формы диаграммы движения, в зависимости, от режима езды, который устанавливается водителем электроподвижного состава.

Для одного и того же электроподвижного состава различные пусковые ускорения можно получить изменением режима пуска. При непосредственной системе управления, помимо нормального пуска, может быть ускоренный и замедленный пуск, если водитель не будет соблюдать определенный темп включения контроллера [4, 5]. При косвенной автоматической системе управления (например, при управлении вагоном КТМ-8) на горизонтальном прямом участке, в зависимости от положения главной рукоятки контроллера управления, пусковое ускорение изменяется от 0,4 до 1,55 м/сек<sup>2</sup>. Кроме того, пусковой режим для данного типа электроподвижного состава и тягового двигателя можно изменить за счет пускового тока (пусковой мощности), меняя величину пусковых сопротивлений. При различных пусковых токах будут другие пусковые диаграммы, различные пусковые силы тяги, а следовательно, и пусковые ускорения.

Рассмотрим влияние величины пускового ускорения на ходовую скорость и расход электроэнергии. При изменении величины пускового ускорения одновременно меняется и пусковая скорость (Рис..)  $a_{n1} > a_{n2}$ ;  $v_{n1} < v_{n2}$  [6].



Влияние пускового ускорения на ходовую скорость

Большее ускорение может быть получено при большей силе тяги и, следовательно, при большем пусковом токе. Так как  $a_{n1} > a_{n2}$ , то  $I_{n1} > I_{n2}$ . При неодинаковых пусковых токах будут разными скорости выхода на автоматическую характеристику  $v_{n1} < v_{n2}$ . Снижение пусковой скорости тем значительнее, чем мягче характеристика тягового двигателя.

Из рисунка можно установить влияние пускового ускорения на ходовую скорость при одной и той же скорости начала торможения и тормозном замедлении. Очевидно, что чем больше ускорение, тем меньше ходовое время и больше ходовая скорость.

### Список литературы

1.Киснеева Л.Н., Аухадеев А.Э., Ганеев И.Р. Влияние режимов работы тягового электрооборудования подвижного состава на энергоэффективность электрической тяги в системе городского электрического транспорта //Приоритетные научные исследования. – 2017. – С. 25-27.

2.Rylov Y.A. et al. Experimental research of operating modes traction electric rolling stock // Modern Science. – 2017. – №. 9. – С. 137-140.

3.Киснеева Л.Н., Аухадеев А.Э. Разработка системы автоматизированного управления подвижным составом наземного городского электрического транспорта //Вестник НЦБЖД. – 2016. – №. 3. – С. 36-42.

4.Идиятуллин Р.Г. и др. Методика статистической оценки эксплуатационных параметров энергосбережения тяговых

электродвигателей //Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2005. – №. 3-4. – С. 14-20.

5.Филина О.А. Исследование эксплуатационного ресурса электрощеток электродвигателя постоянного тока подвижного состава //Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2017. – Т. 19. – №. 9-10. – С. 133-139.

6.Литвиненко Р.С. Имитационная модель процесса функционирования электротехнического комплекса с учетом надежности его элементов //Надежность. – 2016. – Т. 16. – №. 1. – С. 37-47.

7.Иванов, Д. А. Исследование электрофизических процессов и старения материала высоковольтных изоляторов для определения их рабочего ресурса / Д. А. Иванов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 2. С. 132-146. DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-2-132-146. EDN CZPDFX.

## Секция 2. ЭНЕРГО - И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ И КОММУНАЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

УДК 621.31

### РАЗДЕЛЕНИЕ ЦЕПЕЙ ОБОГРЕВА И ВНЕДРЕНИЕ АВТОМАТИЗАЦИИ ВКЛЮЧЕНИЯ-ОТКЛЮЧЕНИЯ ОБОГРЕВА ОБОРУДОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНИЧЕСКИХ КОНТРОЛЛЕРОВ И ДАТЧИКОВ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПОДСТАНЦИЯХ 35 – 110 кВ.

<sup>1</sup>Антипин Сергей Владимирович, <sup>2</sup>Паплевин Иван Андреевич  
<sup>1</sup>ЧОУ ДПО «Владимирский УЦ «Энергетик», г. Владимир,  
<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых,  
г. Владимир  
<sup>1</sup>svantipin@vlsu.ru, <sup>2</sup>paplevin2014@mail.ru

В статье рассматривается разделение цепей обогрева и автоматизация включения-отключения обогрева оборудования на подстанциях 35-110 кВ. Используемый в статье подход позволяет снижать затраты на собственные нужды подстанций.

**Ключевые слова:** подстанция, оборудование, автоматизация обогрева, технические контроллеры, датчики, выключатели.

### SEPARATION OF HEATING CIRCUITS AND IMPLEMENTATION OF AUTOMATION OF SWITCHING ON AND OFF OF HEATING EQUIPMENT USING TECHNICAL CONTROLLERS AND TEMPERATURE SENSORS AT 35 – 110 kV SUBSTATIONS.

<sup>1</sup>Antipin Sergey Vladimirovich, <sup>2</sup>Paplevin Ivan Andreevich  
<sup>1</sup>PEI APE «Vladimir EC Energetik», Vladimir  
<sup>2</sup>Vladimir State University. A.G. and N.G. Stoletovs, Vladimir  
<sup>1</sup>svantipin@vlsu.ru, <sup>2</sup>paplevin2014@mail.ru

The article discusses the separation of heating circuits and automation of switching on and off heating equipment at 35-110 kV substations. The approach used in the article allows to reduce the costs for substations' own needs.

**Keywords:** substation, equipment, heating automation, technical controllers, sensors, switches.

В последнее время не только в России, но и во всем мире энергетики стараются рационально использовать энергоресурсы в своей профессии. Они находят новые подходы для снижения затрат энергоресурсов при эксплуатации того или иного оборудования [1].

Одним из таких решений является разделение цепей обогрева и внедрение автоматизации включения-отключения обогрева оборудования с использованием технических контроллеров и датчиков температурына

подстанциях 35-110 кВ. В настоящее время начало и окончание отопительного периода на подстанциях 35-110 кВ филиалов ПАО «Россети Центр» и ПАО «Россети Центр и Приволжье» определяется распоряжением о включении/отключении отопления за подписью первого заместителя директора – главного инженера филиала. Включение и отключение производится вручную силами оперативного персонала и персонала службы подстанций в установленные даты начала и окончания отопительного периода [2].

Предложенный подход рационализаторами позволит не только снизить затраты энергоресурсов при работе подогрева оборудования, но и сократить время работы дежурного персонала на контроль температуры наружного воздуха зимой и осенью и сократить трудозатраты. К тому же, снизится вероятность повреждения оборудования в период холодов. Согласно заводским инструкциям по эксплуатации оборудования, температура наружного воздуха, при которой необходимо включение обогревов баков масляных выключателей составляет  $-25^{\circ}\text{C}$  ( $-15^{\circ}\text{C}$  для маломасляных ВМТ-110), а обогрев приводов, шкафов с аппаратурой РЗА, управления, связи и телемеханики включается при температуре наружного воздуха ниже  $+5^{\circ}\text{C}$ . От измерительного блока подаётся команда о включении на контактор 0,23 кВ. С помощью этих устройств можно выставить от одной до трёх уставок контролируемых величин. В нашей работе мы рассмотрим две величины температур – подогрев приводов и баков выключателей [4].

Упомянутые измерительные блоки – это микропроцессорные измерители-регуляторы, которые предназначены для регулирования и измерения температуры и других неэлектрических величин (частоты, давления и т.д.), преобразованных в электрические сигналы [3].

Автоматизация обогрева баков, приводов и шкафов управления выключателей применяется во всех приводах и шкафах управления выключателей, а также баки масляных выключателей, не имеющих автоматики управления обогревом с учетом конструктивных, эксплуатационных и гарантийных особенностей оборудования. (рис.1.)

Экономия от автоматизации обогрева баков, приводов и шкафов управления выключателей достигается при условии соблюдения нормальной герметичности отапливаемого объема, а также соблюдения требуемых значений теплоизоляции. Например, при неплотном прилегании дверец (люков), щелях в ограждающих конструкциях шкафа управления выключателей, а также открытых дверцах (люках) при включенных обогревателях, эффект от автоматизации систем обогрева не достигается [5].



**Схема цепей обогрева ОРУ-110  
(После разделения цепей)**

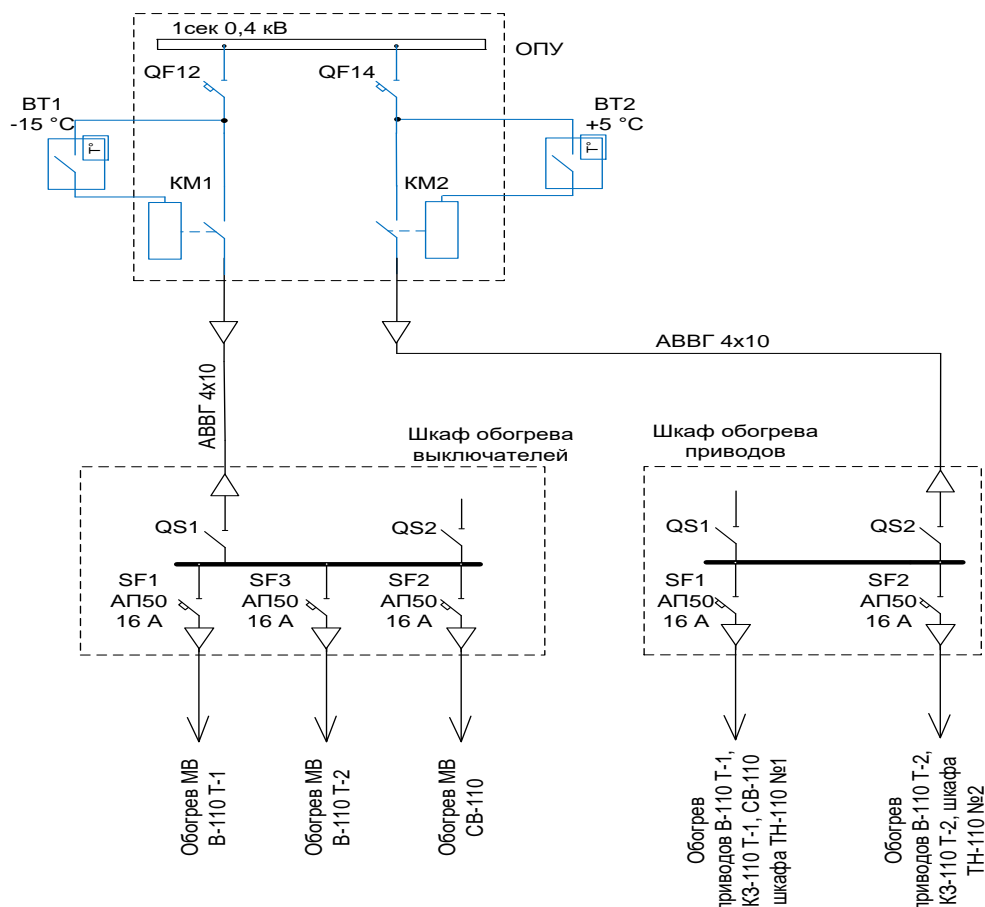


Рис.1.Схема цепей обогрева ОРУ-110 (после разделения цепей)

На представленной схеме изображена разделенная цепь с внедренной автоматизацией включения-отключения обогрева оборудования с использованием технических контроллеров и датчиков температуры.

В данной цепи представлено следующее оборудование:

- Автоматический выключатель QF12 «Обогрев MB-110кВ»;
- Автоматический выключатель QF14 «Обогрев ящиков наружной установки и приводов MB-110»;
- В цепи обогрева включены 2 магнитных пускателя KM1 и KM2 типа ПМЕ-211, расположенные в здании ОПУ. Пускатели управляются датчиками температуры BT1 и BT2, расположенными в защитном кожухе на фасаде здания ОПУ;
- BT1 - датчик температуры цепей обогрева баков выключателей типа ДТКБ 48, срабатывает при  $-15^{\circ}\text{C}$ ;
- BT2 - датчик температуры цепей обогрева приводов типа ДТКБ 49, срабатывает при  $+5^{\circ}\text{C}$ ;

– Питающие кабели приходят в шкафы наружной установки «Шкаф обогрева выключателей» и «Шкаф обогрева приводов». В шкафах установлены рубильники QS1 и QS2, автоматические выключатели SF1, SF2 и SF3 типа АП50.

Экономия расхода электрической энергии за счет внедрения систем автоматического управления обогрева шкафов управления, приводов и баков, рассчитывается по формуле:

$$\Delta W = 0.25 \sum_1^i t_p^i n^i p^i, \text{ кВт. ч}$$

где,  $n^i P^i$ , шт., кВт – количество и мощность обогрева баков, приводов и шкафов управления выключателей  $i$ -той системы, к которой планируется подключение шкафа автоматики обогрева;

$t_p^i$ , час – продолжительность периода обогрева баков масляных выключателей при длительных (более суток) понижениях среднесуточной температуры  $+5^\circ\text{C}$ , а также продолжительность обогрева приводов и шкафов управления выключателей при достижении значения среднесуточной температуры согласно требованиям заводов-изготовителей.

Для наглядной эффективности внедрения данной системы возьмем отопительный период 2020-2021 г. во Владимире. Начало отопительного периода (согласно распоряжению первого заместителя директора – главного инженера филиала «Владимирэнерго») 16.10.2020. Окончание отопительного периода 28.04.2021.

Всего отапливаемых дней	количество дней с температурой ниже $+5^\circ\text{C}$	количество дней с температурой ниже $-15^\circ\text{C}$	количество дней с температурой при которой оборудование не нуждается в отоплении
195	170	20	25

Рис. 2. Количество отапливаемых и неотапливаемых дней в году

Судя по рисунку 2, за отопительный период у нас есть 25 дней, при котором оборудование не нуждается в отоплении. Без внедрения вышеупомянутого решения в эти самые дни оборудование будет отапливаться, тем самым расходуя электроэнергию впустую. Если в схему внедрить автоматизацию включения-отключения обогрева оборудования и разделить цепь обогрева, то можно сэкономить большое количество электроэнергии и финансов.

Можно подсчитать количество сэкономленной при данном подходе электроэнергии. При включении-отключении отопления по распоряжению в случае, если цепи обогревов не разделены, расход электрической энергии на обогрев составит 30,56 тыс. кВт·ч. При автоматизированном включении-отключении отопления, когда цепи обогрева разделены, расход электроэнергии на обогрев составит 23,28 тыс. кВт·ч. Экономия составит 7,28 тыс. кВт·ч.

### Список литературы

1. Болдырева А.А. Монтаж резервуара вертикального стального объёмом 50000 м<sup>3</sup> на головной нефтеперекачивающей станции. // Бакалаврская работа. Красноярск, 2017.

2. Салов А.Г. Системная методология анализа энергоэффективности территориальной генерирующей компании в условиях перехода к саморегулированию. // Автореферат диссертации на соискание учёной степени доктора технических наук. Самара, 2009.

3. Кравченко Дарья. Экономия на обогреве приводов и баков. [Электронный ресурс]. URL: <https://gudok.ru/zdr/176/?ID=1239246> (дата обращения 01.06.2022).

4. Пресс-служба ОАО «ЕЭСК». Системы подогрева оборудования подстанций ОАО «ЕЭСК». [Электронный ресурс]. URL: <https://lemzspb.ru/obogrev-privodov-vyklyuchateley-110-kv/> (дата обращения: 01.06.2022).

5. СТО 56947007-29.240.01.223-2016. Стандарт организации ПАО «ФСК ЕЭС» Типовые технические мероприятия по энергосбережению и повышению энергоэффективности для реализации на объектах ПАО «ФСК ЕЭС». [Электронный ресурс]. URL: [https://www.fsk-ees.ru/upload/docs/STO\\_56947007-29.240.01.223-2016.pdf](https://www.fsk-ees.ru/upload/docs/STO_56947007-29.240.01.223-2016.pdf) (дата обращения 01.06.2022).

6. Анализ типов высоковольтных коммутационных аппаратов и оценка остаточного ресурса выключателей, установленных на подстанциях с высшим напряжением 35-110 кВ филиала ПАО "МРСК центра"- "Орелэнерго" / А. В. Виноградов, М. В. Бородин, А. А. Лансберг [и др.] // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Т. 13. № 1(49). С. 118-12  
УДК 620.179.14

### НЕЙРОСЕТЕВОЙ АНАЛИЗ СИГНАЛА ЭЛЕКТРОМАГНИТНО-АКУСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ

## НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ И ПОВРЕЖДЕННОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

<sup>1</sup>Баширов Мусса Гумерович, <sup>2</sup>Баширова Эльмира Муссаевна, <sup>3</sup>Юсупова Ильвина Гамировна, <sup>4</sup>Акчурин Дамир Шамилевич  
<sup>1-4</sup>Институт нефтепереработки и нефтехимии ФГБОУ ВО УГНТУ в г. Салавате  
<sup>1</sup>eapp@yandex.ru, <sup>2</sup>bashirova-elmira@yandex.ru, <sup>3</sup>ilvina011@mail.ru, <sup>4</sup>akihiro177@mail.ru

Отказы энергетического оборудования могут привести кразличного вида авариям. Оценка фактического технического состояния и определение остаточного ресурса оборудования позволяет в дальнейшем снизить риск возникновения аварий. Перспективным направлением для решения этой проблемы является использование электромагнитно-акустического (ЭМА) эффекта, позволяющего с помощью электромагнитного поля, генерировать в контролируемом изделии акустические волны и считывать информацию о его техническом состоянии. Использование искусственной нейронной сети (ИНС) в составе электромагнитно-акустической системы диагностикипозволяет повысить достоверность определения фактического технического состояния и ресурса безопасной эксплуатации энергетического оборудования.

**Ключевые слова:**электромагнитно-акустический метод, энергетическое оборудование, промышленная безопасность, поврежденность, отказ, нейронные сети, машинное обучение.

## NEURAL NETWORK ANALYSIS OF THE SIGNAL OF ELECTROMAGNETIC-ACOUSTIC SYSTEM FOR IDENTIFICATION OF STRESS-STRAIN STATE AND DAMAGE OF OIL AND GAS EQUIPMENT

<sup>1</sup>Bashirov MussaGumerovich, <sup>2</sup>Bashirova Elmira Mussaevna, <sup>3</sup>Yusupova IlvinaGamirovna, <sup>4</sup>Akchurin DamirShamilevich  
<sup>1-4</sup>Institute of Oil Refining and Petrochemistry FSBEIHE USPTU in Salavat  
<sup>1</sup>eapp@yandex.ru, <sup>2</sup>bashirova-elmira@yandex.ru, <sup>3</sup>ilvina011@mail.ru, <sup>4</sup>akihiro177@mail.ru

Failures of power equipment can lead to various types of accidents. Assessment of the actual technical condition and determination of the residual life of the equipment can reduce the risk of accidents, prevent explosions and fires. A promising direction for solving this problem is the use of electromagnetic-acoustic (EMA) effect, which allows non-contact, using an electromagnetic field, to generate acoustic waves in a controlled product and read information about its technical condition. The use of an artificial neural network (ANN) as part of an electromagnetic-acoustic diagnostic system makes it possible to increase the reliability of determining the actual technical condition and resource for the safe operation of power equipment.

**Keywords:**electromagnetic-acoustic method, power equipment, industrial safety, damage, failure, neural networks, machine learning.

Современные предприятия тепловой и атомной энергетики относятся к опасным производственным объектам, которые характеризуются высоким уровнем взрывопожароопасности и обладающим повышенными

показателями риска возникновения аварийных ситуаций. Взрывопожароопасность данных объектов энергетики определяется обращением больших объемов взрывопожароопасных веществ, а также высокими значениями температур и давлений в технологическом процессе производства электрической энергии[1].

В настоящее время при проведении экспертизы энергетического оборудования в промышленной безопасности применяются традиционные методы неразрушающего контроля, которые направлены на выявление и измерение параметров уже развитых дефектов. Данные методы крайне непригодны для обнаружения дефектов на начальном этапе их развития, в так называемом «преддефектном» состоянии металла. Данное состояние характеризуется тем, что в его структуре уже произошли необратимые изменения, которые могут стать причиной выхода оборудования из строя [2]. На практике ресурс и надежность энергетического оборудования в основном определяются зонами концентрации механических напряжений. Фактические напряжения в данных зонах могут достичь предела текучести металла и даже превысить его. Таким образом, они являются основными источниками развития различных повреждений[3].

При обеспечении контроля исправного состояния энергетического оборудования наряду с другими физическими методами неразрушающего контроля используются и ультразвуковые методы. Основной особенностью применения традиционных ультразвуковых методов с использованием пьезопреобразователей является необходимость тщательной подготовки поверхности объекта к проведению контроля и постоянного поддержания акустического контакта преобразователя с объектом контроля (ОК) через слой контактной жидкости. Это негативно влияет на производительность контроля, а также является причиной нестабильности акустического контакта и его зависимости от особенностей конкретных контактных жидкостей. Но даже при наличии контактной жидкости происходит интенсивный износ протектора самого пьезопреобразователя.

Исходя из описанных выше недостатков ультразвуковых методов контроля, производственники и исследователи проявляют большой интерес к бесконтактным способам возбуждения и приема акустических сигналов. Одним из перспективных направлений в этой области является использование электромагнитно-акустического (ЭМА) эффекта. Существующие методы и средства, основанные на данном эффекте, используют лишь отдельные его информативные параметры. Такие, как, например, амплитуда, фаза и скорость акустического сигнала.

В процессе эксплуатации энергетического оборудования и накопления различных повреждений в структуре металла происходит сложное взаимосвязанное изменение целого комплекса его механических, электрофизических и акустических свойств. Эти изменения отражаются в изменении параметров передаточной функции объекта контроля – его динамической математической модели в операторной форме [4].

В результате бесконтактного воздействия на ОК электромагнитного поля формируется ЭМА сигнал отклика, который содержит информацию об ОК в виде изменения его частотных и временных параметров. В качестве интегрального параметра, который отражает совокупность электрических, магнитных, акустических и механических свойств металла оборудования, характеризующих его эксплуатационные свойства, используется его динамическая математическая модель – передаточная функция, получаемая на основе анализа ЭМА сигнала [5]. Идентификация текущего технического состояния и прогнозирование остаточного ресурса оборудования осуществляется искусственной нейронной сетью на основе анализа параметров передаточной функции. Изменения в структуре металла, зарождение и развитие повреждений вызывают и изменение параметров передаточной функции, поэтому анализ её параметров позволяет обнаруживать данные изменения, оценить техническое состояние и ресурс безопасной эксплуатации оборудования [6].

Сочетание высокопроизводительного бесконтактного ЭМА метода диагностики с методом динамической идентификации и интеллектуальной системой распознавания на основе искусственной нейронной сети позволяет выявлять реальные изменения структуры и механических свойств конструкционных материалов, определять фактическое техническое состояние и ресурс безопасной эксплуатации оборудования. Конечной целью исследования является разработка бесконтактной интеллектуальной электромагнитно-акустической системы контроля технического состояния и прогнозирования ресурса оборудования опасных производственных объектов.

### **Список литературы**

1. Баширов, М.Г. Электромагнитно-акустический метод оценки технического состояния энергетического оборудования / М.Г. Баширов, И.Г. Хуснутдинова, Л.Г. Хуснутдинова, Д.Р. Усманов / Промышленная энергетика. – 2016. – № 12. – С. 8-13.
2. Хуснутдинова И.Г. Анализ аварийных ситуаций в нефтегазовой

отрасли при возникновении дефектов в металлических элементах оболочковых конструкций / И.Г. Хуснутдинова, М.Г. Баширов, И.К. Бакиров // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2017. – №2. – С. 155-164.

3. Хуснутдинова, И.Г. Измерение степени напряженно-деформированного состояния металлоконструкций на базе нечеткого регулятора второго порядка / К.А. Соловьев, И.Г. Хуснутдинова, Р.Г. Султанов, М.Г. Баширов, Е.А. Муравьева, О.И. Соловьева, А.И. Переверзев // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. – 2015. – № 6. – С. 323-342.

4. Хуснутдинова, И.Г. Оценка степени поврежденности оболочковых конструкций с использованием электромагнитно-акустического метода контроля / И.Г.Хуснутдинова, М.Г. Баширов, Д.Р. Усманов, Л.Г. Хуснутдинова // Фундаментальные исследования. 2015. – № 10-3. – С. 538–541.

5. Bashirov M.G., Bashirova E.M., Khusnutdinova I.G. The dynamic identification of the technical condition of pipelines on the basis of the analysis of the temporal characteristics of electromagnetic-acoustic signal // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. С. 12042.

6. Khusnutdinova I.G., Bashirov M.G. The use of electromagnetic-acoustic method for estimating the stress-strain state of the metallic elements of power equipment // Key Engineering Materials. 2017. Т. 743. С. 463-467.

УДК 621.315.1

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕСТИРОВАНИЯ УКАЗАТЕЛЕЙ МЕСТА ОДНОФАЗНОГО ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ**

<sup>1</sup>Братухин Алексей Викторович, <sup>2</sup>Казаковцев Виктор Владимирович

<sup>1,2</sup>Вятский государственный университет, г. Киров

<sup>1</sup>usr02334@vyatsu.ru, <sup>2</sup>usr04387@vyatsu.ru

В статье рассмотрены результаты натурного тестирования указателей места однофазного замыкания на землю (ОЗЗ) различных типов, используемых при обслуживании воздушных распределительных сетей напряжением 6-35 кВ. Проанализированы результаты тестирования.

**Ключевые слова:** однофазное замыкание на землю, поиск места замыкания, воздушные распределительные сети 6-35 кВ, переносные приборы.

## **RESULTS OF TESTING INDICATORS OF LOCATION OF A SINGLE-PHASE GROUND FAULT**

<sup>1</sup>Bratukhin Aleksey Viktorovich, <sup>2</sup>Kazakovtsev Viktor Vladimirovich  
<sup>1,2</sup>VyatkaStateUniversity, Kirov  
<sup>1</sup>usr02334@vyatsu.ru, <sup>2</sup>usr04387@vyatsu.ru

The article contains the results of testing various type indicators of location of a single-phase ground fault. These indicators are used in operation of overhead distribution networks 6-35 kV. The test results were analyzed.

**Keywords:** single-phase ground fault, search for fault location, overhead distribution networks 6-35 kV, portable devices.

Испытания указателя ОЗЗ «Вектор», разработанного в Вятском государственном университете при участии Научно-производственного центра «Электробезопасность», г. Киров, начались в 2013 году. После опытной эксплуатации указателей «Вектор» во всех областных энергосистемах ПАО «МРСК Центра и Приволжья» на научно-техническом совете компании в 2016 году было принято решение рекомендовать указатель «Вектор» к применению в распределительных сетях 6-35 кВ и оснастить данными указателями подразделения, обслуживающие сети [1, 2].

Указатель «Вектор» является прибором «направленного» типа, который по результатам измерения и анализа параметров электрического и магнитного полей поврежденной линии с помощью «плавающей» стрелки на дисплее наглядно показывает направление движения к месту ОЗЗ [3, 4].

Все приборы, находящиеся в эксплуатации и широко используемые для поиска места ОЗЗ, относятся к «токовому» типу. Они способны по результатам измеренных параметров магнитного поля показывать число, пропорциональное току одной из высших гармоник, протекающих в поврежденной ВЛ [5]. Полученные при измерениях числовые показания следует фиксировать и сопоставлять. По причине изменения сопротивления в месте контакта, либо в случае неполного ОЗЗ, показания такого прибора могут быть неустойчивыми, соответственно, пользоваться им может быть затруднительно или невозможно.

В связи с ростом интереса к указателю «Вектор» со стороны Филиала ПАО «Россети Северо-Запад» - «Комиэнерго» 20 января 2022 года на территории республики Коми в Прилузском РЭС было проведено натурное сравнительное тестирование переносных приборов для обнаружения места ОЗЗ в распределительных сетях 10 кВ. В исследовании использовались находящиеся в эксплуатации указатели «токового» типа «Квант» (производство ООО НПФ «Радиус») и «Спектр» (разработка Псковского государственного университета), а также указатель «Вектор» (производство ООО НПЦ «Электробезопасность», г. Киров).



Тестирование проводилось представителями производственных отделений Филиала ПАО «Россети Северо-Запад» - «Комиэнерго», выполняющих эксплуатацию распределительных сетей, с участием представителей Вятского государственного университета, как одного из разработчиков указателя «Вектор».

Тестирование выполнялось по утвержденной программе [6]. В соответствии с программой для тестирования выбран режим неметаллического ОЗЗ (через сопротивление).

Тестирование содержало три этапа:

*Этап 1.* Проверка эффективности указателей места ОЗЗ при выборе поврежденного фидера из отходящих от ПС 110/10 кВ «Объячево».

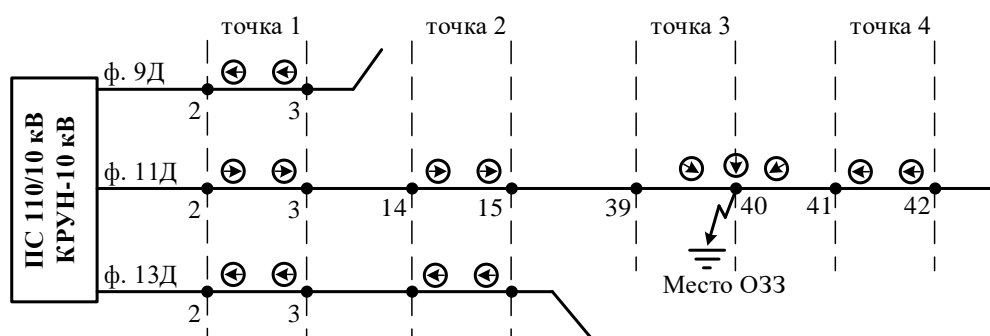
*Этап 2.* Проверка эффективности указателей места ОЗЗ при поиске поврежденной ВЛ, находящейся в одном коридоре с исправной ВЛ.

*Этап 3.* Проверка эффективности указателей места ОЗЗ при определении непосредственно места ОЗЗ на местности.

Суммарная длина всех ВЛ, подключенных к трансформатору с поврежденной линией, которая находилась в режиме ОЗЗ, составила 96,47 км. Общая длина поврежденной ВЛ 10 кВ, отходящей от яч. 11Д, равна 13 км. Расстояние от яч. 11Д до места ОЗЗ составило 2,85 км. Неметаллическое ОЗЗ было создано вблизи опоре №40 ф. 11Д. Фазные напряжения составили 9,4 кВ, 6,1 кВ, 4,2 кВ.

Тестирование приборов проводилось в коридоре трёх фидеров (ф. 9Д, ф. 11Д, ф. 13Д) в четырех точках (рис. 1):

1. В пролетах опор №2-3 каждого фидера от КРУН-10 кВ (поиск поврежденного фидера);
2. В пролетах опор №14-15 (к месту ОЗЗ);
3. В пролетах опор №39-40 (место ОЗЗ);
4. В пролетах опор №41-42 (заместом ОЗЗ).



Часть схемы расположения ВЛПС «Объячево» и показания указателя «Вектор» при тестировании

*Тестирование в точке 1 (поиск поврежденного фидера).*

Для определения поврежденного фидера поочередно проводились измерения под каждой из трёх ВЛ выбранного коридора. Под исправной

ВЛ стрелка указателя «Вектор» должна быть направлена к ПС, при повреждённой – от ПС. «Токовыми» приборами поиск неисправной ВЛ выполнялся по максимальным показаниям.

В результате тестирования в точке 1(табл.) прибор «Вектор» показал направление к месту ОЗЗ (от ПС) на поврежденной ВЛ(рис. 1).По показаниям прибора «Спектр» также удалось определить ВЛ с ОЗЗ. Показания прибора «Квант» не менялись при перемещении под разными ВЛ и определить ВЛ с ОЗЗ не удалось.

Сравнительное тестирование указателей ОЗЗ

Этап	Место измерения		Показания прибора		
			«Квант»	«Спектр»	«Вектор»
1 этап	точка 1	ф.13Д	100 (1:10)	200	← к ПС
		ф.11Д	100 (1:10)	600-800	→от ПС
		ф.9Д	100 (1:10)	20-30	← к ПС
2 этап	точка 2	ф.13Д	130 (1:1)	0	← к ПС
		ф.11Д	170 (1:1)	700-900	→от ПС
3 этап	точка 3	ф.11Д	150 (1:1)	120-200	→от ПС
	точка 4	ф.11Д	150 (1:1)	16	←к ПС

*Тестирование в точке 2 (к месту ОЗЗ).*

В данной точке были расположены две параллельно друг другу ВЛ: ф.13Д и ф.11Д (табл. 1).

В результате тестирования в точке 2 показания прибора «Вектор» позволили определить неисправную ВЛ и направление к месту ОЗЗ (рис. 1). Показания прибора «Спектр» увеличивались под поврежденной ВЛ в сравнении с измерениями у ПС (точка 1), что также позволило определить направление. Показания прибора «Квант» в этом и последующих опытах не давали возможности найти место ОЗЗ.

*Тестирование в точке 3 (место ОЗЗ).*

В результате тестирования в точке 3 прибор «Вектор» показалнаправление от ПС к месту ОЗЗ.При прохождении возле места ОЗЗ наблюдалось плавноеизменение направления стрелки указателя «Вектор»в сторону к ПС (рис. 1). Из чего был сделан вывод, что место ОЗЗ находится у опоры №40.

*Тестирование в точке 4 (за местом ОЗЗ).*

В результате тестирования в точке 4 показания прибора «Вектор» позволили определить направление к месту ОЗЗ (рис. 1). Показания прибора «Спектр» резко уменьшились, что также позволило сделать вывод о необходимости изменения направления поиска.

В результате проведенных тестирований можно сделать следующие выводы:

1. Указатель «Вектор» позволяет наиболее достоверно определить поврежденную ВЛ и в дальнейшем – место ОЗЗ. Простота применения и наглядное представление информации являются существенными преимуществами при его эксплуатации.

2. Прибор «Спектр» также позволил определить поврежденную ВЛ и в дальнейшем – место ОЗЗ. Однако при отсутствии навыков анализа результатов измерений, и в связи зависимостью показаний прибора от изменения сопротивления в месте ОЗЗ, полученные выводы могут быть ошибочными.

3. Прибор «Квант» не смог определить поврежденную ВЛ и место ОЗЗ.

4. По итогам испытаний комиссия рекомендовала указатель «Вектор» для эксплуатации в распределительных сетях Филиала ПАО «Россети Северо-Запад» - «Комиэнерго».

### Список литературы

1. Красных А.А., Кривошеин И.Л., Косолапов Е.В., Суслов Е.А., Козлов А.Л., Братухин А.В., Машковцев И.И. Натурные испытания промышленного образца прибора «Вектор» в распределительных сетях ПАО «Межрегиональная распределительная сетевая компания Центра и Приволжья» напряжением 10кВ, выполненных воздушными линиями // Общество, наука, инновации. (НПК-2016): всерос. ежегод. науч.-практ. конф.: сб. статей, 18-29 апреля 2016 г. / Вят. гос. ун-т. – Киров, 2016. – 1 электрон.опт. диск. (CD-ROM). – С.1614-1619.

2. Красных А.А., Кривошеин И.Л., Козлов А.Л., Братухин А.В., Итоги опытной эксплуатации указателя места однофазного замыкания // Общество. Наука. Инновации. (НПК-2017) [Электронный ресурс]: сб. статей: Всерос. ежегод. науч.-практ. конф., 1-29 апреля 2017 г. – Киров: [Науч. изд-во ВятГУ], 2017. – 6409 с. С.1265-1271.

3. Патент РФ №2563340 G01R31/08. Способ определения места однофазного замыкания на землю в разветвленной воздушной ЛЭП с

изолированной нейтралью / А.А. Красных, А.Л. Козлов, И.Л. Кривошеин и др. // Бюл. Изобретения. 2015. № 26.

4. Красных А.А., Кривошеин И.Л., Козлов А.Л. Исследование зоны растекания тока при однофазном замыкании на землю // Энергетик. 2017. № 6. С. 23 – 26.

5. Красных А.А., Кривошеин И.Л., Козлов А.Л. Переносные приборы для определения места однофазного замыкания на землю // Энергетик. 2015. № 11. С. 18 – 20.

6. Программа проведения тестирования приборов для определения места замыкания на землю на ВЛ-10 кВ ф.11д «Вухтым» от ПС110/10 кВ «Обьячево» от января 2022 года.

УДК: 62-78

## **ПРИМЕНЕНИЕ РУКАВНЫХ ФИЛЬТРОВ КАК СПОСОБ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ НА ПРОИЗВОДСТВЕ**

<sup>1</sup>Байгускарова Нурзиля Шафкатовна, <sup>2</sup>Сафиуллина Алсу Ильдаровна  
<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
baiguskarovan@gmail.com

В статье рассматривается необходимость использования очистного оборудования, в частности, в исследовании рассматриваются рукавные фильтры. Кроме этого, использование рукавных фильтров позволяет снизить затраты на энергоресурсы за счет возврата чистого воздуха обратно в цех. В статье рассмотрено устройство рукавного фильтра и несколько видов фильтров, которые наиболее часто используются на производстве.

**Ключевые слова:** рукавный, фильтр, энергоресурсы, теплоизоляция, мощность, вентилятор.

## **THE USE OF BAG FILTERS AS A WAY TO SAVE ENERGY IN PRODUCTION**

<sup>1</sup>Baiguskarova Nurzilya Shafkatovna, <sup>2</sup>Safiullina Alsu Ildarovna  
<sup>1,2</sup>FSBEI HE "KSPEU", Kazan  
baiguskarovan@gmail.com

The article discusses the need to use cleaning equipment, in particular, bag filters are considered in the study. In addition, the use of bag filters allows you to reduce energy costs by returning clean air back to the workshop. The article discusses the bag filter device and several types of filters that are most often used in production.

**Keywords:** bag, filter, energy resources, thermal insulation, power, fan.

В процессе реализации производственной деятельности на многих заводах возникает проблема, которая связана с образованием пыли. В большей степени эта проблема встречается на горнодобывающих,

металлургических, цементных, мукомольных и химических предприятиях. Для того, чтобы частички пыли и взвеси не находились в атмосфере, с целью продления срока службы станков, сохранения здоровья рабочих, необходимо использовать очистное оборудование. Наиболее популярным и эффективным видом очистного оборудования является использование рукавных фильтров.

Использование рукавных фильтров также позволяет не только осуществлять очистные мероприятия, но и связано со снижением затрат на энергоресурсы. Производителем заявлено, что рукавные фильтры являются инновационным решением и позволяют предприятию сэкономить до 40% электроэнергии за счет возврата чистого воздуха обратно в цех. В соответствии с этим планируется не только снижение затрат на энергоресурсы, но и очищение работающих станков от пыли, стружки и прочих сыпучих материалов.

Использование рукавных фильтров обладает определёнными преимуществами, в частности производителем заявлено, что внедрение в деятельность рукавных фильтров позволит достичь следующих условий:

- совершенствование процесса производства продукции;
- снижение потребления энергоресурсов;
- создание асептических условий при производстве основной продукции предприятия;
- увеличение срока службы устройств пневмоавтоматики;
- повышение качества продукции и повышение сроков хранения готовой продукции;
- очистка выбросов в атмосферу, а также создание наилучших условий для работы в основном производстве.

Чаще всего устройство рукавных фильтров у разных производителей различается незначительно. Среди основных элементов принципиальной схемы конструкции можно выделить следующие:

- Камера грязного газа;
- Камера чистого газа;
- Корпус рукавного фильтра;
- Монтажная плита (разделительная плита между чистой и грязной камерой);
- Фильтровальные рукава;
- Система регенерации с ресиверами, пневмоклапанами, продувочными трубами;
- Бункер с устройством выгрузки уловленной пыли и опорами;
- Система автоматики управления (рис. 1).

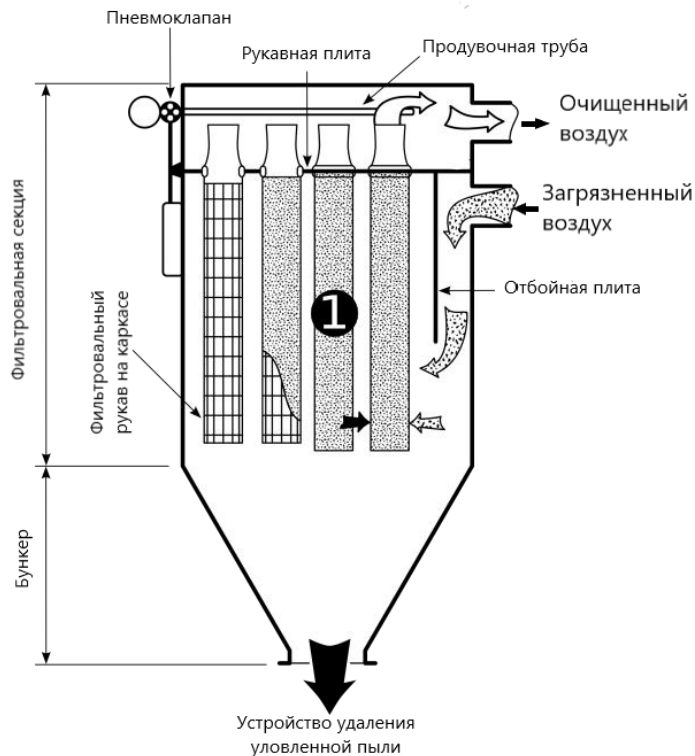


Рис. 1. Схема рукавного фильтра

Следует отметить, что конфигурация фильтра может отличаться от различных условий и дополняться при необходимости. В частности фильтр может быть дополнен площадками обслуживания, пневмо- или вибро-системой, системой аварийного подмеса и прочими дополнительными элементами. В случае, если оборудование будет располагаться на улице, то его необходимо дополнить теплоизоляцией и дополнительным обогревом.

Осуществив мониторинг различных сайтов и изучив опыт производственных компаний на рынке, было выбрано несколько вариантов рукавных фильтров, которые являются наиболее популярными и эффективными при применении их в производстве. Одним из таких фильтров является CYCLONE-S (рис. 2).

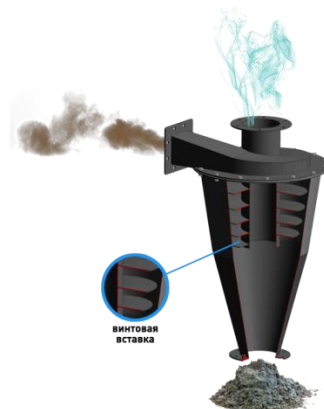


Рис. 2. Фильтр CYCLONE-S

Производителем заявлено, что использование подобного фильтра очень удобно и выгодно для ООО «Сфера Успеха». Кроме этого, обеспечивается более 90 % очистки воздуха за счет фильтрации вредных выбросов в воздух. Указанный фильтр обладает низким уровнем шума и может полностью адаптироваться под потребности производства.

Еще одним известным видом рукавных фильтров является NESTRO. Схема данного фильтра представлена на рисунке 3.

Указанный фильтр также обладает рядом преимуществ, так как позволяет увеличивать диапазон мощностей, при производстве фильтра используется высокоэффективные вакуумные пылевые вентиляторы, данный фильтр обладает низким уровнем шума и может полностью адаптироваться под потребности производства. Немаловажным преимуществом также является возможность самоочистки рукавов. При выборе рукавных фильтров производственные предприятия руководствуются такими характеристиками, как экономичность, долговечность, мощность, размеры фильтруемых частиц, наличие дополнительного оборудования, необходимость дополнительных затрат на установку и прочее.

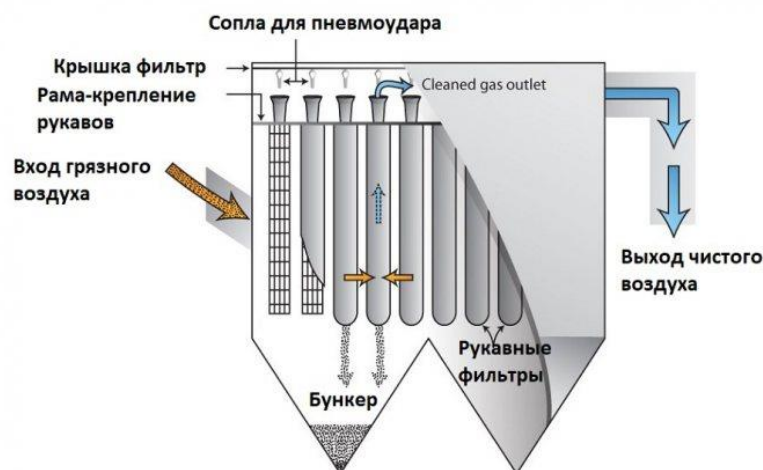


Рис. 3. Схема рукавного фильтра NESTRO

Следовательно, рассмотрев несколько видов рукавных фильтров, может быть сделан вывод о том, что рукавные фильтры обладают своей универсальностью, имеют очень много преимуществ и нашли широкое применение в различных отраслях, в частности наиболее эффективно их использование в промышленности. На сегодняшний день наиболее актуально использование рукавных фильтров, к примеру, при производстве муки или на цементных производствах. Преимуществом рассмотренных рукавных фильтров является то, что они могут легко встроиться в технологическую линию и быть адаптированы под производство с минимальными затратами. Рукавные фильтры обеспечивают высокую степень очистки в процессе производства – до 99%. Рукавные фильтры обладают низкими эксплуатационными затратами,

а также могут обеспечить снижение затрат на энергоресурсы за счёт возврата теплого воздуха обратно. Ещё неважным преимуществом рукавных фильтров является то, что они могут эффективно функционировать в условиях суровой зимы. Считаем, что это является безусловным достоинством.

Несмотря на то, что рукавные фильтры обладают серьёзными преимуществами, не исключены недостатки, с которыми могут столкнуться производственные предприятия. В частности требуется подвод сжатого воздуха, к которому имеются особые требования. Эти требования необходимо учесть для того, чтобы данное оборудование приносило дополнительный эффект. В случае, если фильтрующий материал будет подобран с ошибками, это может привести к повышению стоимости не только эксплуатации фильтра, но и всего оборудования. В соответствии с этим, внедрение подобного оборудования должно осуществляться специалистами и при условии обоснования необходимости его внедрения.

### Список литературы

1. Аширалиев, А. Теплогенератор с компактной паровой камерой и эффективным теплообменником - путь к энергоэффективности / А. Аширалиев, К. А. Кокумбаева, З. К. Ташиев // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2021. – Т. 13. – № 1(49). – С. 107-117.

2. Блинов В.Л., Зубков И.С., Бродов Ю.М., Мурманский Б.Е. Моделирование течения в тракте комплексного воздухоочистительного устройства ГТУ // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021. Т. 23. № 4. С. 66- 83. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-4-66-83.

3. Боярская Н.П., Довгун В.П., Егоров Д.Э., Новиков В.В., Шандрыгин Д.А. Минимизация потерь мощности в пассивных силовых фильтрах // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021. Т. 23. № 6. С. 42-52. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-6-42-52.

4. Иванов, В. П. Оборудование и оснастка промышленного предприятия: Учебное пособие / Иванов В.П., Крыленко А.В. - Москва :НИЦ ИНФРА-М, Нов. знание, 2016. - 235 с.

5. Исследование движения газозвеси в моделях фильтров с твердотельными и пористыми гранулами / О. В. Соловьева, С. А. Соловьев, А. Р. Талипова [и др.] // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2021. – Т. 13. – № 2(50). – С. 27-39.

6. Матросова, Е. Структурные преобразования в промышленности - условие экономического роста / Е. Матросова // Экономист. - 2000. -№5. - С. 17-22.



7. Энергоустановка на базе свободнопоршневого двигателя и генератора возвратно-поступательного перемещения / А. Д. Мехтиев, Д. Л. Калужский, Е. Г. Нешина [и др.] // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2021. – Т. 13. – № 3(51). – С. 178-188.

УДК 621.3

## КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ ЭЛЕГАЗА В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕГАЗОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

<sup>1</sup>Байгускарова Нурзиля Шафкатовна, <sup>2</sup>Сафиуллина Алсу Ильдаровна  
<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
baiguskarovan@gmail.com

В статье рассматривается понятие элегаза и особенности его применения в промышленности. Определяется, что в промышленности используются различные виды элегазового оборудования. Именно поэтому требуется реализация диагностического контроля в процессе эксплуатации указанного оборудования. На сегодняшний день требуется внедрение элементарных способов очистки и регенерации элегаза.

**Ключевые слова:** элегаз, оборудование, контроль, диагностика, пожароопасность, мониторинг, регенерация, очистка.

## MONITORING OF THE STATE OF THE GAS DURING THE OPERATION OF THE GAS EQUIPMENT

Baiguskarova Nurzilya Shafkatovna, Safiullina Alsu Ildarovna  
KSPEU, Kazan, Russia  
baiguskarovan@gmail.com

The article discusses the concept of elegaz and the features of its application in industry. It is determined that various types of gas-fired equipment are used in industry. That is why it is necessary to implement diagnostic control during the operation of the specified equipment. To date, the introduction of elementary methods of purification and regeneration of elegaz is required.

**Keywords:** elegaz, equipment, control, diagnostics, fire hazard, monitoring, regeneration, cleaning.

В различных сферах жизнедеятельности человека применение элегаза в последнее время становится как никогда актуальным. Важной задачей является реализация мер по оперативному контролю утечек элегаза при вводе оборудования в работу или его последующей эксплуатации. Для этого используются различные методы и средства. По мере расширения процесса внедрения этих устройств актуальность реализации оперативного контроля утечек элегаза становится ещё более актуальной темой. В рамках данного исследования будут определены преимущества и недостатки использования элегаза в производстве, что определяет научную новизну работы.

Элегаз – это бесцветный газ, который не имеет запаха и не горит [1]. Использование элегаза в оборудовании позволило повысить качество оборудования и снизить затраты энергии на собственные нужды устройства. Кроме этого ранее применяемое оборудование было достаточно пожароопасным, оно обладало большими габаритами и его обслуживание было достаточно дорогим. Замена на элегазовое оборудование позволила устранить указанные недостатки. Использование элегаза в процессе эксплуатации элегазового оборудования актуально на сегодняшний день, так как обладает серьезными преимуществами [2]. Среди элегазового оборудования можно выделить наиболее распространенные виды аппаратов, это высоковольтные выключатели, трансформаторы и комплексные распределительные устройства с элегазовой изоляцией (КРУЭ) [3].

Сформулируем недостатки и преимущества использования элегаза в промышленности (рис. 1).



Рис. 1. Преимущества и недостатки использования элегаза в промышленности [3]

В промышленности на сегодняшний день используются различные элегазовые аппараты. Эти аппараты необходимы для того, чтобы передавать электрическую энергию. В подобных аппаратах все элементы связаны между собой и влияют друг на друга. Эти элементы формируют целую систему электротехнического оборудования. Важной частью элемента электроаппарата является электрическая изоляция. Существует ряд факторов, которые негативно отражаются на электрической прочности электроаппарата. К числу таких факторов можно отнести старение материалов изоляции, постоянные нагрузки и тепловые

воздействия. При эксплуатации электротехнического аппарата необходимо учитывать данные факторы и их негативное воздействие[4].

Для того, чтобы поддерживать оборудование в работоспособном состоянии, требуются существенные затраты. В большей степени эти затраты связаны с реализацией профилактических мер по привлечению специально подготовленного персонала. Нередко работа персонала осуществляется в достаточно сложных и даже опасных условиях. Рабочая зона достаточно удалена от места обычного проживания людей. Но как уже отмечалось, данное оборудование необходимо постоянно поддерживать в работоспособном состоянии. Именно поэтому постоянно проводятся профилактические мероприятия и осмотры, осуществляется постоянная оценка работоспособности действующего оборудования. К примеру, важным параметром является измерение плотности элегаза. Необходимо, чтобы работники осуществляли постоянно осмотр и поддержание установленного значения элегаза в ходе эксплуатации элегазового оборудования[5].

Диагностический контроль состояния элегазового оборудования можно проводить несколькими способами (рис. 2).

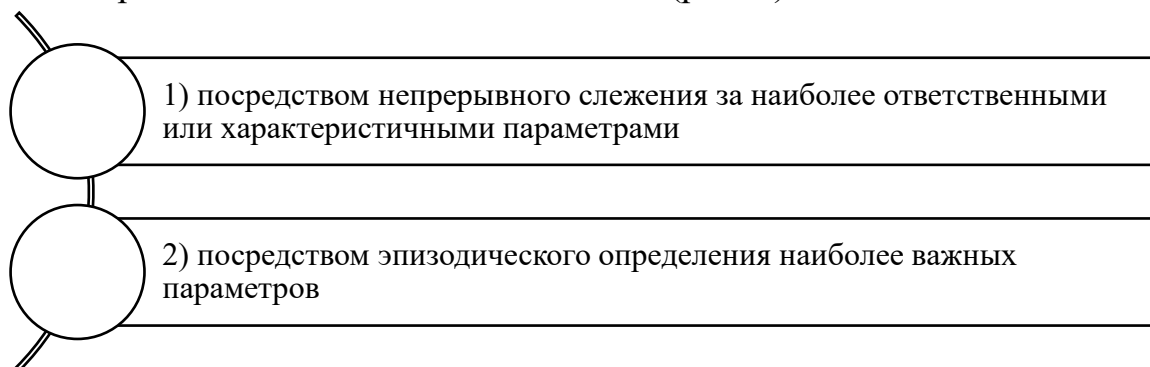


Рис. 2. Способы диагностического контроля [5]

Одной из важных проблем является очистка элегаза. На сегодняшний день действенного метода очистки не найдено. Это связано с тем, что отмечается большое количество разнородных смесей, которые усложняют реализацию очистных мероприятий. Зачастую на практике применяется последовательность элементарных способов. Эти способы применяются для того, чтобы осуществить очистку примесей по группам.

Осуществление контроля состояния элегаза в процессе эксплуатации элегазового оборудования является важной частью работы оборудования. При осуществлении контроля оборудования используют метод непосредственного измерения абсолютного или избыточного давления. Используя данный метод показатели сравнивают с нормальными значениями. После этого осуществляют обработку результатов контроля и их последующее оформление в виде протокола.

Необходимость в осуществлении сочетания элементарных способов очистки и регенерации элегаза до сегодняшнего дня исключала

возможность создания простой установки для выполнения регенерации небольших количеств элегаза непосредственно на подстанциях. По этой причине в настоящее время вопрос о создании простого способа рецикла элегаза является актуальным, т.е. речь идёт о восстановлении его первоначальных свойств при ревизии высоковольтных элегазовых аппаратов. Причём такой способ должен быть легко исполним в условиях высоковольтной электроподстанции. Это позволит упростить реализацию контроля в процессе эксплуатации элегазового оборудования.

Таким образом, может быть сделан вывод о том, что контроль состояния элегаза в процессе эксплуатации элегазового оборудования является важной частью работы всего оборудования. Диагностический контроль осуществляется несколькими способами. При осуществлении контроля показатели сравнивают с нормальными, полученные значения необходимо оформить в протокол. В исследовании акцент был сделан на преимущества и недостатки использования элегаза. При реализации контроля элегаза в процессе эксплуатации элегазового оборудования указанные преимущества и недостатки необходимо учитывать, что будет содействовать реализации контроля.

### Список литературы

1. Becher, W. The Decomposition of SF<sub>6</sub> in Electric Arcs and Sparks / W. Becher, J. Massonne // ETZ. - A91. - 1970. - N11. - P. 605 -610
2. Арестова А.Ю., Ульянов В.Н., Фролов М.Ю. Алгоритм расчета показателей энергоэффективности оборудования нефтегазодобывающего предприятия // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021. Т. 23. № 6. С. 16-28. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-6-16-28.
3. Грачева Е.И., Табачникова Т.В., Швецова Л.В. Методика расчета оптимального напряжения центра питания отходящей линии промышленной подстанции нефтегазодобывающего предприятия // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021. №5. С.56-70. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-5-56-70.
4. Линии электропередачи с газовой изоляцией // Каталог Siemens AG. Energy Sector. – М., 2012. – 18 с.
5. Масков Л.Р., Корнилов В.Ю. Анализ структуры и энергетических параметров электротехнического комплекса газового промысла №1 ООО «Газпром добыча Ямбург» // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021. Т. 23. № 6. С. 66-86. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-6-66-86.
6. Плотников Л.В., Бродов Ю.М., Жилкин Б.П., Шестаков Д.С., Осипов Л.Е. Спектральный анализ газодинамических процессов во впускной системе поршневого двигателя с турбонаддувом // Известия

высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021. Т. 23. № 4. С. 43-54. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-4-43-54.

7. Суслов, С.М. Оборудование сетей газораспределения и газопотребления: учебное пособие для среднего профессионального образования / С. М. Суслов, Е. Ю. Камынина, А. С. Мясников, Д. В. Резников. — Москва : Издательство Юрайт, 2021. — 220 с.

УДК 621.315.611

## **ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВУЮЩИХ ФАКТОРОВ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ В РЕГИОНАЛЬНОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЕ С УЧЕТОМ РЕЖИМА ЕЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

Воротынцев Владислав Сергеевич, Полуянович Николай Константинович  
Иванов Алексей Владимирович  
Южный Федеральный Университет, г. Таганрог, Россия  
vorotyncev@sfedu.ru, nik1-58@mail.ru, rualivanov@sfedu.ru

Статья посвящена вопросу исследования оценки и прогнозирования потребления электроэнергии в региональной энергосистеме с учетом режимов ее работы. Проведен анализ методов прогнозирования потребления электроэнергии. Обоснован выбор метода прогнозирования с использованием искусственного интеллекта. Рассмотрен алгоритм создания нейросети для краткосрочного прогноза электрической нагрузки. Актуальность работы заключается в том, что необходимо обеспечить баланс между потребленной и выработанной электроэнергией. Это можно обеспечить с помощью прогнозирования электропотребления. Нужно иметь в виду, что при увеличении потребления возникают перебои с подачей качественной электроэнергии вплоть до полного прекращения энергоснабжения отдельных потребителей, а при излишке выработки снижается эффективность электростанций, возникает перерасход ресурсов, что, в конечном счете, приводит к повышению стоимости электроэнергии для потребителя. Модель прогнозирования потребления электроэнергии, с использованием искусственного интеллекта, позволяет упростить задачу к поиску свободных членов матрицы на основе имеющихся исходных данных: потребляемая активная и реактивная мощность, температура окружающего воздуха, тип дня недели (рабочий, выходной, праздничный), время года. Получены прогнозные оценки электропотребления энергосистемы по данным потребляемой электроэнергии наружной температуры, типу дня и т.д. Модель прогнозирования величины, потребляемой активной и реактивной мощности вполне работоспособна, однако на данном этапе все еще имеет довольно высокий уровень погрешности прогнозирования. Для повышения точности результатов вычислений разработанной модели необходимо увеличить базу данных, используемую при обучении системы, потому что в приведенном проекте использованы данные, собранные в течение четырех месяцев. Результаты показали, что трудности возникают во время прогнозирования потребления реактивной мощности.

**Ключевые слова:** Анализ данных, искусственный интеллект, прогнозирование электропотребления, методика прогнозирования, архитектура нейронной сети.

# ASSESSMENT OF INFLUENCING FACTORS AND FORECASTING OF POWER CONSUMPTION IN THE REGIONAL POWER SYSTEM, TAKING INTO ACCOUNT ITS OPERATING MODE

Vorotyntsev Vladislav Sergeevitch, Poluyanovitch Nikolai Konstantinovitch, Ivanov Alexey Vladimirovitch.

Southern Federal University, Taganrog, Russia.

vorotyntsev@sfedu.ru, nik1-58@mail.ru, alivanov@sfedu.ru

The article is devoted to the research of the assessment of influencing factors of power consumption in the regional power system, considering its operating modes. The analysis of existing methods of forecasting energy consumption is carried out. The choice of a forecasting method using an artificial neural network is justified. An algorithm for creating a neural network for short-term prediction of electrical load is considered. The relevance of the work is due to the requirements of the current legislation for forecasting electricity consumption to solve the problem of maintaining a balance of power between the generating side and the consumption of electric energy. At the same time, one of the main tasks related to the generation of electric energy and its consumption is the task of maintaining a balance of capacities. In case of exceeded power consumption energy supply became unstable, but if is a lot of produced energy, power plants efficiency will become lower, which negative affect to cost of electricity for the end user and lead to overspending resources. The model for predicting electricity consumption, using artificial intelligence, makes it possible to simplify the task of finding free members of the matrix based on the available initial data: consumed active and reactive power, ambient temperature, type of day of the week (working, weekend, holiday), time of the year. The model of predicting is workable, but still has a high level of error. To improve the accuracy of forecasting, it is necessary to increase the database of training samples, because used at this work data of consumption covers a time of only 3-4 months. The results showed that difficulties arise during the forecasting of using reactive power.

**Keywords:** *data analysis, artificial intelligence, power consumption forecasting, reliability of power supply systems, forecasting methods, neural network architecture.*

## **Введение.**

Для экономии электроэнергии используется долгосрочное, среднесрочное и краткосрочное прогнозирование, проблема которого заключается в себя факторы, оказывающие влияние на изменение потребления энергии.

Целью работы является:

- разработка модели прогнозирования потребления электроэнергии района в течение короткого периода времени, используя искусственные нейронные сети.
- повышение эффективности работы созданной математической модели;
- увеличение точности предсказания предполагаемого потребления электроэнергии с целью оптимального использования энергоресурсов.

Для решения поставленной задачи выбран тип нейронной сети: «персептронмногослойный». Данная сеть содержит 5 нейронов во входном слое, а в выходном – 2 нейрона. Структура нейронной сети была определена опытным путём. В ходе исследования решено оставить один промежуточный слой с десятью нейронами в нём.(рис.1.)

Входными параметрами являются:

- величина потребляемой активной и реактивной мощности (1 и 2 входы системы);
- температура воздуха - 3 вход,
- текущая дата (4 вход системы), используется для определения времени года, также по дате определяется будущая нагрузка на сеть на основе данных, которые использовались при обучении нейронной сети, 5 вход системы указывает на тип недели (рабочий, праздничный или выходной).

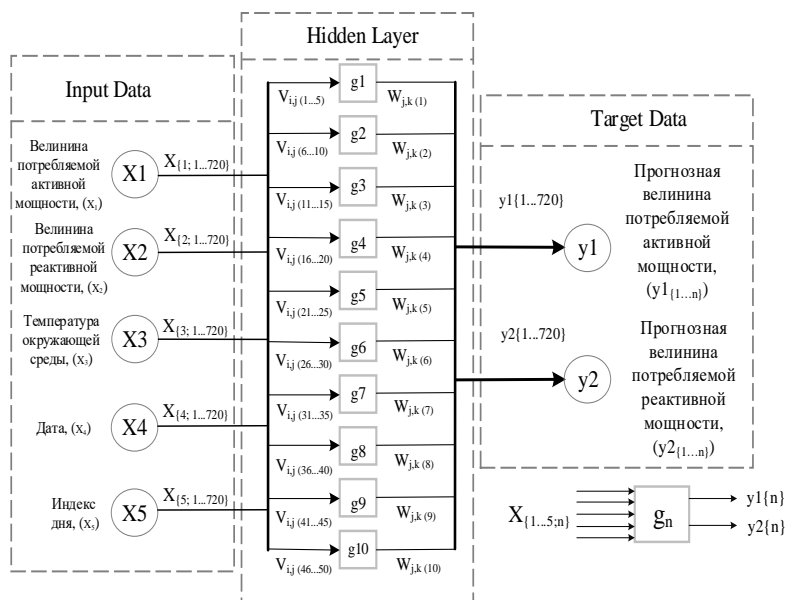


Рис.1 Структурная схема НС

Проведен анализ динамики изменения потребления электроэнергии региональной энергосистемы в зависимости от температуры окружающей среды.

### Результаты исследований.

Прогнозирование потребления электроэнергии с помощью искусственного интеллекта проводилось с использованием предыстории энергопотребления в течение одного месяца, так как в течение данного интервала наблюдались наименьшие погрешности прогноза.

Для построения нейронной сети применялся функционал программного пакета Matlab.(рис.2-3)

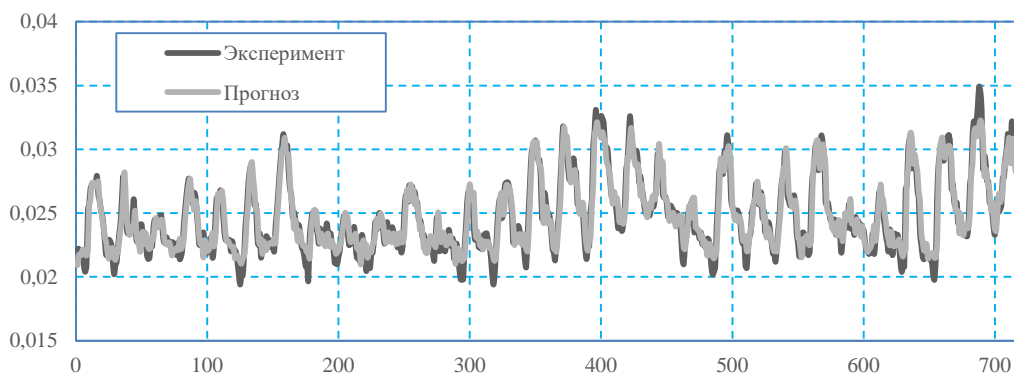


Рис.2. Фактическое и прогнозируемые значения потребляемой активной мощности.

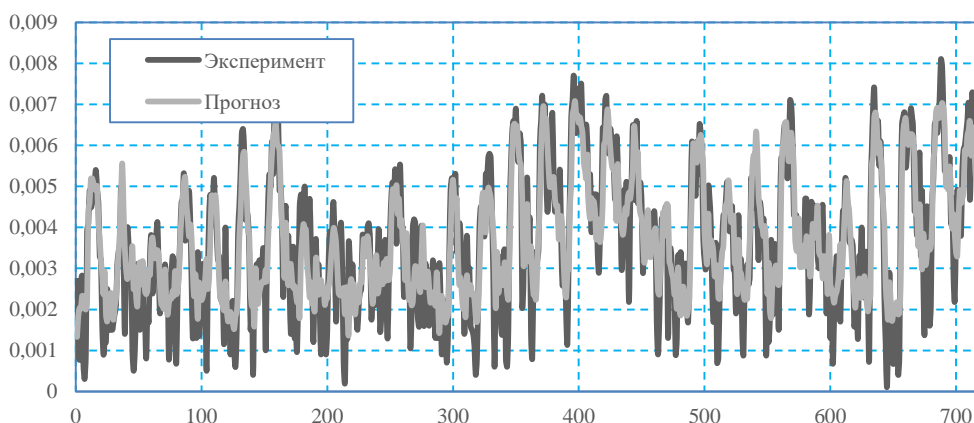


Рис.3. Фактическое и прогнозируемые значения потребляемой реактивной мощности

Исследование информации дает понять, что форма графиков обладает повторяющимся характером, использование энергии имеет сезонность. Суточный цикл является одним из повторяющихся составляющих графика потребления. Вечерний экстремум суточных графиков нагрузки больше утреннего. Выходные дни характеризуются более медлительным нарастанием нагрузки в дневной доле суток по сопоставлению с рабочими днями.

### **Заключение.**

1. Получена модель краткосрочного прогнозирования потребления активной и реактивной мощности района аэропорта в течение короткого промежутка времени используя методы прогнозирования с использованием искусственного интеллекта.

2. Получены оценки электропотребления в зависимости от косвенных параметров, таких как: температура окружающего воздуха, времени года и типу дня недели. Полученная в ходе исследования модель



прогнозирования потребляемой активной и реактивной мощности вполне работоспособна, хотя имеет недостатки ввиду малого количества обучающей выборки для нейронной сети.

### Список литературы

1. Доманов В.И., Билалова А.И. Анализ прогнозирования энергопотребления с различными информационными базами // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16. № 4–3. С. 535–537.

2. Планирование электроэнергетических режимов работы энергообъектов и энергосистем [Электронный ресурс] // Сайт АО «Системный оператор Единой энергетической системы». URL: [http://so-ups.ru/index.php?id=regime\\_plan](http://so-ups.ru/index.php?id=regime_plan) (25.05.2022).

3. Полуянович Н.К., Тибейко И.А. Эксплуатация и ремонт систем электроснабжения промышленных предприятий. Южный Федеральный Университет, Инженерно-технологическая академия, Институт радиотехнических систем и управления, Кафедра электротехники и мехатроники. Таганрог, 2014.

4. Полуянович Н.К., Азаров Н.В., Огреничев А.В., Дубяго М.Н. Многоэтапный метод краткосрочного прогнозирования температурных режимов в силовом кабеле. Известия ЮФУ. Технические науки. 2020. № 2 (212). С. 38-51.

5. Кирпичникова И.М., Саплин Л.А., Соломахо К.Л. Прогнозирование объемов потребления электроэнергии // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. 2014. Т. 14. № 2. С. 16–22/

6. Кулбараков, М. А. К задаче прогнозирования энергопотребления с помощью нейронных сетей / М. А. Кулбараков. – Текст: непосредственный // Молодой ученый. – 2014. – № 11 (70). – С. 22-25. – URL: <https://moluch.ru/archive/70/12122/> (дата обращения: 25.05.2022).

7. Об электроэнергетике: Федеральный закон РФ от 26.03.2003 № 35-ФЗ // Рос. газета. 2003. 1 апр. С. 1.

УДК 621.31

### ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

<sup>1</sup>Гадельшина Вилена Радиковна, <sup>2</sup>Роженцова Наталья Владимировна  
<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>vilena.gadelshina.00@mail.ru, <sup>2</sup>natalia15969@yandex.ru

В статье рассматриваются задачи, решаемые с помощью применения искусственных нейронных сетей в электроэнергетических системах для повышения их надежности, эффективности и управляемости.

**Ключевые слова:**нейронная сеть, электроэнергетические системы, эффективность, прогнозирование, диагностика.

## APPLICATION OF NEURAL NETWORKS IN THE ELECTRIC POWER INDUSTRY

<sup>1</sup>Gadelshina Vilena Radikovna, <sup>2</sup>Rozhencova Natalia Vladimirovna  
<sup>1,2</sup>FSBEI HE "KSPEU", Kazan, Republic of Tatarstan  
<sup>1</sup>vilena.gadelshina.00@mail.ru, <sup>2</sup>natalia15969@yandex.ru

The article deals with the problems solved by using artificial neural networks in electric power systems to improve their reliability, efficiency and controllability.

**Keywords:**neural network, electric power systems, effectiveness, forecasting, diagnostics.

В современном мире электроэнергетические системы должны осуществлять бесперебойное энергоснабжение промышленной индустрии и населения в целом, при этом не стоит забывать о таком факторе, как энергосбережение. Для нахождения лучшего коэффициента эффективности, экономичности и надежности необходимо разрабатывать современные методы организации этих условий.

Одним из таких методов, перспективно развивающихся на данный момент, является применение искусственного интеллекта. Интерес к данной технологии стремительно растет с каждым годом. Такая динамика связана с прогрессом в области изучения искусственных нейронных сетей [1].

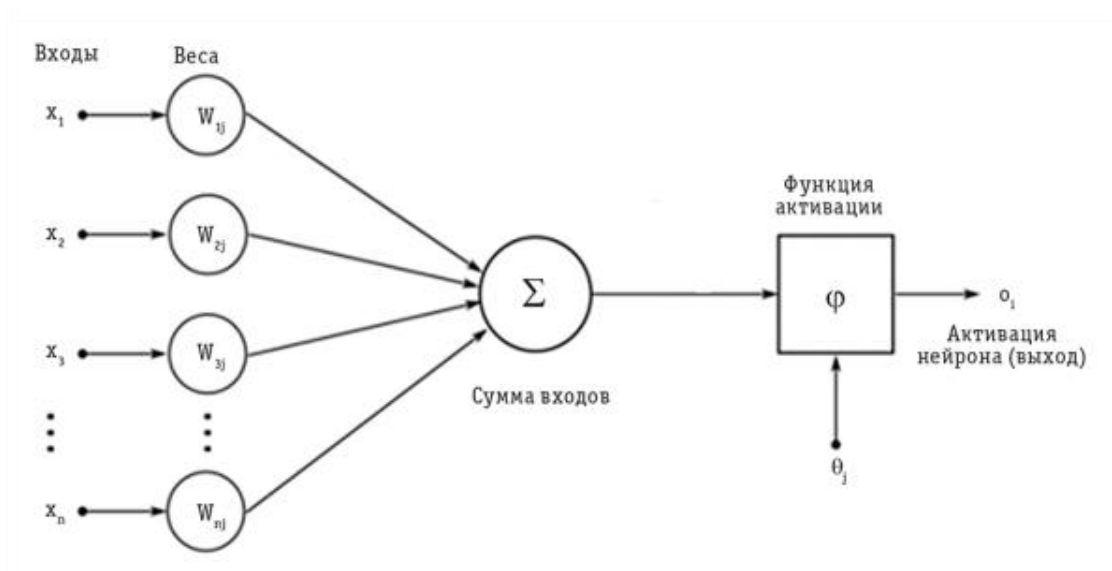
Нейронные сети - это современные вычислительные системы, которые преобразуют информацию по образу процессов, происходящих в мозгу человека. Обработка информации имеет численный характер, что позволяет использовать нейронную сеть, например, в качестве модели объекта с совершенно неизвестными характеристиками [2].

С помощью нейронных сетей в электроэнергетике решаются следующие задачи:

- прогнозирование;
- регулирование напряжения;
- оптимизация режимов энергосистемы;

- ассоциативная память;
- мониторинг безопасности электроэнергетических систем;
- управление процессом производства электроэнергии на электростанциях;
- кластеризация и т.д.

Принцип работы нейросетей состоит в следующем: имея некоторые архивные базы данных, нейронная сеть обучается, выполняет поставленную задачу, находит и исправляет ошибки в случае критического отклонения. На основе обученной информации формируются данные прогнозирования. Нейронная сеть состоит из нескольких слоев нейронов (процессоров), именно они выполняют функции получения и передачи информационных сигналов. Все процессоры соединены в сеть связями (синапсами) определенного веса. Данные на входе преобразуются в числовой вид, обрабатываются сетью и выходят также в числовом виде. При необходимости данные могут быть подвергнуты обратному преобразованию. Самая упрощенная модель - модель из 3-х уровней: входные и выходные данные, между ними скрытый слой, который устанавливает связь между параметрами. Количество слоев и данных на входе непосредственно влияет на качество и точность прогнозирования.



Компоненты нейрона

Точный прогноз позволяет обеспечить рациональное распределение нагрузки между энергопотребителями, что в свою очередь повышает энергоэффективность электрических сетей [3].

Преимущества нейронных сетей:

- гибкость при достаточно большом потоке данных;

- устойчивость к информационному шуму на входе;
- адаптирование к изменениям окружающей среды;
- отказоустойчивость (т.е., при сбоях производительность падает незначительно).

Основные проблемы, встречающиеся на пути широкого распространения нейронных сетей – отсутствие высококвалифицированного персонала, умеющего правильно формулировать свои проблемы в терминах, допускающих простое нейросетевое решение и длительный период обучения нейросети.

Использование систем интеллектуального управления на основе нейронных сетей даёт возможность комплексно решать актуальные задачи электроэнергетики в части прогнозирования, диагностики и управления компонентами электроэнергетическими системами, позволяет повысить эффективность процессов производства, передачи и распределения электроэнергии на всех уровнях [4].

### Список литературы

1. Роженцова Н.В., Пятникова М.В. Тенденция развития искусственного интеллекта в энергетике / Сборник: Наука. Технология. Производство - 2019: Моделирование и автоматизация технологических процессов и производств, энергообеспечение промышленных предприятий. Материалы Всероссийской научно-методической конференции, посвященной 100-летию образования Республики Башкортостан. 2019. С. 133-135.
2. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечёткие системы: пер. с пол. И. Д. Рудинского. М.: Горячая линия - Телеком, 2006.452 с/
3. Иванова В.Р., Жукова Ю.В. О цифровой трансформации в сфере энергетики. Материалы III Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники», 2021.
4. Денисова, А. Р. Перспективы внедрения систем интеллектуального учета электроэнергии / А. Р. Денисова, А. Р. Фархутдинов // Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники : материалы II Всероссийской научно-практической конференции : в 2 т., Казань, 18–19 марта 2020 года / Казанский государственный энергетический университет. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2020. – С. 179-184.

5.Цифровой алгоритм контроля функционирования электромеханического преобразователя постоянного тока / Н. А. Малев, О. В. Погодицкий, О. В. Козелков, А. С. Малацион // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 1. С. 126-140. doi 10.30724/1998-9903-2022-24-1-126-140. EDN TTQTYJ.

УДК: 621.315.615.2

## СПОСОБЫ УМЕНЬШЕНИЯ ПОТЕРЬ В ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

<sup>1</sup>Гарипов Айдар Ришатович, <sup>2</sup>Мустафин Камиль Маратович  
<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
<sup>1</sup>gar-aidar@mail.ru, <sup>2</sup>muskamil2000@gmail.com

В работе рассмотрены особенности потерь электроэнергии в электроэнергетической сети. Предложены и проанализированы способы уменьшения потерь электрической энергии в воздушных электрических сетях.

**Ключевые слова:** потери электроэнергии, виды потерь, методы и способы снижения.

## WAYS TO REDUCE LOSSES IN OVERHEAD POWER LINES

<sup>1</sup>Garipov Aidar Rishatovich, <sup>2</sup>Mustafin Kamil Maratovich  
<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan  
<sup>1</sup>gar-aidar@mail.ru, <sup>2</sup>muskamil2000@gmail.com

The paper considers the features of electricity losses in the electric power grid. The ways of reducing electric energy losses in overhead electric networks are proposed and analyzed.

**Keywords:** electricity losses, types of losses, methods and methods of reduction.

В современном мире производство и процесс передачи электроэнергии обусловлен сложным техническим процессом. Нужно отметить, что в процессе передачи не задействуются другие ресурсы и поэтому наблюдается такая проблема как потеря этой энергии, которая передаётся потребителю. И поэтому потребитель получает только часть поступаемой энергии из сети. Поставщик электроэнергии в свою очередь фиксирует разность между выработанной и полученной энергией – фактические потери [1].

Данный вид потерь можно разделить на:

– Технологические потери – потери, возникающие во время передачи электроэнергии, уходящие в тепло. Наибольшие потери наблюдаются в зимнее время;

– Погрешность системы учёта – зависимость от климатических условий и режимов работы сети;

– Расход на собственные нужды – производится учёт электроэнергии, идущей на обеспечение технического функционирования энергообъекта. Приборы учёта устанавливаются на трансформаторы собственных нужд.

– Коммерческие потери – такой вид потерь как: хищение электроэнергии. Для определения этих потерь выполняется математический расчёт, состоящий из разности отчетных потерь и суммы потерь, указанных выше.

Потери выше являются экономическим показателем, который допустим не более чем на 10%. Иначе система считается неэффективной, но данный показатель условный, так как зависит от особенностей построения энергетической сети.

Именно поэтому предложено использовать следующие методы:

1. усовершенствование электрооборудования;
2. целесообразный подбор трансформаторов;
3. квалифицированный диспетчерский персонал;
4. рациональный подбор кабелей при проектировании;
5. снижение времени обслуживания;
6. периодический осмотр воздушных линий с использованием лётной техники – вертолёт.

Отмечено, что потери можно сократить на этапе проектирования линий электропередач. Например, можно эффективно использовать расстояние передачи электроэнергии и напряжение, подходящее к данному расстоянию. Как вариант можно конвертировать поступающую электроэнергию в конечный пункт на 6-10 кВ, а для передачи потребителю преобразовать в 0,4 кВ [2].

Для борьбы с коммерческими потерями нужно применять предложенные методы:

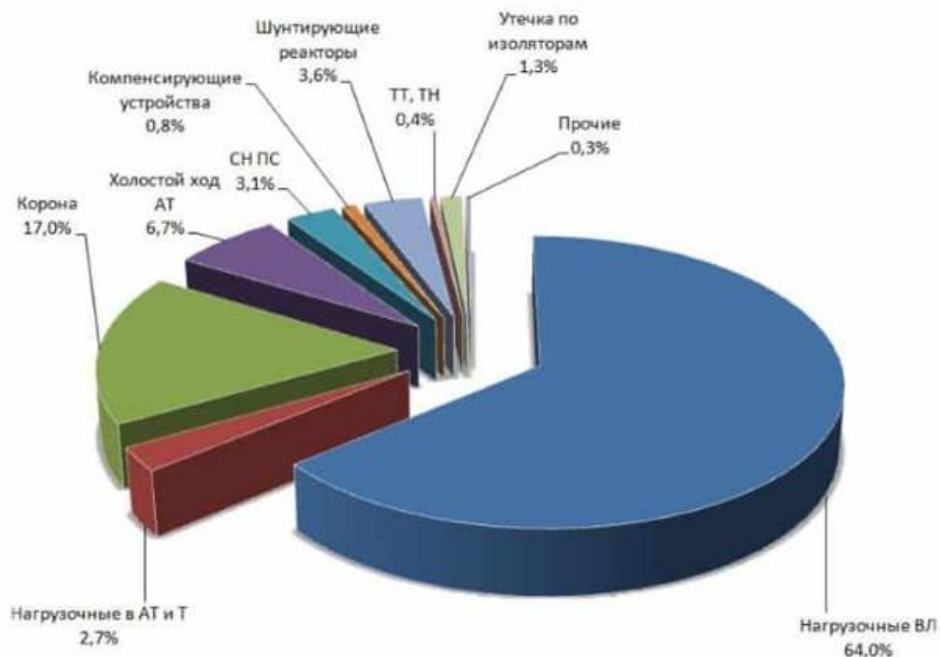
– Использование приборов только с классом точности не ниже 0,5;

– Использование автоматизированных систем коммерческого учёта электроэнергии, таких как АСКУЭ. Данная система исключает возможность воровства и занижения показаний счётчиков электроэнергии;

– Периодический обход сотрудниками обслуживающих компаний, в частности ЖКХ «подозрительных» потребителей, а также пунктов, где зафиксированы большие коммерческие потери;

– Внедрение технологий, которые определяют недоучёт электроэнергии.

На высоковольтных энергетических сетях в основном наблюдаются потери электроэнергии из-за износа оборудования, арматуры, нарушения целостности токоведущих частей и др.



Статистика потерь генерирующей компании

Наиболее распространёнными потерями являются: передача по ВЛ (64%) и эффект коронных разрядов (17%). По анализу статистики можно сделать вывод, что наибольший процент нецелевых расходов приходится на технологический фактор [3].

В итоге можно сказать, что в энергетической отрасли разработано и внедрено достаточное количество мер по снижению потерь электроэнергии на всех участках электроэнергетической сети. Энергетические компании Российской Федерации активно внедряют системы АСКУЭ и своевременно ремонтируют и обслуживают энергетические сети.

### Список литературы

1. Пучков Н.М. Причины и способы сокращения электроэнергетических потерь в распределительных сетях / Н. М. Пучков, И. Н. Нехороших // Будущее науки -2021: сборник научных статей 9-й Международной молодежной научной конференции : в 6 т., Курск, 21–22

апреля 2021 года. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2021. – С. 139-142. – EDN ACQORJ.

2. Броерская Н. А. О нормировании потерь электроэнергии в электрических сетях / Н. А. Броерская // Энергетик. – 2013. – № 4. – С. 43-45.

3. Газе Д. Д. Технологическая модернизация ЕНЭС России для снижения электрических потерь / Д. Д. Газе, Л. И. Федоряка // Результаты современных научных исследований и разработок: сборник статей IX Всероссийской научно-практической конференции, Пенза, 15 апреля 2020 года. – Пенза: "Наука и Просвещение" (ИП Гуляев Г.Ю.), 2020. – С. 14-17.

4. Разработка алгоритма симметрирования нагрузок в сетях 0,4 кВ при распределенной нагрузке вдоль линии / Л. Куок Кыонг, А. М. Маклецов, А. Альзаккар [и др.] // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 2. С. 87-97. doi 10.30724/1998-9903-2022-24-2-87-97. EDN BQYNEH

УДК 628.977.2

## ПАРАМЕТРЫ ГИГИЕНИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СВЕТОДИОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

Денисова Алина Ренатовна  
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г.  
Казань  
denisova\_ar@mail.ru

Статья посвящена проблеме негативного биологического воздействия искусственного освещения на основе светодиодов. В статье рассмотрены потенциальные риски от ультрафиолетового излучения светодиодов. Даются рекомендации по выбору оптимальных параметров светодиодных светильников.

**Ключевые слова:** синий свет, освещение, светодиодный светильник, ультрафиолетовое излучение.

## HYGIENE SAFETY PARAMETERS OF LED LIGHT SOURCES

Denisova Alina Renatovna  
<sup>2</sup>FSBEI HE "KSPEU", Kazan  
denisova\_ar@mail.ru

The article is devoted to the problem of the negative biological impact of artificial lighting based on LEDs. The article discusses the potential risks from ultraviolet radiation from LEDs. Recommendations are given for choosing the optimal parameters of LED lamps.

**Key words:** blue light, lighting, LED lamp, ultraviolet radiation.



В последнее время основным источником искусственного освещения промышленных, административных и жилых помещений стали светодиодные светильники. Это, безусловно, соответствует принятой государственной программе по энергосбережению и повышению энергоэффективности. Однако, светодиодные лампы являются еще и коммерческим продуктом, который не достаточно исследован относительно возможных потенциальных рисков их использования, что указывается в многочисленных работах [1-5], в том числе и зарубежных авторов [6-9]. Основную потенциальную опасность представляет так называемый синий свет, скачок ультрафиолетового излучения на частоте 460 нм, который может негативно влиять на состояние сетчатки.

Ультрафиолетовое излучение – это электромагнитное излучение в диапазоне от 10 до 400 нм. Существует разделение ультрафиолетового излучения на 4 группы в зависимости от длины волны EUV/XUV, UVA, UVB, UVC. Обзор биологических воздействий на кожу и органы зрения человека, вызванных УФ-излучением приведены в таблице 1 [10]. При этом необходимо понимать, что коротковолновый ультрафиолет от солнца фильтруется атмосферой, чего нельзя сказать про искусственное освещение.

При изучении негативного воздействия ультрафиолетового света отдельное внимание должно быть уделено детям. У детей негативное воздействие в разы больше, чем у взрослых из-за прозрачности их хрусталика который не способен фильтровать короткие длины волн (особенно синий свет). Детский глаз беспрепятственно пропускает практически весь синий свет (80%), особенно волны между 430 и 440 нм, которые являются самыми опасными для сетчатки глаза (пик поглощения на 360 нм). С возрастом, хрусталик глаза желтеет и поглощает более короткие длины волн. Это возрастное изменение защищает сетчатку от синего света и уменьшает скотопическое зрение (зрение в ночное время).

Таблица 1

Обзор биологических воздействий на кожу и органы зрения человека

Характеризация излучения	Биологическое воздействие на кожу	Биологическое воздействие на глаза
UVA – ближний диапазон 315-400 нм – длинноволновой ультрафиолет	Длинные волны UVA производят свободные радикалы и вызывают косвенное повреждение кожи, вызывающее образование злокачественных меланом. Ввиду того что UVA проникают более глубоко в слои кожи они	UVA проходит через роговицу к хрусталику и может вызывать образование катаракты путем создания оксидантов. Возможно повреждение роговицы

	повреждают волокна коллагена и разрушают витамин А	
UVB – средний диапазон 280-315 нм – средневолновой ультрафиолет	Эритема или «солнечные ожоги» связаны с воздействием UV-B. Симптомы зависят от интенсивности и/или длины волны. Рак кожи, самая смертельная форма злокачественной меланомы, вызвана косвенным повреждением ДНК от UVB. Прямое фотохимическое повреждение ДНК также вызывает рак кожи. Положительное влияние умеренных доз UVB – это выработка витаминов Д и К.	Фотокератит – буквальное горение роговицы при интенсивном воздействии UVB. Приводит к образованию катаракты в результате воспалительных инвазивных поражений. Между роговицей и склерой могут образоваться отложения пингвекулы – это небольшие образования желтого цвета
UVC – дальний диапазон 120-280 нм – коротковолновой ультрафиолет	Наиболее распространенными травмами UVC являются ожоги эритемы. Ожоги UVC болезненны, но большинство травм недолговечны. Чрезмерное воздействие UVC вызывает рак кожи	Наиболее опасно промышленное UVC. При этом излучении фотокератит является распространенной документально подтвержденной травмой глаз. Хроническое воздействие острого интенсивного излучения может привести к образованию катаракты и повреждению сетчатки

Так, если сравнить человека в возрасте 50 лет с пятилетним ребенком, то скотопическое зрение становится ниже на 33%. В возрасте 50 лет защита от UVA, UVB и света синих частот вырастает на 80%.

В таблице 2 приведены замеры проникновения различных частот сквозь хрусталик глаза до сетчатки в зависимости от возраста [10].

Таблица 2

Замеры проникновения различных частот сквозь хрусталик глаза до сетчатки в зависимости от возраста

Длина волны	Возраст < 9 лет	Возраст 10 лет	Возраст 60-70 лет
320нм	2-5% достигает сетчатки	не достигает сетчатки	не достигает сетчатки
400нм	15% достигает сетчатки	15% достигает сетчатки	1% достигает сетчатки
460нм	65% достигает сетчатки	60% достигает сетчатки	40% достигает сетчатки

Большинство светодиодных источников света имеют спектральный дисбаланс в сторону синего излучения с минимумом красно-желтого. Провал в области 480 нм, что является главным отличием LED-источника от солнечного света. В этой зоне находятся максимумы чувствительности светового рецептора глаза – меланопсина, управляющего зрачком глаза на закрытие (уменьшает энергетическую освещенность сетчатки глаза, защищая её от воздействия большой дозы синего света) [11].

Несмотря на вышесказанное, отказаться от светодиодного освещения в современных условиях невозможно. Необходимо внимательно относиться к подбору параметров светодиодных ламп, особенно в помещениях, где находятся дети.

Очень важный аспект это правильный подбор цветовой температуры лампы. Наиболее безопасная температура светового излучения составляет от 2000К до 3500К и длиной волны более чем 500 нм.

Так же важнейшим критерием при выборе источника света является индекс цветопередачи  $R_a$  (точность восприятия освещаемых им цветов). Принято считать, что индекс цветопередачи солнца является идеальным, т.е.  $R_a$  или CRI (colour rendering index) солнца равен 100 единиц. Минимально допустимый CRI должен быть выше 80, это легче достигается на светодиодах теплого излучения (до 3500 К).

Светодиоды являются точечными источниками света, которые объединены в лампы для достижения высокого светового потока. Потому они являются сильно сконцентрированными источниками. Яркость каждого отдельного светодиода в лампе выше в 1000 раз ( $10^7$  кд/м<sup>2</sup>) лампы накаливания. В связи с этим использование светодиодных ламп без рассеивающей защиты является опасным для зрения. Для уменьшения такого негативного воздействия рекомендуем использовать в светильниках матовые рассеиватели или конструкцию с отраженным светом (лампа направлена вверх).

Основная профилактика негативного влияния искусственного освещения – это увеличение естественной освещенности помещений, а для детей – ограничение времени использования гаджетов и компьютерной техники, ежедневные прогулки в дневное время.

## Список литературы

1. Кузьменко, В. П. Исследование и анализ факторов, вызывающих негативное фитобиологическое влияние белого светодиодного освещения

на органы зрения / В. П. Кузьменко // Наука и бизнес: пути развития. – 2021. – № 12(126). – С. 107-109. – EDN ПТФХУ.

2. Калинина Н.И. Гигиенические аспекты применения современных источников света // Здоровье – основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения. 2018. Т. 13. № 2. С. 803–811.

3. Капцов В.А., Дейнего В.Н. Синий свет светодиодов – новая гигиеническая проблема. // Анализ риска здоровью. 2016. № 1. С. 15–25.

4. Дейнего В.Н., Капцов В.А., Балашевич Л.И. и др. Профилактика глазных заболеваний у детей и подростков в учебных помещениях со светодиодными источниками света первого поколения // Российская детская офтальмология. 2016. № 2. С. 57–72.

5. Тукшаитов, Р. Х. Исследование работоспособности и качества функционирования светодиодных осветительных элементов электротехнических систем при предельно допустимой температуре окружающей среды / Р. Х. Тукшаитов, Н. В. Роженцова, А. Р. Денисова // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2021. – Т. 23. – № 4. – С. 96-104. – DOI 10.30724/1998-9903-2021-23-4-96-104. – EDN RRBZMD.

6. ZhangY, TuU, WangLL, et al. Assessment of visual fatigue under LED tunable white light with different blue components. J SocInf Display. 2020; 28(1):24-35.

7. Spitschan M. Melanopsin contributions to non-visual and visual function. CurrOpinBehav Sci. 2019; 30:67-72. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2019.06.004>

8. Nasir-Ahmad S, Lee SCS, Martin PR, et al. Melanopsin-expressing ganglion cells in human retina: Morphology, distribution, and synaptic connections. J Comp Neurol. 2019; 527(1):312-327. DOI: <https://doi.org/10.1002/cne.24176>

9. Cao DC, Chang A, Gai S. Evidence for an impact of melanopsin activation on unique white perception. J Opt Soc Am A. 2018; 35(4):B287-B291. DOI: <https://doi.org/10.1364/JOSAA.35.00B287>

10. Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks SCENIHR. Март 19, 2012. DOI: [https://ec.europa.eu/health/scientific\\_committees/emerging/docs/scenihr\\_035.pdf](https://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenihr_035.pdf)

11. Залилова, Р. А. Влияние светодиодного излучения на здоровье человека / Р. А. Залилова // XXV Всероссийский аспирантско-магистерский научный семинар, посвященный Дню энергетика : Материалы конференции. В 3-х томах, Казань, 07–08 декабря 2021 года /

Под общей редакцией Э.Ю. Абдуллазянова. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. – С. 302-305.

12. Шириев, Р. Р. Об обеспечении теплового режима светодиодного источника света / Р. Р. Шириев, А. Н. Борисов, А. А. Валеев // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 3. С. 112-120. doi 10.30724/1998-9903-2022-24-3-112-120. EDN ZIJESR.

УДК 621.311

## ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРУЗКИ РАЗЛИЧНЫХ ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКОВ

<sup>1</sup>Дубинин Денис Владимирович, <sup>2</sup>Рашевская Марина Александровна  
<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ», г. Москва  
<sup>1</sup>dubinin.den@list.ru, <sup>2</sup>mkr@list.ru

В статье рассмотрены результаты измерений спектрального состава токов и напряжений бытовых электроприемников. По данным авторов, в сетях наблюдаются значительные искажения формы кривых токов, вызванные влиянием нелинейных нагрузок.

**Ключевые слова:** качество электроэнергии, высшие гармоники, нелинейная нагрузка

## RESEARCH AND MODELING OF THE LOAD OF VARIOUS ELECTRIC RECEIVERS

<sup>1</sup>Dubinin Denis Vladimirovich, <sup>2</sup>Rashevskaya Marina  
<sup>1,2</sup>National Research University "Moscow Power Engineering Institute", Moscow  
<sup>1</sup>dubinin.den@list.ru, <sup>2</sup>mkr@list.ru

The article considers the results of measurements of the spectral composition of currents and voltages of household electrical receivers. According to the authors, significant distortions of the shape of the current curves caused by the influence of nonlinear loads are observed in the networks.

**Keywords:** power quality, higher harmonics, nonlinear load

Качество электроэнергии зависит от подключенных электроприемников, влияющих на форму и гармонический состав, в первую очередь, токов. В узлах нагрузки современных электрических сетей 0,38 кВ, остается все менее электроприемников с линейными вольтамперными характеристиками.

Процесс преобразования электроэнергии у подавляющего большинства современных электроприборов сопровождается генерацией в

электрическую сеть 0,38 кВ высших гармонических составляющих токов[2]. Эти высокочастотные токи могут вызывать старение изоляции электрических машин и кабелей, ухудшение работы и ложное срабатывание автоматики, ухудшение работы телемеханики и связи.

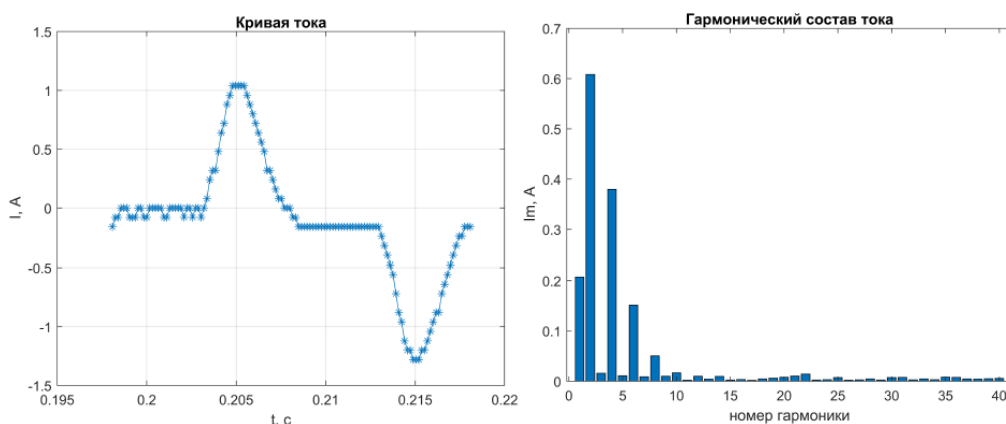
Для улучшения качества электроэнергии необходимо знать амплитудно-частотные характеристики наиболее распространенных бытовых электроприемников. Один из путей получения такого рода информации - экспериментальные исследования.

В [1-4] рассматривались искажения синусоидальности, которые проявлялись в сетях 0,38 кВ для таких электроприемников, как компьютерный класс, светодиодные лампы, коллекторные машины пылесосов и др. Спектральный анализ этих исследований во много схож с результатами, представленными в данном исследовании.

Список электроприемников

Электроприемник	Установленная мощность, Вт
Пылесос	1400
Светодиодная лампа	-
Лампа накаливания	60
18 светодиодных светильников	18x2,2
4 компьютера	4x500
Индукционная плита	-

В узел нагрузки поочередно подключались различные электроприборы (табл. ) и снимались формы кривых токов и напряжений при помощи цветного осциллографа Fluke-190-202 ColorScopeMeter, после чего для получения спектрального состава данные обрабатывались в программе Matlab.



а)

б)

Рис. 1. а) форма тока пылесоса; б) спектральный состав тока пылесоса

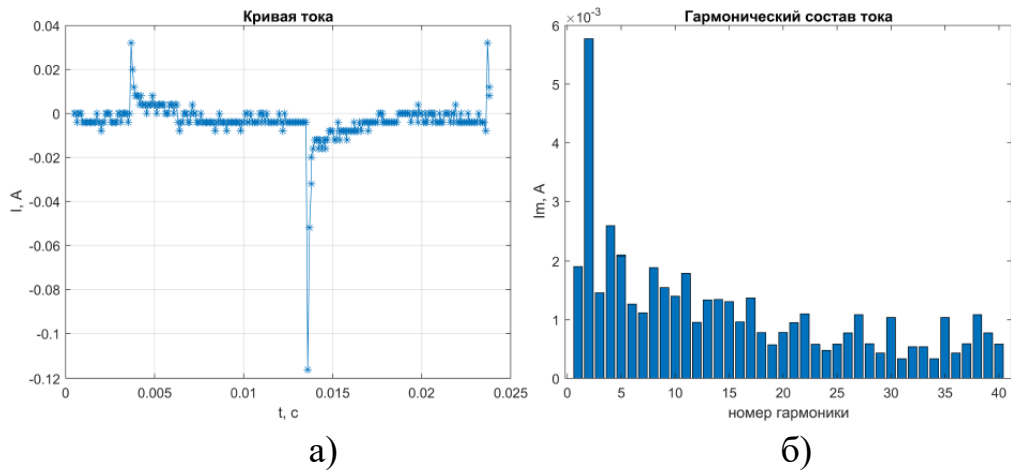


Рис. 2. а) форма тока светодиодной лампы; б) спектральный состав тока светодиодной лампы

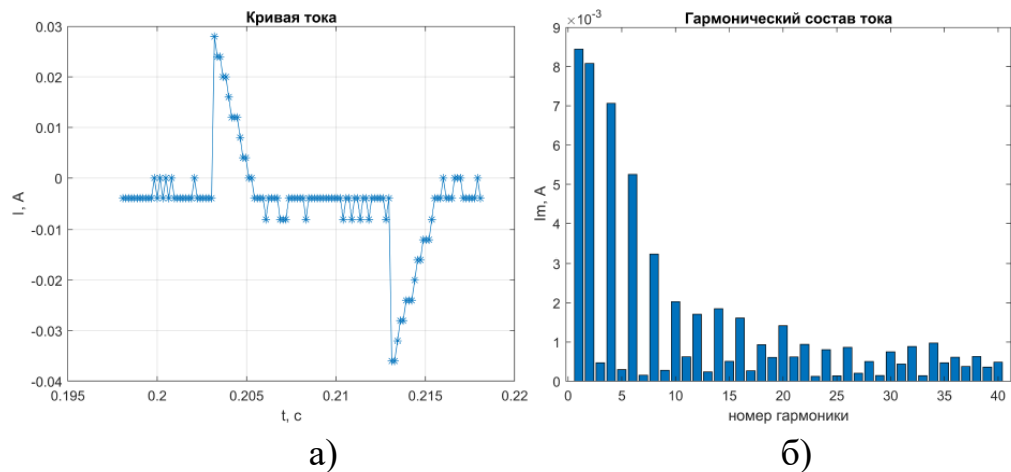


Рис. 3. а) форма тока лампы накаливания; б) спектральный состав тока лампы накаливания

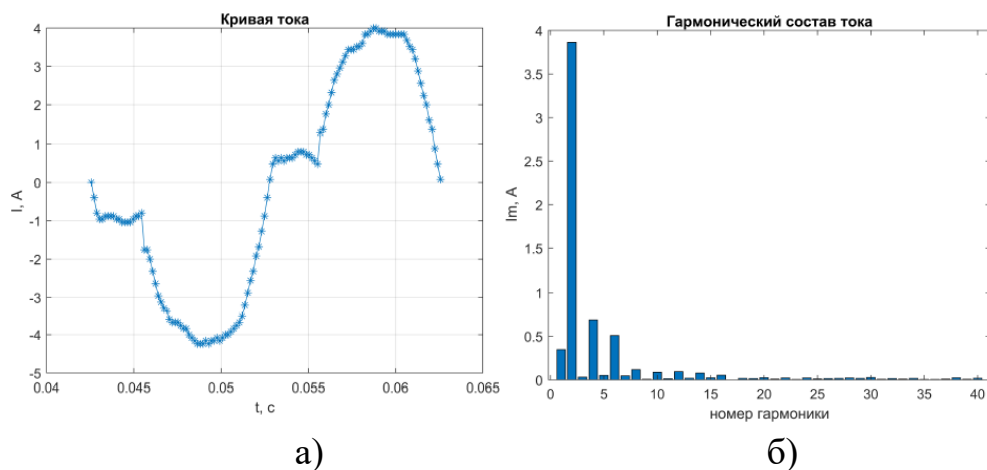


Рис. 4. а) форма тока 18 светодиодных светильников; б) спектральный состав тока 18 светодиодных светильников

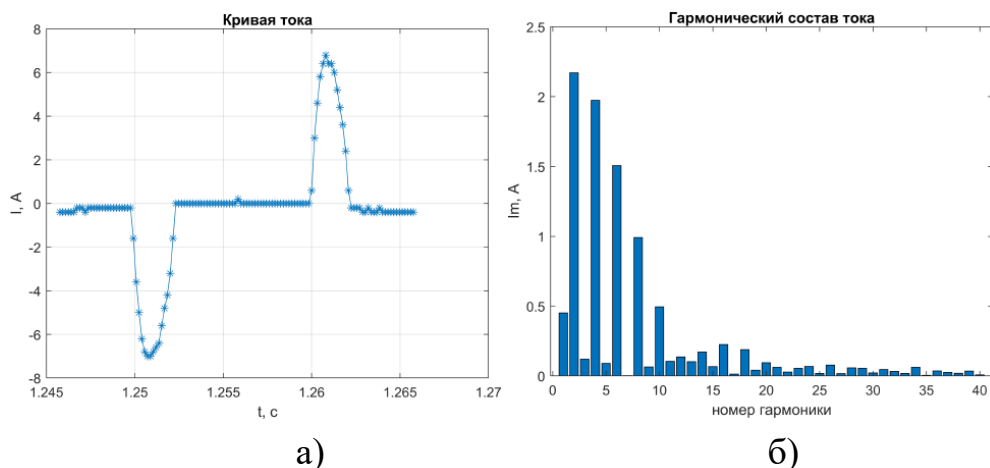


Рис. 5. а) форма тока 4 компьютеров; б) спектральный состав тока 4 компьютеров

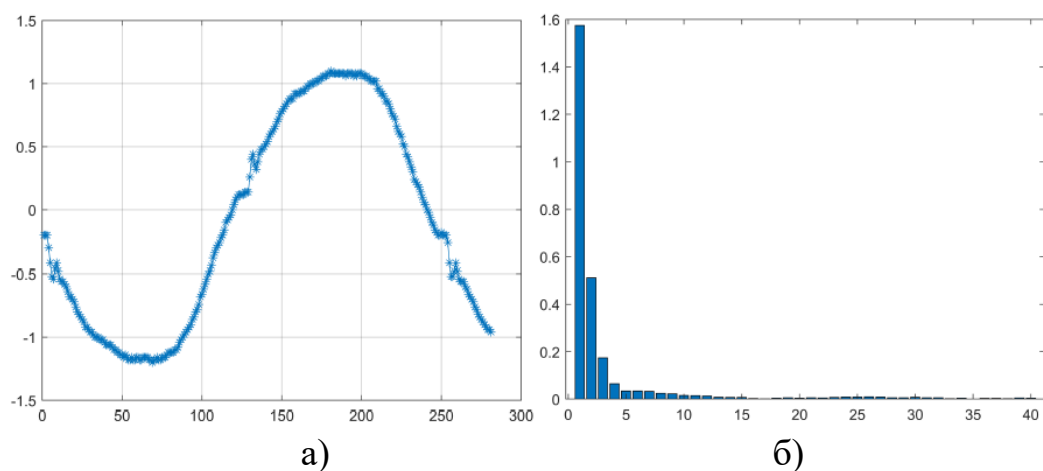


Рис. 6. а) форма тока индукционной плиты; б) спектральный состав тока индукционной плиты

Из полученных характеристик наиболее негативное влияние на электрическую сеть оказывают электроприемники с импульсным потреблением тока из сети, такие как компьютеры, лампы накаливания, светодиодные лампы, пылесос и др.

### Список литературы

1. Боярская Н.П., Темербаев С.А., Довгун В.П., Кабак А.Л., Колмаков В.О. Анализ спектрального состава токов и напряжений светодиодных и газоразрядных источников света // ВЕСТНИК КрасГАУ. 2013. №8. С. 180-184. ISSN 1819-4036.
2. Лещинская Т.Б., Таранов М.М. Исследование токов эмиссии бытовых электроприемников // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования



"Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина". 2009. № 2(33). С. 54-61.

3. Коваленко Д.В., Смирнов П.С., Дубровский Д.В., Матвеева М.С., Рубанов Н.В. Измерение показателей качества электрической энергии в сети компьютерного класса и разработка мероприятий по фильтрации высших гармоник // Омский научный вестник. 2018. № 6(162). С. 108-114.

4. Медведев К.М., Максименко Д.В. Моделирование однофазных административно-бытовых электроприемников, потребляющих резко несинусоидальный ток // Вестник гомельского государственного технического Университета имени П.О. СУХОГО. 2013. № 1(52). С. 48-55.

5. Разработка алгоритма симметрирования нагрузок в сетях 0,4 кВ при распределенной нагрузке вдоль линии / Л. Куок Кыонг, А. М. Маклецов, А. Альзаккар [и др.] // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 2. С. 87-97. doi 10.30724/1998-9903-2022-24-2-87-97. EDN BQYNEH.

УДК 620.9

## ПОВЫШЕНИЕ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В СЕТЯХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Калимуллин Айнур Юнисович  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
Ainur.kalimullin.2014@mail.ru

В статье представлены основные способы увеличения уровня компенсации реактивной мощности в электрических сетях промышленных потребителей электрической энергии.

**Ключевые слова:** реактивная мощность, промышленные потребители, компенсация реактивной мощности, преобразование электроэнергии, индуктивная мощность, емкостная мощность.

## INCREASING REACTIVE POWER COMPENSATION IN INDUSTRIAL CONSUMER NETWORKS

Kalimullin Ainur Yunusovich  
<sup>2</sup>FSBEI HE "KSPEU", Kazan  
Ainur.kalimullin.2014@mail.ru

The article presents the main ways to increase the level of reactive power compensation in the electrical networks of industrial consumers of electric energy.

**Keywords:** reactive power, industrial consumers, reactive power compensation, electric power conversion, inductive power, electromagnetic power

Сложившиеся в последние годы принципы функционирования

энергетических сетей остро поставили вопросы, непосредственно связанные с компенсацией реактивной мощностью. Совершенно очевидно, что обозначенная проблема связана с использованием в качестве стандарта электроснабжения переменного тока, в том числе и трёхфазного.

Использование в промышленности двигателей переменного тока и плавильных печей, включенных в общую цепь, создает соединение индуктивной и ёмкостной составляющих, вследствие чего возникает обмен электромагнитной энергией между источником и потребителем энергии с нулевой суммарной мощностью. Образуется ситуация, в которой наблюдаются дополнительные потери активной энергии, а также потеря напряжения и снижение пропускной способности электрической сети. Отказ от различных видов нагрузки в промышленных электросетях невозможен, поэтому появляется объективная необходимость в минимизации описанных негативных явлениях.

Различные виды промышленного оборудования в общем виде можно разделить на емкостную, индуктивную и активную нагрузку. Активная составляющая мощности преобразуется в световую, тепловую, механическую энергию, что и делает её основной с практической точки зрения. В то же время, реактивные составляющие не выполняют никакой полезной работы, хотя и являются ключевым звеном в процессе создания магнитных полей в электромагнитных преобразователях энергии. Таким образом, электроэнергия, сосредоточенная в том или ином реактивном элементе, хоть и перемещается по сети, но в активных элементах работу не совершает, что характеризуется колебательным процессом передачи электроэнергии от генераторов к нагрузке и наоборот.

Подобные колебания потоков мощности в электрической сети приводят к возникновению потерь активной мощности и снижению пропускной способности линий электропередачи в любом ей техническом исполнении.

С целью компенсации подобной паразитной реактивной мощности широко используются разнообразные устройства на базе статических или синхронных элементов. Не стоит забывать, что организация компенсации реактивной мощности позволяет достичь сразу нескольких целей. Во-первых, значительно уменьшить размер платежей поставщикам электроэнергии. Во-вторых, снизить уровни токов в базовых элементах электросети, что позволяет расширить возможности производственных линий, без введения нового оборудования. В-третьих, значительно повысить параметры качества электроэнергии, за счёт снижения уровней отклонения от нормированных и номинальных значений.

В общем виде действие всех компенсирующих устройств базируется на том, что на участке цепи с емкостной и индуктивной нагрузкой будет устанавливаться дополнительный источник реактивной мощности. В результате, энергообмен, описанный выше, происходит между генерирующими и потребляющими элементами на относительно малых участках электросети и не нагружает головные питающие цепи, в которых, таким образом, отсутствуют отмеченные негативные явления.

Наданным уровне развития науки и техники можно выделить следующие разновидности компенсирующих установок [1]:

Конденсаторные батареи. Широко применяются в электрических сетях для генерации ёмкостной составляющей мощности. Компенсация перетоков реактивной мощности при работе сети в близком к резонансу режиме значительно снижает потери активной мощности, что способствует повышению напряжения в конце линий.

Статистические тиристорные компенсаторы. Данные устройства вполне могут работать как на потребление реактивной мощности, так и на ее выдачу. Как правило, в электрических цепях они используются в целях оптимизации режима работы для общего повышения пропускной способности и устойчивости линий электропередач. Также они применяются в целях стабилизации напряжения в узлах нагрузки и уменьшения потерь электроэнергии и повышения ее качества.

Шунтирующие реакторы. Данные устройства применяют для компенсации емкостной составляющей реактивной мощности, которую выдают в сеть достаточно длинные, но вместе с тем слабонагруженные линии электропередачи.

Фильтрокомпенсирующие устройства. Задачей данного оборудования является уменьшение гармонических искажений кривой напряжения, путем компенсации реактивной составляющей нагрузки промышленного потребителя, что одновременно решает две важные задачи.

Синхронный компенсатор будет представлять собой синхронную машину, которая работает в режиме двигателя без активной нагрузки и генерирует в сеть реактивную мощность. Данные устройства применяются в целях регулирования энергетических систем, а также для поддержания напряжения, снижения потерь электроэнергии в сети, увеличения пропускной способности и обеспечения общей устойчивости энергосистемы.

Развитие микропроцессорных системы в последнее десятилетие привело к тому, что самым оптимальным вариантом практического

применения системы компенсации реактивной мощности, является использование «тонких» преобразователей переменного тока типа ТААС (ThinACConverter). В основе этой системы лежат безинверторные активные фильтры, получившие название динамические конденсаторы, которые осуществляют регулирование коэффициента мощности. В самом общем виде конструкция состоит из батареи статических конденсаторов, подключённых к сети через полупроводниковый преобразователь переменного тока.

С практической точки зрения значительный интерес в практической реализации устройства компенсации реактивной мощности представляет схема, основанная на buck-преобразователе (рис.). Очевидно, что по своим характеристикам безинверторный активный фильтр близок к системе СТАТКОМ. Но в тоже время отсутствия накопителя энергии в рамках звена постоянного тока, управление каждой фазой осуществляется без взаимодействия с оставшимися фазами.

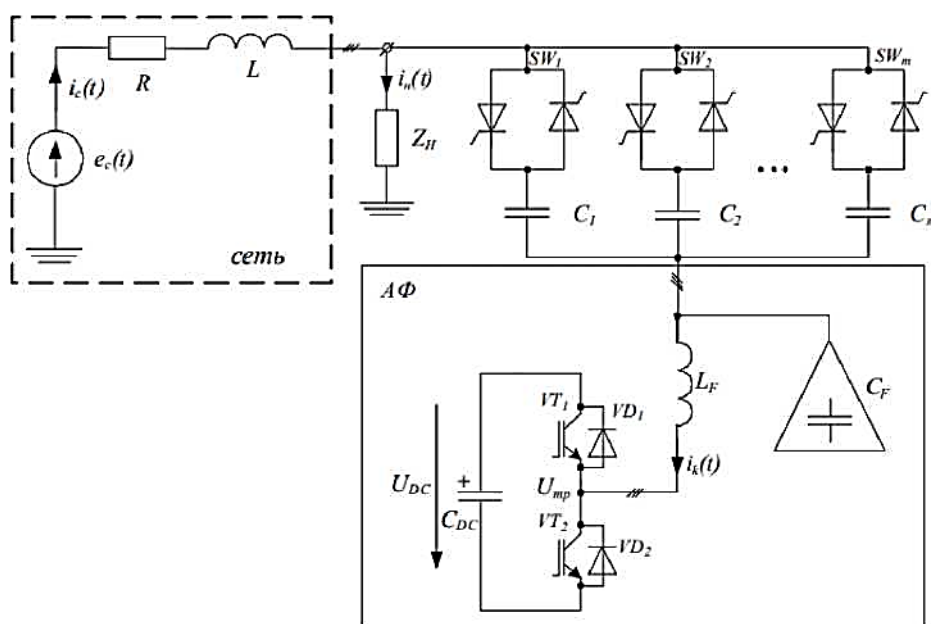


Схема однофазного «динамического конденсатора»  
на основе buck-преобразователя[2]

В результате проведенного исследования можно заключить, что в рамках проведения мероприятий, направленных на энергосбережение, в первую очередь должны рассматриваться механизмы по компенсации реактивной мощности непосредственно в индукционных приемниках энергии или у потребителей. Обусловлено это тем, что реактивная мощность, в то числе, активная, принимается в расчет при установлении

тарифа за электроэнергию и фактически ее оплачивает потребитель.

При наличии в распределительных сетях предприятия потребителей однофазной нагрузки, количество устройств компенсации реактивной мощности снижается, при этом соотношение между реактивной и активной составляющими даже увеличивается [3], что подтверждает необходимость компенсации и в этом случае.

Очевидно, что установки по компенсации реактивной мощности позволяют оптимизировать финансовые показатели электропередачи. Кроме того, они способствуют поддержанию рабочего состояния оборудования, используемого в производственной деятельности.

### Список литературы

1. Веприк Ю.Н. Выбор оптимальных мест установки компенсирующих устройств в электрических сетях [Текст] / Ю.Н. Веприк // Вестник национального технического университета. - 2011. - № 41. - С.36-41.

2. Пак В.Е., Султанов Р.А., Реактивная мощность и ее влияние на напряжение в электрической сети [Текст] / В.Е. Пак // Проблемы науки. - 2019. - №2. - С.208-211;

3. Тарабин И.В., Скоков Р.Б., Компенсация реактивной мощности как метод повышения качества электрической энергии и сокращения потерь на примере данных «МРСК СИБИРИ» [Текст] / И.В. Тарабин // Фундаментальные исследования - 2015. - № 2-22. - С. 4876-4879.

4. Левин, В. М. К вопросу об эффективности управления ремонтами электрооборудования нефтедобычи со стратегией по техническому состоянию / В. М. Левин, Н. П. Гужов, Д. А. Боярова // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 1. С. 39-51. doi 10.30724/1998-9903-2022-24-1-39-51. EDN USZGUX.

УДК 621.394.512.1

## **ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ПО РЕШЕНИЮ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ НА КОРОНУ В СЕТЯХ СВЕРХВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ**

Камалов Руслан Рустемович  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань,  
kamalka7778@gmail.com

В данном тезисе исследуется актуальность работы по снижению потерь на корону в высоковольтной электрической сети.

**Ключевые слова:**потери мощности на корону,увеличение диаметра провода,расширенные провода.

## THE MAIN METHODS FOR SOLVING THE REDUCTION OF CORONA LOSSES IN ULTRAHIGH VOLTAGE NETWORKS

Kamalov Ruslan Rustemovich  
FSBEI HE "KSPEU", Kazan  
kamalka7778@gmail.com

This thesis explores the relevance of work to reduce corona losses in a high-voltage electrical network.

**Keywords:** corona power loss, wire diameter increase, expanded wires.

Ионизация воздуха и протекание разрядного тока вблизи проводов, сопровождающееся свечением вблизи поверхности проводов, образованием оксидов азота и озона способствует существованию коронного разряда на проводах ЛЭП. Из-за коронного разряда происходит не только потери мощности, но и коррозия проводов, которая приводит к ухудшению работы элементов проводной связи и высокочастотных установок.

Методы уменьшения потерь на корону:

1) Одним из способов борьбы с короной является увеличение диаметра провода. Основным параметром при строительстве ЛЭП является выбор таких конструктивных параметров линии, при которых потери на корону, по крайней мере в теплую погоду близки к нулю.

Таблица 1.

Наименьшие допустимые диаметры одиночных проводов воздушных линий по условиям потерь на корону

Диаметр, мм	11,4	15,5	21,4	33,3
Стандартное сечение, мм <sup>2</sup>	АС-70/11	АС-120/19	АС-240/32	АС-600/72
Расстояние между проводами, м	3,5-4	4,5-5	5-6	6-7

Увеличение диаметра проводов при сохранении поперечного сечения токопроводящей части возможно за счет использования различных наполнителей внутри провода, включая алюминиевые трубки, секторные рамки, поддерживающие внутренние спирали из алюминиевых проводов и т.д. Возможно использование конструкции из проволок со стеклопластиковым наполнителем. Такие конструкции позволяют избежать чрезмерного расхода цветного металла и увеличения стоимости воздушных линий.

Таблица 2.

## Сравнение основных физических величин проводов маркиАС

Номинальное сечение, мм <sup>2</sup> (алюминий/сталь)	Алюминиевая часть провода		Расчетные данные провода					
	Число проволок	Диаметр проволоки, мм	Сопротивление пост.	Диаметр провода, мм	Сечение, мм <sup>2</sup>		Отношение сечения алюминия	Удельная масса провода, кг/км
					Алюминия	Стали		
70/11	6	3,8	0,422	11,4	68	11,3		276
120/19	26	2,4	0,244	15,2	118	18,8	6,25	471
240/32	24	3,6	0,118	21,6	244	31,7	7,71	921
600/72	84	3,7	0,050	33,2	580	72,2	8,04	2170

Применение расширенных проводов пользовалось спросом на воздушных линиях 380 кВ в Италии и на ВЛ 345 и 500 кВ в США. На ранних этапах расширенные провода применялись как одиночные.

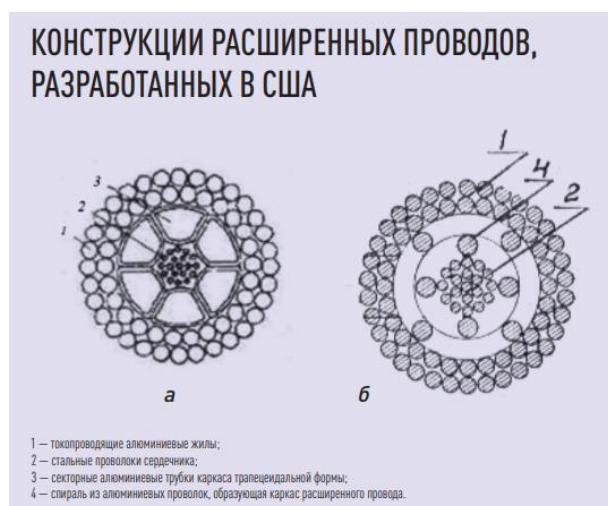


Рис. 1. Конструкция расширенных проводов, разработанных в США

На рисунке 1. показаны две конструкции расширенных проводов, разработанных в США:

а) используются полые секторные алюминиевые трубки каркаса трапецеидальной формы;

б) воздушные полости образованы двумя повивами алюминиевых проводов с малым числом жил; разработанных для применения в качестве одиночного провода для ВЛ 500 кВ с активным сечением 1500 мм<sup>2</sup>.

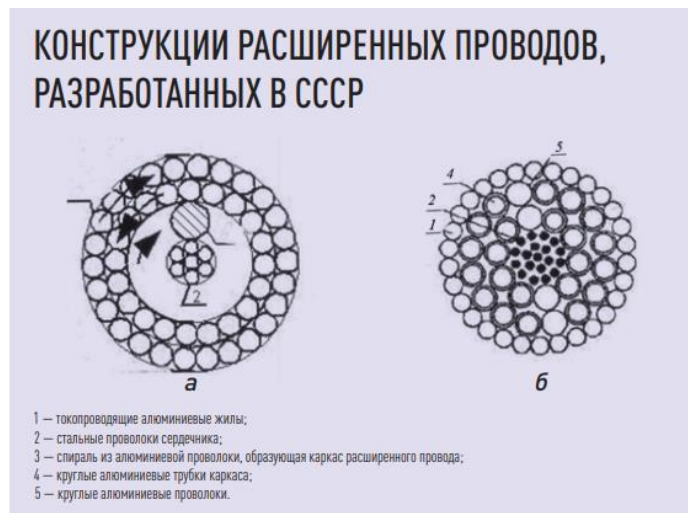


Рис. 2. Конструкции расширенных проводов, разработанных в СССР

В СССР были разработаны два проекта расширенных проводов (рис. 2):

А) провод ASOD с одним каркасным проводом вдоль стального сердечника. Сечения алюминиевой части проводов 400 и 600 мм и наружные диаметры 33,1 и 41,3 мм. Стрелочки указывают направления слоев алюминиевых проводов (рис 2);

б) На сердечник из стальных жил накладываются два слоя круглых алюминиевых каркасных труб. Каждый слой элемента скрутки алюминиевых трубок содержит две круглые алюминиевые проволоки одинакового диаметра. Проволоки принимают на себя дальнейшее давление укладки и придают проводу наибольшую жесткость.

2) Расщепленные провода получили наибольшее распространение в ЛЭП высокого и сверхвысокого напряжения, в которых фаза заменяется несколькими наиболее тонкими стандартными проводами, вместо одного провода большего сечения. Они располагаются на определенном расстоянии друг от друга, но с суммарным сечением, равным сечению одинарного провода или несколько превышающим его. Расщепленные провода позволяют снизить уровень радиопомех. При расщеплении проводов использование дорогостоящих проводов теряет свою актуальность, но монтаж расщепленных проводов наиболее сложный и требует устройства для подвески проводов расщепленной фазы с поддержанием определенного шага между проводами (40-50 см). Индуктивность линии снижается при использовании расщепленных проводов. Также уменьшается волновое сопротивление, что приводит к возрастанию пропускной способности передачи.

3) **Экраны-важный способ борьбы с коронными разрядами.** Экран представляет собой корпус или короб из тонколистовой стали,



которая как бы заключает в себе все коронирующие части (болты, гайки, острые выступающие детали и т.д.) и электрически соединена коронирующими деталями, т.е. имеет тот же потенциал, что и коронирующие части установки. Использование экранов улучшает эстетический вид установки.

Из приведенных выше методов, способствующих снижению ПК, можно сделать вывод, что использование проводов большего сечения, использование расщепления проводов, экранов должно быть использовано при проектировании новых воздушных линий и модернизации существующих.

### Список литературы

1. Вестник КГЭУ. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=45541202> (дата обращения 3.04.22)

2. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.energyret.ru/jour/issue/viewIssue/40/15> (дата обращения 3.04.2022)

3. Коронный разряд. Методы снижения потерь на переменном напряжении [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://studwood.net/1119912/matematika\\_himiya\\_fizika/koronnyy\\_razryad\\_metyody\\_snizheniya\\_poter\\_peremennom\\_napryazhenii](https://studwood.net/1119912/matematika_himiya_fizika/koronnyy_razryad_metyody_snizheniya_poter_peremennom_napryazhenii) (дата обращения 3.04.2022)

4. Костюшко В.А. Расчет потерь мощности на корону на воздушных линиях электропередачи переменного тока различных классов напряжения. Энергия единой сети. 2016. № 26.

5. Бирюлин, В. И. Исследование проблем качества электроэнергии в сетях напряжением 0,4 КВ / В. И. Бирюлин, Д. В. Куделина, И. В. Брежнев // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 1(53). С. 109-121. EDN SYNKNP.

УДК 621.31

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ОБЪЕКТАМИ УГЛЕДОБЫВАЮЩЕЙ КОМПАНИИ

<sup>1</sup>Прокшиц Анастасия Анатольевна, <sup>2</sup>Сизганова Евгения Юрьевна,  
Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия  
<sup>1</sup>anastasiya\_prokshits@mail, <sup>2</sup>seu\_eset@mail.ru

В статье рассмотрены техноценологические исследования потребления электроэнергии объектами угледобывающей компании. Методом рангового анализа получено ранговое параметрическое распределение, проведена аппроксимация и определены коэффициенты математической модели электропотребления объектов; осуществлено интервальное оценивание и выявлены объекты компании с нерациональным электропотреблением. Рассчитан тренд временных рядов относительного электропотребления для каждого объекта и на основе индикатора индекса жизнеспособности по электропотреблению установлены объекты, требующие первоочередного углублённого энергетического обследования.

**Ключевые слова:** энергоэффективность, интервальное оценивание, техноценоз, энергетическое обследование, доверительный интервал, аномальное потребление электроэнергии.

## ELECTRICITY CONSUMPTION RESEARCH OBJECTS OF A COAL MINING COMPANY

<sup>1</sup>Prokshits Anastasiya Anatolevna, <sup>2</sup>Sizganova Evgeniya Yurevna  
Siberian Federal University, Krasnoyarsk  
<sup>1</sup>anastasiya\_prokshits@mail, <sup>2</sup>seu\_eset@mail.ru

The article deals with technocenological studies of electricity consumption by the objects of a coal mining company. By the method of rank analysis, a rank parametric distribution was obtained, an approximation was carried out, and the coefficients of the mathematical model of power consumption of objects were determined; an interval assessment was carried out and the company's facilities with irrational power consumption were identified. The trend of time series of relative power consumption for each object was calculated, and on the basis of the viability index indicator for power consumption, objects were identified that require a priority in-depth energy survey.

**Keywords:** energy efficiency, interval estimation, technocenosis, energy survey, confidence interval, abnormal electricity consumption.

В настоящее время уровень энергоэффективности экономики РФ низкий по сравнению с зарубежными странами, что приводит к высоким издержкам общества на свое энергообеспечение, способствует нарушению устойчивого энергоснабжения населения и экономики страны, затрудняет сохранение энергетической безопасности.

Надежным инструментарием независимой оценки энергоэффективности является энергетическое обследование (энергоаудит). Выявление объектов, иррационально потребляющих электрическую энергию, является первым шагом на пути энергосбережения.

В рамках исследования проведён анализ динамики электропотребления объектов крупной угольной компании за период с 2010 по 2019 г.

Для обработки эмпирических данных необходимо подобрать аналитическую зависимость, наилучшим образом описывающую совокупность точек. Учесть все факторы, оказывающие влияние на уровень

электропотребления отдельного объекта компании, практически невозможно. В [4] показано, что достоверность аппроксимации эмпирических данных по электропотреблению, как правило, низкая, а это не позволяет использовать полученные математические модели для анализа динамики электропотребления с приемлемой точностью.

Существенно повысить качество регрессионных моделей можно, если в качестве методологической основы применить ранговый анализ [1]. В качестве стандартной выбирают двухпараметрическую гиперболическую математическую модель (1), описанную в [1-3]:

$$W = W_1 / r^\beta; \quad (1)$$

где  $W_1$  – максимальное электропотребление;  
 $\beta$  – ранговый коэффициент.

Для объектов угольной компании были вычислены коэффициенты регрессии всех распределений за рассматриваемый период времени.

Одной из аналитических процедур рангового анализа является интервальное оценивание рангового параметрического распределения. Ширину доверительного интервала находят, решая уравнение

$$\Delta / \sigma(\Delta\theta) = \Phi^{-1}(P_d/2); \quad (2)$$

где  $\Delta$  – ширина доверительного интервала, с одной стороны, от кривой;  
 $\sigma(\Delta\theta)$  – среднеквадратичное отклонение теоретической кривой (эмпирически – стандарт) от точек, полученных экспериментально;  
 $\Phi^{-1}(t)$  – обратная функция Лапласа;  
 $P_d$  – доверительная вероятность, принимаемая априорно.

Интервальное оценивание позволяет определить точки, которые выходят за пределы гауссового переменного доверительного интервала, построенного относительно аппроксимационной кривой распределения (рис. 1).

Точки (эмпирические данные), не входящие в доверительный интервал (рис. 1), показывают объекты с нерациональным электропотреблением. Так если точка находится ниже доверительного интервала, то это, как правило, свидетельствует о нарушении нормального технологического процесса электропотребления на данном объекте (частые отключения электроэнергии, неплатежи, избыточная экономия и др.); если точка находится выше доверительного интервала, то на соответствующем объекте имеет место аномально большое потребление

электроэнергии. Именно на этих объектах в первую очередь необходимо проводить энергоаудит.

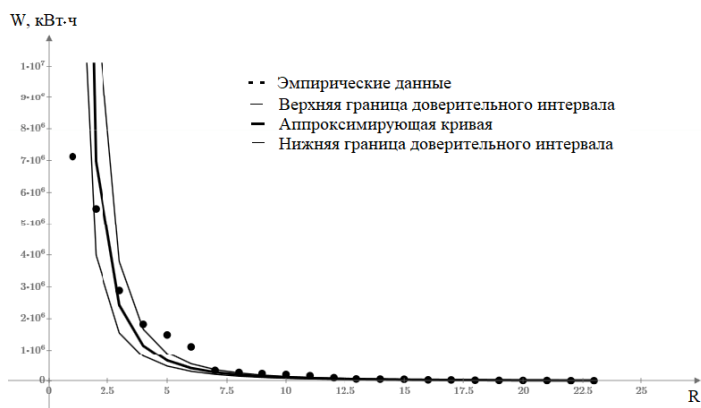


Рис. 1. Доверительный интервал для рангового параметрического распределения

В результате выявлено, что 9 точек лежит выше доверительного интервала, 8 точек находится внутри него, а 6 точек лежит ниже доверительного интервала. Определив относительную величину отклонения точек от границ доверительного интервала, а затем проранжировав объекты по данному параметру получен список очередности проведения энергоаудита объектов компании (табл. 1).

Если объектов с нерациональным электропотреблением оказывается сравнительно много (в нашем случае больше половины), то требуется дополнительное исследование с целью определения объектов, энергоаудит которых является первоочередной задачей для компании в целом [1,2].

Список (фрагмент) очередности проведения энергоаудита на объектах угольной компании

№ очередности	Номера объекта в начальной базе	Наименование объекта
1	1	Углеприем
2	9	Вскрышной участок
3	19	Управление материально-технического снабжения
4	10	Буровой участок
5	20	Управление технологической связи

Выявление первоочередных объектов для углублённого энергетического обследования осуществляется оценкой жизнеспособности объектов по электропотреблению [1-3]. Ключевым макроиндикатором здесь выступает индекс жизнеспособности – угол между осью абсцисс и линией тренда временного ряда доли

электропотребления каждого объекта в общем электропотреблении угольной компании[1].

В качестве тренда используется определяемая методом наименьших квадратов аппроксимирующая прямая  $Y = ax + b$ . Коэффициент  $a$  в уравнении аппроксимирующей прямой тренда равен тангенсу угла наклона данной прямой к оси абсцисс. Таким образом, для нахождения макроиндикатора жизнеспособности объекта необходимо рассчитать  $\Theta = \arctg(a)$ .

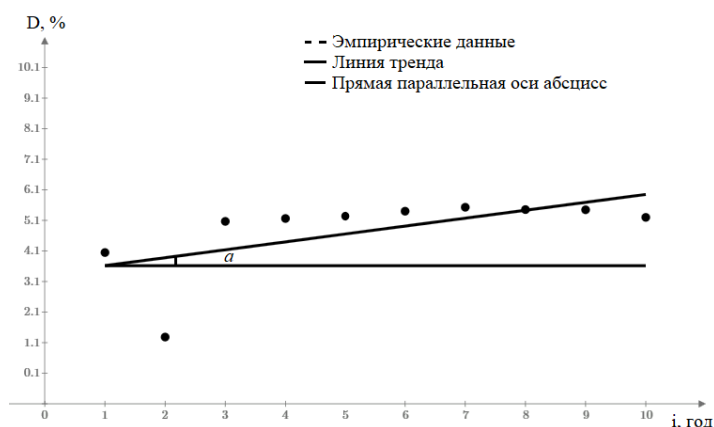


Рис. 2. Индекс жизнеспособности объекта под номером 1 ( $\Theta = 0,253$ )

Результаты расчётов продемонстрированы (рис.2) на примере объекта под номером 1. В итоге определён вектор индексов жизнеспособности каждого объекта угольной компании и суммарный индекс жизнеспособности всех объектов. С целью определения первоочередных объектов для углублённого энергетического обследования находят элементы вектора с наибольшим по модулю значением угла.

Таким образом, с помощью применения данной методики можно выделить объекты угольной компании, которые потребляют аномально много или мало электроэнергии. Причины такого потребления могут быть различными. Именно на этих объектах требуется обратить особое внимание на оптимизацию системы электроснабжения, ведь повышение потенциала энергосбережения и увеличение эффективности использования энергетических ресурсов является важнейшим элементом технической культуры.

### Список литературы

1. Гнатюк В. И. Закон оптимального построения техноценозов: учеб.пособие. М.: Изд-во ТГУ, Центр систем.исследований, 2005. 384 с.

2.ГнатюкВ.И., Лагуткин О.Е. Ранговый анализ техноценозов: монография. Калининград: БНЦ РАЕН – КВИ ФПС РФ, 2000. 86 с.

3.Кудрин Б.И. Введение в технетику. Томск: Издание ТГУ, 1993. 552с.

4. Сизганова Е. Ю. Оценка энергоэффективности крупной торговой сети / Е. Ю. Сизганова, А. Ю. Южанников // Промышленная энергетика. – 2019. – № 11. – С. 30-36. – EDN ZMDTXX.

5. Русина А. Г. Прогнозирование суточного графика электропотребления рабочих дней с учетом метеофакторов для центральной энергосистемы Монголии / А. Г. Русина, О. Тувшин, П. В. Матренин // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 2. С. 97-106. DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-2-97-106.

УДК 004

## **ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ВЫБОРКИ ДАННЫХ НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ И ТЕСТИРОВАНИЯ АЛГОРИТМОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

<sup>1</sup>Роженцова Наталья Владимировна, <sup>2</sup>Савина Надежда Константиновна  
<sup>1,2</sup> ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,  
г. Казань, Россия  
<sup>1</sup>natalia15969@yandex.ru, <sup>2</sup>nadiaafonina1406@gmail.com

Статья посвящена формированию выборки данных, необходимой для обучения и тестирования интеллектуальных алгоритмов краткосрочного прогнозирования почасового электропотребления гарантирующего поставщика. Описан алгоритм формирования обучающей выборки необходимых для выстраивания нейронных сетей.

**Ключевые слова:** прогнозирование электропотребления, выборка данных, нейронные сети.

## **FEATURES OF FORMING A SAMPLE OF DATA NECESSARY FOR TRAINING AND TESTING ALGORITHMS FOR PREDICTING POWER CONSUMPTION USING NEURAL NETWORKS**

<sup>1</sup>Rozhentsova Natalia Vladimirovna, <sup>2</sup>Savina Nadezhda Konstantinovna  
<sup>1,2</sup>FSBEI HE "KSPEU", Kazan, Russia  
<sup>1</sup>natalia15969@yandex.ru, <sup>2</sup>nadiaafonina1406@gmail.com

The article is devoted to the formation of a sample of data necessary for training and testing intelligent algorithms for short-term forecasting of hourly electricity consumption of a guaranteeing supplier. An algorithm for forming a training sample necessary for building neural networks is described.

**Keywords:** power consumption forecasting, data sampling, neural networks.

Проблемы прогнозирования потребления электроэнергии в энергетике широко используются различные программные пакеты, основанные на статистических и вычислительных методах прогнозирования временных рядов. Существует большое количество программных пакетов, которые позволяют создавать прогностические модели на основе искусственных нейронных сетей (ИН) [1]. Одним из таких программных продуктов является PYTHON.

С помощью библиотеки глубокого машинного обучения Keras на языке программирования Python 3.6 был реализован алгоритм прогнозирования потребления энергии. Keras – это библиотека глубокого обучения, представляющая собой интерфейс прикладного программирования (API), который может работать с программными и аппаратными компонентами TensorFlow, Theano или CNTK для глубокого машинного обучения. Keras был разработан с целью быстрого обучения, что позволяет переходить от гипотез к моделированию с наименьшими затратами времени. Основные преимущества библиотеки Keras:

- Простота в эксплуатации. Keras – это API для пользователей, что означает, что в этой библиотеке используются передовые методы снижения когнитивной нагрузки: согласованность и простота API, минимизация действий пользователей по решению проблем и предоставление четкой и эффективной обратной связи при возникновении ошибок;
- Модульность. Модель представляет собой диаграмму автономных модулей, соединенных друг с другом без каких-либо дополнительных ограничений. Например, каждый слой, функция потерь, оптимизатор, функция активации и схема регуляризации - это отдельный модуль, которые можно объединить в одно целое для создания исходной модели;
- Расширяемость. Новые модули могут быть легко добавлены и изменены;
- Работа на Python. Все модели разрабатываются в среде программирования Python, что делает код относительно компактным и простым для чтения и отладки.

Ключом к высокой точности прогнозирования энергопотребления с помощью искусственного интеллекта является обучение выборки данных, которая необходима для изучения и тестирования алгоритма прогнозирования. Формализованный подход включает в себя математическую модель, представляющую электрическую нагрузку в зависимости от различных факторов: времени, метеорологических условий и условий эксплуатации потребителей и т.д. Выбор сильно коррелированных факторов имеет решающее значение для прогнозирования энергетических моделей, основанных на искусственном

интеллекте.

Электропотребление зависит от многих факторов, в том числе от случайного характера. Точность прогнозирования энергопотребления объекта зависит как от производительности используемых алгоритмов, так и от качества выборки данных обучения с учетом существенных внешних факторов [2]. Помимо точности прогнозирования, количество факторов, которые необходимо учитывать, также влияет на архитектуру и конфигурацию модели прогнозирования. Не учитываемые факторы не позволяют нейронной сети описывать поведение временного ряда с достаточной точностью. В то же время учет незначительных факторов приводит к необоснованному увеличению свободных параметров, оптимизируемых в процессе обучения, а также к увеличению шума данных. Это приводит к более высокой стоимости вычислительной мощности для обучения нейронных моделей прогнозирования энергопотребления [3]. Поэтому детальное понимание степени влияния каждого из факторов имеет особое значение при использовании нейросетевых методов прогнозирования. Факторы, влияющие на энергопотребление, можно разделить на:

- временные факторы;
- метеорологические факторы;
- факторы отключения электроэнергии, наличие горячего и холодного водоснабжения, наличие центрального отопления, режим работы крупных потребителей электроэнергии гарантирующего поставщика, сезонность работы и др.
- факторы экономической ситуации.

Статистика энергопотребления и основные факторы влияния составляют основу для выборки данных, необходимых для обучения и тестирования моделей для прогнозирования энергопотребления.

Описание формирования учебного образца:

Начало

Шаг 1: Сбор данных о влияющих факторах и их размерах;

Шаг 2: Полнота сбора данных. На этом этапе данные проверяются на наличие ошибок и упущений. Если данные не содержат значений, дополнительные данные собираются до тех пор, пока архив не будет достаточным для ввода данных в нейронные сети;

Шаг 3: Расчет необходимых вспомогательных данных;

Шаг 4: Нормализация всех данных;

Шаг 5: Разделение на тренировочную и тестовую выборки;

Шаг 6: Вывод тренировочных и тестовых данных.



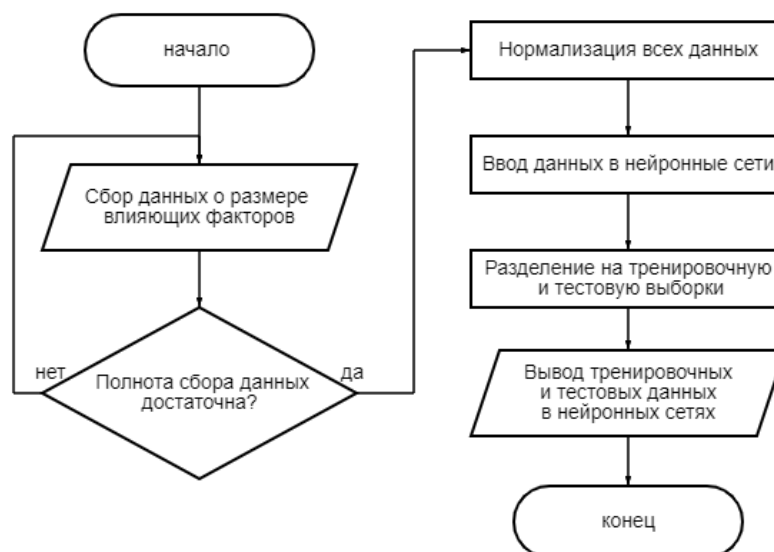


Рис.1. Алгоритм формирования обучающей и тестовой выборки данных.

На рис. 1 изображена блок-схема алгоритма формирования тренировочной и тестовой выборки данных. При обучении нейронных сетей мы должны обращать внимание на главный момент- тестовая выборка никогда не должна быть задействована в обучении, она служит для проверки работоспособности построенной модели нейронных сетей.

### Список литературы

1. Фетисов Л.В., Роженцова Н.В., Булатова О.А. Повышение качества электрической энергии в сетях низкого напряжения // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. № 11-12/2018, С. 99–106.
2. Денисова А.Р., Роженцова Н.В. Энергосбережение в промышленных и коммунальных предприятиях: учеб.пособие. Казань: Казан. гос.энерг. ун-т, 2010. 248с.
3. Иванова В.Р., Новокрещенов В.В., Семенова О.Д. Анализ основных элементов интеллектуальной электроэнергетической системы с активно-адаптивной сетью // Материалы I Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники», 2019. С. 12–17.
4. Абдуллазянов Э.Ю., Грачева Е.И., Горлов А.Н., Шакурова З.М., Табачникова Т.В., Валтчев С. Алгоритмы оценки эквивалентных сопротивлений внутризаводских электрических сетей // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021. Т. 23. № 4. С. 3-13. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-4-3-13.

5. Плотникова, Л.В. Программное обеспечение системного анализа сложноструктурированных промышленных комплексов при разработке энергосберегающих мероприятий / Л. В. Плотникова, Ю. В. Торкунова // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 1(53). С. 140-154. EDN LSVQSA

УДК621.31

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ НЕЙРОМОРФНЫХ ПРОЦЕССОРОВ

<sup>1</sup> Чаевцев Дмитрий Александрович, <sup>2</sup> Роженцова Наталья Владимировна

<sup>1</sup> АНО «ПрофСтандарт», г. Казань, Республика Татарстан

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

<sup>1</sup>03ulsk@yandex.ru, <sup>2</sup>natalia15969@yandex.ru

Использование нейронных сетей дает возможность оценить энергопотребление нейроморфных процессоров и дать представление о том, как различные параметры устройств влияют на потребление энергии. Применение метода пиковых значений дает возможность значительной экономии энергии по сравнению со стандартными методами оценки энергопотребления.

**Ключевые слова:** нейронные сети, прогнозирование, моделирование, энергопотребление.

## APPLICATION OF NEURAL NETWORKS TO ASSESS THE POWER CONSUMPTION OF NEUROMORPHIC PROCESSORS

<sup>1</sup> Chaevtsev Dmitry Alexandrovich, <sup>2</sup> Rozhencova Natalia Vladimirovna

<sup>1</sup> ANO "ProfStandard" Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>2</sup> FSBEI HE "KSPEU", Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>03ulsk@yandex.ru, <sup>2</sup>natalia15969@yandex.ru

The use of neural networks makes it possible to evaluate the power consumption of neuromorphic processors and give an idea of how various device parameters affect energy consumption. The use of the peak value method allows significant energy savings compared to standard energy estimation methods.

**Keywords:** neural networks, forecasting, modeling, energy consumption.

Библиотека Keras используется для обучения и запуска нейронных сетей. Особенностью keras\_spiking.SpikingActivation является то, что с ее помощью можно преобразовать любую функцию активации в эквивалент пиковой нагрузки.

Одним из основных преимуществ использования методов пиковых значений является возможность значительной экономии энергии по сравнению со стандартными методами.

Важно помнить, что фактическое энергопотребление будет сильно зависеть от конкретных деталей программного и аппаратного обеспечения.

Чтобы упростить задачу оценки энергопотребления нейроморфными процессорами воспользуются пакеты Python - Nengo и NengoDL.

На устройствах без пиков, таких как центральный процессор (ЦП) и графический процессор (ГП) сеть работает как традиционная (без пиков) нейронная сеть и может вычислять выходные данные без повторения во времени с использованием нейронов без пиков. Для подачи данных на вход в модели Keras используется функция `keras_spiking.ModelEnergy` (табл.).

Layer (type)	Output shape	Param #	Conn #	Neuron #	J/inf (cpu)
input_1 (InputLayer)	[(None, 28, 28, 1)]	0	0	0	0
conv2d (Conv2D)	(None, 22, 22, 2)	100	47432	0	0.00041
re_lu (ReLU)	(None, 22, 22, 2)	0	0	968	8.3e-06
flatten (Flatten)	(None, 968)	0	0	0	0
dense (Dense)	(None, 128)	124032	123904	0	0.0011
re_lu_1 (ReLU)	(None, 128)	0	0	128	1.1e-06
dense_1 (Dense)	(None, 10)	1290	1280	0	1.1e-05
nce [Joules/inf] (cpu): 1.49e-03					

Первые три столбца показывают имя/тип слоя, форму вывода и количество параметров в каждом слое и идентичны соответствующим столбцам в `model.summary`.

В следующем столбце указано количество подключений; два блока подключаются, если изменение значения входного блока изменяет значение выходного блока (при условии ненулевых параметров). В плотном соединении количество подключений равно размеру входа, умноженному на размер выхода (поскольку каждый модуль вывода подключен к каждому модулю ввода); в сверточном соединении он равен размеру ядра, умноженному на количество входных фильтров, умноженное на выходную форму. Количество подключений может сильно отличаться от количества параметров, особенно для уровней, например, Conv2D где параметры являются общими для многих подключений.

В последнем столбце показано расчетное потребление энергии в Джоулях на вывод на процессоре (в частности, Intel i7-4960X). Все сравнения, сделанные с помощью ModelEnergy, выполняются с использованием энергии на вывод, чтобы учесть тот факт, что устройства с пиками должны повторять несколько временных шагов, чтобы получить точный вывод, тогда как устройства без пиков (такие как ЦП) не требуют

такой итерации. Это число представляет собой нижнюю границу количества энергии, которое может быть использовано ЦП, поскольку оно не включает никаких накладных расходов, таких как энергия, необходимая для передачи данных на устройство и обратно.

Энергия, потраченная на синаптические операции, используется для умножения значений на веса соединений; на оборудовании без пиков это должно быть сделано для всех соединений, но на оборудовании с пиками это делается только при пике пресинаптического нейрона. Энергия, затрачиваемая на нейроны, используется для вычисления нейронных нелинейностей; эти обновления нейронов должны происходить для всех нейронов, независимо от ввода.

У функции ModelEnergy есть еще один параметр, `example_data`. Эти данные передаются в модель и используются для вычисления средней скорости прохождения каждого слоя. Это необходимая информация для оценки энергопотребления пиковых устройств, поскольку количество синаптических обновлений, которые необходимо выполнить, будет пропорционально скорости запуска (но не влияет на устройства без пиковых сигналов, поскольку они выполняют все синаптические обновления на каждом временном шаге).

В случае увеличения входного сигнала (тем самым увеличивается частота срабатывания), энергопотребление увеличится для импульсного устройства (Loihi), но не для ЦП. Показательно, что увеличивается только синаптическая энергия, энергия нейрона не изменяется (поскольку она не зависит от входной активности).

При оценке энергопотребления с помощью пиковых моделей, важно обратить внимание на временные ряды. Например, часто при работе с пиковыми моделями необходимо запускать их для нескольких временных шагов, чтобы получить точную оценку выходных данных модели. Итак, чтобы провести детальное сравнение между устройствами с пиками и без пиков (которым требуется только один временной шаг для вычисления их выходных данных), важно указать, сколько временных шагов на вывод предполагается запустить на устройствах с пиками.

При использовании большого количества временных шагов для вывода увеличивается энергопотребление для устройства с пиками. Это не имеет значения для устройств без пиков.

При оценке энергопотребления на импульсных устройствах предполагается, что нейроны будут генерировать выбросы (чтобы вычислить количество синаптических обновлений, которые должны произойти). Но сопоставить эту модель с импульсным устройством иногда

невозможно, так как многие импульсные устройства могут только имитировать импульсные нейроны, и эти нейроны будут запускать синаптические обновления на каждом временном шаге, а не с отображаемой скоростью.

Для того чтобы получить сопоставимые значения для устройств с пиками, предполагается, что любые нейроны без пиков будут преобразованы в нейроны с пиками, когда модель будет сопоставлена с устройством

Чтобы применить модели нейронной сети (НС) для оценки энергопотребления любых устройств можно использовать пакет Nengo, который предоставляет набор инструментов для запуска нейронных моделей на различных аппаратных платформах.

В случае если нет реальной платы Loihi, подключенной физически, можно предварительно изучить работу модели НС в эмуляторе. Этого достаточно, чтобы увидеть результат работы модели НС, например, на штыревом устройстве и посмотреть, как это выглядит на практике.

Таким образом, можно использовать функцию ModelEnergy для оценки энергопотребления модели Keras на различных аппаратных платформах.

### Список литературы

1. Роженцова Н.В., Пятникова М.В. Тенденция развития искусственного интеллекта в энергетике/Сборник: Наука. Технология. Производство - 2019: Моделирование и автоматизация технологических процессов и производств, энергообеспечение промышленных предприятий. Материалы Всероссийской научно-методической конференции, посвященной 100-летию образования Республики Башкортостан. 2019. С. 133-135.

2. Афолина Н.К., Роженцова Н.В. Применение нейросетевых технологий в электроэнергетических системах. В сборнике: XXV Всероссийский аспирантско-магистерский научный семинар, посвященный Дню энергетика. Материалы конференции. В 3-х томах. Под общей редакцией Э.Ю.Абдуллазянова. Казань, 2022. С. 269-271.

3. <https://www.nengo.ai/>.

УДК 620.9

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОСВЕТИТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ НА ПОЯВЛЕНИЕ ВЫСШИХ ГАРМОНИК В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ

<sup>1</sup>Чистяков Денис Сергеевич, <sup>2</sup>Самолина Ольга Владимировна,  
<sup>3</sup>Шаповалов Сергей Владимирович  
<sup>1,2,3</sup>Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти, Россия  
<sup>1</sup>chistiakov.denis2017tgu2017@yandex.ru, <sup>2</sup>23helga@mail.ru, <sup>3</sup>s.shapovalov2@tltsu.ru

В статье ставится задача рассмотреть причины возникновения высших гармоник в системах электроснабжения предприятия, выявить их источники и влияние. В результате исследования установлено, что наличие гармоник искажает форму кривой тока и напряжения, что негативно влияет на систему электроснабжения. Одной из основных систем на предприятии по масштабности затрат электроэнергии является система освещения. В зависимости от типа светильника уровень гармоник и их спектр может меняться. Гармонические помехи оказывают негативное влияние, вызывая перегревы, ложное срабатывание автоматики и т.д.

**Ключевые слова:** энергосбережение, предприятия, высшие гармоники, система освещения, источники высших гармоник, светодиодные светильники.

## INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE LIGHTING LOAD ON THE APPEARANCE OF HIGHER HARMONICS IN THE SYSTEM POWER SUPPLY OF ENTERPRISES

<sup>1</sup>Denis Sergeyevich Chistyakov, <sup>2</sup>Samolina Olga Vladimirovna,  
<sup>3</sup>Shapovalov Sergey Vladimirovich  
<sup>1,2,3</sup>Togliatti State University, Togliatti, Russia  
<sup>1</sup>chistiakov.denis2017tgu2017@yandex.ru, <sup>2</sup>23helga@mail.ru, <sup>3</sup>s.shapovalov2@tltsu.ru

The article aims to consider the causes of the occurrence of higher harmonics in the power supply systems of the enterprise, to identify their sources and influence. As a result of the study, it was found that the presence of harmonics distorts the shape of the current and voltage curve, which negatively affects the power supply system. One of the main systems at the enterprise in terms of the scale of electricity costs is the lighting system. Depending on the type of lamp, the level of harmonics and their spectrum may vary. Harmonic interference has a negative effect, causing overheating, false triggering of automation, etc.

**Keywords:** energy saving, enterprises, higher harmonics, lighting system, sources of higher harmonics, LED lamps.

Энергосбережение промышленных предприятий на сегодняшний день является одной из актуальных проблем. Основными расходами предприятий являются закупка сырья, расходников и не последнее место занимают затраты на электроэнергию. В 2009 году в России принят ФЗ №261 «Об энергосбережении» который побуждает крупных потребителей электроэнергии оптимизировать ее потребление.

Системы освещения и обеспечения работы оборудования являются одними из самых энергозатратных направлений на большинстве промышленных предприятий из-за практически круглосуточной продолжительности работы.

Под определением «высших гармоник» понимают частотные сигналы, отличающиеся от основной частоты сети 50 Гц, кратные ей и вносящие помехи в синусоиду. В сетях с преимущественной линейной нагрузкой ток, протекающий через нагрузку, пропорционален заданному напряжению. Наличие оборудования с нелинейной нагрузкой приводит к возникновению импульсных токов, которые, в свою очередь, содержат в себе некоторую часть гармонических составляющих, искажающих сигнал (рис. 1).

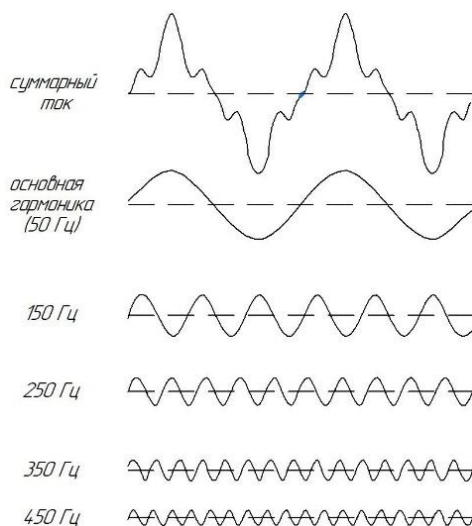


Рис. 1. Суммарный ток сети

В соответствии с [2] при замере параметров качества электроэнергии в учет включены гармоники, доходящие до 40-го порядка, также в ГОСТ приведены нормы гармонических искажений относительно напряжения при отсутствии нагрузки (табл.).

С учетом суммарных норм считается, что при коэффициенте гармоник ненагруженной сети  $\leq 8\%$  серьезных отклонений от нормальной работы оборудования быть не должно. При превышении 8,5% следует предпринять действия, направленные на снижение коэффициента.

Допустимые нормы для гармонических составляющих

№ п/п	№ порядка гармонической составляющей	Допустимые значения, %
1	5	1,5
2	3,7	1,25
3	11	0,7
4	9,13	0,6
5	от 2-го до 10	0,4
6	12-го до 40 порядка	0,3

Системы освещения предприятия относятся к электроприемникам с нелинейной характеристикой нагрузки. Следует отметить, что источником появления гармоник в сети может быть любая лампа. Например, при подключении компактных люминесцентных ламп (КЛЛ) также появляются некоторые искажения[4]. За счет наличия КЛЛ в системе возникают помехи в токе фазы, однако форма напряжения при этом практически не изменяется (рис. 2). Уровень гармонических составляющих после включения КЛЛ составляет от долей до десятков процентов.

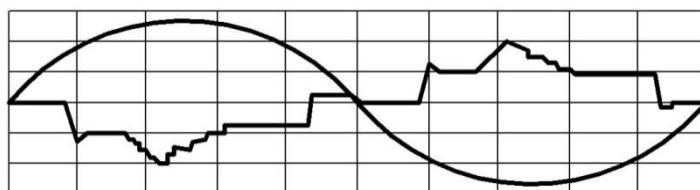


Рис. 2. Изменения тока до и после включения лампы

С точки зрения энергосбережения в системе освещения предприятия применение светодиодных ламп позволит уменьшить мощность и снизить расход электроэнергии на освещение. С другой стороны, светодиодные светильники также имеют нелинейную характеристику. В [1] приведен анализ выборки светодиодных ламп с позиции энергопотребления и оценки уровня негативного воздействия этих ламп на питающую сеть в области качества электроэнергии. Условно получилось выделить 3 основные группы светодиодных источников света с отличными друг от друга осциллограммами по виду кривой потребляемого тока. Первая группа имеет одиночные в полупериоде импульсы тока, отделенные бестоковыми паузами. Вторая группа подобна первой и также имеет одиночные импульсы с провалами, отделяемыми бестоковыми паузами. Исследование осциллограммы 3 группы показывает, что она имеет наиболее продолжительные импульсы с несколькими провалами и наименее короткой бестоковой паузой. Можно сказать, что доля высших гармоник ниже в группе 3, из этого следует, что светильники этой группы оказывают наименьшее влияние на параметры сети по качеству электроэнергии. При выборе типа светильников для замены, следует учитывать и другие факторы. Наличие высших гармоник в сети может вызвать: перегрев контактов, ложное срабатывание автоматики, ускоренное старение изоляции, возникновение несимметрии нагрузки, выход из строя как отдельного оборудования, так и всего производства в целом.



Таким образом, осуществление энергосберегающих мероприятий в системах освещения предприятий путем применения светодиодных светильников должно учитывать не только уменьшение потребляемой мощности, но и влияние на режимные параметры питающей системы электроснабжения

### Список литературы

1. Аронов Л. В. Исследование влияния компактных люминесцентных ламп на несинусоидальность токов и напряжений электрической распределительной сети / Л. В. Аронов, Т. Н. Васильева // Актуальные вопросы технических наук: материалы II Междунар. науч. конф. (г. Пермь, февраль 2013 г.). Пермь: Меркурий, 2013. С. 31-35.

2. ГОСТ 30804.3.12-2013. Нормы и методы испытаний. Дата введения 2014-01-01.

3. Жежеленко И.В. Высшие гармоники в сетях промпредприятий. М.: Энергоатомиздат, 2000. 331 с.

4. Петров А. В. Анализ энергопотребления современных светодиодных ламп / А. В. Петров, А. А. Кретов, Р. А. Тамбиев // Молодой ученый. 2018. № 27 (213). С. 35-42.

5. Валеев И.М., Альзаккар А.М-Н. Гармоники и их влияние при определении метода компенсации реактивной мощности в электрических сетях [Текст] / И.М. Валеев, А.М-Н. Альзаккар // Вестник Казанского государственного энергетического университета / КГЭУ. – Казань, 2020. Вып.1 – С. 24 – 39.

6. Денисова А.Р., Роженцова Н.В. Энергосбережение в промышленных и коммунальных предприятиях: учеб.пособие. Казань: Казан. гос.энерг. ун-т, 2010. 248с.

7. ChristanFlytkjær Jensen. Harmonic background amplification in long asymmetrical high voltage cable systems [Электронныйресурс]: scientific article/Energinet, Denmark 2018.

8. GarethMcLorn, DavidLaverty, D. JohnMorrow,SeánMcLoone. Load and harmonic distortion characterization of modern low-energy lighting under applied voltage variation [Электронныйресурс]: scientific article / Queen's University Belfast, Northern Ireland, UK. 2018

УДК658.26

# ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Шамсемухаметов Ильнар Ильсурович  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
ilnarshamms@gmail.com

В данной статье рассматриваются повышение энергоэффективности промышленного предприятия. Получены объективные данные обследования промышленного предприятия по объему потребляемых энергоресурсов. С учетом потребления электроэнергии выявлен потенциал энергосбережения и повышения энергоэффективности. Разработан перечень процедур по повышению энергетической эффективности и энергосбережение.

**Ключевые слова:** электричество, энергосбережение, энергия, энергоэффективность, энергосберегающая лампа, лампа накаливания.

## ENERGY SAVING AT AN INDUSTRIAL ENTERPRISE

Shamsemukhametov Ilnar Ilurovich  
FSBEI HE "KSPEU", Kazan  
ilnarshamms@gmail.com

This article discusses the features of energy efficiency assessment on the example of an industrial enterprise. Objective data of the survey of an industrial enterprise on the volume of consumed energy resources were obtained. Taking into account electricity consumption, the potential for energy saving and energy efficiency improvement has been identified. A list of procedures for improving energy efficiency and energy conservation has been developed.

**Keywords:** electricity, energy saving, energy, energy efficiency, energy-saving lamp, incandescent lamp.

Важнейшим фактором, влияющим на финансовую эффективность затрат на энергосберегающие мероприятия, будет являться более длительный ожидаемый срок окупаемости энергосберегающих мероприятий с учетом полной суммы капитальных затрат, включая полный объем работ[1]. От предполагаемой цены энергоресурсов будет зависеть экономический успех в проведении энергосберегающих мероприятий. По мере роста стоимости энергии повышается и экономия[2].

Ожидаемый срок окупаемости рассчитывается из уравнения, которое связывает капитальные затраты, реализованные за один раз, и общий ожидаемый доход с учетом его увеличения с течением времени [3]:

$$T = C_{\text{кан}} / \square \text{Э} \quad (1)$$

где,  $C_{\text{кан}}$  - общая сумма затрат на внедрение мероприятия,  $\square \text{Э}$  - общая суммарная эффективность мероприятия с учетом экономии

энергоресурсов, модернизации технологий, совершенствования производства, снижение затрат на ремонт и других положительных факторов за первый год, руб.

Целью данного исследования является получение данных об объемах используемых энергоресурсов по результатам энергетического обследования промышленного предприятия. Определить показатели энергоэффективности, наметить подходы к мероприятиям связанных с энергосбережением. Также определить потенциал энергосбережения и повышение энергетической эффективности.

Таблица 1.

Основные параметры источников света

Тип	Диапазон стетоотдачи, лм/Вт	Коэффициент запаса, $K_{эл}$	Срок службы, ч
Лампы накаливания	10-15	1,1	1 000
Галогенные лампы накаливания	16-24	1,1	2 000
Ртутно-вольфрамовые лампы	20-28	1,2	6 000
Ртутные лампы высокого давления	50-60	1,3	12 000
Натриевые лампы высокого давления	90-120	1,3	12 000
Металлогалогенные лампы высокого давления	70-90	1,3	12 000
Люминесцентные лампы низкого давления	60-80	1,3	10 000
Люминесцентные лампы низкого давления с улучшенной цветопередачей	70-95	1,25	10 000
Компактные люминесцентные лампы низкого давления	60-70	1,25	9 000
Натриевые лампы низкого давления	120-180	1,3	12 000
Светодиодные лампы	60-120	1,5	До 50 000

Согласно таблице, можно сделать вывод, что лампы накаливания, по характеристикам уступают другим видам ламп, они менее эффективные. Светодиодные лампы являются самыми лучшими из-за их срока службы и ряда достоинств. Поэтому, принято провести мероприятие по замене ламп накаливания на светодиодные. Тем самым мы получим энергосбережение и повысим эффективность потребления электрической энергии, с точки зрения экономии.

Учитывая, что среднегодовая наработка системы освещения в сутки составит 1297 часов, срок службы ламп составит 23 года. Расчет технико-экономических показателей и срока окупаемости мероприятия по замене

ламп накаливания напряжением 220В на светодиодные представлен в таблице 2.

Таблица 2.

№ пп.	Наименование	Значение	Единица измерения
1	Количество заменяемых ламп	50	Шт.
2	Годовая экономия электроэнергии	3,374	тыс. кВт*ч
		24,188	тыс. руб
3	Затраты	3,315	тыс. руб
4	Простой срок окупаемости	0,15	год

Также из опыта установлено, что на коэффициент излучения влияет загрязненность ламп. Поэтому рекомендуется проводить чистку ламп, с помощью специального раствора. Данное мероприятие характеризуется как организационное и беззатратное.

Таким образом можно сделать вывод о том, что замена лампы накаливания на светодиодные лампы является выгодным для предприятия, так как у них больше преимуществ и минимальные затраты.

### Список литературы

1. ISO 50001:2011. Energy management systems – Requirements with guidance for use / International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland, 2011. 22 p. URL: [http://www.iso.org/iso/catalogue\\_detail?csnumber=51297](http://www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=51297)
2. Федеральный закон Российской Федерации от 23 ноября 2009 г. N 261-ФЗ "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" URL: <http://www.rg.ru/2009/11/27/energo-dok.html>
3. Тульчинская Я.И. Методика оценки эффективности замены светильников и ламп на энергосберегающие // сборник статей «Нефтегазовое дело». 2012. №4. С. 570-589.
4. Плотникова, Л.В. Программное обеспечение системного анализа сложноструктурированных промышленных комплексов при разработке энергосберегающих мероприятий / Л. В. Плотникова, Ю. В. Торкунова // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 1(53). С. 140-154. EDN LSVQSA.

## ВНЕДРЕНИЕ ГАЗОПОРШНЕВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В СОСТАВ АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

<sup>1</sup>Янов Тимофей Александрович, <sup>2</sup>Денисова Алина Ренатовна  
КГЭУ, г.Казань  
<sup>1</sup>yanovtimofeii@mail.ru, <sup>2</sup>denisova\_ar@mail.ru

Показано, что применение газопоршневых электростанций позволит улучшить эксплуатационно-технические характеристики автономных систем электроснабжения. Показаны преимущества использования газотурбинных и газопоршневых установок при когенерации тепла и электроэнергии.

**Ключевые слова:** газопоршневая установка, когенерация, автономная система электроснабжения, возобновляемые источники энергии, электроснабжение, теплоснабжение.

## INTRODUCTION OF GAS-PISTON POWER PLANTS INTO AUTONOMOUS POWER SUPPLY SYSTEMS

<sup>1</sup>YanovTimofeiAleksandrovich, <sup>2</sup>DenisovaAlinaRenatovna  
KSPEU, Kazan  
<sup>1</sup>yanovtimofeii@mail.ru, <sup>2</sup>denisova\_ar@mail.ru

It is shown that the use of gas piston power plants will improve the operational and technical characteristics of autonomous power supply systems. The advantages of using gas turbine and gas piston units for cogeneration of heat and electricity are shown.

**Keywords:** gas piston unit, cogeneration, autonomous power supply system, renewable energy sources, power supply, heat supply.

В современном мире из-за спада производств, произошло снижение нагрузки на энергосети, тем самым сокращаются финансирования в реконструкцию энергосистем и их развитие. На данный момент энергетика работает на старом оборудовании и движется к полному израсходованию своего потенциала производства энергии.

Выйти из данной ситуации поспособствует использование автономных систем электроснабжения (АСЭ) и альтернативных источников энергии, таких как газопоршневые установки и возобновляемые источники энергии.

Газопоршневая установка является установкой с поршневым двигателем и электрогенератором, который соединен валом. Работа ГПУ основывается на использовании природного газа, а так же утилизации выделяемого тепла при сгорании, путем когенерации.

Потребление газа в зависимости от мощности ГПУ, составляет около 0,20...0,35 нм<sup>3</sup> на 1 кВт • ч выработанной электрической энергии. КПД

газопоршневой электростанции может достигать порядка 95%, при использовании рекуперации тепла с выхлопных газов, охлаждающей жидкости, масляной системы, турбины и использовании установок для получения холода.

В России стоимость газа очень мала, себестоимость электроэнергии при использовании ГПУ только для получения электроэнергии уже даст экономию денежных средств в 4 раза.

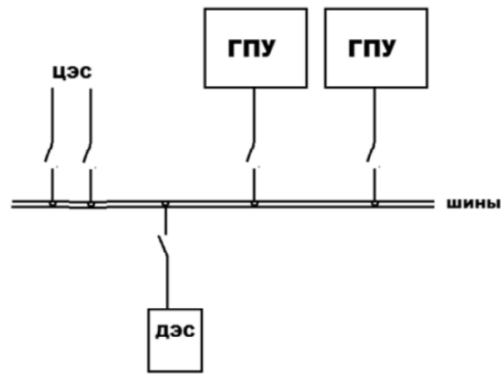
Использование газопоршневой станции для получения энергии позволяет:

- 1) снизить затраты на потребляемую электроэнергию до 15 % на период окупаемости и до 35 % на период эксплуатации;
- 2) осуществить дополнительное резервирование источников электроэнергии, что немаловажно при производствах непрерывных циклах работы.

При использовании ГПУ в качестве резервного источника электроснабжения, целесообразно внедрение и возобновляемых источников, особенно если транспортировка топлива для ГПУ трудозатратна.

Использование режима раздельной работы ГПЭ и возобновляемых источников энергии позволит поднять долю участия ВИЭ тем самым снизить пагубное воздействие на окружающую среду. АКБ в рассматриваемой системе применяются только при переходе питания от одного источника к другому, если у потребителя отсутствует внешняя электрическая сеть и необходимо беспереывное электроснабжение.

Газопоршневые установки в современном мире играют немаловажную роль в энергетике. Главной особенностью ГПУ является способность отбирать у нее еще и тепло, то есть она работает как тепловая электростанция. Тепловая энергия и электроэнергия вырабатывается ГПУ одновременно с соотношением выдачи практически 1:1. При использовании систем тригенерации, появляется возможность получить еще и «холод» температура которого может достигать +5 градусов, что позволит осуществить экономию на холодильном оборудовании. Применение ГПЭ в составе автономной системы электроснабжения расширяет их возможности и повышает КПД системы до рекордных показателей.



Структурная схема системы автономного электроснабжения с использованием газопоршневых установок

На рисунке показана схема автономной системы электроснабжения с использованием газопоршневой станции. В данной системе источником электроэнергии будут являться:

- централизованная система электроснабжения, служащая для покрытия пиковых нагрузок.
- газопоршневые установки (ГПУ), являющиеся источниками основного электроснабжения;
- дизельная электростанция (ДЭС), которая служит источником резервной мощности при выводе ГПУ на техническое обслуживание.

Так же ГПУ и ДЭС могут работать автономно, либо включаться на определенного потребителя. Централизованное электроснабжение можно использовать как основной источник электроэнергии (ГПУ в данном случае резервируют сеть и включаются только при отсутствии основного электроснабжения), так и как резервный, для покрытия мощностей, которые не смогут выдать ГПУ (ГПУ являются основным источником энергии и работают круглые сутки, с перерывом на техническое обслуживание).

При наличии газификации, газа или систем транспорта и газгольдеров появляется на большей части нашей страны осуществить эффективное внедрение газопоршневой электростанции в качестве основного или резервного источника энергии. Это позволит решить проблему с дефицитом электроэнергии во всех уголках страны.

### Список литературы

1. Винников А.В. Об особенностях модульного построения систем бесперебойного электроснабжения [Текст] / А.В. Винников, О.В. Григораш, М.С. Чумак // Образование и наука в современных условиях. - 2015.

2. Власов Б. В. Автоматизированные системы управления рациональным электропотреблением. Москва: Высшая школа, 2019. 290 с.
3. Городов, Р.В. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии / Р. В. Городов, В.Е. Губин, А.С. Матвеев. – Т.: Изд-во Томского политехнического университета – 2009. – 294с.
4. Ольховский Г.Г. Энергетические газотурбинные установки / Г.Г. Ольховский. – М.: Энергоатомиздат 1985. – 304.
5. Поспелов Г. Е. АСУ и оптимизация режимов энергосистем. Минск: Энергия, 2018. 351 с.
6. Целевое видение стратегии развития электроэнергетики России на период до 2030 г. / Ю. А. Зей-гарник, В. М. Масленников, В. В. Нечаев, И. С. Шевченко // Теплоэнергетика. - 2007. - № 11. - С. 2-13.
7. Проблемы, перспективы применения и методика расчета нормированной стоимости накопления электрической энергии / В. Д. Мельников, Г. Б. Нестеренко, Д. Е. Лебедев [и др.] // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2019. Т. 11. № 4(44). С. 30-36.

УДК 004.032.26

## ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЙРОСЕТЕЙ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

<sup>1</sup>Яппаров Рустам Ринатович, <sup>2</sup>Корнева Полина Андреевна,  
<sup>3</sup>Роженцова Наталья Владимировна  
<sup>1,2,3</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
<sup>1,2,3</sup>yapparovrr@yandex.ru

В данной работе приведен обзор возможностей применения в энергетическом секторе нейросетевых технологий. Рассмотрены основные модели нейронных сетей и задачи, которые они могут решить.

**Ключевые слова:** нейронные сети, нейрон, многослойный персептрон, сети Кохонена, прогнозирование, энергосистемы, прогнозирование.

## THE POTENTIAL OF NEURAL NETWORKS IN THE ELECTRICITY SECTOR

<sup>1</sup>Rustam R. Yapparov, <sup>2</sup>Polina A. Korneva, <sup>3</sup>Natalia V. Rozhentsova  
<sup>1,2,3</sup>FSBEI HE "KSPEU", Kazan  
<sup>1,2,3</sup>yapparovrr@yandex.ru



This paper provides an overview of the potential applications of neural network technology in the energy sector. The basic models of neural networks and the problems they can solve are considered.

**Keywords:** neural networks, neuron, multilayer perceptron, Kohonen nets, forecasting, energy systems, forecasting.

Для промышленного развития с расширением энергосистемы необходимы стабильность, укрепление, надежность, технический прогресс, выбор и динамическая реакция энергосистемы. С ростом энергосистем сложность сетей значительно возрастает. Вследствие этого анализ энергосистемы традиционными методами и выводы из полученных данных, процесс получения информации, управления удаленными устройствами и коммунальными услугами стали более сложными и трудоемкими.

Современный научно-технический прогресс и активное развитие цифровых технологий позволили существенно развить энергетический сектор. Энергетическая инфраструктура сегодня активно переходит на технологии индустрии 4.0 – четвертой промышленной революции [1].

Одна из наиболее перспективных инновационных технологий индустрии 4.0 – это методы нейронных сетей обработки и анализа данных – элемент интеллектуальной энергетической сети[2].

Технологии нейронных сетей (НС) в общем виде схожи работе нейронов в человеческом мозге. В биологическом мозге каждый нейрон может быть вызван другими нейронами, чьи выходы поступают на него, а его собственный выход может в свою очередь вызвать следующие нейроны [3]. Простая нейронная сеть имеет входной слой нейронов, через который в сеть поступают данные, выходной слой, через который выводятся результаты, и, при необходимости, несколько скрытых слоев в середине, где происходит обработка информации.

Каждый нейрон в сети имеет набор «весов» и «функцию активации», которая управляет подачей сигнала на его выход [3]. Обучение нейронной сети включает в себя настройку весов нейронов таким образом, чтобы заданный входной сигнал приводил к желаемому выходу.

Их основное преимущество - способность к обучению алгоритмов, онлайн-адаптация динамических систем, быстрые параллельные вычисления и интеллектуальная интерполяция данных. Они классифицируются по своей архитектуре, количеству слоев, топологии, схеме подключения, прямому, обратному распространению и радиальной базисной функции или рекуррентной и т.д.

Для таких приложений, как классификация данных или распознавание образов, НС специально настраивается с использованием процесса обучения, который представляет собой изменение синаптических связей между нейронами. Эта система НС может быть воспроизведена с помощью современного оборудования или программного обеспечения. В компьютерных системах они используются в качестве программных пакетов или для интеграции искусственного интеллекта в системы управления.

НС являются быстрыми и надежными и не требуют соответствующих знаний о модели системы. Поскольку они устойчивы к сбоям, они могут работать в ситуациях с неполными или поврежденными данными и информацией. Они обладают способностью к обучению и адаптации данных. С другой стороны, НС не могут выполнять задачи, отличные от той, для которой они были обучены. Для выполнения любой другой задачи их необходимо переобучить. НС всегда генерируют результат, даже если входные данные необоснованны.

Выбор подходящего типа нейронной сети зависит от поставленной задачи, типа и объема данных. Существует множество классификаций сетей, но многослойный персептрон (задача прогнозирования потребления энергии) и сети Кохонена (задача построения профиля электропотребителя) являются лучшими решениями типичных задач рынка электроэнергии [3].

Компьютерные модели нейронных сетей очень перспективны в оптимизации различных задач энергетического рынка, в таблице приведен перечень нейросетевых технологий и решаемых задач.

Задачи электроэнергетического сектора, решаемые нейросетевыми методами

Нейросетевая технология	Задачи
Многослойный персептрон	Прогнозирование режимных параметров и различных характеристик (величины электрической нагрузки, перетоков и потерь электроэнергии, метеоданных и т.д.).
Сеть Кохонена	Задачи классификации (состояний электрической системы, аварийных ситуаций и т.д.); диагностирование электрооборудования; выявление недостоверностей и компенсация критических измерений ЭЭС; анализ потерь электрической энергии.
Рекуррентные сети (сеть Хопфилда, рекуррентный персептрон, сеть Хэмиинга)	Оценивание состояния ЭЭС; идентификация параметров при задаче распознавания зашумлённой информации; моделирование динамических процессов электрических машин в режиме «online».

Нейросетевая технология	Задачи
Сеть Вольтерри	Идентификации нелинейных объектов (электродвигателей, генераторов и т.д.); прогнозирование переменных во времени нестационарных сигналов; устранение интерференционных шумов в исходной информации.

В современной электроэнергетике можно выделить ряд практических направлений применения нейронных сетей и искусственного интеллекта:

- 1) обработка нечёткой информации для создания нечётких систем управления;
- 2) нейросетевая обработка информации при создании самообучающихся нейросетевых систем управления;
- 3) методы эволюционного моделирования для настройки и поиска функций принадлежности в нечётких системах управления;
- 4) многоагентные системы для создания распределительных интеллектуальных управляющих систем.

Нейросетевые технологии сегодня – это будущее всей технической индустрии, однако имеется ряд ограничений в их применении сегодня. Одним из наиболее существенных технологических препятствий является время, необходимое для обучения сетей, которые часто требуют приемлемого уровня вычислительной мощности даже для сложных задач.

Второй фактор, который необходимо учитывать, заключается в том, что нейронные сети – это компьютерные системы, в которых пользователь классифицирует обученные данные и получает ответы. У них есть возможность тонкой настройки ответов, но у них нет доступа к конкретному процессу принятия решений.

Применение искусственного интеллекта, то есть компьютерных программ в сфере электроэнергетики, сегодня широко развивается. Рассмотренные возможности нейросетевых технологий в энергетическом секторе позволят оптимизировать и усовершенствовать большой объем производственных задач. Основными задачами нейронных методов в электроэнергетике представляются – прогнозирование потребления и построение клиентского профиля потребителя – эти задачи решаются классическими нейросетевыми технологиями: многослойным персептроном и сетями Кохонена.

## Список литературы

1. Симонов Н., Ивнев Н. Опыт и перспективы применения искусственных нейронных сетей в электроэнергетике // Электроэнергия. Передача и распределение. 2019. № S4 (15). С. 42-48.
2. Мясников Е.Ю. Перспективы применения нейронных сетей в решении задач электроэнергетики // Проблемы и перспективы развития энергетики, электротехники и энергоэффективности. 2020. С. 54-60.
3. Болховитина С.В. Искусственные нейронные сети - новые возможности для электроэнергетики / С. В. Болховитина, С. И. Шапкина // Искусственный интеллект и цифровая экономика: взгляд студенчества. 2020. С. 26-28.
4. Синюков А.В., Синюкова Т.В., Грачева Е.И., Kolcun M. Нейросетевые технологии в системах управления механизмами перемещения грузов. Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2022;24(2):108-118.
5. Афолина, Н.К., Роженцова Н.В. Применение нейросетевых технологий в электроэнергетических системах / XXV Всероссийский аспирантско-магистерский научный семинар, посвященный Дню энергетика : Материалы конференции. В 3-х томах, Казань, 07–08 декабря 2021 года / Под общей редакцией Э.Ю. Абдуллазянова. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. – С. 269-271.

### **Секция 3. ЭНЕРГОСИЛОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, ЭЛЕКТРОПРИВОД И АВТОМАТИЗАЦИЯ**

УДК 621.31

#### **ВЛИЯНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ ФАЗОРА НА УСТОЙЧИВОСТЬ НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

<sup>1</sup>Альзаккар Ахмад, <sup>2</sup>Николай Петрович Местников

<sup>1</sup>Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия.

<sup>2</sup>Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Россия.

<sup>1</sup>Ahmadalzakkar86@gmail.com, <sup>2</sup>Sakhacase@bk.ru

В работе рассмотрен вопрос обеспечения устойчивости напряжения энергетической системы, являющийся одним из ключевых вопросов в процессе планирования и эксплуатации энергосистемы. Отмечается, что в настоящее время в результате ряда технологических инцидентов в виде нарушения устойчивости напряжения энергосистемы были испытаны нейронные сети на территории различных стран. Исследована проблема возможного риска возникновения провала напряжения вследствие потери его устойчивости в энергетической системе в процессе ее эксплуатации. Подчеркивается, что в этой связи проведение анализа устойчивости напряжения является важной процедурой в целях своевременного выявления шин с низкой надежностью внутри энергетической системы. Таким образом, диспетчерскому персоналу энергетической системы следует предпринять определенные меры во избежание любых случаев провала напряжения внутри системы. Целью статьи является представление нового метода оценки индекса нагрузки устойчивости напряжения (L-индекс) для энергосистемы с применением данных оптимально расположенных единиц измерения фазора (PMU).

**Ключевые слова:** фазор, устойчивость, индекс, шина.

#### **INFLUENCE OF USING THE PHASOR UNIT OF MEASUREMENT ON VOLTAGE STABILITY IN ELECTRIC POWER SYSTEMS**

<sup>1</sup>Alzakkar Ahmad, <sup>2</sup>Alhajj Hassan Fouad, <sup>3</sup>Nikolai Petrovich Mestnikov

<sup>1</sup>Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia.

<sup>2</sup>North-Eastern Federal University Yakutsk, Russia.

<sup>1</sup>Ahmadalzakkar86@gmail.com, <sup>2</sup>Sakhacase@bk.ru

The paper considers the issue of power system voltage stability, which is one of the key issues in the process of planning and operation of the power system. It is noted that neural networks have now been tested in a number of technological incidents in the form of power system voltage instability in various countries. The problem of possible risk of voltage failure due to the loss of its stability in the energy system during its operation is investigated. It is noted that in this regard, conducting a voltage stability analysis is an important procedure in order to timely identify tires with low reliability within the power system. Thus, the control personnel of the power system should take certain measures to avoid any cases of voltage dip within the system. The purpose of this paper is to present a new method for estimating the

voltage stability load index (L-index) for a power system using data from optimally placed phasor units (PMUs).

**Keywords:** phasor, index, tire, stability.

*Индекс нагрузки устойчивости напряжения (L-индекс):* Индекс нагрузки устойчивости напряжения, используемый в данной работе, рассчитывается из измерений PMU величин и углов напряжения при нагрузочных шинах. PMU может предоставить измерения в реальном времени фазорам напряжения и критического тока. Данная информация может быть эффективно использована для определения запаса устойчивости напряжения непосредственно из данных измерений в режиме реального времени [1]. Минимальное количество PMU, наблюдаемое системой, помещается на заранее определенные шины, чтобы выполнить прямые измерения, в то время как информация фазора напряжения на оставшихся шинах рассчитывается из этих измерений и известных импедансов линии передачи системы [2].

Математическая формулировка методики устойчивости напряжения (L-индекс), используемая в данной работе, получена из уравнений напряжения двух шин сети, как показано на рисунке 1 и определяется выражением [3]:

$$L\text{-индекс} = \frac{4[U_1 U_2 \cos(\theta_1 - \theta_2) - U_2^2 \cos^2(\theta_1 - \theta_2)]}{U_1^2}, \quad (1)$$

где  $U_1$  и  $U_2$  — напряжение на шинах 1 и 2;  $\theta_1$  и  $\theta_2$  — углы фазы напряжения на шине 1 и шине 2;  $P_1, Q_1$  — соответственно активная и реактивная мощность на шине 1; и  $P_2, Q_2$  — соответственно активная и реактивная мощности на шине 2, как показано ниже [4].

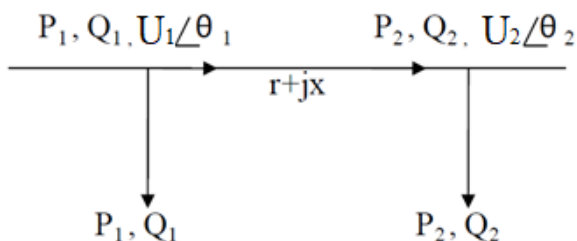


Рис. 1. Две шины сети.

*Наблюдаемость энергосистемы:* Единица измерения фазора (PMU) — это средство обеспечения измерения разности фаз и амплитуд периодических синусоидальных волн, предназначенное для отслеживания качества энергии переменного тока АС, предоставляемой

электроэнергетическими компаниями в электросети [5]. Единица измерения фазора относится к математической модели вектора с направлением и амплитудой электрических волн. Оптимальное размещение РМУ в энергосистемах осуществляется таким образом, чтобы гарантировать, что все напряжения системной шины могут наблюдаться с использованием минимально возможного количества РМУ. Это важно с экономической и технической точки зрения [6].

*Результаты и обсуждение:* Результаты для оптимального размещения РМУ с учетом островных условий приведены в таблице Система 14 шин (рис.2) была разделена на два острова, в результате было получено оптимальное расположение РМУ для полной наблюдаемости как в нормальных, так и в островных условиях эксплуатации.

Оптимальное расположение РМУ в системе IEEE 14 шин.

Конфигурация системы	Оптимальное расположение РМУ
В нормальных условиях эксплуатации	2, 6, 9
В островных условиях эксплуатации.	1, 2, 6, 9

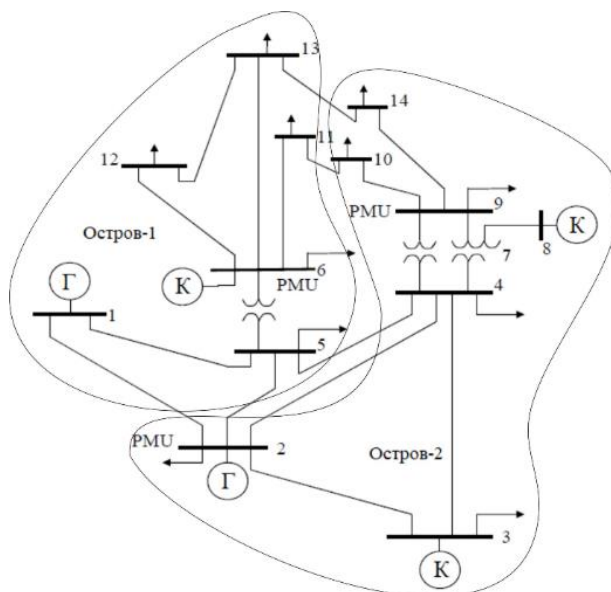


Рис. 2. Тестовая система IEEE 14 шин

Наконец, оценочные значения L-индекса системы для двух аварийных ситуаций N–1 показаны на рис. 3. На рис. (3, а) система приближается к неустойчивости напряжения при коэффициенте нагрузки около 0,45, на рис. (3, б) — при коэффициенте нагрузки около 0,5. Это показывает, что система имеет меньший запас устойчивости по напряжению после потери линии 2–3, чем при потере линии 2–4.

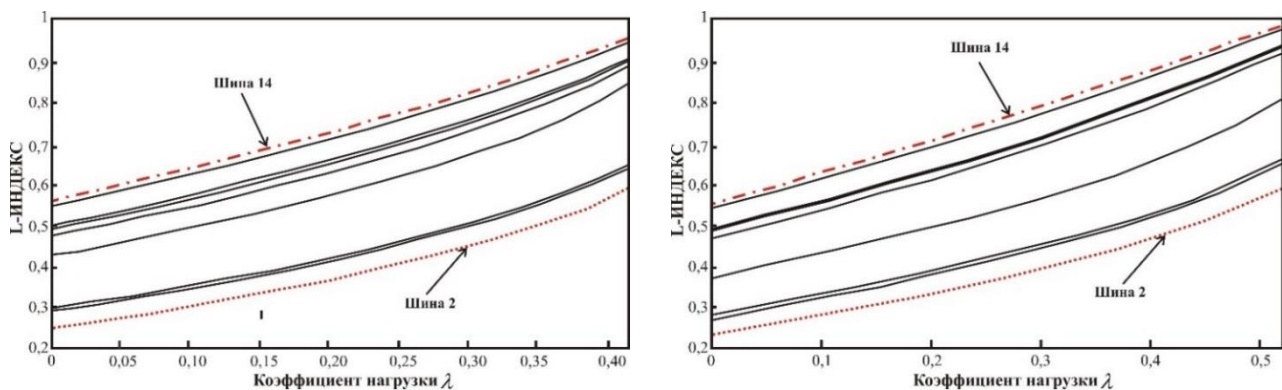


Рис. 3. Оцененный L-индекс для системы IEEE 14 шин:  
а – с потерей линии 2–3; б – с потерей линии 2–4.

*Заключение.* Представлена методика оценки индекса нагрузки устойчивости напряжения (L-индекс) в энергосистеме с использованием измерений (PMU); Оптимальное размещение PMU в энергосистеме с учетом островных условий работы для обеспечения возможности наблюдения за островами.

### Список литературы

1. Альзаккар А. Оценка индекса нагрузки устойчивости напряжения электрических сетей на основе сети эхо-состояний с использованием единицы измерения фазора / А. Альзаккар, Н. П. Местников, И. М. Валеев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2022. — Т. 14. — № 3.
2. Альзаккар А., Местников. Н.П., Самофалов Ю.О. Расчет угла нагрузки синхронного турбогенератора типа ТВС-32 // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. №2 (54). С. 40-47.
3. Альзаккар А., Местников. Н.П., Валеев И.М. Оценка индекса устойчивости напряжения электрических сетей питающих зарядные станции электромобилей с применением многослойного персептрона // Проблемы энергетики- КГЭУ. Т. 24. № 2. 2022.
4. Единица измерения фазора [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [https://www.hmong.press/wiki/Phasor\\_measurement\\_unit](https://www.hmong.press/wiki/Phasor_measurement_unit) (дата обращения: 07.05.2020).
5. A. Alzakkar and I. Valeev, “Harmonics and their impact in determining the method of reactive power compensation in electrical grids,” Int.Conf.on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, 2020.



6. N. Mestnikov, A. Alzakkar, I. Valeev, “Assessment of the Performance of the Solar Power Plant with a Capacity 150W,” International Russian Automation Conference (RusAutoCon). – IEEE, pp. 404–408, 2021.

УДК 681.5

## ОБЗОР И АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СПОСОБОВ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ВЕРТИКАЛЬНЫХ ФЕРМАХ

<sup>1</sup>Баширов Азамат Анзоривич, <sup>2</sup>Сандаков Виталий Дмитриевич  
<sup>1,2</sup>КГЭУ, г. Казань  
bu-bu-bu-bu@mail.ru<sup>1</sup>, vitalysandakov@gmail.com<sup>2</sup>

В статье приводится пример автоматизации вертикальной фермы компании AeroFarms, анализируются технические решения проектирования и автоматизации на ферме.

**Ключевые слова:** автоматизация, проектирование, вертикальная ферма, освещение, спектр света, искусственный интеллект, машинное зрение.

## REVIEW AND ANALYSIS OF EXISTING METHODS OF AUTOMATION OF TECHNOLOGICAL PROCESSES ON VERTICAL FARMS

Bashirov Azamat Anzorivich<sup>1</sup>, Sandakov Vitaly Dmirtrievich<sup>2</sup>  
<sup>2</sup>FSBEI HE "KSPEU", Kazan  
bu-bu-bu-bu@mail.ru<sup>1</sup>, vitalysandakov@gmail.com<sup>2</sup>

The article provides an example of the automation of a vertical farm by AeroFarms, analyzes the technical solutions for designing and automating the farm.

**Keywords:** automation, design, vertical farm, lighting, light spectrum, artificial intelligence, machine vision.

Степень автоматизации вертикальных ферм, в первую очередь, зависит от объёма инвестиций и занимаемой площади. Так, для малых, зачастую используемых для выращивания на собственные нужды, по площади вертикальных ферм автоматизация будет являться необоснованно дорогой с большим сроком окупаемости. В тоже время, крупных агрохолдингах грамотная автоматизация процессов — это основа всей деятельности. Для больших по площади ферм, а соответственно с большим годовым доходом, не составляет труда окупить вложенные, даже значительные, средства на обеспечение качественной автоматизации [1].

Рассмотрим пример автоматизации своих вертикальных ферм американской компанией AeroFarms. Компания занимается выращиванием

сельскохозяйственных культур в большом объеме без использования почвы. В качестве среды передачи растениям питательных веществ выступает специальный распыленный туман, с концентрированными питательными веществами, содержащимися в нём. Специальный раствор распыляется в каждой секции, за счёт чего достигается значительная (до 95%) экономия в водных ресурсах.

Для автоматизации данного способа питания растений используются централизованная система смешивания реагентов (непосредственно вода, удобрения, микроэлементы и т.п.); система повышения давления для обеспечения достаточной силы распыления, чтобы достать самые удалённые от точки распыления корни; совокупность клапанов для регулирования места подачи аэрозоля. Соответственно, управление должно включать в себя датчики давления для того, чтобы исключить опасное для труб и трубных соединений давление смеси, устройства перемешивания подготовленных реагентов в водной среде.

Используя всё вышеперечисленное достигается автоматизированная подача по временным промежуткам, по указанию оператора, по сигналам с датчиков - любым запрограммированным способом. Также, следует программное предусмотреть контроль утечки (потерю давления) в напорной трубе во избежание аварийных ситуаций на производстве [2].

AeroFarms выращивает свои продукты в полностью закрытых от солнца условиях. Для обеспечения растений достаточным уровнем света, компания использует местное светодиодное освещение. Над каждой секцией монтируется специально подготовленный светодиодный светильник. В зависимости от отделения фермы, эти светильники бывают исключительно белого спектра, или со встроенными фиолетовыми линиями светодиодов. Это необходимо для более эффективного роста и развития растений, которым на протяжении всей жизни требуется различное освещение. Благодаря таким встройкам на определённых участках возможен сбор большей массы урожая в гораздо более сжатые (до 2-ух раз) сроки.

Работа освещения растений привязана к определённому «рецепту» - совокупности установленных параметров микроклимата, настраиваемых в зависимости от сорта растения. Таким образом можно на практике получить наиболее подходящие параметры для каждого определённого вида растения. В таком случае, автоматика освещения растений подчиняется этим алгоритмам «рецептов» и изменяет количество, спектр, интенсивность освещения в зависимости от сорта растения и периода его развития. В результате такого управления освещением можно как

использовать наиболее успешные алгоритмы управления, так и немного отклоняться от них, для того чтобы найти новые, ещё более удачные сочетания параметров. Благодаря изменению характеристик освещения растений на протяжении всей его жизни, удаётся регулировать как размер и биомассу растения; так и влиять на содержание в нём определённых микроэлементов, тем самым изменяя его вкус и пользу для организма; на текстуру и рельеф листьев и даже на специфически созданные узоры на них. Не стоит забывать о том, что правильное освещение способствует более быстрому созреванию растения, а, как следствие, сбору большего урожая за одно и то же время.

Управление освещением может осуществляться разными способами и зависят, в основном, от установленного светильника. Можно управлять как частотой ШИМ-модуляции светодиодов, так и изменять непосредственно спектр их излучения в случае RGB-светодиодов. Способ их управления может быть также совершенно различным, от использования сигналов, переданных по беспроводной сети для управления процессором самого светильника (для более совершенных и дорогих моделей) до использования простого управления напряжением, поданным к светодиодам[3].

На своих комплексах компания AeroFarms активно внедряет технологии искусственного интеллекта для более точного контроля технологических процессов. Благодаря сотрудничеству с NokiaBellLabs, на фермах используются передовые технологии машинного зрения и обработки визуальной информации с камер или специальных летающих дронов, которые собирают 2D или 3D информацию в виде изображений растений, что позволяет узнавать о качестве развития вплоть до каждого отдельно взятого растения. Таким способом можно на ранней стадии выявлять паразитов, болезни, повреждения растений; получать информацию о цветении или созревании и т.д. Вся информация от дронов передаётся по частной 5G сети для обработки на месте или в облачных структурах для ускорения процесса [4].

Анализируя системы автоматизации вертикальных ферм крупных компаний, можно прийти к выводу, что при большом бюджете активно внедряются передовые технологии, которые позволяют без участия человека управлять технологическим процессом предприятия. Для организации передачи данных внедряются самые скоростные беспроводные сети, что позволяет избавиться от большого количества

проводных коммуникаций, но, в то же время, накладывает более серьезные обязательства по охране информации. Использование беспроводных датчиков тоже играет большую роль в обеспечении «чистой» автоматизации.

Для управления двигателями, клапанами, насосами, освещением всё же используют проводные коммуникации для обеспечения надёжности и качества выходного сигнала. Очень распространённая практика - установка на двигатели устройств плавного пуска или преобразователя частот для исключения скачкообразных переходных процессов и возможности более точного управления, что важно, если при постоянно включённом оборудовании продолжительное время могут возникать аварийные ситуации.

На крупных фермах обеспечивается скрупулёзный контроль температуры и содержания углекислого газа в помещении. Это осуществляется с помощью автоматизированных промышленных систем кондиционирования, которые, при правильном управлении, обеспечивают стабильные воздушный поток определённой температуры и установленную концентрацию углекислого газа. Иногда могут устанавливаться специальные промышленные увлажнители для поддержания комфортной для растений среды, которые управляются напрямую с ПЛК при выходе показаний датчика, измеряемого влажность воздуха, за рамки, установленные оператором[5].

### Список литературы

1. Жежера Н.И. Объекты систем автоматического управления. Учебное пособие / Н.И. Жежера. – Инфра-Инженерия, 2021. – 244 с.
2. <https://www.aerofarms.com/how-we-grow/>
3. <https://www.grosvenor.com/food-agtech/aerofarms>
4. <https://www.aerofarms.com/2021/08/05/aerofarms-and-nokia-unveil-partnership-for-next-generation-ai-enabled-plant-vision-technology/>
5. В.Б. Трофимов. Интеллектуальные автоматизированные системы управления технологическими объектами. / В.Б. Трофимов., С.М. Кулаков. – Инфра-Инженерия, 2016. – 232 с.

## РАЗРАБОТКА УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ КОМПАНИИ «АЛЬБАТРОС»

<sup>1</sup>Баширов Мусса Гумерович, <sup>2</sup>Хафизов Алик Мусаевич, <sup>3</sup>Алехин Андрей Вячеславович,  
<sup>4</sup>Сайтов АрсланРафисович  
<sup>1, 2, 3, 4</sup>Институт нефтепереработки и нефтехимии ФГБОУ ВОУГНТУ в г. Салавате  
<sup>1</sup>eapp@yandex.ru, <sup>2</sup>alikh\_hafizov@mail.ru, <sup>3</sup>koektovich@mail.ru, <sup>4</sup>s.arslan0@mail.ru

Основной целью данной работы является разработка учебно-исследовательского комплекса на основе интеллектуальных средств автоматизации компании «Альбатрос» для закрепления практических навыков работы с устройствами измерения уровня и температуры, а также настройки и эксплуатации контроллера со встроенным ПИД - регулятором. Основные результаты: разработан учебно-исследовательский комплекс для закрепления практических навыков работы с устройствами измерения уровня и температуры, а также настройки и эксплуатации контроллера со встроенным ПИД - регулятором; разработан цифровой двойник физического стенда; обеспечена возможность дистанционного проведения лабораторных работ на цифровом двойнике физического стенда, обеспечена возможность получения студентами практических навыков работы с отечественным оборудованием в рамках программы импортозамещения; создан задел для применения технологии дополненной реальности с целью расширения функциональных возможностей физического стенда путем его дополнения виртуальным двойником.

**Ключевые слова:** стенд, измерение уровня, измерение температуры, контроллер, блок сопряжения с датчиками, термопара, Arduino, Tracemode

## TRAINING AND RESEARCH COMPLEX BASED ON INTELLIGENT AUTOMATION TOOLS OF THE COMPANY «ALBATROS»

<sup>1</sup>Bashirov MoussaGumerovich, <sup>2</sup>Khafizov AlikMusaevich, <sup>3</sup>Alekhin Andrei Vyacheslavovich,  
<sup>4</sup>Saitov ArslanRafisovich  
<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup>Institute of Oil Refining and PetrochemistryFSFEI HEUSPTU in Salavat  
<sup>1</sup>eapp@yandex.ru, <sup>2</sup>alikh\_hafizov@mail.ru, <sup>3</sup>koektovich@mail.ru, <sup>4</sup>s.arslan0@mail.ru

The main goal of this work is to develop the settings of the educational research complex based on the intelligent communication facilities of the Albatroscompany to consolidate practical skills in working with level and temperature measurements, as well as operating the controller with a PID controller reset. Main results: a developed training and research complex to consolidate practical skills in working with level and temperature measurements, as well as operation and a PID controller with emissions; a digital twin of the physical stand was developed;the possibility of remote laboratory work on the digital twin of the physical stand is provided, provided the opportunity for students to gain practical skills using domestic technologies, within the framework of the created import substitution programs;created a groundwork for the use of augmented reality technology in order to expand the functionality of the physical stand by supplementing it with a virtual twin.

**Keywords:** stand, level measurement, temperature measurement, controller, sensor interface unit, thermocouple, Arduino, Trace mode.

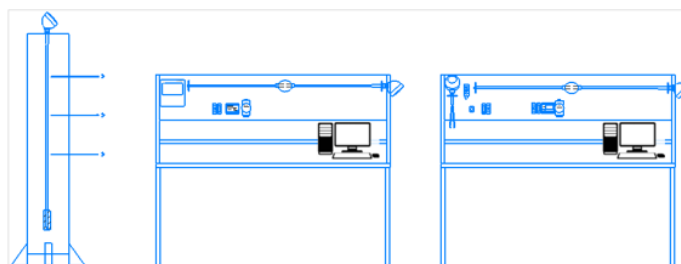
В настоящее время цифровые технологии играют ключевую роль в повышении конкурентоспособности экономики и стимулирования экономического роста, повышении производительности труда в связи с переходом к Industry 4.0. Больше внимания уделяется взаимодействию физического мира и виртуального мира производства. В энергетике и нефтегазовом производстве приобретают популярность цифровые двойники, которые являются виртуальными прототипами физических объектов и предназначены для моделирования их поведения. С их помощью возможно достичь оптимизации всего производственного процесса.

В связи с этим возникла потребность в специалистах по АСУ ТП, имеющих практические умения и навыки работы с цифровыми двойниками. Для подготовки таких специалистов учебные заведения должны иметь лабораторные стенды, позволяющие учащимся получить эти умения и навыки. Полученные при разработке цифровых двойников математические модели, в дальнейшем можно применять в составе систем усовершенствованного управления технологическим процессом (как компоненты интеллектуальной системы управления).

При изучении систем автоматического управления теоретические знания должны подкрепляться лабораторно-практическими занятиями по решению типовых задач из области промышленной автоматизации на стендах-тренажерах[1, 2].

Новизна работы заключается в том, что учебно-исследовательский комплекс содержит как физические отечественные технические средства контроля, измерения, управления, так и их виртуальные двойники. Данный физический лабораторный стенд в совокупности с его виртуальным двойником позволит студентам получать теоретические знания и практические навыки монтажа, ремонта и эксплуатации средств контроля, измерения, управления, научиться работать в виртуальной среде современных систем автоматического управления.

Для расширения функциональных возможностей учебно-исследовательский стенд разделен на три части.



1. Эскиз учебно-исследовательского стенда

В первой части обучающемуся предлагается рассмотреть процесс контроля температурного режима жидкости в емкости и регистрации её изменения с помощью нескольких датчиков: верхней, средней и нижней частях емкости. Для этого крышку сосуда вмонтированы два многозонных измерителя температуры (ДТМ3 и ДТМ2). Показания с первого измерителя (ДТМ3) поступают на контроллер А-17, а данные с измерителя ДТМ2 сначала поступают на блок сопряжения с датчиком, и после преобразования сигнала при помощи специализированного модуля “Adam 4520” (RS – 232 / RS – 485), поступают на персональный компьютер, где имеется возможность рассмотреть тренд изменения температурного режима в специализированном приложении от компании «Альбатрос» – «Гамма Professional».

Во второй части стенда студенту предлагается изучить работу поплавкового магнитострикционного уровнемера компании “Альбатрос”. Обучающийся имеет возможность получить опыт работы с блоком сопряжения с датчиками, освоить навыки по настройке и калибровке уровнемера.

Третья часть стенда посвящена изучению студентами систем АПС (аварийно-предупредительной сигнализации) и ПАЗ (противоаварийной автоматической защиты), схемы технических средств системы предупредительной сигнализации изменения уровня среды. Данная система состоит из вибрационного сигнализатора уровня СУР-10, поста светозвуковой сигнализации, а также кнопки проверки световой и звуковой сигнализации.

Созданный учебно-исследовательский комплекс также будет использован на курсах повышения квалификации специалистов предприятий энергетики и нефтегазового производства, может быть рекомендован для использования в вузах и колледжах, реализующих основные профессиональные образовательные программы в области управления технологическими процессами в энергетике и нефтегазовом производстве. Дальнейшим развитием проекта будет доработка учебно-исследовательского комплекса для использования в процессе реализации основных профессиональных образовательных программ бакалавриата и магистратуры по направлению подготовки «Электроэнергетика и электротехника», в частности при реализации магистерской программы "Интеллектуальные средства и системы управления, защиты и диагностики электроэнергетических комплексов". Учебно-исследовательский комплекс позволит учащимся приобрести умения и навыки совместного использования отечественных и зарубежных программно-технических

комплексов при реконструкции и модернизации систем автоматического управления [3, 4].

### Список литературы

1. Баширов М.Г. Лабораторный комплекс на основе микропроцессорных средств компании «ОВЕН» / М.Г. Баширов, Д.Ш. Акчурин, Н.А. Кислицын // Южно-сибирский научный вестник – 2021. – С. 110-114

2. Баширов М.Г. Учебный имитационно-моделирующий комплекс на основе программных и технических средств отечественной компании ОВЕН / М.Г. Баширов, И.В. Прахов, Н.А. Кислицын, Д.Ш. Акчурин // «Интеграция науки и образования в ВУЗах нефтегазового профиля – 2020» – 2020. – С. 191-194.

3. Баширов М.Г. Цифровой двойник учебного стенда на основе программных средств компании «ОВЕН» / М.Г. Баширов, Д.Ш. Акчурин, Н.А. Кислицын // «Наука. Технология. Производство - 2021» – 2021.

4. Костиков И.И. Разработка лабораторного стенда на основе технологического процесса нагрева печи с использованием промышленного отечественного программируемого логического контроллера «БАЗИС-100»/ И.И. Костиков, К.Г. Николаев, М.Г. Баширов, И.В. Прахов // Наука. Технология. Производство: Материалы Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – 2021. – С. 426-429.

УДК 621.311

## РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ХАРАКТЕРНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПРИВОДОМ

<sup>1</sup>Баширов Мусса Гумерович, <sup>2</sup>Чурагулов Данис Гаязович, <sup>3</sup>Волкова Ольга Геннадиевна,

<sup>4</sup>Савченко Данила Андреевич, <sup>5</sup>Хисамов Наиль Артурович

<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup>Институт нефтепереработки и нефтехимии ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» филиал в г. Салавате

<sup>1</sup>eapp@yandex.ru, <sup>2</sup>danis.ch.g@mail.ru, <sup>3</sup>olya2700@list.ru,

<sup>4</sup>danil\_savchenko2000@mail.ru, <sup>5</sup>nail.hisamov@bk.ru

Основной целью работы является разработка программно-аппаратного комплекса для моделирования характерных повреждений и режимов работы насосных агрегатов и интеллектуальной системы идентификации их технического состояния по значениям параметров высших гармоник токов и напряжений двигателей электропривода. В программно-аппаратном комплексе используется электромагнитный спектральный метод диагностики насосных агрегатов. Этот метод основан на анализе



параметров высших гармонических составляющих токов и напряжений, генерируемых двигателем электропривода, при этом двигатель выступает и как объект диагностики, совместно с рабочим механизмом, и как высокочувствительный датчик, регистрирующий все изменения в техническом состоянии и режимах работы всего агрегата. Основные результаты: разработан программно-аппаратный комплекс для моделирования характерных повреждений и режимов работы насосных агрегатов; разработана интеллектуальная система идентификации характерных повреждений и режимов работы насосных агрегатов по значениям параметров высших гармоник токов и напряжений, генерируемых двигателем электропривода.

**Ключевые слова:** электромагнитный спектральный метод, электрический привод, диагностика насосных агрегатов, частотные модели, гармонический анализ.

## **DEVELOPMENT OF A HARDWARE AND SOFTWARE COMPLEX FOR MODELING CHARACTERISTIC DAMAGES OF PUMP UNITS WITH ELECTRIC DRIVE**

<sup>1</sup>Bashirov Moussa Gumerovich, <sup>2</sup>Churagulov Denis Gayazovich, <sup>3</sup>Volkova Olga Genadievna, <sup>4</sup>Savchenko Danila Andreevich, <sup>5</sup>Khisamov Nail Arturovich  
<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup> Institute of Oil Refining and Petrochemistry Ufa State Petroleum Technical University branch in Salavat  
<sup>1</sup>eapp@yandex.ru, <sup>2</sup>danis.ch.g@mail.ru, <sup>3</sup>olya2700@list.ru, <sup>4</sup>danil\_savchenko2000@mail.ru, <sup>5</sup>nail.hisamov@bk.ru

The main purpose of the work is to develop a software and hardware complex for modeling characteristic damages and operating modes of pumping units and an intelligent system for identifying their technical condition by the values of the parameters of the higher harmonics of currents and voltages of electric drive motors. The software and hardware complex uses the electromagnetic spectral method of diagnostics of pumping units. This method is based on the analysis of the parameters of the higher harmonic components of currents and voltages generated by the electric drive motor, while the motor acts both as a diagnostic object, together with the working mechanism, and as a highly sensitive sensor that registers all changes in the technical condition and operating modes of the entire unit. Main results: a software and hardware complex has been developed for modeling characteristic damages and operating modes of pumping units; An intelligent system has been developed for identifying characteristic damages and operating modes of pumping units based on the values of the parameters of the higher harmonics of currents and voltages generated by the electric drive motor.

**Keywords:** electromagnetic spectral method, electric drive, diagnostics of machine units, frequency models, harmonic analysis.

Насосные агрегаты с электрическим приводом состоят из большого количества электрических и механических элементов, являются сложными объектами с точки зрения оценки технического состояния, прогнозирования ресурса и поддержания в исправном техническом состоянии. Неисправность любого элемента агрегата может привести к его отказу. Наиболее распространенными электрическими неисправностями являются межвитковые замыкания, замыкания обмоток на корпус, обрыв обмотки, а также межфазные короткие замыкания. К механическим

неисправностям насосных агрегатов относятся износ подшипников, ослабление крепления к фундаменту, эксцентриситет ротора, несоосность электродвигателя и рабочего механизма, повреждения рабочего колеса и крыльчатки обдува электродвигателя.

Электромагнитный спектральный метод диагностики основан на анализе параметров спектров гармонических составляющих токов и напряжений, генерируемых двигателем электропривода насосных агрегатов. Более подробная информация об этом методе представлена в ранее опубликованных работах [1, 2].

Для измерения параметров гармонических составляющих фазных токов и напряжений двигателей электропривода используется измеритель показателей качества электрической энергии (ПКЭ) PowerMaster MI 2885. Обработка измеренных параметров фазных токов и напряжений электродвигателя осуществляется согласно алгоритму работы измерителя ПКЭ с использованием его программного обеспечения. Данные из внутренней памяти измерителя MI 2885 передаются в персональный компьютер при помощи кабеля по интерфейсам USB.

Гармонический анализ фазных токов и напряжений электродвигателя осуществляется с использованием быстрого преобразования Фурье, в результате этого фазные токи и напряжения представляются в виде суммы синусоидальных сигналов основной частоты и синусоидальных сигналов с частотами, кратными основной. В компьютер программно-аппаратного комплекса поступают результаты параллельных измерений параметров гармоник фазных токов и напряжений двигателя электропривода, специально разработанная программа анализирует результаты измерений, отфильтровывает помехи, поступающие из электрической сети. Подготовленная информация анализируется с помощью искусственной нейронной сети, разработанной на основе программных продуктов «Оценка технического состояния электрооборудования на основе интегральных параметров» и «Диагностика взрывозащищенных агрегатов по значениям параметров гармонических составляющих токов и напряжений электропривода», которая распознает характер и оценивает степень поврежденности основных элементов агрегата, определяет техническое состояние всего агрегата [2, 3].

Для обучения нейронной сети распознаванию характерных повреждений и режимов работы насосных агрегатов обычно создаются реальные физические дефекты насосного агрегата. Но этот метод является очень длительным и трудоемким, поэтому более эффективным методом

обучения нейронной сети является использование компьютерных моделей характерных повреждений и режимов работы насосных агрегатов [4]. В качестве программного пакета моделирования использовали COMSOL Multiphysics. В программном пакете COMSOL Multiphysics применяются численные методы математического анализа и моделирования, основанные на дифференциальных уравнениях в частных производных (PDE) и методе конечных элементов (FEM).

Компьютерные модели характерных повреждений и режимов работы насосных агрегатов позволяют более глубоко изучать их природу и влияние на техническое состояние всего агрегата. В программном пакете Comsol Multiphysics можно создать модели различных электрических и механических неисправностей как электродвигателя, так и всего насосного агрегата, выполнить анализ результатов исследования моделей.

Создание базы моделей типовых повреждений насосных агрегатов позволяет проследить процессы, протекающие в электромагнитном поле двигателя от момента зарождения дефекта до наступления предельного состояния агрегата. Нейросетевой анализ вызванных повреждениями агрегата искажений топографии магнитного поля в воздушном зазоре электродвигателя и их взаимосвязи с параметрами генерируемых высших гармонических составляющих фазных токов и напряжений служит основой для оценки технического состояния и прогнозирования ресурса насосных агрегатов [5].

### Список литературы

1. Bashirov M., Nemirovskiy A., Gracheva E. Experimental study of the relationship between the technical state of a power transformer and the parameters of the higher harmonic components of currents and voltages generated by it // Lecture Notes in Civil Engineering, 2021, 141, p. 155–166
2. Баширов, М.Г. Интеллектуальная система управления техническим состоянием и энергетической эффективностью машинных агрегатов нефтегазового производства с электрическим приводом / М.Г. Баширов, Д.Г. Чурагулов // Промышленная энергетика. – 2019. – № 6. – С. 32-41.
3. Патент на изобретение RU 2431152 С2. Способ диагностики механизмов и систем с электрическим приводом. Кузеев И.Р., Баширов М.Г., Прахов И.В., Баширова Э.М., Самородов А.В.
4. Баширов, М.Г. Моделирование неисправностей в электроприводе с

асинхронными двигателями и исследование влияния неисправностей на спектры токов и напряжений / М.Г. Баширов, Н.К. Попов, А.Ю. Овчинникова, П.А. Иванов, Е.П. Канарев // TheScientificHeritage. 2021. № 64-1 (64). С. 33-38.

5. Миронова И.С. Интегральные параметры для оценки технического состояния двигателей электропривода машинных агрегатов нефтегазовых производств / И.С.Миронова, М.Г. Баширов, Э.Ф.Касимова // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 3. С. 33.

УДК 621.311

## **ПРИМЕНЕНИЕ УСТРОЙСТВ БАВР В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ДВИГАТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКОЙ**

<sup>1</sup>Быков Никита Сергеевич, <sup>2</sup>Самолина Ольга Владимировна, <sup>3</sup>Шаповалов Сергей Владимирович

<sup>1-3</sup>Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти, Россия  
<sup>2</sup>helga@mail.ru, <sup>3</sup>s.shapovalov2@tltsu.ru

В статье рассмотрен вопрос повышения надежности электроснабжения потребителей на промышленном предприятии. В случае нарушения питания, необходимо как можно быстрее подключить потребителей через резервный источник. Как правило, это выполняется с помощью устройства автоматического ввода резерва. В результате исследования установлено, что устройства автоматики в сетях с большим количеством двигателей срабатывают медленнее, чем необходимо. Это может привести к затруднению самозапуска электродвигателей, и, следовательно, к остановке технологического процесса. Предложено для устранения простоев, вызванных медленным срабатыванием АВР применять быстродействующий автомат ввода резерва.

**Ключевые слова:** система электроснабжения предприятия, автоматический ввод резерва, электродвигатель, нарушение электроснабжения, распределительное устройство, трансформаторные подстанции.

## **APPLICATION OF BAVR DEVICES IN POWER SUPPLY SYSTEMS WITH MOTOR LOAD**

<sup>1</sup>Nikita Sergeevich Bykov, <sup>2</sup>Olga Vladimirovna Samolina,  
<sup>3</sup>Shapovalov Sergey Vladimirovich

<sup>1-3</sup>Togliatti State University, Togliatti, Russia  
<sup>2</sup>helga@mail.ru, <sup>3</sup>s.shapovalov2@tltsu.ru

The article considers the issue of improving the reliability of power supply to consumers at an industrial enterprise. In case of power failure, it is necessary to connect consumers via a backup source as soon as possible. As a rule, this is done using an automatic reserve input device. As a result of the study, it was found that automation devices in networks with a large number of motors operate slower than necessary. This can lead to difficulty in self-starting electric motors, and, consequently, to a stop of the technological

process. It is proposed to use a high-speed automatic reserve input to eliminate downtime caused by slow activation of the AVR.

**Keywords:** enterprise power supply system, automatic reserve input, electric motor, power supply disruption, switchgear, transformer substations.

Любые нарушения электроснабжения приводят к простою сложного технологического оборудования, потери составляют десятки и сотни миллионов рублей ежегодно. Для бесперебойного электроснабжения каждая трансформаторная подстанция 35/6/0,4 кВ оборудуются устройствами АВР (автоматического ввода резерва), срабатывающими в случае аварии. На крупных предприятиях установлены тысячи таких устройств. Однако, это иногда не обеспечивает непрерывности производства, так как время работы обычного АВР составляет 0,5 – 5 сек., а отключение технологических линий происходит при прерывании электроснабжения в течении 0,06...0,08 сек [1].

Если есть распределительные устройства (РУ), а это может быть РУ-0,4 кВ, РУ-6,3 кВ, РУ-10,5 кВ, то у этого распределительного устройства есть секции. Эти секции питают, в свою очередь, всевозможные нагрузки: двигатели синхронные и асинхронные (СД и АД), трансформаторы и трансформаторные подстанции, сборки сварки, освещения и прочие ответственные и не очень ответственные механизмы.

Секций обычно насчитывается от двух до десяти. У каждой секции есть ввод рабочего и резервного питания. Вариантов схем ввода питания и резерва, возможно, много, но существуют стандартные, повторяющиеся от объекта к объекту.

В сетях промышленных предприятий преимущественно присутствуют два варианта схем ввода резерва: либо у каждой секции свой ввод рабочего питания и между ними секционный выключатель (неявный резерв), либо у каждой секции по рабочему и резервному вводу. Резервные вводы «собираются» вместе и далее следуют к резервному трансформатору собственных нужд (РТСН). Такой вид ввода называется явный резерв [2].

Главное назначение устройства АВР заключается в обеспечении бесперебойного питания электроэнергией потребителей. Для этого система АВР должна отслеживать состояние основной линии. И при выявлении нарушений переходить на подачу электроэнергии потребителю от резервного ввода. При этом процесс восстановления электропитания должен происходить максимально быстро. Еще один важный момент – разрыв основной сети должен происходить до подключения резервной

линии. Обо всех изменениях устройство АВР должно информировать с помощью индикации параметров.

Избежать простоев, вызванных медленным срабатыванием АВР, позволяет инновационное отечественное оборудование – Быстродействующий Автомат Ввода Резерва – БАВР. Для применения быстродействующего автоматического ввода резерва система электроснабжения должна соответствовать ряду критериев: готовность к работе вне зависимости от параметров сети и иных вводных; блокирование включения резерва при наличии напряжения на распределительных шинах и при действующем коротком замыкании; при падении напряжения на резервной линии переключение на нее не допускается.

Многие системы БАВР работают на основе значительного превышения сигнала на разрыв/подключение. В ячейке выключателей расположена конденсаторная батарея, на базе которой работает индукционно-динамическое устройство ускорения. В нормальном режиме оно запасает энергию и по команде БАВР на катушки включения/выключения подает повышенное напряжение [3].

Анализ статистических данных показал, что самые частые провалы в сетях трехфазного тока напряжением 0,4 кВ проявляются на временных отрезках до 1 с при остаточном напряжении 70-90%, и на промежутках от 0,5 до 1 с при остаточном напряжении меньше 40%. «Усредненное распределение провалов напряжения по влияющим на них факторам длительности и остаточного напряжения» показаны на рисунке 1 [4].

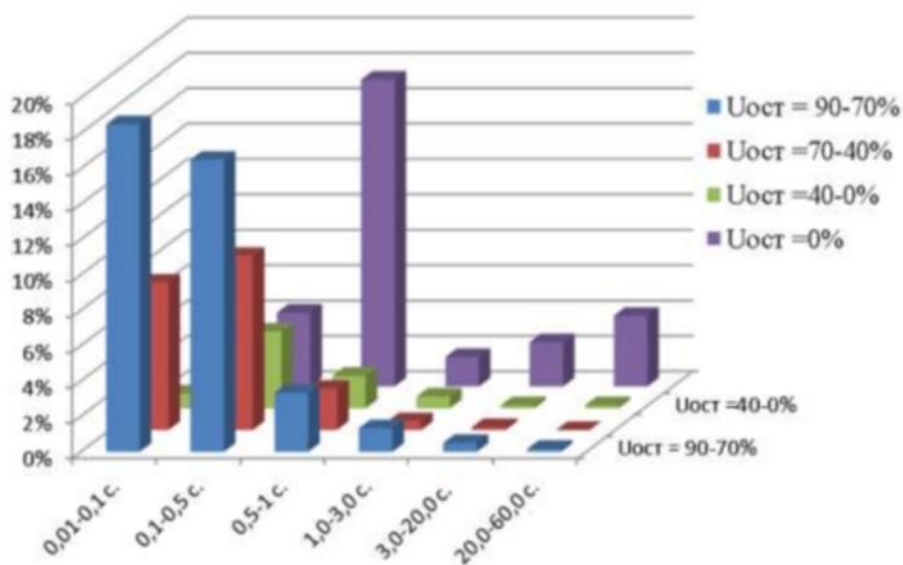


Рис. 1. Распределение провалов напряжения по факторам

Внедрение БАВР в сетях 0,4 кВ позволит распознать аварийный режим и своевременно подать команду на переключение за минимально возможное время, т.е. от 3 до 9 миллисекунд; получить время переключения, позволяющее сохранить нагрузку в рабочем состоянии; работать при несимметричных коротких замыканиях в энергосистеме напряжением 220 кВ, контролируя направление мощности в специально предназначенном для этого реле на базе угла максимальной чувствительной способности; работать без привязки к используемым системам релейной защиты и автоматики. В составе БАВР можно дополнительно реализовать защиту МТЗ, ТО, ЗМН [5]; восстанавливать нормальный режим работы без участия обслуживающего персонала; сохранять события, происходившие в сети вплоть до 1000 срабатываний БАВР для последующего анализа возникших ситуаций и предотвращения нарушения питания в энергосистеме; уменьшить пусковые токи. Вместо стандартных  $5-7 I_{ном}$  это будут  $2-3 I_{ном}$ . Помимо этого, уменьшение пусковых токов увеличивает время непрерывной работы электродвигателей и насосов и их сроки службы; оставляет остаточное напряжение на высоком уровне, как и прежде; повышает успешность самозапуска, при этом повышается успешность самозапуска всех механизмов собственных нужд, а не только ответственных механизмов; обеспечивает непрерывный технологический процесс без перебоев в поставке питания. Блок-схема взаимодействия устройств БАВР представлена на рисунке 2.

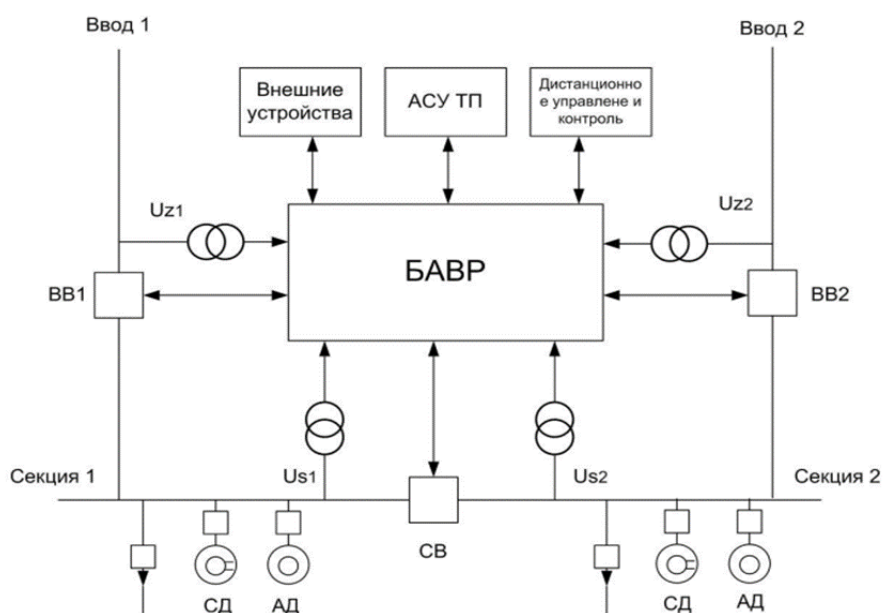


Рис. 2. Блок-схема взаимодействия устройств БАВР

## Список литературы

1. Чершова В.О. Контроль устойчивости узлов двигательной нагрузки электрических сетей в режиме реального времени: автореф. дис..канд. тех. наук: 05.14.02 / Чершова Валерия Олеговна – Новосибирск, 2016. 23 с.
2. Автоматический ввод резерва: назначение, устройство, схемы работы, описание, компания Chint-electric; URL: <https://orensbyt.ru/avtomatizatsiya/avr-chto-eto-takoe-rasshifrovka-ustrojstvo-varianty-shem-avr.html>
3. Баширов М.Г. Анализ параметров и характеристик при выборе устройств быстродействующего автоматического ввода резерва (БАВР) для систем электроснабжения предприятий нефтегазовой отрасли / М.Г. Баширов, А.С. Кузнецов, С.А. Саблин // Нефтегазовое дело: электронный научный журнал, 2013, С. 1–19.
4. Глазырин А. С. Разработка и лабораторное апробирование метода идентификации параметров электродвигателей на основе разностных схем / А. С. Глазырин, Е. В. Боловин // Изв. Томск.политехн. ун-та. – Томск, 2012. – Т. 321, № 4. – С. 112–115.
5. БАВР 0,4 кВ. НПК «Энергетическое оборудование» [Электронный ресурс] URL:<https://mig-energo.ru/avr-mig/bavr-04-kv/>.  
УДК 621.311

## ТЕСТОВАЯ МОДЕЛЬ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА С УЧЕТОМ НАСЫЩЕНИЯ ЕГО МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ

<sup>1</sup>Вахнина Вера Васильевна, <sup>2</sup>Пудовинников Роман Николаевич  
<sup>1,2</sup>Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти, Россия  
<sup>1</sup>VVVahnina@yandex.ru

Моделирование электросетей для исследования влияния геомагнитных возмущений требует разработки дополнительных моделей силовых трансформаторов, в которых учитываются эффекты насыщения при протекании геомагнитно-индуцированных токов в заземленных обмотках высокого напряжения. В статье предложена тестовая модель силового трансформатора с учетом нелинейности ветви намагничивания.

**Ключевые слова:** модель, силовой трансформатор, магнитная система, геомагнитно-индуцированный ток, ветвь намагничивания, ток намагничивания.



## A POWER TRANSFORMER TEST MODEL OF TAKING INTO ACCOUNT THE SATURATION OF ITS MAGNETIC SYSTEM

<sup>1</sup>Vakhnina Vera Vasilievna, <sup>2</sup>Pudovinnikov Roman Nikolayevich

<sup>1,2</sup>Togliatti State University, Togliatti, Russia

<sup>1</sup>VVVahnina@yandex.ru

Power grid simulation to study the geomagnetic disturbances require the development of enhanced models of power transformers magnetic system, which take into account the saturation effects during the flow of geomagnetically induced currents through the grounded high voltage windings. The article proposes a power transformer test model with magnetization branch nonlinearity.

**Keywords:** simulation model, power transformer, magnetic system, geomagnetically induced current, magnetization branch, magnetization current.

Моделирование, как один из методов анализа воздействия геомагнитных возмущений на электроэнергетическую систему, позволяет исследовать устойчивость систем передачи. При повышенной солнечной активности, происходят направленные на Землю выбросы корональной массы, которые индуцируют медленно меняющееся геоэлектрическое поле, вызывающее геомагнитно-индуцированные токи (ГИТ) в проводящих системах с низким омическим сопротивлением, например, в заземленных обмотках высокого напряжения высоковольтных силовых трансформаторов (СТ)[2]. ГИТ могут вызвать длительное насыщение магнитных систем СТ и увеличить потребление реактивной мощности на процессы намагничивания. Повышенные токи намагничивания являются несинусоидальными и могут привести к ложному срабатыванию систем релейной защиты и автоматики [4,5]. Стандартные модели силовых трансформаторов не позволяют учитывать процессы насыщения магнитной системы при протекании ГИТ. Требуется разработка тестовой модели СТ, позволяющей учесть особенности моделирования функционирования силовых трансформаторов и электроэнергосистемы в целом при геомагнитных возмущениях любой длительности протекания.

Предлагаемая тестовая модель СТ позволяет учесть воздействие на силовой трансформатор ГИТ и формируется путём дополнения известной Г-образной схемы замещения силового трансформатора [1] схемой замещения заземляющего устройства с плавающим потенциалом. В модели (Рис. 1) учитывается возможность насыщения магнитной системы силового трансформатора под воздействием геомагнитного возмущения, используя кусочно-линейную аппроксимацию характеристики намагничивания с одной точкой излома.

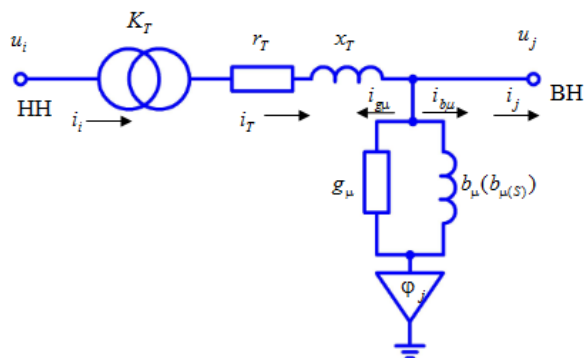


Рис. 1. Тестовая модель однофазного двухобмоточного силового трансформатора

Параметры тестовой модели рассчитываются по известным выражениям, приведенным в [1]. Потенциал заземляющего устройства  $\varphi_j$  определяется величиной возмущающего воздействия. При отсутствии ГИТ принимаем  $\varphi_j = 0$ . Условием изменения реактивной проводимости ветви намагничивания вида  $b_\mu \rightarrow b_{\mu(s)}$  служит увеличение тока намагничивания до и более значения тока насыщения  $I_s$ , и условием изменения вида  $b_{\mu(s)} \rightarrow b_\mu$  служит уменьшение тока намагничивания до и менее значения тока насыщения  $I_s$ . Пример диалогового окна ввода и редактирования параметров СТ представлен на Рис. 2.

В Таблице представлены дифференциальные уравнения, уравнения баланса токов и логические условия изменения реактивной проводимости ветви намагничивания, описывающие тестовую модель однофазного двухобмоточного силового трансформатора Рис. 1.

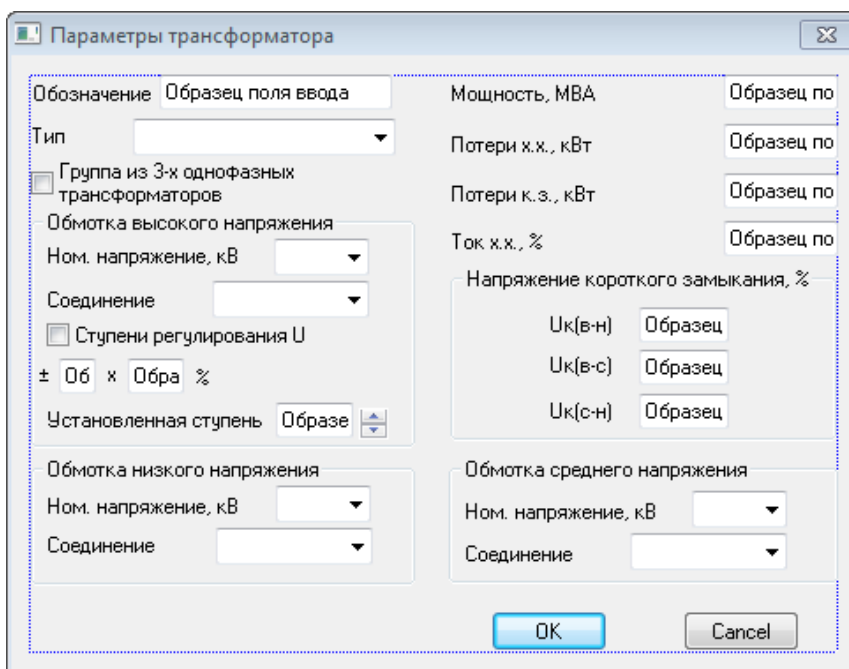


Рис. 2. Диалоговое окно ввода и редактирования параметров трансформатора

Уравнения тестовой модели однофазного двухобмоточного силового трансформатора, приведенной на Рис. 1

Дифференциальные уравнения переходного процесса	
изменения тока обмотки высокого напряжения	$\frac{di_T}{dt} = \frac{\omega_{ном}}{x_T} \cdot (K_T \cdot u_i - u_j - r_T \cdot i_T)$
изменения тока намагничивания	$\frac{di_{b\mu}}{dt} = \omega_{ном} \cdot (\alpha \cdot b_{\mu(S)} + \bar{\alpha} \cdot b_{\mu}) \cdot [u_j - \varphi_j - R_j \cdot (i_T - i_j)]$
Уравнения баланса токов	
$i$ -го узла	$i_j = i_T - i_{b\mu} - i_{g\mu}$
$j$ -го узла	$i_i = K_T \cdot i_T$
активной составляющей тока холостого хода	$i_{g\mu} = \frac{g_{\mu}}{1 + R_j \cdot g_{\mu}} \cdot [(u_j - \varphi_j) - R_j \cdot i_{b\mu}]$
Логические условия	
изменения реактивной проводимости ветви намагничивания	$\alpha = \begin{cases} 1 & \text{при } i_{b\mu} \geq I_s \\ 0 & \text{при } i_{b\mu} < I_s \end{cases}$

Моделирование выполнено в программном комплексе MATLAB[3] на примере включения силового трансформатора ТДЦ200000-220/15,75 на синусоидальное напряжение при номинальной нагрузке ( $r_H = r_{ном}$ ). Для тестовой модели ток насыщения  $I_s$  принят равным 90% от тока холостого хода СТ. Ток холостого хода в относительных единицах для исследуемого трансформатора  $i_x = 0,004$ . Кривая тока через ветвь намагничивания (Рис. 3) – несинусоидальная, в кривой тока присутствуют высшие гармоники, причем характер кривой (характерные пики) свидетельствует о преобладании четных гармоник, т.е. магнитная система трансформатора насытилась.

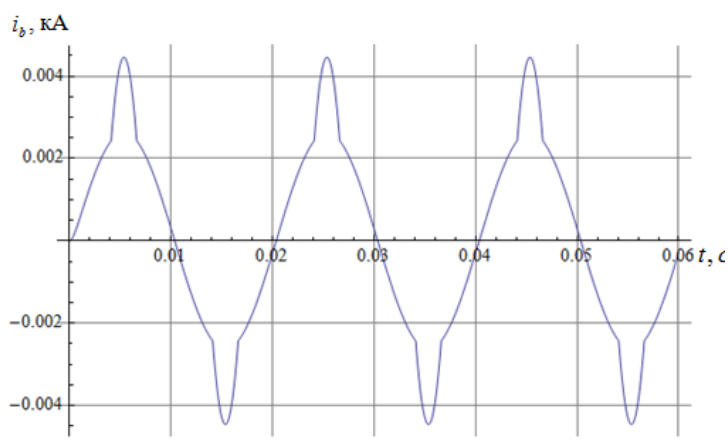


Рис. 3. Результаты моделирования тока через ветвь намагничивания для силового трансформатора ТДЦ 200000-220/15,75

По результатам моделирования при включении силового трансформатора ТДЦ 200000-220/15,75 с учетом насыщения магнитной системы на синусоидальное напряжение в режим номинальной нагрузки ( $r_n=r_{ном}$ ), можно сделать вывод о хорошей верификации разработанной модели силового трансформатора –при насыщении магнитной системы форма тока  $i_{b\mu}$  через ветвь намагничивания несинусоидальная, в кривой тока присутствуют пики, характерные для тока намагничивая в насыщенном состоянии.

### Список литературы

1. Силовые трансформаторы : справочная книга / под ред. С.Д. Лизунова, А.К. Лоханина. М. :Энергоиздат, 2004. 616 с.
2. Скопинцев В.А., Маркитанов Д.В. Влияние космических факторов на повреждаемость в электрических сетях // Энергетик. 2012. № 10. С.8-11.
3. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB. SimPowerSystems и Simulink. М.: ДМКПресс, 2012. 288 с.
4. Boteler D.H. Geomagnetic hazards to conduction networks // Natural Hazards 28. 2003. P. 537-561.
5. Kappenman J.G., Albertson V.D. Bracing for the Geomagnetic Storm // IEEE Spectrum. 1990. Vol. 28, № 3. P. 27-33.

УДК 621.317.791

## ВОПРОСЫ О СОЕДИНЕНИИ ШАГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В ЕДИНУЮ СИСТЕМУ

Галиев Сайдаш Ниязович  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
saidash3030@mail.ru

В этой статье рассмотрен один из шаговых двигателей, к которому подобран драйвер. Для работы был использован микроконтроллер. Далее все составляющие были соединены в одну единую систему. Написан алгоритм, который проверял работоспособность двигателя, а именно поворот ротора на заданные углы. Рассмотрена возможность подключить к схеме дополнительно несколько шаговых двигателей и обеспечения их независимой друг от друга работы.

**Ключевые слова:** шаговый двигатель, модуль драйвера, схема подключения шагового двигателя

## QUESTIONS ABOUT CONNECTING STEPPER MOTORS INTO A SINGLE SYSTEM

Galiev Saidash Niyazovich  
FSBEI HE "KSPEU", Kazan  
saidash3030@mail.ru

This article discusses one of the stepper motors to which the driver is selected. A microcontroller was used for operation. Then all the components were combined into one single system. An algorithm was written that tested the performance of the engine, namely the rotation of the rotor at specified angles. It is considered possible to connect several additional stepper motors to the circuit and ensure their independent operation from each other.

**Keywords:** stepper motor, driver module, stepper motor connection diagram

Шаговые двигатели успешно применяются в самых разнообразных устройствах. Они имеют особенности, которые определяют их свойства при использовании в специализированных областях: управляя шаговым двигателем с помощью специального устройства (драйвер шагового двигателя), можно поворачивать его вал на строго заданный угол [1]. Это позволяет применять его там, где требуется высокая точность перемещений [2]. Например, их можно применить в качестве привода на станках для точной работы, на транспортных линиях, в принтерах и т.д [3]. В настоящее время выпускается множество различных типов шаговых двигателей. Важен не только сам двигатель, но и правильный выбор схемы драйвера, алгоритм его работы, который зачастую определяется программой микроконтроллера [4]. Одним из важных вопросов является то, что при соединении большого количества шаговых двигателей в единую систему, получаются громоздкие схемы, содержащие большое количество драйверов и управляющих плат.

В описанной схеме использовался шаговый двигатель 28BYJ-48. Шаговый двигатель представляет собой электрическую машину, где импульсное питание током приводит к перемещению роторной части на определенный угол [5-7]. Минимально возможный угол перемещения шагового двигателя, называется шагом [8].

Для управления шаговым двигателем 28BYJ 48 используют один из двух режимов подключения.

- 1) полношаговый режим – 4 ступени импульсов на 1 шаг;
- 2) полушаговый режим – 8 ступени импульсов на 1 шаг; используется, когда необходимо двукратное увеличение количества шагов на один оборот ротора.

Шаговый двигатель 28BYJ 48 для своей работы требует 5-12В питания. Первоначально к плате Arduino подается питание из внешнего источника

через кабель USB, либо через разъем 5,5 x 2,1 мм. К последнему можно подавать 7-12В питания. Далее пин 5В на плате подключается к пину 12В (5-12В) драйвера, а пин GND – 5В (GND) драйвера. Таким образом наш шаговый двигатель получает требуемое питание для запуска и стабильной работы[9].

Для работы с платой Arduino и запуска шагового двигателя будет использована программа Arduino IDE.

Для подключения, например, второго шагового двигателя, помимо него, потребуется второй модуль драйвера ULN2003, а также беспаячная плата Breadboard [10].

Поскольку плата Arduino имеет 14 пинов, то можно подключить 3 двигателя, так как один двигатель занимает 4 пина

Для управления большим количеством двигателей нужно использовать расширитель портов PCF8574, данная микросхема позволяет увеличить количество портов на 8 штук, а если подключить несколько микросхем PCF8574, можно увеличить до 64 портов [11].

При таком подключении микроконтроллер не может обеспечить полноценную работу всех двигателей, возникает проблема нехватки питания на шаговые двигатели. Для решения этой задачи будут использованы батарейки типа АА. Одному шаговому двигателю хватает двух батареек, подключенных последовательно. Для демонстрации работы достаточно 3-х вольт питания на каждый двигатель.

Программная часть должна учитывать работу каждого двигателя. Как пример метод для 3 шаговых двигателей.

```
stepper $
// подключается библиотека
#include <CustomStepper.h>
CustomStepper stepper1(0, 1, 2, 3); //указываются пины,
к которым подключен драйвер условно первого двигателя
CustomStepper stepper2(4, 5, 6, 7); //указываются пины,
к которым подключен драйвер условно второго двигателя
CustomStepper stepper3(8, 9, 10, 11); //указываются пины,
к которым подключен драйвер условно третьего двигателя
```

#### Объявление методов

Таким образом, для шагового двигателя 28BYJ-48 был подобран драйвер ULN2003, а также был использован микроконтроллер, в роли которого была выбрана плата Arduino. Был написан алгоритм, с помощью которого проверялась работоспособность и управляемость двигателей. Для

управления большим количеством двигателей был использован расширитель портов РСF8574, а также дополнительные источники питания

### Список литературы

1.Кацман М. М. Электрические машины: учебник для студ. учреждений сред.проф. образования 12-е изд. М. : Издательский центр "Академия", 2013. - 496 с.

2.Микропроцессорное управление электроприводами станков с ЧПУ / Э. Л. Тихомиров, В. В. Васильев и др. - М. : Машиностроение, 1990 - 320с.

3.Иванов - Смоленский А. В. Электрические машины. В 2-х т. Том 1 : Учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Издательство МЭИ, 2004. 656 с

4.Быстродействующие электроприводы постоянного тока с широтно-импульсными преобразователями. / М. Е. Гольц и др. - М. : Энергоиздат, 1986 - 184с.

5.Емельянов А. В., Шилин А. Н. Шаговые двигатели. Учеб. пособие / ВолгГТУ. – Волгоград, 2005. – 48 с.

6.Автоматизированные электроприводы с широтно-импульсными преобразователями. / М. Е. Гольц и др. - М. : Энергоатомиздат, 1972 - 112с.

7.1.1: Overview of Motion Control Systems Advanced Optimization for Motion Control Systems / Ma, Jun ; Li, Xiaocong ; Tan, Kok Kiong // United States : CRC Press, Taylor & Francis Group. p. 182.

8.Кенио Такаши. Шаговые двигатели и их микропроцессорные системы управления : Пер. с англ., М. : Энергоатомиздат, 1987 - 199с.

9.Arduino for Beginners. Step-by-Step Guide to Arduino / Simon Knight // Independently published, 2018. p - 114.

10."1.1: Overview of Motion Control Systems". Advanced Optimization for Motion Control Systems / Ma, Jun ; Li, Xiaocong ; Tan, Kok Kiong // United States : CRC Press, Taylor & Francis Group. p. 182.

11. Arduino for Beginners. Step-by-Step Guide to Arduino / Simon Knight //Independently published, 2018. p - 114

УДК 631.171+662.767.2

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ БИОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ В УНИВЕРСАЛЬНОЙ СРЕДЕ ПРОГРАММИРОВАНИЯ CODESYSV3.5**

<sup>1</sup>Семёнов Димитрий Германович, <sup>2</sup>Иванова Вилия Равильевна

В статье представлено решение, которое позволяет устранить сразу несколько проблем предприятий пищевой промышленности и сельского хозяйства: экономическую, энергетическую и экологическую. Это возможно благодаря автоматизированной биогазовой установке, система автоматизации которой будет описана в данной статье.

На выходе из биогазовой установки мы получаем 2 продукта: метан и высококачественные удобрения. Процесс получения данных продуктов состоит из следующих этапов: подготовка сырья – загрузка – анаэробное сбраживание – выделение биогаза – очистка от примесей – получение метана. Отработанная биомасса служит удобрением для сельскохозяйственных культур.

Решение экологической проблемы. Как правило хранение органических отходов проводится на открытом воздухе. При этом в атмосферу выделяются метан и углекислый газ, которые являются причиной глобального потепления. Также происходит загрязнение почвы. Она становится непригодной для использования, и присутствует угроза загрязнения грунтовых вод и отравления людей.

Решение энергетической проблемы. Метан, который является продуктом биогазовой установки, может служить топливом для электрогенератора, что позволит получать электрическую и тепловую энергию для покрытия нужд предприятия.

Решение экономической проблемы:

1. Генерация электрической и тепловой энергии позволяет существенно экономить средства на закупку энергоресурсов. В случае возникновения излишек, энергии можно продавать.

2. Продажа удобрений приносит хорошую прибыль.

3. На вывоз и хранение отходов необходимы денежные средства, которые можно сэкономить в случае использования биогазовой установки, так как отходы будут преобразовываться в удобрение и использоваться в сельском хозяйстве.

4. За загрязнение окружающей среды налагаются штрафы, которые можно будет избежать.

**Ключевые слова:** биогазовая установка, автоматизация, CoDeSys, альтернативная энергетика, энергия биомасс, переработка, метан, органические удобрения, сельское хозяйство, пищевая промышленность.

## **AUTOMATION OF A BIOGAS PLANT IN THE UNIVERSAL PROGRAMMING ENVIRONMENT CODESYS V3.5**

<sup>1</sup>Semenov Dimitriy Germanovich, <sup>2</sup>Ivanova Viliya Ravilyevna  
Kazan State Power Engineering University, Kazan  
<sup>1</sup>sdg-20@bk.ru, <sup>2</sup>vr-10@mail.ru

The article presents a solution that allows you to eliminate several problems of food industry and agriculture enterprises at once: economic, energy and environmental. This is possible thanks to an automated biogas plant, the automation system of which will be described in this article.

At the outlet of the biogas plant, we get 2 products: methane and high-quality fertilizers. The process of obtaining these products consists of the following stages: preparation of raw materials – loading – anaerobic digestion – biogas extraction – purification from impurities – methane production. The spent biomass serves as fertilizer for agricultural crops.



Solving an environmental problem. As a rule, the storage of organic waste is carried out outdoors. At the same time, methane and carbon dioxide are released into the atmosphere, which are the cause of global warming. Soil contamination also occurs. It becomes unusable, and there is a threat of groundwater contamination and poisoning of people.

The solution of the energy problem. Methane, which is a product of a biogas plant, can serve as fuel for an electric generator, which will allow obtaining electrical and thermal energy to cover the needs of the enterprise.

Solving the economic problem:

1. Generation of electric and thermal energy allows you to significantly save money on the purchase of energy resources. If there is a surplus, energy can be sold.

2. The sale of fertilizers brings a good profit.

3. Money is needed for the removal and storage of waste, which can be saved in the case of using a biogas plant, since the waste will be converted into fertilizer and used in agriculture.

4. Fines are imposed for environmental pollution, which can be avoided.

**Keywords:** biogas plant, automation, CoDeSys, alternative energy, biomass energy, recycling, methane, organic fertilizers, agriculture, food industry

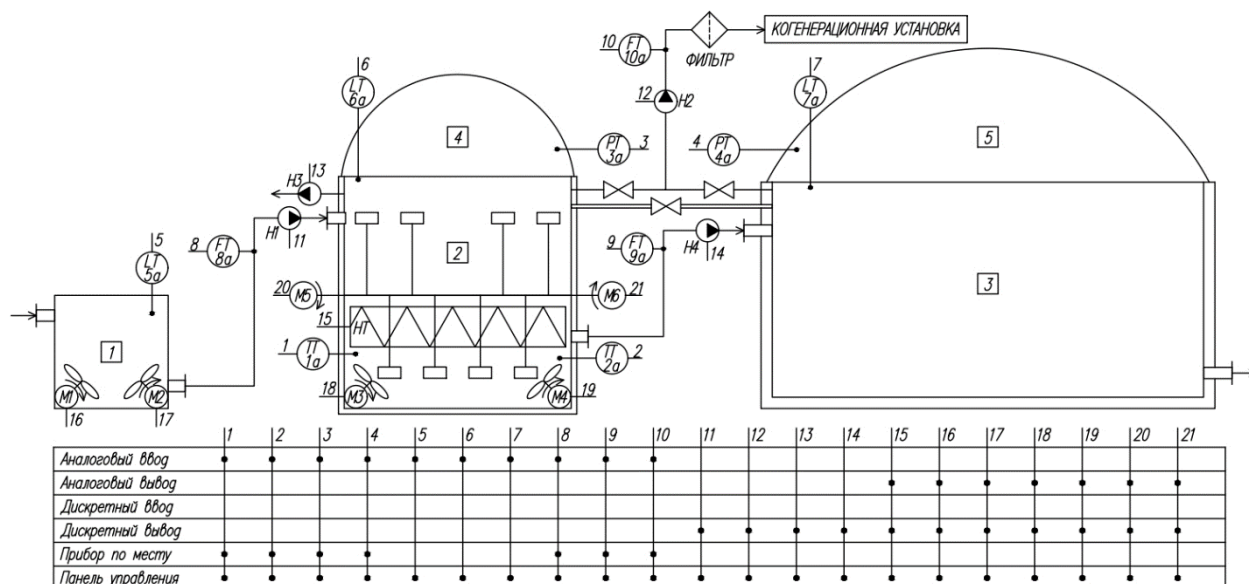
В последние десятилетия необходимость перехода на возобновляемые источники энергии становится все острее. По прогнозам аналитиков, при сохранении нынешних объемов потребления энергии, запасов традиционных ископаемых видов топлива (нефти и природного газа) хватит чуть больше чем на 60 лет. Такие Прогнозы подталкивают весь мир к переходу на альтернативные источники энергии. Разработка новых технологий и совершенствование существующих становятся жизненно необходимыми.

Данная работа посвящена модернизации системы биогазовой установки и ее автоматизации. Опишем принцип работы биогазовой установки на основе функциональной схемы автоматизации, показанной на рисунке.

В резервуар подготовки 1 загружаются органические отходы пищевой или сельскохозяйственной промышленности. В данной емкости проводится предварительная подготовка биомассы. В емкости биомасса хорошо перемешивается с помощью мешалок М1, М2 и начинается первичный процесс сбраживания, при котором выделяется большой объем углекислого газа. Объем данного резервуара составляет 3-5 суточных порций для создания буфера. Для предотвращения перегрузки, в емкости устанавливается ультразвуковой уровнемер LT(5a).

Далее биомасса с перекачивается в биореактор 2 с помощью насоса Н1. В биореакторе создаются благоприятные условия для анаэробного сбраживания посредством подогрева системой отопления НТи регулярного перемешивания мешалками М3-М6. Используется 2 типа мешалок: высокооборотные лопастные М3, М4 и низкооборотные горизонтальные

М5, М6. Для контроля и регулирования мощности обогрева, в биореакторе устанавливается система датчиков температур ТТ (1а, 2а), которые подают данные на программируемый логический контроллер ПЛК. Также для контроля уровня субстрата в биореакторе устанавливается уровнемер ЛТ (6а).



Функциональная схема автоматизации БГУ.

После проведения основного этапа анаэробного сбраживания в биореакторе, отработанный субстрат перемещается в камеру дображивания 3 с помощью насоса Н4. В данном резервуаре производится длительное хранение субстрата до момента последующей выгрузки. В камере дображивания тоже устанавливается уровнемер ЛТ (7а). Биогaz, выделившийся из биомассы скапливается в метантенках 4 и 5. В них так же устанавливаются датчики давления РТ (3а, 4а), сигнал от которых идет на ПЛК и включает насос Н2, который перекачивает биогаз в когенерационную установку после очистки в фильтре. При повышении давления выше нормы, срабатывает автоматическая система стравливания и активируется насос Н3, который выводит газ в атмосферу и газ сжигается с помощью горелки.

Предложенный алгоритм автоматизации технологического процесса и управления БГУ позволяет осуществлять:

- автоматическое регулирование температуры в биореакторе,
- автоматический запуск электродвигателя перемешивающего устройства,
- автоматический пуск насосов,

- стравливание газа из биореактора в случае повышения давления выше установленных значений в газгольдере биореактора или камеры дображивания,
- контроль уровня биомассы,
- звуковую и световую сигнализацию.

### Список литературы

1. Иванова В.Р., Денисова А.Р., Семенов Д.Г. Разработка алгоритма эффективного управления основными элементами электротехнической системы биогазового оборудования // Промышленная энергетика. 2020. №8 С. 17-25.
2. Рудаков А.И., Ханафиев А.Х. Разработка конструкции шнекового устройства для транспортировки и очистки сельскохозяйственных материалов / Вестник Казанского государственного аграрного университета, 2011. Т. 6. № 4 (22). С. 91-93.
3. Червонченко, С. С. Исследование работы автономного электротехнического комплекса с комбинированным составом резервных источников питания / С. С. Червонченко, В. Я. Фролов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2022. – Т. 24. – № 4. – С. 90-104. – DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-4-90-104. – EDN CLPHBD.
4. Ivanova V.R., Denisova A.R., Ivanov I.Y. Automation and control of the main elements of the electrotechnical system of biogas equipment // 2020 International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems (ICOECS) USATU, Ufa, Russia P. 190-195.
5. Lubentsov V., Ozhogova E., Lubentsova E., Shakhray E. Selection and justification of priority tasks of biogas plant management taking into account technological risks. E3S Web of Conferences, 2021, vol. 285, pp. 1-7.
6. D. Ajay abilash, P. Kayalvizhi, R. Rakesh, S. Balamurugan. Automation in biomethanation plant using PLC and SCADA. International Journal of Bio-Science and Bio-Technology, 2016, vol. 8, no. 2, pp. 171-180.

УДК 681.5

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ПОЖАРОТУШЕНИЯ

<sup>1</sup>Казмирук Лев Олегович, <sup>2</sup>Сандаков Виталий Дмитриевич  
ФГБОУ ВО «КГЭУ» г. Казань

<sup>1</sup>lev.kazmiruki@mail.ru, <sup>2</sup>vitalysandakov@gmail.com

В работе представлено сравнение основных характеристик существующих систем автоматизации противопожарного водопровода, а также выявление их основных недостатков.

**Ключевые слова:** насосная станция, шкаф автоматизированного управления, приёмно-контрольный прибор.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF AUTOMATED FIRE EXTINGUISHING SYSTEMS

<sup>1</sup>Kazmiruk Lev Olegovich, <sup>2</sup>Sandakov Vitaly Dmirtrievich  
FSBEI HE «KSPEU»с. Kazan  
<sup>1</sup>lev.kazmiruki@mail.ru

Comparison of the main characteristics of existing fire-fighting water supply automation systems, as well as identification of their main disadvantages.

**Keywords:** pumping station, automated control cabinet, receiving and control device.

На сегодняшний день наиболее популярными производителями систем противопожарной автоматики являются компании «RUBEZH» и «BOLID». Проведем их сравнительный анализ для выбора системы при проектировании гражданских зданий на примере станции пожаротушения с основным и резервным пожарными насосами и двумя пожарными задвижками на вводах в насосную станцию.

При работе с «RUBEZH» управление станции пожаротушения строится по блочному принципу. Такое решение даёт возможность автоматизировать почти любую станцию пожаротушения, для управления насосами используются универсальные шкафы управления ШУН/В, где каждый шкаф отвечает за управление отдельным насосом то есть для каждого насоса потребуется закупить по одному шкафу. Точно так же дело обстоит со шкафом управления задвижкой ШУЗ. Все шкафы и адресные приборы такие как извещатели и оповещатели при этом объединяются при помощи адресной линии связи и сводятся на приёмно-контрольный прибор Рубеж 2ОП в котором задаётся логика работы станции пожаротушения и через который осуществляется дистанционный контроль состояния станции пожаротушения, обмен данными между адресными приборами осуществляется по протоколу R3, который поддерживает до 255 адресных устройств в сети [1].

Положительных сторон построения по такому принципу систем автоматизации достаточное количество для широкого применения, из них:

– На базе унифицированных шкафов автоматизированного управления ШУН/В и ШУЗ можно автоматизировать любую станцию пожаротушения, на базе универсального оборудования, предложенного производителем.

– Шкафы связываются с приёмно-контрольным прибором по адресной линии связи по протоколу R3 что позволяет гибко настроить взаимодействие пожарной сигнализации и системы пожаротушения.

– Имеется возможность гибко настроить сценарий запуска пожарной насосной станции[5].

Однако у данного решение есть недостаток. Система не имеет возможности отключения насосов при превышении давления в противопожарном водопроводе что может привести к его повреждению.

Управление пожарными насосами на базе оборудования «BOLID» строится так же по блочному принципу, для управления пожарными насосами и задвижками применяются шкафы управления ШКП различных модификаций, для каждого агрегата требуется свой шкаф управления, но в отличии от ШУН/В и ШУЗ информация о состоянии агрегатов передаётся по не по адресной линии связи а по сигналу «Сухой контакт» (этот термин означает соединение либо разъединение токопроводящих материалов для замыкания или разрыва электрической цепи, при этом контакты не заземлены и на них нет потенциала)[4] на шкаф Поток-3Н в который задаётся логика работы насосной станции пожаротушения и от шкафа Поток-3Н информация о состоянии станции передаются на пульт контроля С2000М по интерфейсу RS-485[2].

Преимущества построения таких схем заключается в следующем:

– На базе шкафов автоматизированного управления ШКП и Поток-3Н можно автоматизировать почти любую пожарную насосную станцию, не меняя их конструкцию

– Имеется защита от запуска насоса при закрытых кранах на противопожарном водопроводе[3].

Подводя итог системы являются универсальными и подходят для автоматизации почти любой пожарной насосной станции, однако решение по автоматизации на базе «RUBEZH» является более надёжным за счёт того, что для связи между шкафами применяется адресная линия связи.

### Список литературы

1. Система противопожарной защиты RUBEZH:  
<https://td.rubezh.ru/download/pdf/Рубеж%20Каталог%202021%20Часть%201-%20Системы%20противопожарной%20защиты.pdf>;

2. Блок пожарный управления «поток 3Н»:  
[https://bolid.ru/files/373/566/potok\\_3n\\_rept\\_sep\\_21.pdf](https://bolid.ru/files/373/566/potok_3n_rept_sep_21.pdf);

3. Система управления водяным пожаротушением производства ЗАО НВП «БОЛИД»: [https://bolid.ru/files/373/566/shkp\\_4\\_et\\_2017.pdf](https://bolid.ru/files/373/566/shkp_4_et_2017.pdf);

4. ГОСТ Р 53325-2012. Технические средства пожарной автоматики. Общие технические требования и методы испытаний

5. СП 10.13.130. Системы противопожарной защиты внутренних противопожарный водопровод нормы и правила проектирования.

УДК 621.396

## О БЕСПРОВОДНОЙ ЗАРЯДКЕ АВТОМОБИЛЕЙ

<sup>1</sup>Мамаев Глеб Ильвирович, <sup>2</sup>Шириев Равиль Рафисович  
<sup>1,2</sup> ФГБОУ ВО КГЭУ, г. Казань  
<sup>1</sup>gleb-mamaev@rambler.ru, <sup>2</sup>shrr@list.ru

В работе приведено сравнение разных систем беспроводной зарядки. Рассмотрен принцип действия системы беспроводной зарядки электрокаров во время движения. Проведены расчеты элементов индукционной установки.

**Ключевые слова:** беспроводная зарядка, индукционные катушки, электрокар.

## ABOUT WIRELESS CAR CHARGING

<sup>1</sup>Mamaev Gleb Ilvirovich, <sup>2</sup>Shiriev Ravil Rafisovich  
<sup>1,2</sup>FSBEI HE "KSPEU", г.Казань  
<sup>1</sup>gleb-mamaev@rambler.ru, <sup>2</sup>shrr@list.ru

The paper compares different wireless charging systems. The principle of operation of the wireless charging system for electric cars while driving is considered. Calculations of the elements of the induction installation have been carried out.

**Keywords:** wireless charging, induction coils, electric car.

Беспроводная зарядка, также известная как беспроводная передача энергии, представляет собой технологию, которая передает электромагнитную энергию по воздуху от источника к приемнику без использования проводных соединений. Она применима к широкому спектру устройств, от маломощных электрических зубных щеток до электромобилей, и имеет неоспоримое преимущество в простоте использования. Сегодня эта технология, которая раньше была чистой теорией, находит все более широкое применение, воплощаясь в коммерческих продуктах. Его реализация особенно успешна на рынке портативных устройств, мобильных телефонов [1].

По сравнению с традиционным (проводным) способом зарядки беспроводная имеет ряд преимуществ: удобство для пользователей, которые избавятся от необходимости использовать несколько зарядных

кабелей для различных устройств; уменьшение размера устройств за счет использования батарей меньшего размера или даже полное их устранение; можно повысить защиту устройств от пыли и влаги; возможность обеспечить зарядку по требованию, что позволяет избежать перезарядки аккумуляторов и снижает затраты на электроэнергию.

Развитие технологий беспроводной зарядки идет по двум основным направлениям (рис.1) [2].



Рис. 1. Классификация технологий беспроводной зарядки

Примеры систем беспроводной передачи энергии представлены на рис. 2.

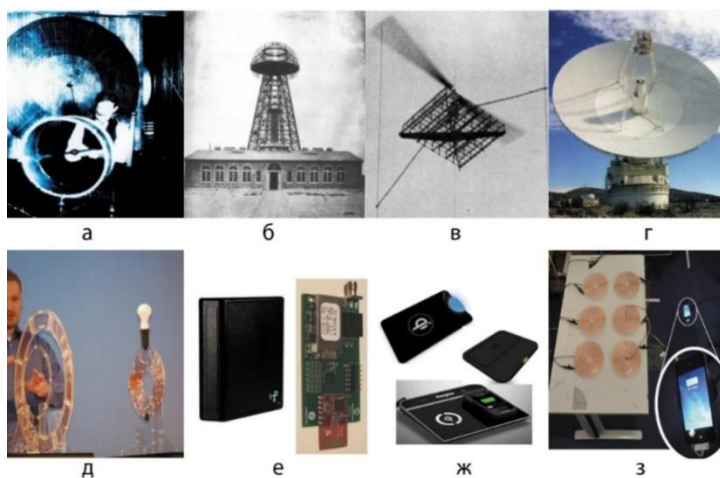


Рис. 2. Беспроводные системы передачи энергии: а) катушка Теслы; б) башня Ворденклифф; в) вертолет, работающий на беспроводном электричестве; г) обсерватория Голдстоун; д) система Witricity; е) приемник и передатчик Powercaster; ж) зарядные панели Qi; з) системы MIMO

Посредством индукционной связи можно заряжать подвижные объекты, например автомобили на электрической тяге. Такие исследования активно ведутся в Израиле, Швеции, Китае и Италии. Например, в Швеции на январь 2021 года завершено развертывание самой большой системы динамической беспроводной зарядки на дороге общего пользования в Готланде на 1,65 км. Электрический дальнемагистральный 40-тонный грузовик, оснащенный пятью беспроводными модулями мощностью 20



кВт, заряжался от дороги при движении с переменной скоростью до 60 км / ч на 200-метровом участке электрической дороги мощностью 70 кВт см. рис. 3 [3].



Рис.3. Беспроводная зарядка грузовика в Швеции

Наше предложение заключается в том, чтобы в качестве эксперимента модернизировать двухкилометровый участок трассы М7 на выезде из Казани индукционными катушками, вмонтированными в асфальт (рис. 4).

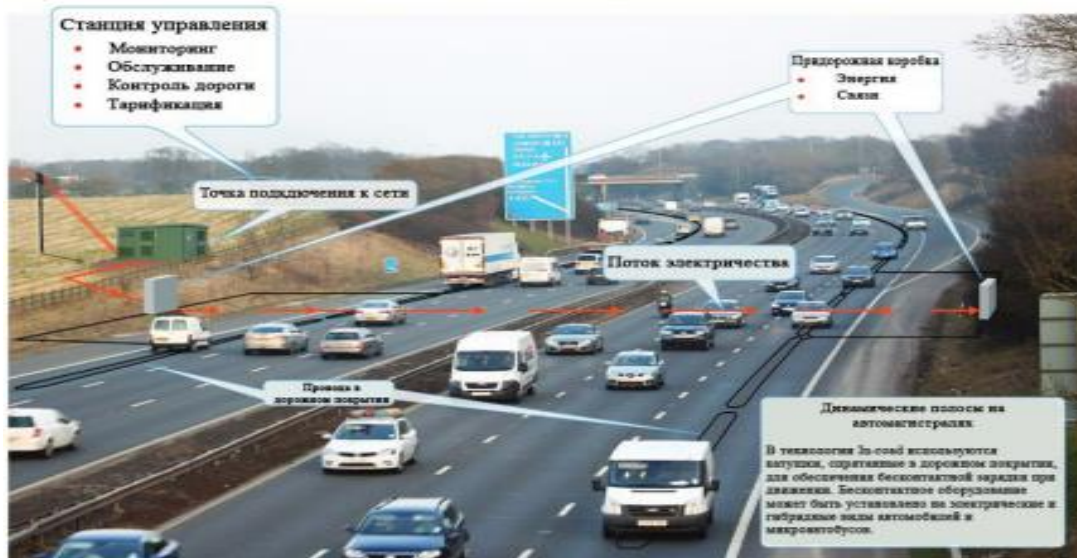


Рис.4. Устройство дороги с беспроводной зарядкой

Выбор пал именно на эту трассу, так как она является дорогой федерального значения, являющейся важной транспортной артерией, которая связывает европейскую часть России с Сибирью и Дальним Востоком, через которую ежедневно проходят тысячи большегрузов и легковых автомобилей. Республика Татарстан внимательно следит за состоянием дороги, в следствие чего на всей протяженности она находится



в прекрасном состоянии. Так как в начале трассы из Казани дорога имеет несколько полос, поэтому при ее модернизации заторов не возникнет.

В качестве индукционной катушки можно использовать, созданную инженерами Ок-Риджской национальной лаборатории (ORNL). Они разработали систему беспроводной зарядки мощностью 120 кВт для электромобилей [4]. Таким образом, им удалось практически в шесть раз увеличить номинальную мощность предыдущей технологии. Также значительно сократилось время беспроводной зарядки, что позволит новому устройству успешно конкурировать с традиционными заправочными бензоколонками.

При индуктивной передаче энергии отсутствует риск поражения электрическим током из-за оголенных проводов и отсутствия разъединяющих частей. Основная проблема заключается в том, что генерируемые магнитные поля могут быть вредными для человеческого организма. Необходимы дополнительные исследования.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мымрин С.П., Сергеев А.С. Экопарковки с возможностью беспроводной зарядки электромобилей как неотъемлемая часть городского пространства городов будущего smart city // [Химия. Экология. Урбанистика](#). 2021. Т. 2021-3. С. 39-43.

2. Пантюхин М.В., Рудаков А.И., Мухаматяров М.Р. Повышение эффективности беспроводной передачи энергии в сети промышленного питания // В сборнике: Фёдоровские чтения - 2021. LI международная научно-практическая конференция с элементами научной школы. 2021. С. 113-118.

3. Истомин А.В., Добрицына А.П., Ермолаева В.В. "Умные" дороги с беспроводной зарядкой для электромобилей // [Тенденции развития науки и образования](#). 2020. № 68-1. С. 22-24.

4. Электронный ресурс «Беспроводное зарядное устройство для электромобиля получило рекордную мощность в 120 кВт» [ecotechnica.com.ua/](https://ecotechnica.com.ua/)–Режимдоступа: <https://ecotechnica.com.ua/technology/3612-besprovodnoe-zaryadnoe-ustrojstvo-dlya-elektromobilya-poluchilo-rekordnuyu-moshchnost-v-120-kvt.html> - Дата доступа: 02.10.2021.

5. Оценка индекса устойчивости напряжения электрических сетей питающих зарядные станции электромобилей с применением многослойного персептрона / А. Альзаккар, Н. П. Местников, В. В.

Максимов, И. М. Валеев // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 2. С. 35-48. DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-2-36-49. EDN LJDNGG.

6. Сафин А.Р, Ившин И.В., Цветков А.Н., Петров Т.И., Басенко В.Р., Манахов В.А. Развитие технологии мобильных зарядных станций для электромобилей // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021. Т. 23. № 5. С. 100-114. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-5-3-100-114.

7. Шамарова, Н. А. Анализ методов оценки уровня заряда аккумуляторных батарей / Н. А. Шамарова // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2022. – Т. 14. – № 1(53). – С. 24-33. – EDN LOJLRC.

УДК 621.3.06

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СИГНАЛОВ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА В МОДЕЛИ ЛИНИИ С КОНДЕНСАТОРОМ**

Минаев Ильдар Айратович  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
enhtane@gmail.com

Большое количество работ посвящено волновому методу определения места повреждения в линиях электропередач[1-4]. Данный метод экспериментально регистрирует большое разнообразие сигналов переходного процесса. Эти сигналы вызываются разнообразными коммутационными процессами. Для практического использования информации заключенной в форме результирующего сигнала переходного процесса, необходимо их исследовать с помощью моделей. В данной работе было проведено исследование и сравнение сигналов напряжения переходного процесса, сгенерированных в модели линии электропередач с конденсатором в программной среде PSCAD.

**Ключевые слова:** модель линии, сигнал переходного процесса, PSCAD, конденсатор.

## **INVESTIGATION OF THE TRANSIENT SIGNALS IN A LINE MODEL WITH A CAPACITOR**

Minaev Ildar Ayratovich  
FSBEI HE "KSPEU", Kazan  
enhtane@gmail.com

A large number of works are devoted to the wave method of fault location in power lines [1-4]. This method experimentally registers a large variety of transient signals. These signals are caused by a variety of switching processes. For the practical use of the information contained in the form of the resulting transient signal, it is necessary to investigate them with

the help of models. In this paper, we investigated and compared the transient voltage signals generated in the power line model with a capacitor in the PSCAD software environment.

**Key words:** line model, transient signal, PSCAD, capacitor.

Целью работы является исследование и сравнение сигналов напряжения переходного процесса, при генерации плановой коммутации в начале модели ВЛ 10 кВ с конденсатором различной емкости в конце линии.

Генерация сигнала проводилась в модели линии электропередач в программной среде PSCAD. Модель ВЛ (рис. 1) представляла собой десять последовательно соединенных блоков однофазной линии из провода АС-95/16 длиной 10 км (см. рисунок). Начиная с нулевого километра, были установлены вольтметры через каждые 10 км. Для ЭДС использовался источник постоянного напряжения 10 кВ с внутренним сопротивлением 1 Ом и индуктивностью 1 мГн. К концу линии был подсоединен конденсатор. Емкость конденсатора менялась от 0,01 мкФ до 5 мкФ.

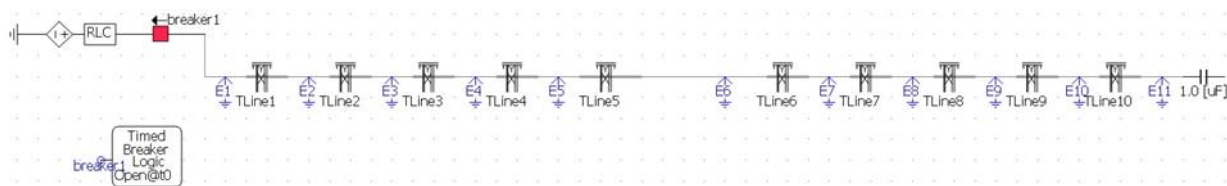
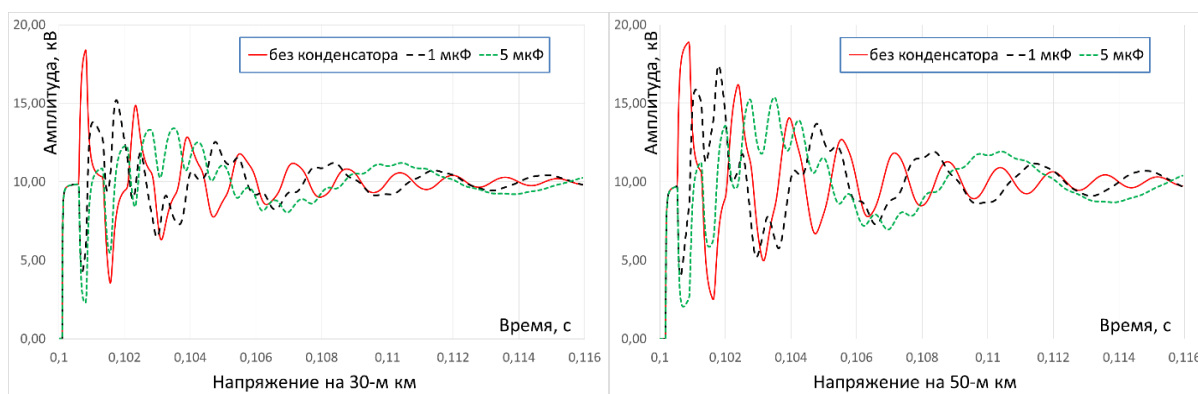


Рис. 1. Модель в PSCAD

В результате проведенного моделирования были получены осциллограммы напряжений для каждого участка ЛЭП (см. рисунок 2).



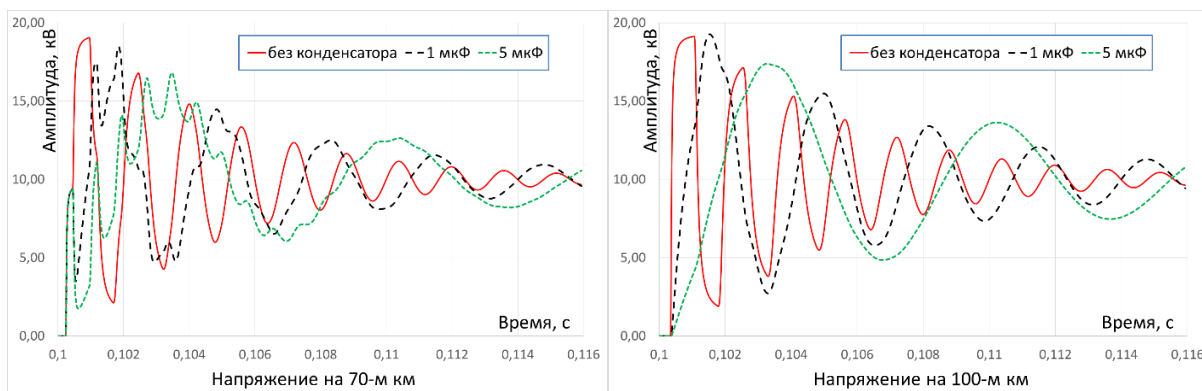


Рис. 2. Осциллограммы напряжения на разных участках линии

При плановой коммутации линии, происходит генерация ступени напряжения направленного от начала линии к месту соединения с конденсатором (см. рис. 2.)

Когда волна напряжения доходит до конденсатора, то он начинает заряжаться и напряжение на нем увеличивается по экспоненциальной зависимости. Также часть волны отражается обратно от неоднородности (конденсатора) [5] с отрицательным знаком (см. рис. 3).

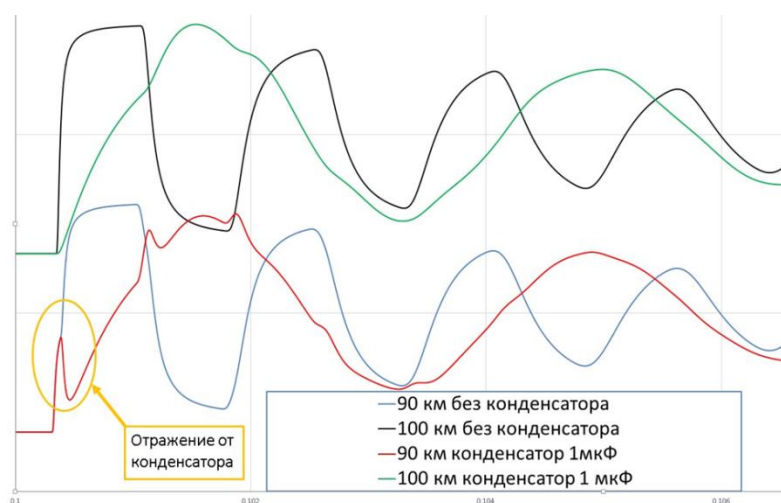


Рис. 3. Осциллограммы напряжения на разных участках линии

При сравнении с сигналом переходного процесса, в модели которого не было конденсатора, видно что они идентичны до того момента пока волна напряжения не достигнет конденсатора в конце линии.

В осциллограммах с конденсатором от 1 мкФ появляется высокочастотная (ВЧ) мода, период которой зависит от места расположения и вида неоднородности.

	Период моды, мкс				
	Без конденсатора	0,01 мкФ	0,1 мкФ	1 мкФ	5 мкФ
НЧ	1490	1505	1700	3500	7000
ВЧ	-	-	-	750	800

Из таблицы видно, что период низкочастотной (НЧ) моды при значениях конденсатора от 0 до 0,01 мкФ в основном зависит от длины линии и равен времени четырехкратного прохождения линии. Однако при дальнейшем увеличении емкости, период значительно увеличивается.

Проведённая работа позволила проанализировать влияние конденсатора в линии на поведение сигналов переходного процесса. Эти данные в дальнейшем можно будет применить при разработке алгоритмов работы комплексов волнового определения места повреждения для увеличения надежности их функционирования и увеличения информативности отображаемой информации.

### Список литературы

1. E. O. Schweitzer, A. Guzmán, M. V. Mynam, V. Skendzic, B. Kasztenny and S. Marx, "Locating faults by the traveling waves they launch," 2014 67th Annual Conference for Protective Relay Engineers, 2014, pp. 95-110, doi: 10.1109/CPRE.2014.6798997.

2. Куликов А.Л., Лоскутов А.А., Пелевин П.С. Алгоритм идентификации поврежденного участка на кабельно-воздушных линиях электропередачи на основе распознавания волновых портретов, *Электричество*, 2018, № 3, с. 11–17

3. Lachugin, V.F., Panfilov, D.I. & Smirnov, A.N. Travelling wave fault location in power transmission lines using statistic data analysis methods. *Therm. Eng.* 61, 985–991 (2014). <https://doi.org/10.1134/S0040601514130059>

4. R. G. Khuziashev, I. L. Kuzmin, I. I. Irkagalieva and A. M. Makletsov, "Algorithms for Determining The Essential Features of The Travelling Wave for Fault Location Purpose," 2021 3rd International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE), 2021, pp. 1-5, doi: 10.1109/REEPE51337.2021.9388008.

5. Зевеке Г.В., Ионкин П.А., Нетушил А.В. и др. Основы теории цепей: Учебник для вузов / 5-е изд., перераб., - М.: Энергоатомиздат, 1989 - 528с.

Б.Малёв Н.А., Погодицкий О.В, Чилиева М.Р., Имамиев А.Р.  
Алгоритм параметрической идентификации электропривода постоянного тока с применением инверсной модели // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021. Т. 23. № 6. С. 119-133. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-6-119-133.

УДК 621.313.320

## ПРОВЕРКА СЕЛЕКТИВНОСТИ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА PSS SINCAL

<sup>1,2</sup>Мухамадеев Э.И.,<sup>2</sup>Фетисов Л.В.

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

<sup>1</sup>muhamadeevei@energo-razvitie.ru

Распределительные сети, характеризующиеся большой протяжённостью, разветвленностью и сложностью построения, неизбежно влекут за собой сложности при расчете селективности срабатывания устройств релейной защиты. Используемые на сегодняшний день методы расчета селективности срабатывания устройств релейной защиты не имеют технической возможность оперативно рассчитать токи короткого замыкания на шинах трансформаторных подстанций, а также осуществить проверку селективности устройств релейной защиты и построить времятоковые характеристики терминалов релейной защиты.

**Ключевые слова:** Моделирование систем электроснабжения, цифровой двойник, токи короткого замыкания, программный комплекс, модернизация электрических сетей 6-35 кВ, PSS Sincal, терминалы релейной защиты, карта селективности устройств релейной защиты.

## CHECKING THE SELECTIVITY OF RELAY PROTECTION DEVICES USING THE PSS SINCAL SOFTWARE COMPLEX

<sup>1,2</sup>Mukhamadeev Emil Irekovich

<sup>1</sup>IC "EnergoRazvitie", <sup>2</sup>FGBOU VO "KSPEU", Kazan, Russia

<sup>1</sup>muhamadeevei@energo-razvitie.ru

Distribution networks, characterized by a large length, ramification and complexity of construction, inevitably entail difficulties in calculating the selectivity of actuation of relay protection devices. The methods used today for calculating the selectivity of relay protection devices do not have the technical ability to quickly calculate short-circuit currents on the buses of transformer substations, as well as check the selectivity of relay protection devices and build the time-current characteristics of relay protection terminals.

**Key words:** Modeling of power supply systems, digital twin, short-circuit currents, software package, modernization of 6-35 kV electrical networks, PSS Sincal, relay protection terminals, selectivity map of relay protection devices.

Рассматривается методика проверки селективности устройств релейной защиты линий электропередачи (ЛЭП) разветвленной электрической сети 6 кВ с помощью программного комплекса (ПК) PSS Sincal. В качестве устройства релейной защиты использована модель защиты на базе терминала серии СИРИУС-2-Л. Проанализирована работа устройства в режиме действующих на объекте уставок, а также в режиме их коррекции в соответствии с общепринятой методикой расчета.

В распределительных сетях 6 (10) кВ применяются быстродействующая защита – токовая отсечка (ТО), с выдержкой времени – максимально-токовая (МТЗ) и защита от перегрузки, отличающимися друг от друга способами обеспечения селективности. Согласно основным нормативно-техническим документам, уставка ТО выбирается исходя из величины тока трехфазного короткого замыкания (КЗ) в наиболее удаленной точке защищаемого объекта; уставка МТЗ выбирается в зависимости от следующих условий:

- параметров срабатывания предыдущих защит;
- рабочего максимального тока ЛЭП;
- токов намагничивания силовых трансформаторов.

В зависимости от особенностей работы потребителей распределительной сети времятоковая характеристика МТЗ может быть: зависимой, независимой и комбинированной.

Цель исследования – проверить и оценить правильность настройки устройств релейной защиты в распределительной сети 6 кВ. Для достижения поставленной цели были проведены следующие мероприятия:

Создание математической модели в ПК PSS Sincal.

Моделирование симметричного КЗ в конце, защищаемого ЛЭП.

Проведение проверки и анализа селективности защит.

В качестве примера расчета координации защит использована типовая разветвленная сеть 6 кВ. МТЗ реализована на базе терминалов Сириус-2-Л, предназначенных для реализации функций релейной защиты и автоматики присоединений напряжением 6-35 кВ. На объекте выведена основная быстродействующая ступень и введены только 2 ступени МТЗ с выдержками времени 0,5 с. и 60 с.

При анализе координации защит необходимо произвести следующие действия:

- определить место и вид моделируемого КЗ;
- произвести расчёт повреждения;

в базовых настройках выбрать приемлемый метод расчёта и задать необходимые параметры (шаг деления участка в %, район оценки места КЗ);

указать фидер для вывода времятоковых характеристик.

Для проверки селективности моделируется симметричное трёхфазное КЗ в конце защищаемой линии. При этом ток моделируемого повреждения составляет 4,3 кА, а отключение линии происходит с выдержкой времени 0,53 с. Защита сработала через 0,53 с. с учётом времени готовности привода выключателя (0,03 с.) (табл.). Аналогичное время срабатывания наблюдается и при повреждении вблизи установки защиты, из которого следует, что действующие уставки некорректны.

Исходя из анализа действия защит выявлено, что действующие уставки защиты не обладают необходимым быстродействием при близких КЗ.

Анализ координации защит рассматриваемого участка (при действующих уставках) в

#### PSS Sincal

Зоны	Начало	Конец	1%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	99%
Зона 1	N2/L4	N13/L8	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53
Зона 2	N2/L4	N7/L445	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53
Зона 3	N2/L4	N102/L86	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53
Зона 4	N2/L4	N38/L427	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53

Для повышения быстродействия и селективности срабатывания релейной защиты произведена коррекция уставок:

– первая ступень защиты с уставкой 5,7 А, время срабатывания – 0,001 с;

– вторая ступень защиты с уставкой 5,0 А и временем срабатывания 0,5 с;

– защита от перегрузки с уставкой 4,2 А и временем срабатывания 60,0 с. По результатам построения модели электрической сети 6 кВ, был произведен расчет координации защиты, результаты расчета уставок отображены в таблице.

Основным требованием при проектировании системы защиты распределительной сети является быстродействие срабатывания. PSS Sincal позволяет смоделировать повреждение, скорректировать уставки и уменьшить время отключения оборудования. Результаты расчёта наглядно отображаются в виде таблиц, с подробным описанием статуса и места



отключения, что позволяет достаточно быстро выявить некорректную работу устройств релейной защиты.

### Список литературы

1. Хакимзянов Э.Ф., Кузьмин И.Л., Губаев Д.Ф. Релейная защита электроэнергетических систем: Учеб.пособие/Под ред. А.В. Заяц 2013.-175 с.

2. Правила устройства электроустановок. 7-е изд. – М.: Юрай-издат, 2007. - 399с.

3. Шабад М.А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей. 4-е изд., испр. и доп. ПЭИПК, Санкт-Петербург, 2010. – 350 с.

4. Неклепаев Б. и др. (ред.). Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования. – Litres, 2021.

5. Дони Н. А., Иванов И. Ю., Иванова В. Р. Моделирование дифференциальной защиты линий электропередачи, работающей на базе векторных значений токов //Релейная защита и автоматизация. – 2014. – №. 1. – С. 14-17.

6. Иванова В. Р., Фетисов Л. В. Разработка учебного стенда для эффективной и безопасной эксплуатации резервного электроснабжения на промышленных предприятиях //Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2018. – Т. 20. – №. 9-10. – С. 120-128.

7. Виноградов А. В., Виноградова А. В., Сейфуллин А. Ю., Букреев А. В., Большев В. Е. Принципы управления конфигурацией электрической сети и задачи по их реализации // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021. Т. 23. № 3. С. 34-46. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-3-34-46.

УДК 621.355

### СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ В АВТОТРАНСПОРТЕ

<sup>1</sup>Павлов Даниил Владимирович, <sup>2</sup>Сандаков Виталий Дмитриевич,

<sup>3</sup>Сидоров Александр Евгеньевич

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

lgfdkjd@mail.ru, vitalysandakov@gmail.com, asidorini@rambler.ru

В статье рассмотрены основные виды аккумуляторных батарей, применяемые в автотранспорте. Представлены критерии разделения АКБ и их основные характеристики, недостатки и достоинства каждого из них.

**Ключевые слова:** энергетика, аккумулятор, АКБ, питание, транспорт, автомобиль, ток, напряжение.

## COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF BATTERIES IN VEHICLES

Pavlov Daniil Vladimirovich, Sandakov Vitaly Dmitrievich, Sidorov Alexander Evgenievich  
FGBOU VO «KGEU», Kazan, Republic of Tatarstan  
lgfdkjd@mail.ru, vitalysandakov@gmail.com, asidorini@rambler.ru

The article discusses the main types of batteries used in vehicles. The criteria for battery separation and their main characteristics are presented, the advantages and disadvantages of each.

**Keywords:** energy, accumulator, battery, food, transport, car, current, voltage.

В настоящее время существует очень много видов АКБ. Каждый из них имеет свои достоинства и недостатки. В автомобильной сфере используются следующие виды аккумуляторных батарей: Сурьмянистые – этот тип аккумуляторов уже «изжил» себя. Их ставили в основном в 70-80 годах. Требуют частого обслуживания [1]. Малосурьмянистые – самый простой и недорогой аккумулятор, пластины изготовлены из свинца без каких-либо добавок. Кальциевые – при изготовлении пластин применяется не сурьма, а кальций [2]. Главный их минус – это значительная потеря емкости и чувствительность к скачкам напряжения.

Гибридные – смесь двух АКБ (малосурьмянистых и кальциевых) в одном корпусе.

Гелевые (AGM) - между электродами расположено стекловолокно, которое пропитано жидким электролитом, также являющееся сепаратором или разделителем. Главный недостаток – габариты. Щелочные – самый распространенный тип в автомобилестроении. В качестве электролита выступает водный раствор натрия, либо калия. Литий – ионные – в настоящее время – это самый развивающийся тип АКБ. Анод, состоит из алюминиевой фольги покрытой сплавом титаната – лития, это позволяет получить больший по плотности ток. Помимо стоимости и особенностей конструкций, батареи отличаются своими характеристиками, а именно емкостью и пусковым током [3]. Емкость – простыми словами, это показатель, отражающий количество электроэнергии, который способен запасать аккумулятор. Пусковой ток – это максимально возможный ток, который способен отдавать аккумулятор в течении полуминуты без просадки напряжения ниже 9 вольт. Для того, чтобы подобрать подходящий аккумулятор, нужно поставить задачи, для которых

он будет использоваться в транспортном средстве, помимо выполнения базовых функций [4]. Аккумулятор также подбирается в зависимости от объема и типа двигателя. Следует и не забывать про мощность генератора, установленного в автомобиле – чтобы не столкнуться с такой проблемой, как «недозаряд» батареи. Например, для автомобилей, где существует перепад напряжения, наилучший вариант будет малосурьмянистый АКБ, т.к. в них используется жидкий электролит в котором содержание сурьмы незначительное, соответственно интенсивность испарения воды гораздо меньше, а в транспорте, где нет больших перепадов напряжения целесообразней использовать кальциевый аккумулятор.

Из-за того, что в современном мире, технологии не стоят на месте и с каждым днем появляются различные системы в автомобиле, например, система start – stop, более мощные аудиосистемы, дополнительный свет и многое другое, нагрузка на аккумулятор становится в разы больше и классические жидкостные АКБ уже не справляются с ней [5]. Для этих целей были разработаны EFВ и AGM аккумуляторные батареи, которые в силу своей конструкции имеют более улучшенные характеристики. В EFВ аккумуляторах используется также жидкостный электролит, но он имеет более толстые пластины, которые погружены в специальное волокно. Это защищает батарею от сульфатации и осыпания активного вещества при частых разрядах и зарядах [6]. Этот вид аккумулятора способен работать даже при оставшейся емкости около 50%, по сравнению с многими аналогами свинцово – кислотными АКБ. Если EFВ аккумулятор улучшенная модель старых классических жидкостных аккумуляторов, то AGM аккумуляторы – это совершенно новый вид. В этом типе АКБ, электролит используется абсорбированный, впитанный в стекловолокно. За счет этого AGM аккумулятор выдает на 30% больший пусковой ток и с легкостью выдерживает глубокие разряды. AGM АКБ имеет более высокую стойкость к разрушению пластин [7]. К тому же, этот вид аккумулятора более безопасен для человека, т.к. жидкий электролит при вытекании выделяет ядовитые испарения. Также у AGM высокая стойкость к вибрациям и ударным нагрузкам. Процесс зарядки таких аккумуляторов тоже отличается – для того, чтобы зарядить AGM аккумулятор нужен специальное зарядное устройство. Все перечисленное выше - способствует более долговому сроку службы батареи.

Время старых свинцово-кислотных аккумуляторов уже на исходе, но время литий – ионных АКБ еще не пришло, из-за различных проблем, как конструкционного плана, так и технического. Таким образом, на сегодняшний день, многие автопроизводители стремятся заменить старый

тип аккумуляторов на гелевые – AGM. Аккумуляторную батарею следует выбирать основательно и с пониманием. От того, какая батарея эксплуатируется в транспортном средстве, зависит техническое состояние электрической и электронной части автомобиля, а также, в какой-то степени, и безопасность человека.

### Список литературы

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: 29.03.2022).

2. А.П. Кашкаров Аккумуляторы. Справочник / А.П. Кашкаров. - М.: РадиоСофт, 2014. - 192 с.

3. Здрок А.Г. Выпрямительные устройства стабилизации напряжения и заряда аккумуляторов. - Москва: Энергоатомиздат, 1988. - 144 с.

4. Д.Н. Галушкин, Н.Е. Галушкин Разряд щелочных аккумуляторов // Электрохимическая энергетика. – 2007. – Т. 7. – № 2. – С. 99-102

5. Особенности эксплуатации накопителя энергии на базисе многоэлементной литий – ионной аккумуляторной батареи // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ URL: <https://www.energyret.ru/jour/article/view/460/412> (дата обращения: 29.03.2022)

6. Дасоян М. А., Агуф И. А. Современная теория свинцового аккумулятора. Л.: Энергия. Ленингр. отд-ние, 1975.

7. 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.

8. Хазиева Р.Т., Мухаметшин А.В. Разработка и исследование схемы измерения тока утечки при испытании изоляции повышенным выпрямленным напряжением // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021. Т. 23. № 4. С. 145-155. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-4-145-155.

УДК 681.518.5

### СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

<sup>1</sup>Фетисов Леонид Валерьевич, <sup>2</sup>Мурзин Эмиль Сергеевич  
<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО 'КГЭУ', г. Казань  
leonidfetisov@mail.ru, murzin280400@gmail.com

В данной статье рассмотрены системы автоматического контроля температуры. Рассмотрены их принципиальные схемы, принцип работы, недостатки.

**Ключевые слова:**автоматизация, контроль температуры, измерительный мост, датчики, генератор, температура воздуха.

## AUTOMATIC TEMPERATURE CONTROL SYSTEMS

<sup>1</sup>Fetisov Leonid Valerievich, <sup>2</sup>Murzin Emil Sergeevich  
<sup>1,2</sup>FSBEI HE “KSPEU”, Kazan  
leonidfetisov@mail.ru, murzin280400@gmail.com

This article discusses automatic temperature control systems. Their schematic diagrams, the principle of operation, and disadvantages are considered.

**Keywords:**automation, temperature control, measuring bridge, sensor, generator, air temperature.

Системы контроля температуры в своей основе имеют общие составляющие, отличающиеся лишь дополнением основной структурной схемы дополнительным оборудованием. Выбор которого зависит от определенных технологических особенностей производственного процесса [1]. Функциональная схема автоматического регулирования температуры (рис. 1).

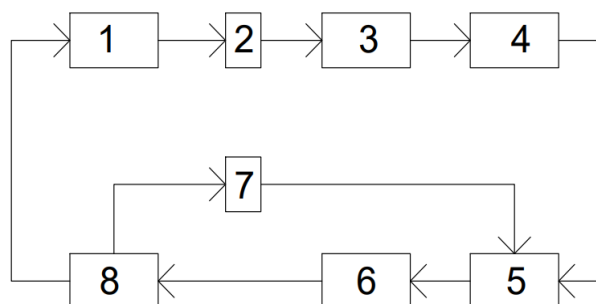


Рис. 1. Функциональная схема автоматического регулирования температуры

1 – элемент контроля, 2 – измеритель температуры, 3 – основной усилитель,  
4 – установщик температуры, 5 -приводящее устройство,  
6 -второстепенный усилитель, 7 -дополнительный датчик.

Датчиками температуры служат термопары, как наиболее часто используемые, детекторами температуры сопротивления (RTDs) и термисторы [2].

Позиционные (релейные) и пропорциональные (статические) регуляторы температуры, являются яркими представителями регулирующей аппаратуры.

Позиционные регуляторы - это аппаратура, где орган регулирования имеет возможность находиться в двух или трех

определенных положения. В эксплуатации показывают себя как надежное и простое в обращении оборудование.

На рис.2 изображена принципиальная схема двухпозиционного регулирующего оборудования.

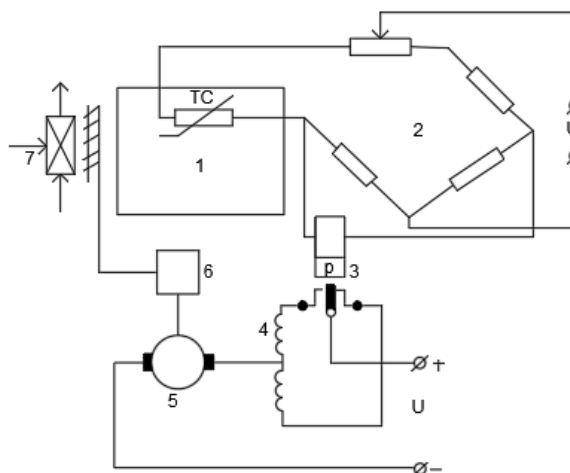


Рис. 2. Принципиальная схема двухпозиционного регулирования температуры воздуха:

1 - элемент контроля, 2 – мост измерения температуры, 3 - электромагнитное реле, 4 - обмотки возбуждения электродвигателя, 5 - якорь электродвигателя, 6 - редуктор, 7 –теплообменный аппарат.

В приведенной схеме к измерительному мосту подключено термосопротивление ТС, которое контролирует температуру в объекте регулирования. При заданной температуре мост уравновешен, благодаря подбору соответствующего сопротивления, и напряжение в диагоналях температуры равняется нулю. При изменении температуры поляризованное реле, включенное в диагональ измерительного моста, включает одну из обмоток электродвигателя постоянного тока, который с помощью редуктора, в зависимости от повышения или понижения контролируемой температуры, закрывает или открывает воздушный клапан перед калорифером.

При двухпозиционном регулировании температуры подача тепла может производиться только в максимальном и минимальном режимах. Максимальный режим подачи тепла имеет большее значение для поддержания регулируемой температуры, а минимальный режим - меньший. При данной системе регулирования устанавливается автоколебательный режим из-за колебания воздуха вокруг определенного значения [3].

Когда же необходимо точно регулировать определенную температуру применяются регуляторы с постоянным процессом поддержания температуры. Для поддержания назначенного значения в самых разнообразных технологических процессах применяют П-регуляторы.

Принципиальная схема системы с использованием П-регулятора изображена на рис. 3.

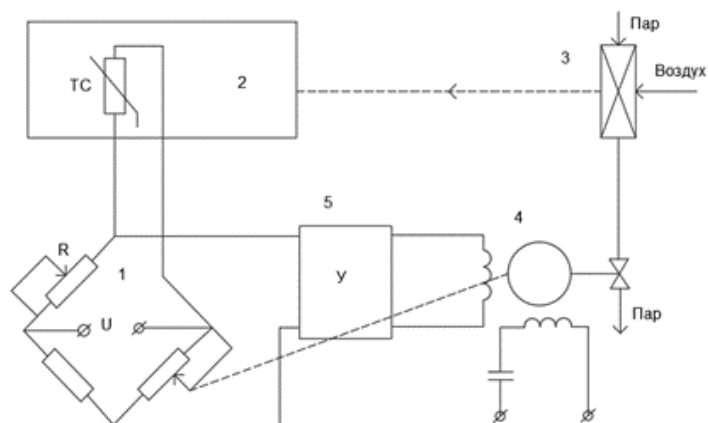


Рис. 3. Схема пропорционального регулирования температуры воздуха.

1 - мост измерения температуры, 2 - элемент контроля, 3 - теплообменный аппарат, 4 - двигатель, 5 – усилитель тока.

При заданной температуре мост уравновешен. Возникновение напряжения разбаланса, в диагонали моста, происходит при отклонении температуры от заданного значения. Роль исполнительного механизма выполняется двухфазным конденсаторным двигателем, обмотка которого на входе подключена к усилителю тока, который усиливает напряжение разбаланса.

Поступление теплоносителя происходит при перемещении регулирующего органа исполнительным механизмом. Одновременно с перемещением регулирующего органа происходит изменение сопротивления одного из плеч измерительного моста, в результате этого изменяется температура, при которой уравновешивается мост [4].

Благодаря жесткой связи в зависимости от положения регулирующего органа может проявлять себя равновесное значение контролируемой температуры [5].

Подытожив рассмотрение двух систем автоматического контроля температуры можно сказать, что каждая система подходит для определенных технологических процессов. Позиционные (релейные) регуляторы температуры имеют свою особенность в виде зоны колебания

температуры в диапазоне заданного значения. Применение их разнообразно, например, держать какое - либо вещество в определенной температуре(мазут) или поддержания комфортной температуры в помещении пользования человеком. Пропорциональные (статические) регуляторы температуры в свою очередь позволяют более точно контролировать температуру согласно заданному значению. И используются для более специфических целей, таких как регулирование температуры в камере дросселированием пара на выходе из испарителя.

### Список литературы

1. Вагапова Н.А., Вагапов Г.В., Сидоров А.Е., Абдуллин Л.И. Эволюция технологий в энергетике. // Вестник экономики управления и права. 2015. № 1. 158 с.

2. Б.М. Хрусталева, Ю.Я. Кувшинов, В.М. Копко. Теплоснабжение и вентиляция. – М.// Издательство Ассоциации строительных вузов, 2008. 784 с.

3. Стандарт АВОК. Автоматизированные системы управления зданиями. Часть 3. Функции. – М.// АВОК-ПРЕСС, 2007. 54 с.

4. Ливчак И.Ф., Кувшинов Ю.Я.. Развитие теплоснабжения, климатизации и вентиляции в России за 100 последних лет. М. // Издательство Ассоциации строительных вузов, 2004. 96 с.

5. Теплогазоснабжение и вентиляция. – М.// Академия, 2011. 400 с.

6.Горинов Ю.А. Повышение эффективности систем централизованного теплоснабжения модернизацией ИТП / Ю. А. Горинов, П. Н. Анисимов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 3. С. 101-111. doi 10.30724/1998-9903-2022-24-3-101-111. EDN BNTYBM.

УДК 621.315.17

## СИСТЕМА ПЛАВКИ ГОЛОЛЕДООБРАЗОВАНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

<sup>1</sup>Хамидуллин Ильдар Ниязови, <sup>2</sup>Арсланов Амир Динарович, <sup>3</sup>Маслов Савелий Юрьевич, <sup>4</sup>Назарова Анастасия Денисовна.

<sup>1,2,3,4</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г.Казань

<sup>1</sup>ildar.ildar-xam2017@yandex.ru, <sup>2</sup>arslanovad97@gmail.com,

<sup>3</sup>saveli2000@gmail.com, <sup>4</sup>nastyanasarova3@gmail.com.



В период с осени вплоть до конца зимы на ВЛЭП возникает проблема гололёда образования, которая затрудняет передачу энергии от электростанции к потребителю. В данном тезисе рассматривается устройство осуществляющее связь между блоками управления и плавки льда, а также передачу по беспроводному каналу данные на диспетчерский пульт, содержащую информацию о состоянии линий.

**Ключевые слова:** ВЛЭП, провода, тросы, мобильная система плавки гололеда, система мониторинга гололедообразования

## ICE MONITORING SYSTEM

<sup>1</sup>KhamidullinIldar Niyazovich, <sup>2</sup>Arslanov Amir Dinarovich, <sup>3</sup>MaslovSaveliy Yurievich,  
<sup>4</sup>Nazarova Anastasia Denisovna  
<sup>1,2,3,4</sup>FSBEI HE KSPEU, Kazan  
<sup>1</sup>ildar.ildar-xam2017@yandex.ru, <sup>2</sup>arlanovad97@gmail.com, <sup>3</sup>saveli2000@gmail.com,  
<sup>4</sup>nastyanasarova3@gmail.com.

In the period from autumn until the end of winter, the problem of ice formation occurs on the overhead power line, which makes it difficult to transfer energy from the power plant to the consumer. This thesis considers a device that communicates between control units and ice melting units, as well as transmitting data via a wireless channel to a dispatcher console containing information about the state of the lines.

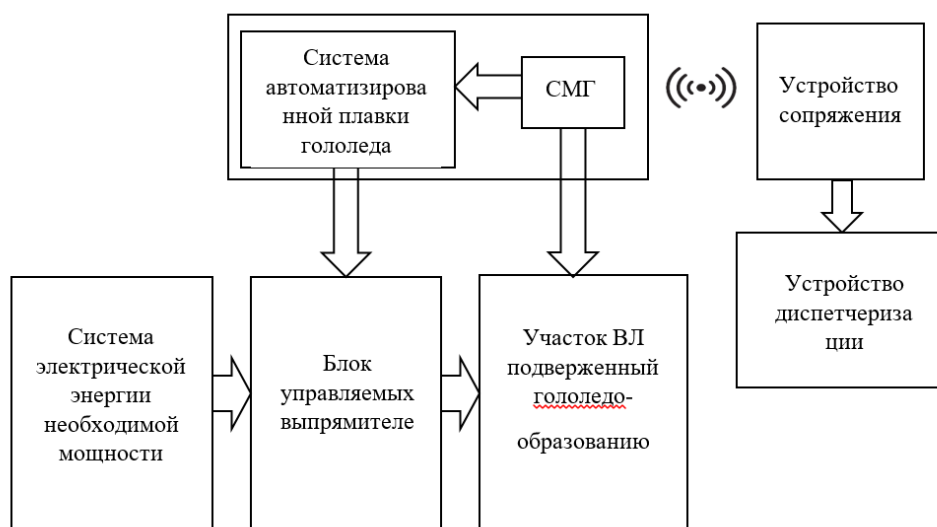
**Key words:** high voltage power lines, wires, cables, mobile ice melting system, icing monitoring system

Линия электропередачи (ЛЭП) – это одна из составляющих электрической сети, система энергетического оборудования, предназначение которой заключается в передачи электроэнергии посредством электрического тока. В данной работе нами рассматриваются воздушные линии электропередач. ВЛЭ – устройство предназначенное, для передачи или распределения электрической энергии по проводам, находящимся на открытом воздухе и прикрепленным с помощью траверс (кронштейнов), изоляторов и арматуры к опорам или другим сооружениям (мостам, путепроводам). В осенне-зимний период происходит гололедообразование на высоковольтных линиях электропередачи (ВЛЭП), что становится одной из ключевых проблем, возникающих при их эксплуатации. Основопологающей задачей компаний распределительного электросетевого комплекса является обеспечение надежности электроснабжения потребителей, поэтому одним из главных критериев надежности энергоснабжения является возможность своевременно организовать удаление гололедоизморозевых отложений (ГИО) на проводах ВЛ 0,4-6-10 кВ.

Для ВЛЭП GIO представляет серьезную опасность. Они могут вызывать:

- опасное сближение проводов и тросов в результате их провисания при образовании гололеда;
- раскачивание проводов, которое приводит к коротким замыканиям между проводами и тросами, некоторых случаях непосредственно к повреждениям линейной арматуры и креплений;
- механическую перегрузку тросов и проводов, приводящую непосредственно к их обрыву;
- разрушение опор из-за обрыва проводов и тросов вызванной образованием от гололеда.

Для борьбы с ГИО существует мобильная система плавки гололеда, которая, работает совместно с системой мониторинга гололедообразования (СМГ). В состав СМГ входит ряд датчиков, позволяющих сообщать об изменении температуры провода и окружающей среды, угле провиса провода и протекающем токе. Также в его состав входят модули радиосвязи для обеспечения беспроводного соединения с устройством обработки данных. Блок схема системы автоматизированного контроля и устранения ГИО на ВЛЭП представлена на рисунке.



Блок-схема работы системы автоматизированного контроля и устранения гололедообразования на воздушных линиях электропередачи

Представленная блок схема описывает код программы. Упрощенный код программы индикации состояния плавки гололеда. После начала работы программы в первую очередь инициализируются порты микроконтроллера. Далее срабатывает функция очистки индикаторной панели от символов на ней, после чего запускается блок «printMessage».

В блоке «printMessage» сначала объявляется массив, число элементов которого равно числу индикаторов, массив заполняется пробелами. Далее

считывается количество символов в передаваемом на индикаторную панель слове, объявляется массив слова. Каждый элемент получившегося массива в виде двубайтового сообщения отправляется в сдвиговый регистр, и после этого символ отображается на индикаторе. Затем Latch переводится в закрытое положение. Если в введенном сообщении символов больше, чем на индикаторной панели, то «лишние» его символы просто отсекутся и не будут отображены.

Таким образом решением ключевой проблемы, возникающей при эксплуатации высоковольтных линиях электропередач, выступает возможность своевременно организовать удаление гололедоизморозевых отложений (ГИО) на проводах ВЛ 0,4-6-10 кВ. Для борьбы с ГИО существует мобильная система плавки гололеда, которая работает совместно с системой мониторинга гололедообразования (СМГ).

Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках госзадания на выполнение НИР по теме «Распределенные автоматизированные системы мониторинга и диагностики технического состояния воздушных линий электропередачи и подстанций на основе технологии широкополосной передачи данных через линии электропередач и промышленного интернета вещей» (соглашение №075-03-2022-151 от 14.01.2022)

### Список литературы

1. Ярославский Д.А., Садыков М.Ф., Конов А.Б., Иванов Д.А., Горячев М.П., Ямбаева Т.Г. Методика мониторинга гололедных отложений на проводах ВЛ с учетом разрегулировки линейной арматуры // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2017. №5-6.

2. Международная молодежная научная конференция «Тинчуринские чтения – 2020 «Энергетика и цифровая трансформация». В 3 т. Т. 1. Электроэнергетика и электроника: матер. конф. (Казань, 28–29 апреля 2020 г.) / под общ. ред. ректора КГЭУ Э.Ю. Абдуллазянова. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2020. – 636 с.

3. Стороженко Д.Ю., Рыжков А.В. Совершенствование методики применения устройств, встроенной диагностики контактной сети // Известия Транссиба. 2016. №4.

4. Цифровой алгоритм контроля функционирования электромеханического преобразователя постоянного тока / Н. А. Малев, О. В. Погодицкий, О. В. Козелков, А. С. Малацион // Известия высших

учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 1. С. 126-140. DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-1-126-140. EDN TTQTUJ.

5. Ярославский Д.А., Садыков М.Ф. Разработка устройства для системы мониторинга и количественного контроля гололёдообразования на воздушных линиях электропередачи. Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2017;19(3-4):69-79. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2017-19-3-4-69-79>

## **Секция 4. МАЛАЯ ЭНЕРГЕТИКА, ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ, СВЕТОТЕХНИКА**

УДК 620.91

### **ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ КАК РАЗВИТИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СФЕРЫ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ**

<sup>1</sup>Алексеев Егор Сергеевич, <sup>2</sup>Колесник Даниил Андреевич, <sup>3</sup>Вашестов Евгений  
Александрович, <sup>4</sup>Пидько Захар Федорович

<sup>1-4</sup>ФГАОУ ВО «ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»,  
г. Владивосток

Alekseev.es@students.dvfu.ru, kolesnik.da@students.dvfu.ru, vashestov.ea@students.dvfu.ru,  
pidko.zf@students.dvfu.ru

В этой работе мы попытались определить перспективы развития возобновляемой энергетики в мире, проанализировать текущую ситуацию на энергетическом рынке с технологической и экономической позиции. Для этого мы установили понятие возобновляемых источников энергии (ВИЭ), подвели статистику, отражающую охват возобновляемыми источниками энергии мирового производства электроэнергии, определили мировых лидеров возобновляемой энергетики, раскрыли вред, оказываемый ВИЭ на экологию, и попытались спрогнозировать дальнейшее развитие ВИЭ в России и мире как способа производства электроэнергии, руководствуясь различными источниками.

**Ключевые слова:** Возобновляемая энергия, энергия ветра, энергия солнца, энергия воды, тенденции ВИЭ, источники энергии, экологические проблемы возобновляемой энергетики.

### **RENEWABLE POWER SOURCES AS CONTEMPORARY POWER ENGINEERING PROSPECT**

<sup>1</sup>Alekseev Egor Sergeevich, <sup>2</sup>Kolesnik Daniil Andreevich, <sup>3</sup>Vashestov Evgeniy  
Aleksandrovich, <sup>4</sup>Pidko Zakhar Fedorovich

<sup>1-4</sup>Far Eastern Federal University, Vladivostok

Alekseev.es@students.dvfu.ru, kolesnik.da@students.dvfu.ru, vashestov.ea@students.dvfu.ru,  
pidko.zf@students.dvfu.ru

In this work, we tried to determine the prospects for the development of renewable energy in the world, to analyze the current situation in the energy market from a technological and economic point of view. To do this, we have established the concept of renewable energy sources (RES), summed up statistics reflecting the coverage of global electricity production by renewable energy sources, identified the world leaders in renewable energy, revealed the harm that RES has on the environment, and tried to predict the further development of RES in Russia and the world as a way to electricity generation from different sources.

**Key words:** Renewable energy, wind energy, solar energy, water energy, renewable energy trends, energy sources, environmental problems of renewable energy.

На текущем шаге промышленного развития энергетики сформировалась следующая ситуация:

- растет спрос на энергоносители вследствие развития промышленности развивающихся государств;
- Растут выбросы парниковых газов в атмосферу, во многом связанные с использованием ископаемого топлива при производстве электроэнергии.

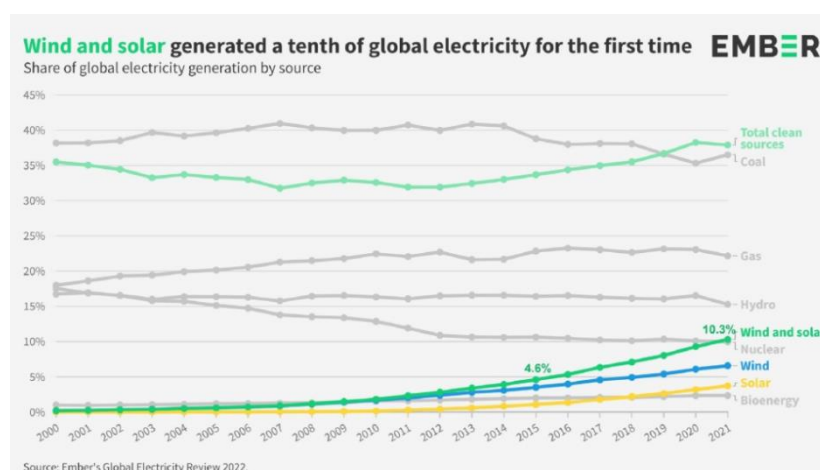


Рис. 1. Доли различных видов генерации энергии в мировой энергетике

Возобновляемая энергия могла бы помочь разрешить эти проблемы.

#### *Недавние тенденции возобновляемой энергетики.*

Согласно исследованию компании Ember 2021 года, в 2020 году выработка электроэнергии из возобновляемых ресурсов (в том числе гидроэнергии) возросла более чем на 6 % ввиду неуклонного роста производства ветро- и солнечной энергии, а доля гидроэнергии в мировом энергобалансе с 2000 г. стабильно составляет 16 % (рис.1). Доля солнечной и ветровой генерации в производстве мировой электроэнергии превысила 10% и достигла 10,3% (ветроэнергетика: 6,6%, солнечная энергетика: это больше, чем доля «мирного атома» в выработке электроэнергии (9,94% в 2021 г). Выработка солнечной электроэнергии в 2021 году возросла на 23%, энергии ветра на 14%, похожая тенденция наблюдается последние 10 лет.

Суммарная мощность чистых электростанций превысила 3000 ГВт, а их доля в общей установленной мощности мировой энергосистемы выросла за год с 36,6% до 38,3% (с учетом атомных станций). Агентство подчеркивает, что доля ВИЭ в приросте генерирующих мощностей в мире за 2021 год составила 81%. Тенденция энергетического перехода налицо [2].

Большая часть новых мощностей ВИЭ – это солнечные и ветровые электростанции (88%). [4].

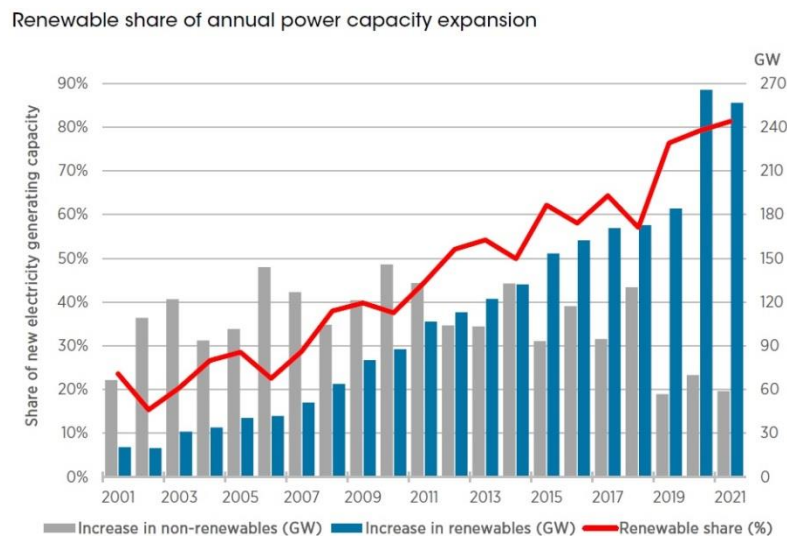


Рис. 2. Доля возобновляемой энергии в мировом приросте генерации электроэнергии (источник: irena.org)

На гидроэлектроэнергию приходится наибольшая доля в общем объеме мирового производства возобновляемой энергии с мощностью 1190 ГВт. Она увеличилась минимально на 12 ГВт (на 1 % к 2018 году). Самая большая доля расширения пришлась на Китай и Бразилию.

Другие ВИЭ включали 124 ГВт биоэнергии, 14 ГВт геотермальной и 0,5 ГВт морской энергии. Турция, а за ней Индонезия и Кения лидируют в расширении доли использования геотермальной энергии.

Мощность вне сети увеличилась на 160 МВт (рост на 2 %) и достигла 8,6 ГВт в 2019 году. На биоэнергию приходится 40 % мощности вне сети. На Китай пришлась половина всех новых мощностей в доле использования биотоплива.

Скачку в области выработки электроэнергии из возобновляемых ресурсов (ВИЭ) в ЕС, США, Китае, Индии, Японии, Чили и Австралии способствовали государственные программы по борьбе с выбросами парниковых газов и продолжающееся падение стоимости технологий в ветровой и солнечной энергетике. Доля возобновляемых источников энергии (включая гидроэнергию) в мировом энергетическом балансе выросла и превысила 28 %, что определяется восходящей тенденцией, возникнувшей в 2000-х (рис. 3, а).

Увеличение выработки электроэнергии из возобновляемых источников в Китае, России, Европе, Бразилии и Японии. Доля ВИЭ в энергетике разных континентов представлена на рис. 3, б.

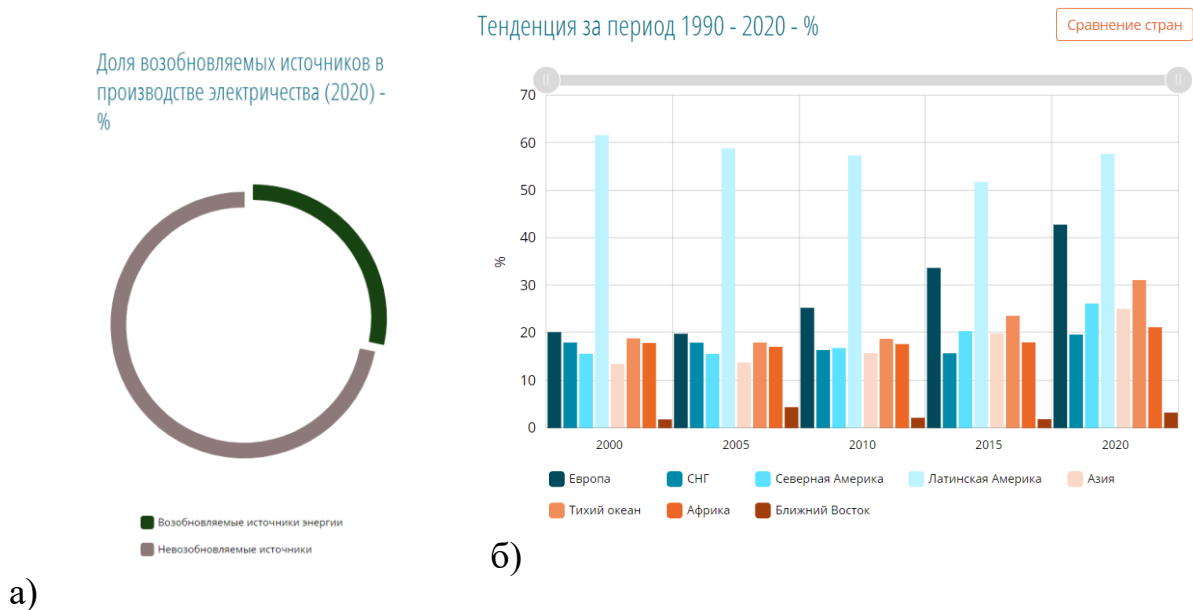


Рис. 3: а – доля возобновляемых источников в производстве электричества; б - тенденция за период 1990–2020 гг. в доле возобновляемой энергетики в энергетическом балансе в разных регионах мира

### *Прогноз развития возобновляемой энергетики в мире*

За последние 20 лет положительная тенденция в производстве электроэнергии с помощью ВИЭ отмечается в Северной Америке и в Европе. Менее значительный рост наблюдается в азиатском регионе.

В связи с опасениями, связанными с деглобализацией, многие энергозависимые государства могут быть лишены дешевых ископаемых источников энергии, что заставит их обратиться к возобновляемым источникам электроэнергии. Кроме того, в мировом сообществе обостряются тревоги, связанные с существующими и потенциальными экологическими проблемами. С 2010 по 2019 год себестоимость производства электроэнергии солнечными батареями и ветряными турбинами снизилась на 82 процента, что делает солнечную и ветряную энергетику очень эффективным и рентабельным способом добычи электроэнергии.

В Евросоюзе прогнозируется скачок в приросте мощностей в 2021 году. Также здесь действует экологическая кампания GreenDeal, целью которой является образовать в ЕС углеродно-нейтральное пространство к 2030 году.

Пока же в лидерах инвестиций в развитие возобновляемой энергетики – Китай, США, Япония и Великобритания. Согласно данным BloombergNEF, мировые инвестиции в ветряную и солнечную



энергетику, биотопливо, биомассу и отходы, малую гидроэлектроэнергетику возросли практически на порядок. Вложения в чистую энергию выросли с \$33 млрд до более чем \$300 млрд за 20 лет (рис. 4).

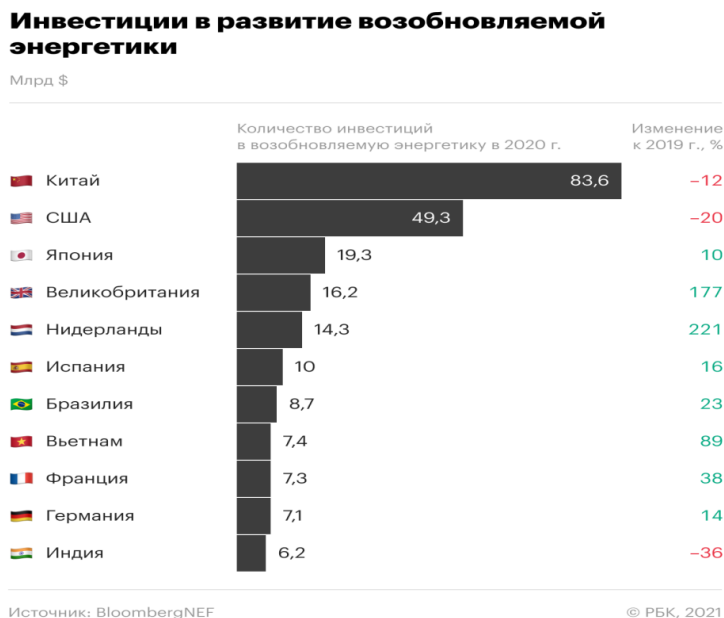


Рис. 4. Инвестиции в развитие возобновляемой энергетики

В дальнейшем продвижение солнечной и ветровой энергетики будет ускоряться. В соответствии с ежегодным докладом МЭА о перспективах мировой энергетики до 2050 года (World Energy Outlook 2021), суммарная доля солнца и ветра в выработке электроэнергии к середине столетия достигнет 40-68% в зависимости от сценария.

Электроэнергетика на базе ВИЭ в России на текущий момент не играет неотъемлемой роли в энергетической системе страны. Тем не менее, Правительством РФ предусмотрено расширение использования объектов ВИЭ в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики при условии продажи ее по твердым государственным ценам. Наиболее активно реализуются проекты на основе фотоэлектрического преобразования энергии солнца, в то время как целевые параметры государственных программ предусматривают более 60% генерации ВИЭ на основе энергии ветра, а также 13% - на основе малой гидрогенерации. Другие направления ВИЭ в программе не рассматриваются. В перспективе объём генерации за счет ВИЭ планируется повысить до 20% (с учётом крупных ГЭС) [1].

ВИЭ, с одной стороны, призваны уменьшить выбросы парниковых газов при сжигании органического топлива в ходе производства электроэнергии на традиционных электростанциях, и с другой стороны,

снизить итоговую стоимость электроэнергии для потребителя. Кроме того, возобновляемую энергию можно производить в удаленных районах планеты, что позволит обеспечить каждого человека доступом к электричеству. Также с ее помощью государство может обеспечивать свой политический и экономический суверенитет. Однако по-прежнему не найдено грамотных и доступных способов утилизации отработавших энергетических установок, что не позволяет нам создать экологически безвредный способ генерации электроэнергии.

### Список литературы

1.Национальное рейтинговое агентство. Развитие альтернативной энергетики в России. 2015. Доступно по: <https://www.national.ru/sites/default/files/analit>. Дата обращения: 14.04.2022.

2.Jones D. «Global Electricity Review 2022» / Ember-climate.org/ 2022 Available at: [Global Electricity Review 2022 | Ember \(ember-climate.org\)](https://www.ember-climate.org/global-electricity-review-2022). Accessed: 14 April 2022

3.Эденхофер О, Пичс-МадругаР, Сокона Й и др. Специальный доклад МГЭИК по возобновляемым источникам энергии и смягчению воздействий на изменение климата / Рабочая группа III МГЭИК. - Женева: MichaelMelford/NationalGeographicStock. 2011. Доступно по: <https://infoclimate.org/?books=vozobnovlyaemyie-istochniki-energii-i-smyagchenie-vozddeystviy-na-izmenenie-klimata>. Дата обращения: 14.04.2022.

4.Adib R, Zervos A. «RENEWABLES 2020 GLOBAL STATUS REPORT» / REN21. 2021. Available at: [GSR2021\\_Full\\_Report.pdf \(ren21.net\)](https://www.ren21.net/gsr2021). Accessed: 14 April 2022

5.Андриевская А. «Зеленый» курс: какое будущее ждет альтернативные источники энергии. 2021. Доступно по: <https://trends.rbc.ru/trends/green/609e76449a7947f475>. Дата обращения: 14.04.2022.

УДК 620.92

### ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ И БЕЗОПАСНОСТЬ

<sup>1</sup>Байгускарова Нурзиля Шафкатовна, <sup>2</sup>Сафиуллина Алсу Ильдаровна

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

<sup>1</sup>baiguskarovan@gmail.com

В статье описаны основные виды энергетических ресурсов, которые являются возобновляемыми или неисчерпаемыми по человеческим масштабам. Описан основной

принцип использования возобновляемой энергии, который заключается в её извлечении из постоянно происходящих в окружающей среде процессов или возобновляемых органических ресурсов и предоставлении для технического применения.

**Ключевые слова:** возобновляемая энергия, энергия, энергетическая безопасность, возобновляемые источники энергии

## RENEWABLE ENERGY AND SECURITY

<sup>1</sup>BaiguskarovaNurzilyaShafkatovna, <sup>2</sup>SafiullinaAlsuIldarovna  
<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Russia  
<sup>1</sup>baiguskarovan@gmail.com

This study presents a variety of methods for protecting windings from thermal effects. As a result of the analysis of the information received, a system diagram for the thermal control of equipment was designed. The principle of operation of this overtemperature protection is described.

**Key words:** electrical machines, windings, temperature, equipment, mode.

Возобновляемую энергию получают из устойчивых источников, таких как гидроэнергия, энергия ветра, солнечная энергия, геотермальная энергия, биомасса и энергия приливов и отливов. В отличие от ископаемых видов топлива - например, нефти, природного газа, угля и урановой руды, эти источники энергии не истощаются, поэтому их называют возобновляемыми. Так, установленная мощность возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в 2021 году выросла на 1 241,79 МВт или 45% и составила к 1 января 2022 года 3 996 МВт [1].

Солнце - главный источник энергии на Земле, ведь около 173 ПВт (или 173 млн ГВт) солнечной энергии попадает на нашу планету ежегодно, а это более чем в 10 тыс. раз превышает общемировые потребности в энергии. Фотоэлектрические модули на крыше или на открытых территориях преобразуют солнечный свет в электрическую энергию с помощью полупроводников - в основном, кремния. Солнечные коллекторы вырабатывают тепло для отопления и производства горячей воды, а также для кондиционирования воздуха.

Солнечные панели могут вырабатывать энергию и в пасмурную погоду, и даже в снегопад. Для наибольшей эффективности их стоит устанавливать под определенным углом - чем дальше от экватора, тем больше угол установки панелей.

Использование ветра в качестве движущей силы - давняя традиция. Ветряные мельницы использовались для помола муки, лесопильных работ) и в качестве насосной или водоподъемной станции. Современные ветрогенераторы вырабатывают электроэнергию за счет энергии ветра.

Сначала они превращают кинетическую энергию ветра в механическую энергию ротора, а затем в электрическую энергию.

Ветроэнергетика является одной из самых быстроразвивающихся технологий возобновляемой энергетики. По последним данным IRENA, за последние два десятилетия мировые мощности по производству энергии ветра на суше и на море выросли почти в 75 раз - с 7,5 ГВт в 1997 году до примерно 564 ГВт к 2018 году[2].

Еще в древнем Египте и Римской империи энергия воды использовалась для привода рабочих машин, в том числе мельниц. В средние века водяные мельницы применялись в Европе на лесопильных и целлюлозно-бумажных предприятиях. С конца XIX века энергию воды активно используют для получения электроэнергии.

Геотермальная энергия использует тепло Земли для производства электричества. Температура недр позволяет нагревать верхние слои Земли и подземные водоемы. Извлекают геотермальную энергию грунта с помощью мелких скважин - это не требует больших капиталовложений. Особенно эффективна в регионах, где горячие источники расположены недалеко к поверхности земной коры.

Биоэнергетика универсальна. Тепло, электричество и топливо могут производиться из твердой, жидкой и газообразной биомассы. При этом в качестве возобновляемого сырья используются отходы растительного и животного происхождения.

Приливы и волны - еще один способ получения энергии. Они заставляют вращаться генератор, который и отвечает за выработку электричества. Таким образом для получения электроэнергии волновые электростанции используют гидродинамическую энергию, то есть энергию, перепад давления и разницу температур у морских волн. Исследования в этой области еще ведутся, но специалисты уже подсчитали - только побережье Европы может ежегодно генерировать энергии в объеме более 280 ТВт·ч, что составляет половину энергопотребления Германии[2].

Понятие «энергетическая безопасность» появилось в 1947 году в США, но широкое распространение оно получило только в 1973 году, когда было введено нефтяное эмбарго. Энергетическая безопасность определяет энергетическую самодостаточность государства, то есть беспрепятственный доступ к энергоресурсам по вменяемой цене и в достаточных объемах. Несмотря на позитивные тенденции в конце прошлого столетия, 2000-е года ознаменовались ростом цен на топливо.

Многokратный рост торговли энергией вывел проблему энергобезопасности с локального уровня на глобальный. Мирская экономика остро нуждается в новых источниках энергии, которые будут наносить минимальный вред окружающей среде.

Сбережение энергетических ресурсов практически идентично их производству и в большинстве случаев именно данное мероприятие являются более рентабельными. Повышение энергоэффективности способствует уменьшению энергетической емкости экономического развития и укреплению глобальной безопасности.

Россия только делает первые шаги в направлении альтернативной энергетики. Кроме этого, у нас пока меньше стимулов для развития альтернативной энергетики, чем в Западной Европе, и меньше финансовых и производственных ресурсов, но движение в этом направлении есть, в частности, предусматривается предоставление государственной финансовой поддержки развитию альтернативной энергетики в России.

### Список литературы

1. В 2021 году доля ВИЭ в ЕЭС России по мощности выросла до 1,6%, в выработке составила 0,5% [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://peretok.ru/news/generation/24427/> (дата обращения: 28.02.22).

2. Сидорович В. А. Мирская энергетическая революция: Как возобновляемые источники энергии изменяют наш мир. М.: Альпина Паблицер, 2015. — 208 с.

3. Применение солнечной энергии для нужд горячего водоснабжения в городе Казань / Р. Д. Юсупов, Ш. Г. Зиганшин, Т. О. Политова, Э. Р. Базукова // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 2(54). С. 48-58. EDN SRWKPL.

УДК 621.311.243

### РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ, СПОСОБСТВУЮЩИХ СХОДУ СНЕЖНОГО ПОКРОВА С ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

<sup>1</sup>Струмельяк Анатолий Владимирович, <sup>2</sup>Волков Марк Сергеевич, <sup>3</sup>Тасенко Андрей Алексеевич, <sup>4</sup>Макарова Юлия Сергеевна

<sup>1,2,3,4</sup>ФГБОУ ВО «Братский Государственный Университет», г. Братск, Российская Федерация

<sup>1</sup>volandis@mail.ru, <sup>2</sup>mediatordallona@mail.ru, <sup>3</sup>andrey88991@mail.ru,  
<sup>4</sup>jaredandshanon9@gmail.com

Развитию солнечной энергетики мешает множество факторов, одними из которых являются зависимость от климатических и погодных условий. В работе анализируются методы предотвращения налипания снега на фотоэлектрические преобразователи и повышение их энергоэффективности, а также предлагается новый метод борьбы со снегом на солнечных панелях, связанный с принудительным нагревом панелей путем замыкания обратного диода.

**Ключевые слова:** солнечная энергетика, фотоэлектрические преобразователи, методы борьбы с налипанием снега.

## DEVELOPMENT OF MEASURES TO FACILITATE THE DESCENT OF SNOW COVER FROM PHOTOVOLTAIC CONVERTERS

<sup>1</sup>Strumelyak Anatoly Vladimirovich, <sup>2</sup>VolkovMarkSergeevich, <sup>3</sup>TasenkoAndreyAleksievich,  
<sup>4</sup>Makarova YuliaSergeevna  
<sup>1,2,3,4</sup>FSFEI HE «Bratsk State University», Bratsk, Russian Federation  
<sup>1</sup>volandis@mail.ru, <sup>2</sup>mediatordallona@mail.ru, <sup>3</sup>andrey88991@mail.ru,  
<sup>4</sup>jaredandshanon9@gmail.com

The development of solar energy is hindered by many factors, one of which is dependence on climatic and weather conditions. The paper analyzes methods of preventing snow from sticking to photovoltaic converters and improving their energy efficiency, and also proposes a new method of combating snow on solar panels associated with forced heating of panels by closing the reverse diode.

**Keywords:** solar energy, photovoltaic converters, methods of combating snow sticking.

В настоящее время проблема повышения эффективности систем на основе возобновляемой энергетики сохраняет свою актуальность в связи с переходом на безуглеродную энергетику и обусловленный этим дефицит энергоресурсов, что отражено в документах [1, 2, 3].

Одной из важнейших проблем при эксплуатации систем солнечной энергетики является влияние погодных условий на режимы их работы, что приводит существенному снижению выработки электрической энергии. Одним из таких факторов является налипание снега на фотоэлектрические преобразователи (ФП).

В настоящее время, самым эффективным способом предотвращения налипания снега выступает применение установки ФП под большим углом к горизонту, когда снег под действием своей массы будет соскальзывать с панели.

Однако данный метод имеет недостаток: собственный вес, который будет способствовать соскальзыванию может достигаться не сразу, что значительно снижает выработку электроэнергии [4].

В общем случае, для решения проблемы налипания снега в зимнее время года и связанной с этим недовыработки электроэнергии известными следующие методы [5, 6, 7, 8]:

1. Нанесение водоотталкивающих жидкостей на солнечные панели;
2. Использование автоматических механизмов для снятия налипшего снега с панелей;
3. Сооружение «ветряной улитки» для перенаправления воздушных потоков для сдувания снега с панелей;
4. Установка светоотражающих поверхностей под солнечные панели для их нагрева с помощью солнечной тепловой энергии;
5. Сооружение теплового коллектора на верхней части панели для концентрации солнечной тепловой энергии и нагрева панелей.

Критериями для анализа каждого метода выступили: простота модернизации уже имеющихся конструкций солнечной электростанции; затраты на реализацию проекта; простота эксплуатации системы; зависимость эффективности работы системы от разных погодных условий.

Результаты сравнительного анализа известных методов борьбы с налипанием снежного покрова показали, что использование покрытий является эффективным средством для решения проблемы налипания снега (табл.).

Сравнительный анализ методов борьбы с налипанием снега

Критерий	Методы				
	Покрытия	Механическая чистка	Ветряная улитка	Отражающие поверхности	Тепловой коллектор
Простота модернизации	+	-	+	-	+
Затраты	+	-	+	+	+
Простота эксплуатации	+	-	+	+	+
Стойкость к разным погодным условиям	+/-	+/-	-	-	-

Можно выделить 2 типа покрытий, которые будут эффективны в борьбе с налипанием снега:

1. Водоотталкивающие покрытия на основе алифатических углеводородов и фторуглеродных смол, образующие водоотталкивающую пленку.

Такие покрытия обладают низкой стоимостью и малым коэффициентом преломления света, а следовательно, не уменьшают эффективность солнечной панели. Однако покрытия требуют частого нанесения на панель.

2. Полимерные силиконовые покрытия. В составе данных покрытий используются полиметилсилоксаны и полидиметилсилоксаны. Покрытия устойчивы к осадкам и агрессивным погодным условиям, что дает возможность сократить число необходимых нанесений их на панель за год.

Однако данные полимеры имеют относительно высокую цену и сильно преломляют лучи, что снижает выработку энергии на 7-12% [5].

В ходе поставленного авторами работы эксперимента, схема которого представлена на рисунке 1, солнечная панель была разделена на 3 зоны: а - с нанесением водоотталкивающего покрытия; б - с нанесением полимерного силиконового покрытия; в - зона без нанесения покрытий. Было обнаружено, что водоотталкивающее покрытие обеспечивает наилучшую защиту от налипания снега.

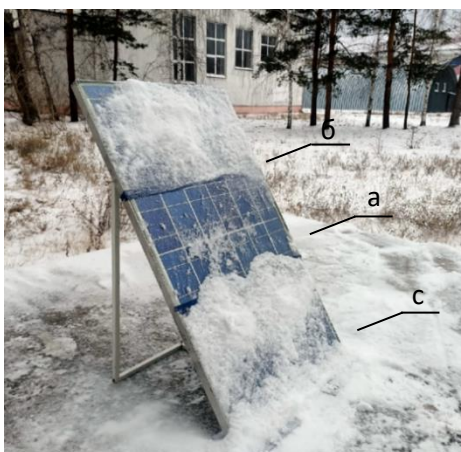


Рис.1. Схема эксперимента по определению эффективности покрытий

Также в ходе опытов было обнаружено, что высокая эффективность защиты наблюдается при выпадении влажного снега, в то время как при сухом снеге, покрытие частично или полностью теряет свою эффективность.

Для увеличения эффективности водоотталкивающего покрытия необходимо образование между панелью и снежной массой тонкой водной пленки, поэтому необходим принудительный нагрев солнечной панели. Это возможно как с помощью применения тонкопленочных проводящих покрытий [5], так и путем разогрева ФП с использованием схемных решений.

В работе авторами предлагается подключение ФП с блокированием обратного диода D1 (рис. 1), что обеспечивает протекание обратного тока через затемненную снегом ФП, значение которого контролируется использованием в цепи резистора R, а также ее разогрев, обеспечивающий появление водяной пленки.



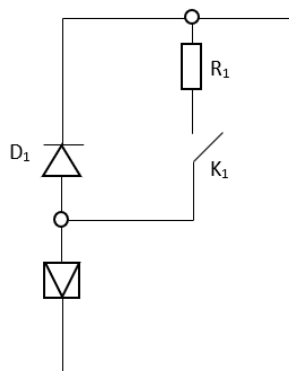


Рис. 2. Схема подключения ФП с блокированием обратного диода

Отдельные экземпляры ФП, имеющие высокие значения параллельной проводимости могут быть нагреты путем смены полярности, однако нестабильность параметров отдельных ФП не позволяет реализовывать такой способ.

Так как нагрев панели уменьшает КПД ФП, необходимо контролировать процесс нагрева. При проведении опыта с блокированием обратного диода, при подключении ФП к сборке из еще 5 таких панелей последовательно- параллельным путем было обнаружено, что на общую выработку в 50Вт тепловой градиент составляет  $6,7 \times 10^{-4} \text{°C/м}$ , а скорость нагрева  $3 \text{°C/мин}$ . На рисунке 3 изображен процесс нагрева солнечной панелью в ходе эксперимента по определению эффективности работы метода.

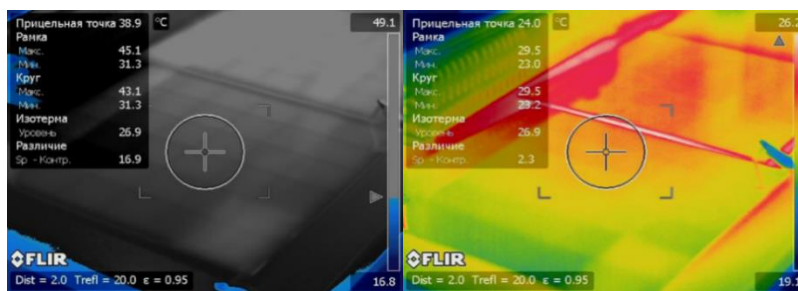


Рис. 3. Процесс нагрева солнечной панелью в ходе эксперимента по замене полярности

При анализе возможности применения данной технологии на Абаканской СЭС было обнаружено, что оптимальная интенсивность нагрева без последующего теплового старения элементов ФЭМ не должна превышать  $10 \text{°C/мин}$ , а потребляемая мощность на 1 вертикально-последовательную сборку из 11 панелей за это время составляет 75 Вт.

При этом нет необходимости в нагреве каждой последовательной ветви, так как снег начинает соскальзывать с поверхности ветвей при смещении снежных масс с нижней части.

Общие капиталовложения при реализации совместного использования метода нанесения водоотталкивающих покрытий, а также принудительного нагрева оценивается в 2432 тыс. руб, где 1,3% приходится на модернизацию схемы релейной защиты, 2,7% на защиту оборудования на нанесение покрытий и 96% на модернизацию схемы с программируемым контроллером и полевыми транзисторами.

Вследствие недовыработки электроэнергии из-за налипания снега на панелях ФЭМ, финансовые издержки составляют в среднем 889,4 тыс. руб/год. С применением предложенного комплекса мер для Абаканской СЭС включая новые эксплуатационные издержки на закупку покрытий в 135 тыс. руб/год и издержки на траты электроэнергии на нагрев в 19,4 тыс. руб/год общая прибыль составляет 735 тыс. руб/год. При этом, срок окупаемости составляет 3,3 года.

Таким образом, применение новых методов использования водоотталкивающих покрытий и принудительного нагрева ФЭМ позволяет обеспечить увеличение выработки электроэнергии на солнечной электростанции.

### Список литературы

1. Doyle A., Lewis B. World seals landmark climate accord, marking turn from fossil fuels. – [Электронная статья] – Режим доступа: <https://www.reuters.com/article/us-climatechange-summit-idUSKBN0TV04L20151212#gVKudBATCD0EGdxL.97> (Дата обращения: 17.05.2022г.)
2. The Sustainable Development Goals Report 2020. – [Электронный отчет] – Режим доступа: <https://unstats.un.org/sdgs/report/2020/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2020.pdf> (Дата обращения: 17.05.2022г.)
3. Попель О.С. Возобновляемые источники энергии: роль и место в современной и перспективной энергетике. Российский химический журнал 52 (6), 95-106, 2008.
4. Andrews R.W., Pollard A., Pearce J.M. The effects of snowfall on solar photovoltaic performance, Sol. Energy 92 (2013) 84–97. – [Электронный журнал] – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2013.02.014>. (Дата обращения: 17.05.2022г.)

5. Krasowska M, Zawala J, Malysa K. Air at hydrophobic surfaces and kinetics of three phase contact formation. *Adv Colloid Interface Sci* 2009;147:155–69.

6. Parrott B, Zanini P.C, Shehri A, Kotsovos K, Gereige I. Automated, robotic drycleaning of solar panels in Thuwal, Saudi Arabia using a silicone rubber brush. *Sol. Energy* 171, 526–533.

7. Dufresne S. Clearing snow off panels using the wind/venturi effect. – [Электронная статья] – Режим доступа: [http://rimstar.org/renewnrg/venturi\\_solar\\_panel\\_cleaner.htm](http://rimstar.org/renewnrg/venturi_solar_panel_cleaner.htm) (Дата обращения: 17.05.2022г.)

8. Ross MMD. Snow and ice accumulation on photovoltaic arrays: an assessment of the TN conseil passive melting technology. Golden, Colorado, United States: Energy Diversification Research Laboratory, CANMET, Natural Resources Canada; 1995.

9. Лукутин Б.В. Оптимизация энергетических балансов фотоэлектрической станции с электрохимическим и тепловым аккумулярованием солнечной энергии / Б. В. Лукутин, А. М. Каррар Хамид // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 2. С. 3-13. doi 10.30724/1998-9903-2022-24-2-3-13. EDN QBWOEW.

УДК 628.977.2

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ С АВТОДИМИРОВАНИЕМ**

<sup>1</sup>Денисова Алина Ренатовна, <sup>2</sup>Савин Николай Александрович  
<sup>1,2</sup> ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань,  
Россия  
<sup>1</sup>denisova\_ar@mail.ru, <sup>2</sup>KOLAY\_AK@mail.ru

Статья посвящена проблеме получения эффективных светотехнических решений при проектировании системы автоматического регулирования светового потока светодиодных светильников в зависимости от инсоляции.

**Ключевые слова:** проектирование, освещение, автодиммирование, светодиодный светильник.

## **DESIGN AND VISUALIZATION OF AN ARTIFICIAL LIGHTING SYSTEM WITH AUTOMATIC DIMMING**

<sup>1</sup>Denisova Alina Renatovna, <sup>2</sup>Savin Nikolai Alexandrovich  
<sup>2</sup>FSBEI HE “KSPEU”, Kazan, Russia  
<sup>1</sup>denisova\_ar@mail.ru, <sup>2</sup>KOLAY\_AK@mail.ru

The article obtaining effective lighting solutions when designing a system for automatically controlling the luminous flux of LED lamps depending on insolation

**Keywords:** design, lighting, LED lamp.

В настоящее время вопросы снижения энергопотребления систем освещения связывают зачастую с корректированием архитектурных и строительных решений на этапах проектирования зданий [1, 2]. В гораздо меньшей степени рассматриваются вопросы управления освещением и моделирование их работы в среде BIM.

В России зачастую в процессе проектирование систем освещения с регулированием светового потока светильников принятие технического решения происходит на основе заявлений производителей. Они утверждают, что при использовании автоматических систем регулирования световым потоком светодиодных светильников получается экономить до 50% энергопотребления в равнении с системами освещения без регулирования[3, 4].

Эти и другие факты говорят о необходимости изучить более глубоко данную тематику и в идеале создать модель для наглядной визуализации работы подобных систем.

BIM (BuildingInformationModeling) – технология информационного проектирования здания, основанная на обработке, анализе всех инженерных систем, которые будут внедряться и эксплуатироваться в конкретном здании или сооружении. К примеру, если речь идет об учебном корпусе университета, то при BIM проектировании учитываются все разделы строительства (архитектура, конструкторские решения, системы водоснабжения и водоотведения, общеобменная вентиляция, система электроснабжения и т.д.) и взаимная зависимость элементов данных систем между собой. Данный подход к проектированию позволяет построить единую 3D-модель, в которой можно наглядно визуализировать все возможные коллизии, что дает возможность исключить их до начала строительства.

Все составляющие данной 3D-модели при осуществлении BIM проектирования можно объединить в следующие две большие группы:

- 1) внутренние параметры – демонстрируют скорость изменения функционирования всех инженерных систем;
- 2) компоненты оборудования – последовательность работы технических систем, которые, как правило, представляются в виде поэлементного моделирования.

Технологию BIM необходимо развивать и внедрять в повседневную работу технических специалистов, таких как инженеров-проектировщиков,

по созданию различных проектов[5]. Это связано с тем, что вычисление различного рода параметров, используемых для описания потребления различного рода энергий (тепловой, электрической), с помощью общепринятых нормативов описывает лишь статику процессов, не затрагивая динамику. Это приводит к большим погрешностям в ходе сертификации и эксплуатации зданий и сооружений.

Как правило, проектирование систем освещения осуществляется в специальных программных средах (например, DIALux), в алгоритм которых уже заложен существующие методы расчета. Этот метод проектирования позволяет более точно и ускоренно спроектировать системы освещения.

В данной работе рассмотрен процесс проектирования и визуализация системы искусственного освещения с автодиммированием в учебной аудитории, с помощью программной среды DIALuxEVO. Это последняя версия программы семейства DIALux предназначенное для выполнения светотехнических расчетов и светодизайна. Далее на рисунках 1-4 представлена поэтапная визуализация создания модели системы освещения.

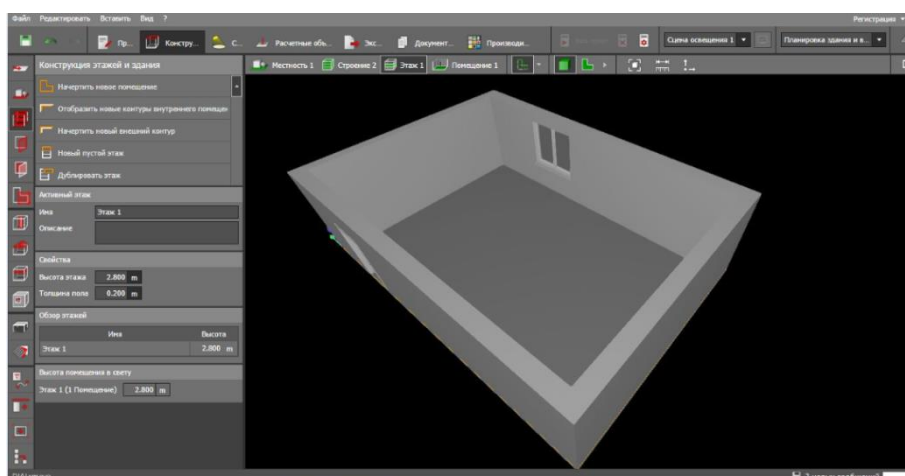


Рис. 1. Создание помещения

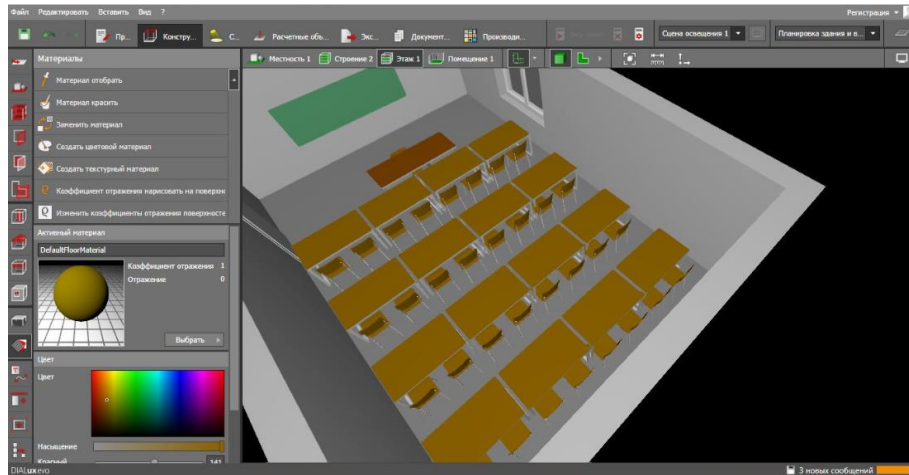


Рис. 2. Расстановка мебели

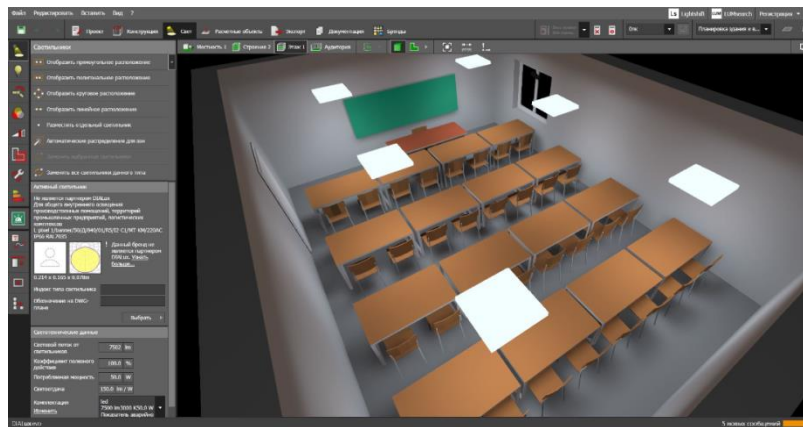


Рис. 3. Расстановка светодиодных светильников с возможностью автодиммирования

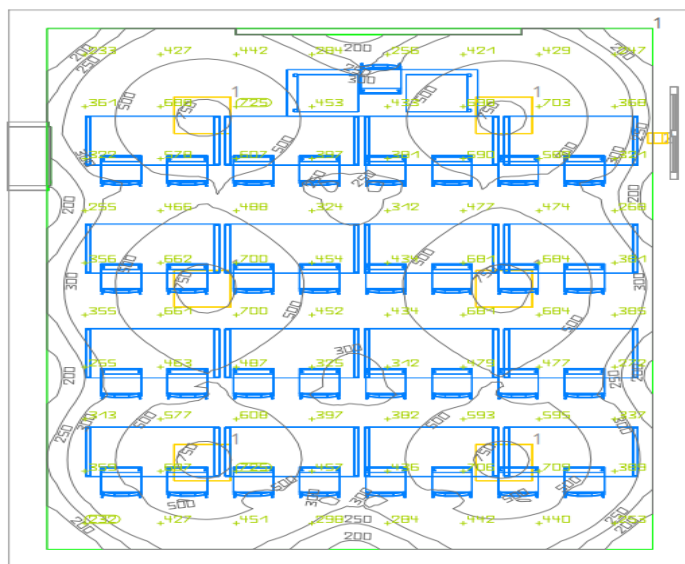


Рис. 4. График изолиний работы системы освещения.

## Список литературы

1. Денисова А.Р. Энергосбережение в промышленных и коммунальных предприятиях: учебное пособие с грифом УМО / А.Р. Денисова, Н.В. Роженцова. – Казань: Казан.гос. энерг. ун-т, 2010.

2. СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение».

3. Денисова, А. Р. Разработка автоматизированной системы освещения / А. Р. Денисова, Э. Г. Сибгатуллин, Н. А. Савин // Фёдоровские чтения - 2021 : LI международная научно-практическая конференция с элементами научной школы, Москва, 17–19 ноября 2021 года. – Москва: Издательский дом МЭИ, 2021. – С. 132-140.

4. Денисова, А. Р. Перспектива модернизации системы освещения в промышленных отраслях с применением светодиодных источников света / А. Р. Денисова, А. Е. Сидоров, З. Р. Закирова // Фёдоровские чтения — 2020: L Международная научно-практическая конференция с элементами научной школы, Москва, 17–20 ноября 2020 года. – Москва: Издательский дом МЭИ, 2020. – С. 151-156.

5. Роженцова Н.В., Купоросов А.В. Применение ВІМ технологии в проектировании и эксплуатации объектов электроэнергетики/Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники»/ Под общ.ред. гос. энерг. ун-т, 2019.

УДК 628.94:621.311.13

## **АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК СВЕТОДИОДНЫХ ФИЛАМЕНТНЫХ ЛАМП С РАЗНОЙ МОЩНОСТЬЮ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ НАПРЯЖЕНИЯ ПИТАЮЩЕЙ СЕТИ**

<sup>1</sup>Загидуллин Алмаз Мухарамович

<sup>1</sup>КГЭУ, г. Казань

<sup>1</sup>zagidullin\_almaz@bk.ru

Во время данного исследования был проведен анализ соответствия результатов измерений характеристик ламп значениям, заявленным производителем, а также выявление критериев при выборе источников света для бытового освещения.

Филаментные светодиодные лампы (ФСЛ) – новинка на рынке светодиодного освещения. На рынке ФСЛ лампы представлены различными производителями, такими, как всемирно известными фирмами Osram и Филипс, а также российскими производителями Navigator, Feron, RUSLED, «Лисма».

**Ключевые слова:** филаментная светодиодная лампа, световой поток, световая отдача, коэффициент пульсации, время стабилизации, освещенность, спад освещенности, потребляемая мощность.

## **ANALYSIS OF THE CHARACTERISTICS OF LED FILAMENT LAMPS WITH DIFFERENT POWER DEPENDING ON THE SUPPLY MAINS VOLTAGE**



<sup>1</sup>Zagidullin AlmazMukharamovich  
<sup>1</sup>FSBEI HE “KSPEU”, Kazan  
<sup>1</sup>zagidullin\_almaz@bk.ru

During this study, an analysis was made of the compliance of the measurement results of lamp characteristics with the values declared by the manufacturer, as well as the identification of criteria for choosing light sources for domestic lighting.

Filament LED lamps (FSL) are a novelty in the LED lighting market. In the FSL market, lamps are represented by various manufacturers, such as the world-famous companies Osram and Philips, as well as Russian manufacturers Navigator, Feron, RUSLED, Lisma.

**Key words:** filament LED lamp, luminous flux, luminous efficiency, pulsation coefficient, stabilization time, illumination, illumination decay, power consumption.

В настоящее время компания «Лисма» выпускает свыше 20 типов ФСЛ ламп мощностью 2, 4, 6, 8, 9 Вт в колбах А45, А50, А60, В35, R63 прозрачных, матированных с цветовой температурой 2700 К и 4000 К.

Для проведения исследований были закуплены в розничной торговой сети СДФ лампы мощностью 4, 6, 8 Вт в колбе А60 с цветовой температурой 2700 К и мощностью 4 Вт в колбе А50 с цветовой температурой 4000 К производства компании «Лисма».

### Методика измерений

В лаборатории ЦКП «Светотехническая метрология» (институт электроники и светотехники МГУ им. Н. П. Огарева) проводилось исследование, основной идеей которого было сравнение характеристик ФСЛ ламп с сопоставимыми по световому потоку лампами накаливания[1]. Они проводились на испытательном комплексе компании Gooch&Housego, состоящем из фотометрического шара OL IS 7600 диаметром 2,5 м, спектрорадиометра OL 770 VIS/ NIR, прецизионного источника постоянного тока OL410-300 PRECISION L, а также прибора для измерения температуры и влажности воздуха — термометра TDS. Первым этапом исследования было определения времени стабилизации характеристик ФСЛ ламп. По полученным результатам измерений представлены графики изменения основных параметров ламп в течение времени стабилизации, которые представлены на рисунке 1.

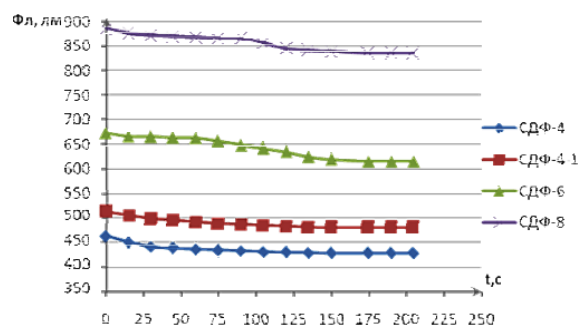


Рис. 1. Изменение светового потока ламп в период стабилизации.



Существовала вероятность изменения теплоотода ФСЛ в зависимости от его положения (цоколем вверх или вниз), что могло серьезно повлиять на полученные данные исследования характеристик[2].

*Результаты исследований.* Результаты исследований характеристик светодиодных филаментных ламп с разной мощностью в зависимости от напряжения питающей сети показали следующее:

– Световой поток КЛЛ уменьшается от 2,3% до 10,5% для ламп разной мощности при снижении напряжения сети на 10 %, и увеличивается на 3,4 – 10,3% при увеличении напряжения на 10%;

– Характеристики ЛН сильно меняются (от 10 до 23%) при изменении напряжения сети;

– ФСЛ в этом эксперименте показали себя с самой лучшей стороны. При изменении питающего напряжения от 198 В до 242 В мощность ламп, ток и световой поток практически оставались на одном уровне.

Все эти выводы были сделаны на основе таблицы, представленной ниже:

Результаты измерений характеристик ламп СДФ – 4, СДФ 4 – 1, Б230 – 40, SPC T2 9 Вт.

Образцы исследования	СДФ – 4			СДФ 4 – 1			Б230 – 40	SPC T2 9 Вт
	заяв. знач.	эксп. знач.		заяв. знач.	эксп. знач.		эксп. знач.	эксп. знач.
		цок. вверх	цок. вниз		цок. вверх	цок. вниз		
Световой поток, лм	420	417,7	415,3	440	468,2	467,6	378,9	430
Коррелированная цветовая температура, К	2700	2758	2757	4000	4182	4183	2628	271
Общий индекс цветопередачи, Ra	80	80,93	80,93	80	81,57	81,58	99,74	80,7
Доминирующая длина волны, нм		583,8	583,8		577,9	577,9	584,5	582
Координаты цветности	x	0,455	0,455		0,373	0,373	0,4668	0,46
	y	0,410	0,410		0,373	0,373	0,4131	0,41
	u	0,259	0,259		0,221	0,221	0,2659	
	v	0,526	0,526		0,499	0,499	0,5293	
Мощность, Вт	4	4,1	4,1	4	4,1	4,1	39,7	9,4
Световая отдача, лм/Вт	105	104,3	101,3	110	115,5	114,0	9,54	49,6
Коэффициент пульсации, %	0,2-0,5	0,7	0,7	0,2-0,5	1,7	1,7		7,8

Высококчувствительный спектрометр общего назначения «Specbos» позволил провести изучения спектров излучения тестовых образцов.

На рисунке 2 представлен спектр излучения исследуемых образцов.

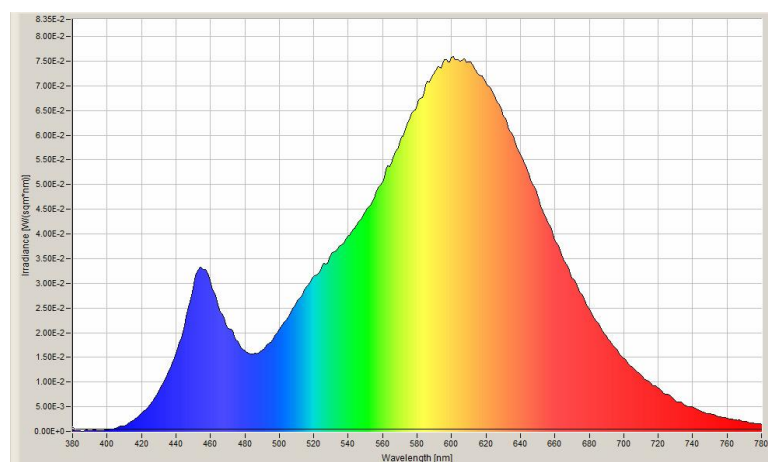


Рис. 2. Спектр излучения лампы ФСЛ (2700 К)

Из анализа рисунка 2 видно, что: спектр излучения ФСЛ ламп имеет непрерывный характер и несёт в себе основные компоненты (синий, зеленый, красный) видимого диапазона. Для ФСЛ ламп (2700 К) максимум интенсивности приходится на желто-оранжевую часть – свечение близкое к ЛН. Спектр излучения ФСЛ ламп (4000 К) имеет 2 максимума в синей и желто-оранжевой части спектра, что обеспечивает яркий белый свет. Индекс цветопередачи этих ламп высокий, по результатам измерений он составил более 80;

Спектр излучения КЛЛ типа SPCT 22700 К представляет типичный спектр люминесцентных ламп (линейчатый), имеющий максимумы в трех областях спектра. Первый максимум находится в синей части видимого диапазона спектра, два следующих в зеленой и оранжево-красной части спектра. Следует отметить, что, изменяя интенсивности этих линий можно добиться различного цветового свечения лампы, вплоть до монохроматического [3];

Спектр ЛН имеет непрерывный характер вдоль всего видимого диапазона (схожий со спектром излучения Солнца), это говорит о высоком уровне индекса цветопередачи – Ra=99.

Угловое распределение силы света, или, как принято называть эту зависимость, кривая силы света (КСС), является одной из наиболее важных характеристик любого источника света.

Однако, этот недостаток не уменьшает всех достоинств ФСЛ ламп. Таким образом, лампы типа ФСЛ практически по всем показателям превосходят КЛЛ, тем более, ЛН и в настоящее время являются наиболее

перспективными источниками для целей общего освещения бытовых, офисных и других помещений[4].

### Список литературы

1. Нестеркина Н. П., Кондрашин А. С. О характеристиках светодиодных филаментных ламп мощностью 4, 6, 8 Вт. В сб. Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики. Материалы XIII Всероссийской научно-технической конференции с международным участием в рамках IV Всероссийского светотехнического форума с международным участием. Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарева. 2017.
2. Тукшаитов Р. Х., Сулейманова И. Филаментные светодиодные лампы. Аналитический обзор современных источников литературы // Полупроводниковая светотехника. 2018. № 1.
3. Нестеркина Н. П., Кондрашин А.С., Корсуков А.А. Сравнительное исследование филаментных ламп мощностью 4 Вт в колбах А50 и А60 // Наука и просвещение. Пенза, 2016.
4. Тукшаитов Р. Х., Роженцова Н. В., Денисова А. Р. Исследование работоспособности и качества функционирования светодиодных осветительных элементов электротехнических систем при предельно допустимой температуре окружающей среды // Изв. вузов. Проблемы энергетики. 2021. № 4.
5. Тукшаитов Р. Х. Результаты длительного испытания филаментных ламп при нормальной и предельно допустимой температуре окружающей среды после демонтажа их колб // Полупроводниковая светотехника. 2020. № 1.

УДК 628.9

### АНАЛИЗ ОРГАНИЗАЦИИ СВЕТОВОГО КОМФОРТА РАБОЧЕГО ПРОСТРАНСТВА

<sup>1</sup>Иванова Вилия Равильевна, <sup>2</sup>Багаутдинов Азат Ильгамович  
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»  
<sup>1</sup>vr-10@mail.ru, <sup>2</sup>mr.bagautdinov9@yandex.ru

Работа посвящена анализу качественных характеристик света, оценки светового комфорта рабочего пространства. Описана перспективная технология организации автоматизированного динамического освещения помещений, которая строится с учетом воздействия на активность и настроение человека.

**Ключевые слова.** Критерии качества, осветительное оборудование, параметры, светоотдача, источники света

## **ANALYSIS OF THE ORGANIZATION OF THE LIGHT COMFORT OF THE WORK SPACE**

<sup>1</sup>Ivanova Viliya Ravilievna, <sup>2</sup>Bagautdinov AzatIlgamovich  
FSBEI HE "Kazan State Power Engineering University"  
<sup>1</sup>vr-10@mail.ru, <sup>2</sup>mr.bagautdinov9@yandex.ru

The work is devoted to the analysis of the qualitative characteristics of light, the assessment of the light comfort of the workspace. A promising technology for organizing automated dynamic lighting of premises is described, which is built taking into account the impact on human activity and mood.

**Keywords.** Quality criteria, lighting equipment, parameters, light output, light sources.

Известно, что хорошая видимость способствует концентрации внимания и обеспечивает световой комфорт рабочего пространства. В смысловое значение словосочетания «хорошая видимость» заложена характеристика положительных качеств созданного освещения. Для описания качественных свойств освещения приняты ряд критериев, по которым можно судить об энергоэффективности осветительных установок. К ним относятся соблюдение нормируемых параметров, надежность осветительного оборудования, удобство и безопасность эксплуатации системы освещения, эстетичность и экономичность системы. Каждый из этих параметров занимает свою нишу при построении светового пространства в помещении, задачами которого будут уменьшение зрительной утомляемости и повышение концентрации внимания.

При правильно спроектированном освещении наблюдается максимальное использование естественного света, создаваемое прямыми солнечными лучами и рассеянным светом небосвода. Конструктивно это выполняется с помощью боковых световых проемов в наружных стенах здания, а также через верхние проемы в кровле.

Несмотря на различные приемы увеличения поступления естественного света в помещение, весьма негативно сказывается на его количестве плотная застройка территории и погодные условия географической широты. При этом большое количество разнообразных электрических светильников «не могут» заменить все свойства естественного света.

Максимально приблизить световые ощущения к естественным при использовании искусственных источников света позволяет тщательно продуманный дизайн, который включает в себя как общее так и комбинированное освещение. При этом перспективным становится

построение концепции выбора наиболее эффективных источников света по спектральному составу. Известно, что организм человека имеет различные периоды активности, которые обусловлены световым воздействием. Последнее характеризуется спектральным составом световых волн источников света. По спектру можно судить о качественной характеристике света – цветовая температура  $T_{цв}$ . Сочетание различных вариаций значений цветовой температуры позволит подстраивать освещение под биологические ритмы человека.

Учитывая такую взаимосвязь, становится актуальным использование и разработка автоматизированных динамических систем управления освещением. В основе такой системы лежит автоматическое изменение яркости и цветовой температуры. Управление и регулирование этими параметрами становится перспективным трендом развития автоматизированных систем в освещении. Использование таких систем позволит увеличить эффективность работоспособности и уменьшить утомляемость, а также создать комфортные условия принципиально нового уровня [1, 2].

Освещение, ориентированное на человека, подразумевает использование сетевых технологий для интеграции со сторонними системами автоматизации и *IoT*-платформой, а также интеллектуальных устройств для адаптивного управления. Адаптивное управление выполнит синтез системы управления, которая позволит изменять параметры регулятора в зависимости от изменения параметров объекта управления или внешних возмущений, действующих на объект управления.

Сетевые технологии в системах освещения приводят к объединению работы полупроводниковых источников света и информационных технологий, последние позволяют выполнять сбор и обработку данных в режиме реального времени [3, 4]. Таким образом, обеспечивается гармония естественного и искусственного света, а также повышается качество визуального восприятия объектов.

К преимуществам использования автоматизированных динамических систем освещения следует отнести надежность и экономичность. Так известно, что капитальные затраты определяются ценой светильников и не зависят от светотехнических параметров источников света, расходы на обслуживание и стоимость электроэнергии напрямую связаны со следующими параметрами – световая отдача и срок службы. Согласно этому, на первое место выдвинулись светильники со светодиодами. Однако в проблеме экономичности светильников со светодиодами имеет место быть вопрос их стоимости и наличия драйвера, которые увеличивает

«нагрузку» на стоимость устройства [5, 6]. Поэтому рациональным становится индивидуальный подход в разработке автоматизированных динамических систем освещения.

### Список литературы

1. Электронный ресурс «Биологически и эмоционально эффективное освещение Human Centric Lighting». Режим доступа: <https://www.ltcompany.com/ru/solutions/hcl/> (дата обращения: 23.04.2022).

2. Электронный ресурс «HCL (Human Centric Lighting) — управление температурой света.» Режим доступа: <http://statiba.by/hclhuman-centric-lighting-upravlenie-temperaturoj-sveta/> (дата обращения: 23.04.2022).

3. Иванова В.Р., Садыков М.Ф. Интеллектуальная система управления искусственным освещением. Сборник тезисов Всероссийской научно-технической конференции «Системы связи и радионавигации». Красноярск 2014. С.136-139.

4. Иванова В.Р., Иванов И.Ю. Контроль уровня освещенности рабочей поверхности с помощью интеллектуального блока управления светильника. Сборник докладов V Международной молодежной научно-технической конференции «Электроэнергетика глазами молодежи – ТПУ-2014». Т.2, с.11-14.

5. Иванова В.Р. Нейросетевой алгоритм управления искусственным освещением. Сборник научных трудов международной конференции «Развитие информационно-ресурсного обеспечения образования и науки в горно-металлургической отрасли и на транспорте 2014». Днепропетровск. С. 208 – 212.

6. Денисова, А. Р. Энергосберегающие технологии в системах офисного освещения / А. Р. Денисова, О. В. Исаева, Р. А. Залилова // XVI Всероссийская открытая молодежная научно-практическая конференция «Диспетчеризация и управление в электроэнергетике», Казань, 20–21 октября 2021 года. – Казань: Общество с ограниченной ответственностью «Издательско-полиграфическая компания «Бриг», 2022. – С. 32-35. – EDN GAJRJR.

УДК 004

### ОБ ИЗМЕНЕНИИ ПОДХОДОВ К ОРГАНИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

<sup>1</sup>Иванова Вилия Равильевна, <sup>2</sup>Жукова Юлия Владимировна  
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»

МБОУ "Средняя общеобразовательная школа № 135 с углубленным изучением отдельных предметов"

<sup>1</sup>vr-10@mail.ru, <sup>2</sup>ybgukova@list.ru

Материал посвящен анализу применения цифровых технологий на производственных площадках и уровню их использования. В тексте указаны основные факторы развития и торможения цифровой трансформации, указано основное направление развития университетского образования для повышения качества подготовки требуемых специалистов. Представлены задачи трансформации образования, согласно которым будут созданы условия для выстраивания непрерывной траектории обучения с привлечением электронной образовательной среды, включающей в себя электронные ресурсы, совокупность цифровых технологий и создание платформ.

**Ключевые слова:** Цифровизация, кадровый потенциал, компетенции, образование, трансформация.

## ON CHANGING APPROACHES TO THE ORGANIZATION OF THE EDUCATIONAL PROCESS

<sup>1</sup>Ivanova ViliyaRavilievna, <sup>2</sup>Zhukova YuliaVladimirovna  
<sup>1</sup>FSBEI HE «KSPEU», <sup>2</sup>МБЕИ "Secondary school № 135"

The material is devoted to the analysis of the use of digital technologies at production sites and the level of their use. The text indicates the main factors in the development and inhibition of digital transformation, indicates the main direction for the development of university education to improve the quality of training of the required specialists. The tasks of transforming education are presented, according to which conditions will be created for building a continuous learning path with the involvement of an electronic educational environment, which includes electronic resources, a set of digital technologies and the creation of platforms.

**Keywords:** Digitalization, human resources, competencies, education, transformation.

В настоящее время определена концепция принципиальных подходов к построению инновационной Единой национальной электрической сети, соответствующей современным требованиям развития электроэнергетического сектора, получившая название – Интеллектуальная электроэнергетическая система с активно-адаптивной сетью. Такая система подразумевает эволюционирующую и динамически развивающуюся онтологическую модель производства на протяжении всего жизненного цикла системы.

Для обеспечения работоспособности описываемой модели существует необходимость внедрения усовершенствованных информационных технологий цифровизации (Интернет вещей (IoT), распределенные реестры (Blockchain), методы искусственного интеллекта, облачные вычисления, методы имитационного моделирования в виде представления цифровых двойников производственных площадок,

дополненная и виртуальная реальность (AR/VR)), которые позволят осуществлять мониторинг и управление в режиме реального времени. К преимуществам такой стратегии можно также отнести оптимизацию процессов энергопотребления и энергосбережения [2-4].

Для построения образа будущего каждому производству необходимо определить аспекты, которые будут способствовать успешной цифровой трансформации. Таким образом, в области электроэнергетики можно выделить основные факторы, способствующие развитию и обуславливающие торможение цифровой зрелости. К основным драйверам цифровой трансформации электроэнергетики относятся технический прогресс в области устройств коммуникации и связи и, соответственно, управление распределенными ресурсами. К факторам, сдерживающим процесс, стоит отнести наслаивание технологий друг на друга, которые внедряют буквально каждое подразделение при отсутствии их интегрированной единой работы. Безусловно, последнее уменьшает продуктивность.

Важным пунктом сдерживания трансформации является уровень профессионализма сотрудников. Это влечет за собой то, что расчет на использование максимального потенциала своих цифровых активов затруднителен. Становится понятным, что подготовка кадров, обучение и постоянная «поддержка» знаний сотрудников является неотъемлемой частью новых возможностей и форматов.

Стратегическим документом стало распоряжение Правительства РФ, согласно которому утверждено направление цифровой трансформации образования и науки. В распоряжении говорится о том, что для повышения качества образовательного результата в учебном процессе должны быть задействованы вышеуказанные цифровые технологии в целях выстраивания образовательных траекторий и пространств для обучающихся. При этом концепция траектории сосредоточена на обеспечении непрерывности процесса обучения. Последнее обеспечивает быстрое реагирование на изменяющиеся потребности общества и тем самым помогает выстраивать условия для формирования компетенций. Из этого следует, что существует необходимость изменения подходов к организации обучения в условиях внедрения инновационных средств.

Основными задачами в период модернизации становятся повышение эффективности процессов функционирования учебных заведений; расширение возможностей качественного доступа к цифровому образовательному сервису по всей территории страны; формирование различных платформ для удобства и повышения уровня цифровой



культуры; стандартизация создаваемого формата на основе информационных технологий [1].

Таким образом, перед системой высшего образования стоит ряд задач по выстраиванию цифрового контента новых образовательных модулей по программам университетов. При этом стоит отметить, что в независимости от специализации вузов, актуальным как для выпускников, так и преподавателей становится наличие цифровых компетенций. Применение в образовательной деятельности современных технологий приведет к смене парадигмы университета, которая усилит взаимодействие науки и производства.

### Список литературы

1. Молоткова, Н.В. Механизм использования цифровой образовательной среды в инженерном образовании /Н.В. Молоткова, Е.А. Ракитина, А.И. Попов // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. №2, 2018. С. 163 – 172. - Текст электронный. - URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35646268> (дата обращения 02.04.2022).

2. Шаронин, Ю.В. Цифровые технологии в высшем и профессиональном образовании: от личностно – ориентированной Smart-дидактики к блокчейну в целевой подготовке специалистов // Современные проблемы науки и образования. – 2019. – № 1. - Текст электронный. - URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=28507> (дата обращения: 01.04.2022).

3. Иванова В.Р. Интернет вещей – цифровая технология для обеспечения полного спектра цифровых услуг. Материалы V Международной научно-технической конференции «Проблемы и перспективы развития энергетики, электротехники и энергоэффективности», 2021. ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова», С. 21-25.

4. Иванова В.Р., Жукова Ю.В. О цифровой трансформации в сфере энергетики. Материалы III Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники», 2021. С. 191-194.

УДК 620.92

## ПРИМЕНЕНИЕ ГАЗОВОЙ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ КАК ЭФФЕКТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ МАЛОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

<sup>1</sup>Копейкина Татьяна Васильевна,<sup>2</sup>Козлуков Андрей Александрович  
<sup>1,2</sup>Камышинский технологический институт (филиал) федерального государственного  
бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волгоградский  
государственный технический университет», г. Камышин, Россия  
<sup>1</sup>kopeikina.tania@yandex.ru,<sup>2</sup>endru.yamde@gmail.com

Малая распределенная энергетика вот уже несколько десятилетий является ведущим трендом развития мировой энергетике и, по оценкам экспертов, данная тенденция сохранится в ближайшее десятилетие. Из-за возникающих сегодня требований к генерации энергии вызывает особый интерес применение газопоршневых установок ГПУ как технологии малой энергетике. Быстрая окупаемость и низкие инвестиции в сети – основные тренды в развитии энергосистем. Развитие малой генерации, основанной на использовании мобильных и высокоэффективных ГПУ, является современным, эффективным и высококорентабельным видом энергетического бизнеса, стремительно набирающим популярность в последние годы. Тепловая малая генерация на базе ГПУ является высокоэффективным способом выработки электроэнергии, позволяющим получать попутные виды энергии (тепловая энергия и холод).

**Ключевые слова:** малая энергетика, газопоршневая установка, генерация, электроэнергия

## APPLICATION OF GAS DISTRIBUTED GENERATION AS AN EFFICIENT SMALL-SCALE ENERGY TECHNOLOGY

<sup>1</sup> Kopeikina Tatiana Vasilyevna, <sup>2</sup> Kozlukov Andrey Alexandrovic  
<sup>1</sup>Kamyshin

<sup>2</sup>Kamyshinsky Technological Institute (branch) of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Vologograd State Technical University"  
<sup>1</sup>kopeikina.tania@yandex.ru,<sup>2</sup>endru.yamde@gmail.com

Small distributed energy has been a leading trend in the development of global energy for several decades and, according to experts, this trend will continue in the next decade. Due to the emerging requirements for energy generation today, the use of gas piston units of the GPU as a technology of small energy is of particular interest. Fast payback and low investment in networks are the main trends in the development of power systems. The development of small generation based on the use of mobile and highly efficient GPUs is a modern, efficient and highly profitable type of energy business that has been rapidly gaining popularity in recent years. Small thermal generation based on a GPU is a highly efficient way of generating electricity, allowing to obtain associated types of energy (thermal energy and cold).

**Keywords:** small power engineering, gas piston installation, generation, electric power

Малая распределённая энергетика – концепция развития энергетике, обеспечивающая возможности перехода от традиционной организации энергетических систем к новым методикам и практикам. Наиболее развитой составляющей распределённой энергетике в России является распределенная генерация, которая представляет собой комплектные энергообъекты мощностью до 25 МВт, расположенные рядом с потребителем [1].

Следует отметить, что в связи с появлением новых технологий изменился и подход в развитии энергетических систем. Объединение большого количества объектов распределённой генерации в «умную сеть» обеспечивает высокую надёжность и гибкость работы системы.

В настоящее время малая распределённая энергетика является единственным действенным инструментом снижения стоимости электроэнергии для предприятий малого и среднего бизнеса. Возможность работы оборудования малой распределённой энергетике на разных видах топлива (в том числе на сжиженном газе) позволяет устанавливать такие объекты на территориях с обширной географией.

Из-за возникающих сегодня требований к генерации энергии, таких как быстрая окупаемость и низкие инвестиции в сети, вызывает особый интерес применение газопоршневых установок ГПУ. Развитие малой генерации, основанной на использовании мобильных и высокоэффективных ГПУ, является современным, эффективным и высокорентабельным видом энергетического бизнеса, стремительно набирающим популярность в последние годы. Тепловая малая генерация на базе ГПУ является высокоэффективным способом выработки электроэнергии, позволяющим получать попутные виды энергии (тепловая энергия и холод).

На сегодняшний день отрасль малой генерации, основанная на использовании мобильных и высокоэффективных газопоршневых установок, является современным, эффективным и высокорентабельным видом энергетического бизнеса, стремительно набирающим популярность в последние годы.

Мировыми предпосылками развития газовой генерации являются:

– Доступное топливо – природный газ является самым доступным и эффективным видом топлива в перспективе на ближайшие 30-40 лет;

– Постепенный отказ от использования угольного топлива - уголь является дорогим и неэкологическим видом топлива. В частности, это подтверждается в последнее время переводом крупных электростанций на газовое топливоснабжение;

– Снижение доли атомной энергетике – атомная энергетика является дорогим видом выработки электроэнергии с высокой долей технологического риска. Данный факт подтверждается сворачивание или уменьшением доли ядерной выработки в энергетических проектах в России и мире;

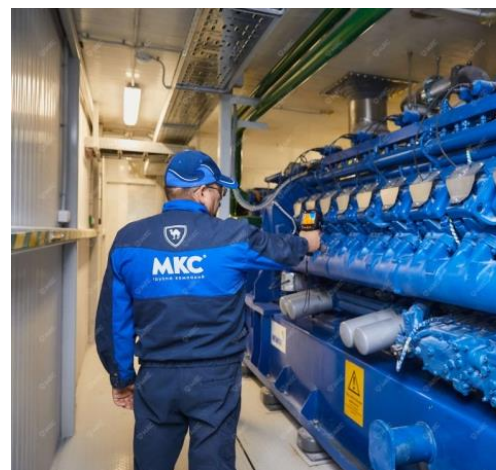
– Высокая эффективность когенерации и тригенерации - тепловая малая генерация на базе ГПУ является высокоэффективным способом

выработки электроэнергии, позволяющим получать попутные виды энергии (тепловая энергия и холод).

Газопоршневые установки (ГПУ) представляют собой двигатель внутреннего сгорания с внешним смесеобразованием и искровым зажиганием горючей смеси в камере сгорания. ГПУ использует в качестве топлива газ. Утилизация тепла происходит посредством теплообменника, что обеспечивает повышение общего КПД установки.

Преимущества ГПУ: высокий электрический КПД (40-44%); увеличенный срок службы (до 240000 ч); оптимизация как для параллельной, так и для автономной работы; увеличенные межсервисные интервалы; увеличенный ресурс до капитального ремонта; возможность работы на разных видах газообразного топлива; относительно низкая стоимость установки [2].

Недостатки ГПУ: дополнительные эксплуатационные затраты (масло, свечи); загрузка не менее 40%.



Мини-ТЭС производства Группы компаний «МКС»  
на основе газопоршневой электростанции

На сегодня, проекты ГПУ развиваются в основном в местах, где есть газ, но подключение к сети затруднено (нефтяные и газовые месторождения, отдельные территории с сетевыми ограничениями). Тем не менее, очевидно, что внедрение ГПУ в «малой» и «большой энергетике» является перспективным направлением.

Сегодня в России, в отличие от большинства стран, электроэнергия вырабатывается в основном из газа, поэтому уместно поставить вопрос о газовой сети как альтернативе электросети в транспорте энергии. Расчеты показывают, что капитальные затраты на газотранспортную сеть в 2-10 раз ниже, чем на электрическую сеть. При этом пропускная способность

газовой сети в России уже избыточна. Резервирование газовой сети достигается локальным резервом дизельного топлива и не требует дублирования.

В России центрами потребления электроэнергии являются крупные города. Со временем, тенденция группировки потребления электроэнергии вокруг них только усиливается. В этом случае эффективность развитой электрической сети между городами становится сомнительной.

Затраты на создание и поддержание газовых сетей гораздо ниже, чем электрических. В России, где газ является основой энергобаланса, газовые сети могут заменить электрические. Однако Генсхема и инвестиционные планы электросетевых компаний продолжают развиваться в логике сильносвязанной электрической сети.

Широкое применение ПГУ позволит размещать объекты генерации возле потребителя, за счет чего потребитель экономит на транспорте энергии, электрической и тепловой, снижая стоимость конечного продукта. Еще один весомый аргумент - скорость ввода мощностей. Если брать сетевые компании, то их присоединение с учетом строительства линий может растянуться на годы. В среднем это около двух лет и то при условии, что в соответствующем центре питания есть свободные мощности. Если их нет, дольше. Потому что процедура подключения новых объектов в России конкурсная, связанная с оформлением земельных участков, линейных объектов строительства и пр.

### Список литературы

1. Малая энергетика// [NIE Journal](https://niejournal.ru) Журнал для бизнеса онлайн [Электронный ресурс] // <https://niejournal.ru/small-energy/#i-5/>(дата обращения: 20.05.2022).

2. Развитие распределенной генерации//Энергетический центр Московской школы управления Сколково, 2012[Электронный ресурс] // [https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/Research/SKOLKOV\\_O\\_EneC\\_DER-3.0\\_2018.02.01.pdf](https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/Research/SKOLKOV_O_EneC_DER-3.0_2018.02.01.pdf)(дата обращения: 25.04.2022).

3. Распределенная энергетика/ Группа компаний МКС[Электронный ресурс] // <https://mks-group.ru/a/raspredelelnaya-energetika/>(дата обращения: 10.05.2022).

4. Ахметова, Р.В. Разработка и исследование энергоэффективных методов сжигания газового топлива в энергетических системах / Р. В. Ахметова, Ю. Н. Звонарева, И. Р. Шорохов // Вестник Казанского

государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 1(53). С. 13-23. EDN MBZPYO.

УДК 621.3.036.213

## ЭЛЕКТРООБОГРЕВАЕМЫЙ ТРОТУАР

<sup>1</sup>Миннеханов Алмаз Ринасович, <sup>2</sup>Шириев Равиль Рафисович  
<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО КГЭУ, г. Казань  
<sup>1</sup>e-mail: minnekhanov1999a@mail.ru, <sup>2</sup>e-mail: shrr@list.ru

В работе проведено сравнение разных систем обогрева тротуара. Более подробно описан принцип действия и результаты расчета системы обогрева тротуара посредством протекания электрического тока по специальному кабелю.

**Ключевые слова:** тротуар с электрическим обогревом, обогреваемые полы, электрообогреватель.

## ELECTRIC HEATED PAVEMENT

<sup>1</sup>Minnekhanov Almaz Rinasovich, <sup>2</sup>Shiriev Ravil Rafisovich  
<sup>1,2</sup>FSBEI HE "KSPEU"  
<sup>1</sup>e-mail: minnehanov1999a@mail.ru, <sup>2</sup>e-mail: shrr@list.ru

The paper compares different sidewalk heating systems. The principle of operation and the results of the calculation of the sidewalk heating system by means of the flow of electric current through a special cable are described in more detail.

**Keywords:** sidewalk with electric heating, heated floors, electric heater.

В холодный зимний период и между сезонами для многих Российских регионов характерно обледенение и образование естественных снежных заносов на тротуарах и дорогах. Эти явления природы пагубно отражаются на целостности дорожного покрытия. Нарушение целостности дорожного покрытия ведет к увеличению вероятности возникновения дорожно-транспортных происшествий и травматизма [1].

В настоящее время существуют следующие системы обогрева тротуаров и дорожек: электрические маты или кабели, замкнутые тепловые сети с жидким теплоносителем – антифризом внутри труб.

Наиболее эффективными с точки зрения затрат электрической энергии и более экономичными системами, предназначенными для обеспечения снеготаяния, являются те, в которых непосредственным нагревательным элементом является разветвленная или магистральная система трубок с циркулирующим в нем теплоносителем. Вода в качестве теплоносителя в этих системах не используется. Вместо нее применяют пропилен гликоль либо специальную суспензию с низкой температурой

замерзания. Нагрев теплоносителя, как правило, осуществляется от системы отопления через специальный контур с вторичным теплообменником, при этом необходима принудительная циркуляция жидкости [1, 2].

Довольно примечательным является опыт других стран в этом вопросе. Так, например, в Исландии весьма распространены особые тротуары с естественным подогревом, в которые тепло поступает посредством естественного теплоносителя – горячей воды из термальных естественных источников. В Финляндии применяют тротуары с электрическим подогревом. Благодаря такому подогреву снег, едва попадая на мостовую, тут же переходит в жидкую фазу, то есть превращается в воду и благополучно стекает в городскую канализационную систему. Теплые тротуары и дороги с подогревом также распространены в Японии, в городах, где зимой выпадает снег [3].

Электрическая система обогрева тротуаров – это очень востребованная система снеготаяния на загородном участке. Греющий кабель или мат укладывается под дорожное покрытие еще на этапе благоустройства придомовой территории. При проектировании системы обогрева учитывается назначение покрытия: для пешеходных дорожек применяют кабели производительностью 250-300 Вт/м<sup>2</sup>, для транспортных проездов – от 400 Вт/м<sup>2</sup>.

В рамках проекта системы обогрева тротуаров был выбран резистивный греющий кабель (Рис. ) в связи с тем, что данный вид кабеля дает возможность раскладки в более длинные жилы, легко раскладывается, потому что имеет круглое сечение, обеспечивает стабильный нагрев даже при низких температурах, является долговечным.

Греющая часть состоит из электробезопасного мата и кабеля. Эти электронагревательные элементы устойчивы к плохим погодным ситуациям и имеют значительную прочность. Система управления состоит из защитной и пусковой аппаратуры, датчики измеряют сырость и температурные колебания на улице, а для удобства работы всей системы устанавливаются разнообразные термодатчики и контролеры.

В распределительной части связывается греющая часть системы управления с системой управления. К ней причисляются распределительные коробки, крепежи для кабеля, силовой кабель, информационный кабель. Нагревательный кабель укладывается змейкой, с одинаковым шагом, на бетон или слой утрамбованного песка. При этом между кабелями соблюдается установленная дистанция. Это делается исходя из мощности на 1 м<sup>2</sup> всей поверхности.



Внешний и внутренний вид устройства системы обогрева тротуаров

При фиксации кабеля используется монтажная лента. Чтобы снизить энергозатраты в системе подогрева важно сократить потребляемую мощность [4]. Для этого над обогревательными элементами необходимо соорудить незначительный слой теплоизоляционного материала. При этом необходимо учитывать технику безопасности, оставляя небольшое расстояние между греющими элементами и теплоизоляцией (от 3 до 5 см). В качестве защитных слоев можно использовать бетонную стяжку, либо песчаную подушку. Это делается для защиты от атмосферных осадков и каких-либо повреждений. Подушка будет служить основанием для тротуарной плитки. На нее укладывается греющий кабель, поверх которого делается бетонная стяжка толщиной 4-5 см, а уже на стяжку укладывается дорожное покрытие: бетон, тротуарная плитка или брусчатка, асфальт. После проведения монтажных работ нагревательных элементов системы производится их соединение и физическое подключение к кабелю электрического питания согласно схемы включения и распределения электрических нагрузок.

При этом обязательно использовать штатные соединительные изделия и соответствующий инструмент для их обжима. Несущая система и нагревательные элементы не крепятся к основе, их просто нужно расположить в одной плоскости, а затем прижать верхними слоями покрытия. Естественно, перед устройством защитных слоев следует подключить систему подогрева к сети и проверить ее работоспособность в течение нескольких часов. Система отопления дорожного покрытия – выгодная альтернатива обычным солевым продуктам для растапливания снега и льда. Посыпание дорожек солевыми смесями приводит к многочисленной грязи, а потом - и покрытие наледью. К тому же, система отопления дорожного покрытия помогает сохранить сам тротуар, соль же будет постоянно разъедать поверхность [5]. Кроме того, посыпание



солью/песком занимает определенное время, а подогреваемые дорожки растапливают снег, как только он выпадает. Теплый тротуар – это гениальное практическое решение, которое экономит уйму времени и сил на уборке снега с дорожек.

### Список литературы

1. Шелехов И.Ю., Дмитриев И.Н., Толстых Ю.А. Особенности использования различных типов энергии для защиты прилегающей территории зданий от наледи // Chronos: естественные и технические науки. 2020. № 1 (29). С. 21-22.

2. Роженцова Н.В., Пятникова М.В. Энергосбережение и повышение энергоэффективности в сфере ЖКХ // В сборнике: Энергоэффективность и энергобезопасность производственных процессов (ЭЭПП-2019). 2019. С. 120-124.

3. Владыкина А.Н., Исаков В.Г., Дягелев М.Ю. Альтернативный метод содержания автомобильных дорог в зимний период // Химия. Экология. Урбанистика. 2017. Т. 2017. С. 221-224.

4. Сидоров А.Е., Абдрашитов Р.Р. Диагностика и мониторинг как методы снижения потерь электроэнергии // В сборнике: Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве. Материалы VI Национальной научно-практической конференции, в 2 т.. Казань, 2020. С. 204-206.

5. Рогулина Д.А., Панина К.С., Лаптев В.А. Использование "теплого" тротуара для ликвидации зимней скользкости // Химия. Экология. Урбанистика. 2020. Т. 2020-3. С. 198-204.

УДК 621.311

### ИСТОЧНИКИ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПИТАНИЯ НА ОСНОВЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

<sup>1</sup>Рашевская Марина Александровна, <sup>2</sup>Кутейников Павел Дмитриевич  
<sup>1,2</sup>Национальный исследовательский университет “Московский Энергетический  
Институт”, г. Москва, Россия  
<sup>1</sup>mkr@list.ru, <sup>2</sup>suhanov.pavel@inbox.ru

В статье рассматривается проблема нарушений режимов работы потребителей первой и второй категории и способ ее решения при помощи источников бесперебойного питания на базе возобновляемых источников электроэнергии.

Рассматриваются различные типы систем ИБП на солнечных батареях, а также их влияние на качество электроэнергии. Также рассмотрена возможность использования таких источников для сглаживания пиков нагрузок.

**Ключевые слова:** источники бесперебойного питания, возобновляемая энергия, солнечные батареи, ветрогенераторы, сглаживание пиков нагрузок, качество электроэнергии.

## UNINTERRUPTIBLE POWER SOURCES BASED ON RENEWABLE ENERGY SOURCES

<sup>1</sup>Rashevskaya Marina Alexandrovna, <sup>2</sup>Kuteynikov Pavel Dmitrievich  
<sup>1,2</sup>National Research University "Moscow Energy Institute", Moscow, Russia  
<sup>1</sup>mkr@list.ru, <sup>2</sup>suhanov.pavel@inbox.ru

The article deals with the problem of violations of the operating modes of consumers of the first and second categories and a way to solve it with the help of uninterruptible power supplies based on renewable energy sources. Various types of solar UPS systems are considered, as well as their impact on power quality. The possibility of using such sources for smoothing load peaks is also considered.

**Keywords:** uninterruptible power supplies, renewable energy, solar panels, wind turbines, load peak smoothing, power quality.

Аварии, чрезмерные отклонения параметров качества от нормы, а также перерывы электроснабжения потребителей первой и второй категории могут причинить большой ущерб производственному процессу и подвергнуть опасности жизнь и здоровье людей. Данную актуальную сегодня проблему возможно решить при помощи автономных систем электроснабжения (АСЭ), работающих при отсутствии внешнего электроснабжения. Комбинация данной системы с ветроэлектрическими станциями (ВЭС) или солнечными фотоэлектрическими станциями (СФЭС) имеет еще большие перспективы [1].

В настоящее время существуют три типа систем гарантированного электроснабжения, включающих в свой состав солнечные фотоэлектрические станции: независимые; гибридные (комбинированные); интеллектуальные. «Независимая» энергосистема содержит блок бесперебойного питания с аккумуляторной батареей (АБ) и автономный источник электроэнергии (АИЭ). Аккумулятор способен питать потребители первой и второй категорий надежности при кратковременных отключениях, в общей сложности 30 мин, а при долговременном отключении (более 20 мин) способен обеспечить электроснабжение нагрузки до момента запуска автономного генератора. (рис.1). [4].

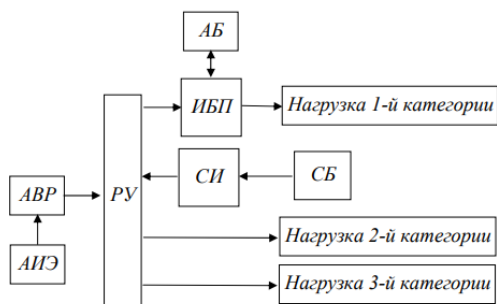


Рис.1. Схема «независимой» энергосистемы

«Гибридная» энергосистема состоит из двух трехфазных гибридных инверторов (ГИ), которые, в свою очередь, способны заряжать аккумуляторы при помощи встроенных зарядных устройств и инверторов (рис.2).

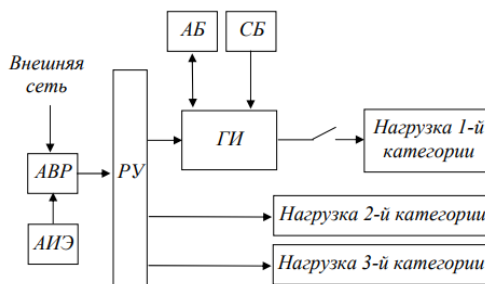


Рис.2. Схема «гибридной» энергосистемы

ГИ имеют следующие режимы работы:

- питание нагрузки, как и заряд АБ, осуществляется от СБ.
- основная работа в качестве ИБП с подпиткой от СБ;
- автономный режим работы.

«Интеллектуальная» энергосистема более надежна, чем перечисленные выше благодаря возможности мониторинга точки максимальной мощности. На рис.3 показаны блок мониторинга БМ и блок контроля и управления БКУ[2].

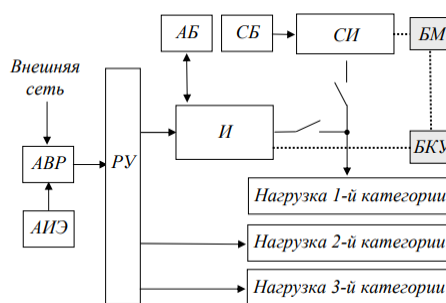


Рис.3. Схема «интеллектуальной» энергосистемы

От системы безотказного питания потребителей ожидается осуществление бесперебойного электроснабжения в течение определенного времени. Данная возможность возможно выразить в числовом значении при помощи коэффициента готовности  $K_r$ . Принимая время восстановления функционального узла равным времени включения его резервного питания, значение коэффициента готовности возможно определить по формуле (1)

$$K_r = \frac{T_{cp\Phi Y}}{T_{cp\Phi Y} + t_{вкл}} \cdot P_{\Phi Y}(t), \quad (1)$$

где  $T_{cp\Phi Y}$  – средняя наработка до отказа функционального узла;  $t_{вкл}$  – время включения резервного питания функционального узла;  $P_{\Phi Y}(t)$  – вероятность безотказной работы функционального узла в определяемый интервал времени. Расчет вероятности безотказной работы СБЭ и средней наработки до отказа выполняется при известных реальных режимах работы системы [3].

Кроме использования в системах безотказного питания ИБП возможно использовать для сглаживания суточных графиков нагрузок, благодаря чему становится возможно понизить располагаемую мощность и перетоки мощности по линиям передающей сети в периоды максимумов нагрузок. [5].

Использование возобновляемых источников электроэнергии в автономных ИБП имеет также множество недостатков. Одним из минусов ветровых турбин является их неспособность поддержания реактивной мощности в системе, а также вероятность возможных отключений электроэнергии. Проникновение энергии ветра способствует снижению общей эффективности и качества электроэнергии. Солнечная энергия тоже, в свою очередь, имеет недостатки. Самыми значительными являются высокая стоимость установки солнечных панелей, низкая мощность генерации. [6].

### Список литературы

1. Винников А.В. Об особенностях модульного построения систем бесперебойного электроснабжения [Текст] / А.В. Винников, О.В. Григораш, М.С. Чумак // Образование и наука в современных условиях. – 2015. – № 4 (5). – С. 181 – 184.
2. Григораш, О. В. Солнечные энергосистемы гарантированного электроснабжения / О. В. Григораш, Ю. Е. Кондратенко, М. А. Попучиева

// Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2016. – № 124. – С. 1467-1480.

3. Винников А.В. Классификация и оценка эффективности систем бесперебойного электроснабжения / А.В. Винников, А.Е. Усков А.Е., А.О. Хицкова, В.А. Горбачев // Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. – Краснодар. – 2015. – № 107. – С. 1166 – 1179.

4. Григораш О.В. Асинхронные генераторы в системах автономного электроснабжения / О.В. Григораш // Электротехника. - 2002. - № 1. - С.30-35.

5. Куликов Ю.А. Накопители электроэнергии – эффективный инструмент управления режимами электроэнергетических систем // Электроэнергетика глазами молодежи – 2018. В 3 т. Казань: Казан.гос. энергет. ун-т, 2018. Т. 1. С. 38-43.

6. Куликов Ю.А. Накопители электроэнергии – эффективный инструмент управления режимами электроэнергетических систем // Электроэнергетика глазами молодежи – 2018. В 3 т. Казань: Казан.гос. энергет. ун-т, 2018. Т. 1. С. 38-43.

7. Султанов М.М. Модель оценки технико-экономических показателей оффшорных ветроэлектростанций // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 5. С. 46-55. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-5-46-55.

УДК 621.311.24

## **РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ВЕТРОГЕНЕРАТОРА**

<sup>1</sup>Савельев Кирилл Сергеевич, <sup>2</sup>Титова Ирина Владиленовна

МБОУ «Средняя общеобразовательная школа № 170 с углубленным изучением отдельных предметов» Ново-Савиновского р-на г. Казани

<sup>1</sup>savelevkirill20@gmail.com, <sup>2</sup>ititova@list.ru

**Аннотация.** Работа посвящена оценке основных преимуществ и недостатков эксплуатации ветроустановок, представлена принципиальная электрическая схема устройства, приведено описание этапов сборки экспериментального ветрогенератора, а также проверка его работоспособности.

**Ключевые слова:** ветрогенератор, ветроэнергетика, альтернативный источник электроэнергетики.

## DEVELOPMENT OF EXPERIMENTAL WIND GENERATOR INSTALLATION

<sup>1</sup>Savelev Kirill Sergeevich, <sup>2</sup>Titova Irina Vladilenovna

MBGEI «General Secondary School №170 with specific subject-focused study», Novo-Savinovsky district, Kazan

<sup>1</sup>savelevkirill20@gmail.com, <sup>2</sup>ititova@list.ru

**Annotation.** The work is devoted to assessing the main advantages and disadvantages of operating wind turbines, presents a circuit diagram of the device, describes the stages of assembling an experimental wind generator, as well as checking its performance.

**Key words:** wind-powered generator, wind-power engineering, power industries' alternative source.

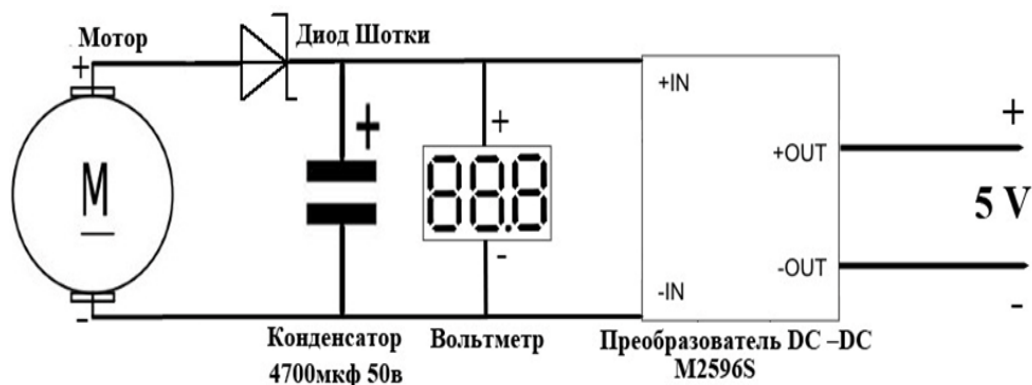
В настоящее время становится актуальным использование альтернативных источников энергии. На территории Российской Федерации наиболее перспективным является использование энергии ветра. Для реализации такой возможности используют ветроустановки, на базе которых выстраиваются ветроэлектростанции.

К основным преимуществам получения энергии с помощью ветра можно отнести отсутствие вредных выбросов и нанесение вреда окружающей среде. Дополнительными преимуществами выступают простота обслуживания ветроустановок, быстрая установка, высокий коэффициент энергоэффективности.

Из недостатков следует выделить вопросы зависимости мощности производства электроэнергии от силы ветра; шум; большие занимаемые территории под строительство электростанций.

Согласно конструктивному исполнению известно два типа ветроустановок: вертикальный и горизонтальный. Для исследования и построения прототипа ветроустановки решено было выбрать тип – горизонтальный, благодаря относительной простоте реализации.

Для изготовления прототипа за основу ветрогенератора взят щёточный электродвигатель постоянного тока на 48 вольт (В). В зависимости от скорости вращения вала двигателя на проводах появляется напряжение до 30 вольт. Это напряжение подаётся на диод, щетки и накопительный конденсатор емкостью 4700 мкФ на 50В. Диод выполняет две функции: защита (если вдруг двигатель начнет вращаться в другую сторону) и «запрет» разряда конденсатора через обмотку двигателя. Сам конденсатор накапливает в себе электроэнергию и сглаживает перепады напряжения в случае неравномерности вращения лопастей. Далее, напряжение поступает на регулируемый понижающий преобразователь *DC-DC*, выполненный по схеме ШИМ-модуляции. Задача последнего – стабилизация поступающего напряжения, которое может изменяться от 0 до 30 В, в напряжение 5 В для заряда смартфона или других устройств которые заряжаются согласно протоколу (*USB*). Понижающий стабилизатор начинает выдавать 5 В при поступлении на него 6,5 В и более, для контроля входящего напряжения установлен цифровой вольтметр, который показывает какое напряжение поступает от диода и накопительного конденсатора (рис. 1).



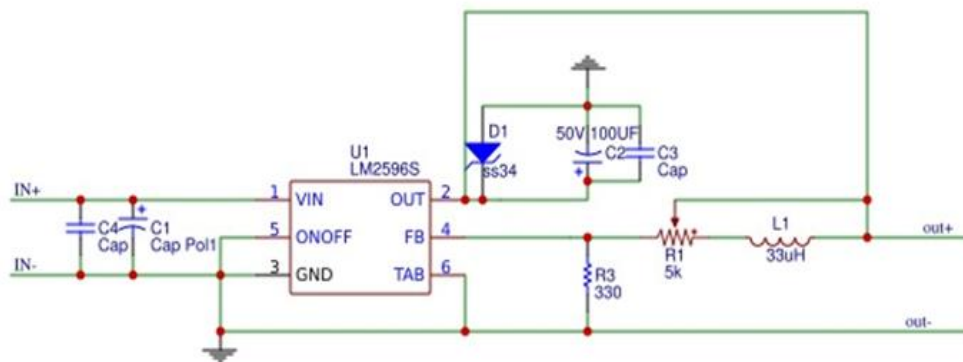


Рис. 1. Электрическая схема установки:

1. Электродвигатель *Dunkermotoren* тип *GR63x25* коллекторный двигатель постоянного тока  $I = 1,3$  ампера, мощностью  $W = 60$  ватт,  $V = 48V DC$ .
2. Диод Шоттки
3. Конденсатор  $C = 4700$  мкФ на 50 В
4. Цифровой вольтметр постоянного тока диапазон:  $DC 2,5-32$  В
5. Понижающий ШИМ модуль *M2596S DC-DC*.

Этапы сборки экспериментальной ветроустановки.

1. Подготовка комплектующих.
2. Изготовление хвостовика.
3. Соединение стойки и хвостовика с помощью поворотного механизма.
4. Соединение между собой диодного моста, электродвигателя и понижающего модуля.
5. Закрепление электродвигателя, диодного моста и понижающего модуля на хвостовике.
6. Установка лопастей вентилятора на ось электродвигателя.



Рис. 2. Внешний вид экспериментальной ветроустановки



Произведена экспериментальная проверка работоспособности установки, демонстрация зарядки аккумуляторной батареи смартфона через *USB* разъем.



Рис. 3. Демонстрация зарядки аккумуляторной батареи смартфона

Таким образом, в работе была выполнена действующая модель ветроустановки, которая может быть использована в качестве демонстрационного материала на учебных занятиях.

### Список литературы

1. Голицын М.В. Альтернативные энергоносители // – М.: Гл. ред. физ.-мат. наук изд-ва «Наука», 2004. с. 159.
2. Германович В., Курилин Е. Альтернативные источники энергии. Практические конструкции по использованию энергии ветра, солнца, воды, земли, биомассы// Изд-во «Наука и техника», 2011.
3. Шерьязов С.К., Исенов С.С., Исаков Р.М., Кайдар А.Б. Основные типы ветротурбин-генераторов в системе электроснабжения // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021. Т. 23. № 5. С. 24-33. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-5-24-33.

УДК 621.311

### О ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

<sup>1</sup>Салахутдинов Булат Маратович, <sup>2</sup>Шириев Равиль Рафисович  
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань,  
<sup>1</sup>bulat110@mail.ru, <sup>2</sup>shrr@list.ru

Применение трекеров, предназначенных для слежения за Солнцем, позволит повысить эффективность солнечных электростанций. В работе создан макет солнечного трекера.

**Ключевые слова:** солнечная энергия; повышение эффективности; макет солнечной станции, слежение за Солнцем, солнечный трекер.

## IMPROVING THE EFFICIENCY OF SOLAR POWER PLANTS

<sup>1</sup>Salakhutdinov Bulat Maratovich, <sup>2</sup>Shiriev Ravil Rafisovich

<sup>2</sup>FSBEI HE "KSPEU", Kazan

<sup>1</sup>bulat110@mail.ru, <sup>2</sup>shrr@list.ru

The use of trackers designed to track the Sun will improve the efficiency of solar power plants. A model of a solar tracker has been created in the work.

**Key words:** solar energy; increased efficiency; tracking the sun, trecker, solar station layout.

Гелиоэнергетика, как одно из направлений альтернативной энергетики, начинает занимать всё больше места в исследованиях, проводимых научными институтами и промышленными организациями. Разрабатываются всё новые способы увеличения производимой энергии за счёт Солнца [1].

Солнечный трекер является устройством, которое ориентирует полезную нагрузку перпендикулярно Солнцу. Что бы уменьшить угол падения между нормалью фотоэлектрической панели используют солнечные трекеры в фотоэлектрических системах. Использование солнечного трекера увеличивает количество энергии генерируемой солнечными батареями. Исходя из вышесказанного, разработка и улучшение данных устройств является актуальной задачей.

Компоненты оптики CPV и CSP необходимы для трекеров, они играют роль фотоэлектрическим концентратором модуля (CPV) и концентратором солнечной энергии (CSP). Оптика этих концентрированных солнечных устройств принимает на себя прямое солнечное излучение и, следовательно, должна быть ориентирована надлежащим образом, чтобы собирать энергию. Системы слежения можно найти для всех данных концентраторов, а также для обыкновенных солнечных батарей, поскольку такие системы не производят энергию, если не направлены на Солнце [2].

Типовой состав системы солнечных батарей с применением солнечного трекера представлен на рисунке 1.

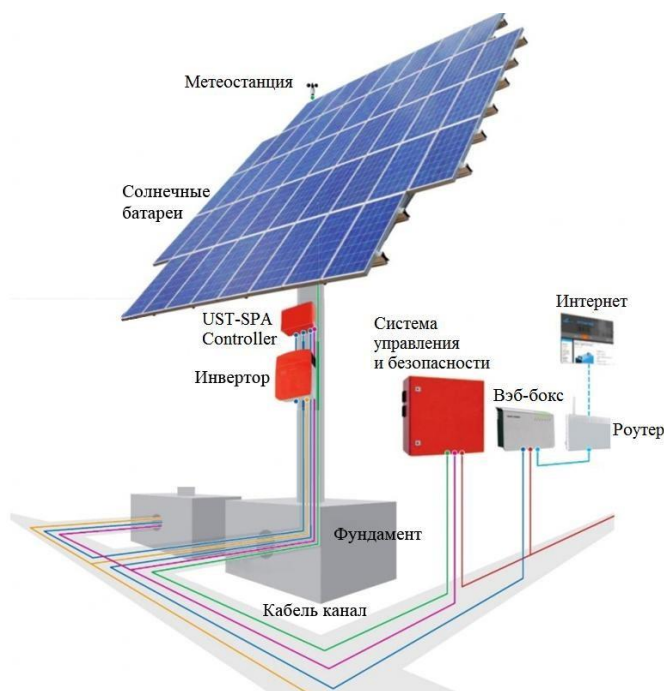


Рис. 1. Солнечныйтрекер вполнойкомплектации

Существует большое количество разновидностей комплектации трекера. Основной состав трекера строится из:

- Несущей части или фундамента. И подвижной части, которая задаёт горизонтальную, вертикальную или комбинированную ось поворота;
- Устройства управления подвижной частью, состоящей из двигателей, называемых актуаторами;
- Различных систем, включающих в себя бокс системы управления и безопасности, стабилизаторы, грозозащиту и метеостанцию;
- Контроллер системы управления для настройки и обслуживания энергосистемы;
- Роутера с подключением к интернету для отправки статистических данных и мониторинга системы или, другими словами, удалённым доступом;
- Системы навигации для определения географического положения.

На стационарных трекерах система навигации применяется редко. Обычно поставщик во время монтажа задаёт значение широты, долготы, высоты над уровнем моря, где ставится трекер;

- Микроинвертора или инвертора, преобразующего постоянное напряжение в переменное. Обычно инверторы устанавливаются отдельно для всей системы внутри помещения [3].

Чаще всего экономически невыгодно полностью комплектовать трекер, большинство данных элементов устанавливаются для удешевления

яконструкции.

Надежность при построении конструкции трекера является одним из основных моментов. Система должна справляться с сильным порывом ветра, а с увеличением площади полезной нагрузки (количества солнечных батарей или коллекторов) парусность сильно увеличивается. Вес самих солнечных батарей также имеет значение [4].

На основе типового состава солнечных трекеров был разработан макет солнечного трекера.

В результате разработки устройства было создан вид конструкции, который предназначен для проведения эксперимента с вертикально ориентированной осью вращения. Его конструкция и процесс вращения представлены на рисунке 2.

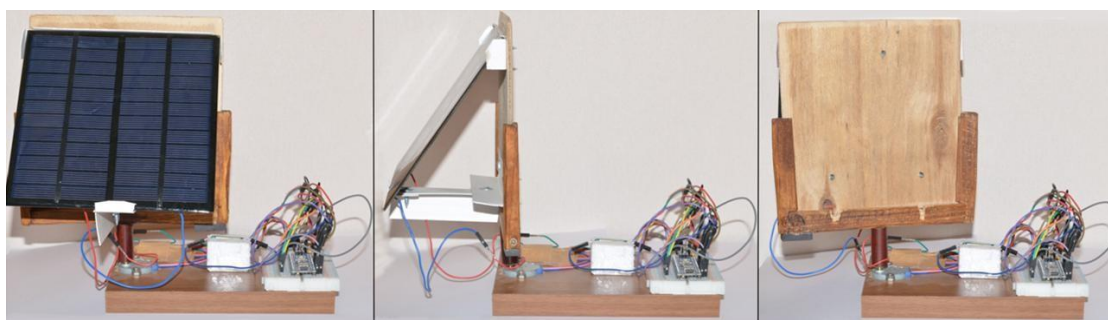


Рис. 2. Разработанный трекер с вертикально ориентированной осью вращения

В результате выполнения работы был разработан макет одноосевого солнечного трекера, исполнительным устройством которого является шаговый двигатель. Были поставлены цели, а именно была рассмотрена основная концепция применения солнечных трекеров в гелиосистемах и был создан макет устройства, которое производит поиск положения максимальной освещенности.

### Список литературы

1. Страхов В. В., Бельский А. Б., Юдин А. Е., Лапшин В. В. Ирисовая диафрагма // Патент РФ № 2281539. 2006. Бюл. №1.
2. Борисоглебская А. П. Лечебно-профилактические учреждения. Общие требования к проектированию систем солнечной энергетики/ А.П. Борисоглебская. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2008. – 415 с.
3. Кашкаров А.А. Солнечные батареи и модули как источники питания // Современная электроника. 2015. № 5. С. 8-15.
4. Рудаков А.И., Максимова В.А. Повышение энергоэффективности солнечных фотоэлектрических установок // в сборнике: Наука. Технология.

Производство - 2019: Моделирование и автоматизация технологических процессов и производств, энергообеспечение промышленных предприятий. Материалы Всероссийской научно-методической конференции, посвященной 100-летию образования Республики Башкортостан. 2019. С. 193-196.

5. Москаленко Н.И., Ахметшин А.Р., Сафиуллина Я.С., Додов И.Р., Хамидуллина М.С. Численное моделирование воздействий метеосостояния атмосферы на эффективность функционирования солнечных тепловых и электрических станций // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021. Т. 23. № 5. С. 86-99. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-5-86-99.

УДК 620.9

## **БУДУЩЕЕ РАЗВИТИЕ ВИЭ РФ В УСЛОВИЯХ САНКЦИЙ**

<sup>1</sup>Тимчук Оксана Григорьевна, <sup>2</sup>Дрянова Елена Владимировна, <sup>3</sup>Дюкова Виктория Вячеславовна

<sup>1,2,3</sup>Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск  
<sup>1</sup>tog2004@mail.ru, <sup>2</sup>dryanovaev@ex.istu.edu, <sup>3</sup>dukovavv@ex.istu.edu

Вданной статье авторы предлагают свою оценку текущего состояния и путей развития возобновляемых источников энергии Российской Федерации с учетом введенных санкций против России и их влияние на развитие ВИЭ.

**Ключевые слова:** энергия, возобновляемые источники энергии, санкции, цены на нефть, световая энергетика, источники энергии

## **THE FUTURE DEVELOPMENT OF THE RUSSIAN FEDERATION'S WIE IN THE FACE OF SANCTIONS**

<sup>1</sup>Timchuk Oksana Grigoryevna, <sup>2</sup>Dryanova Elena Vladimirovna, <sup>3</sup>Dyukova Victoria Vyacheslavovna

<sup>1,2,3</sup>Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk  
<sup>1</sup>tog2004@mail.ru, <sup>2</sup>dryanovaev@ex.istu.edu, <sup>3</sup>dukovavv@ex.istu.edu

In this article, the authors offer their assessment of the current state and ways of development of renewable energy sources of the Russian Federation, taking into account the sanctions imposed on Russia and their impact on the development of renewable energy sources.

**Keywords:** energy, renewables, sanctions, oil prices, light energy, energy sources

На сегодняшний день наблюдается необычайный рост энергетических мощностей, использующих возобновляемые источники энергии (ВИЭ). Это связано с резким падением цен на оборудование для солнечной энергетике, ветроэнергетике и технологий использования

биомассы. Особенно поразительным является снижение цен на кремниевые фотоэлектрические (ФЭ) модули, которые являются основой большинства современных солнечных электростанций (СЭС). Стоимость первого экспериментального фотоэлектрического модуля, созданного в США в 1954 году, составляла около 250 долларов США [1].

С момента начала производства первых серийных фотоэлектрических элементов в 1977 – 1978 годах стоимость к настоящему времени снизилась более чем в 100 раз. Высокие цены на фотоэлектричество вплоть до 2010 – 2012 годов давали повод руководителям энергетических подразделений федерального и территориального уровней считать строительство солнечной электростанции (СЭС) совершенно бесперспективным. И, по мнению многих экспертов, строительство АЭС и ТЭС сегодня становится экономически невыгодным, по крайней мере, в странах ЕС, в Китае, Индии и южных регионах России [2].

В 2020 году возобновляемые источники энергии стали самым быстрорастущим и самым высокооплачиваемым сектором первичной энергетики в электроэнергетике Европейского союза. Двадцать семь стран Европейского союза в 2020 году впервые получили больше электроэнергии от возобновляемых источников, чем от ископаемого топлива. Доля угля, газа и нефти снизилась до 37%, в то время как доля ветра, солнца, гидроэнергии и биомассы составила 38% от общего объема выработки электроэнергии в ЕС, увеличившись на 10%.

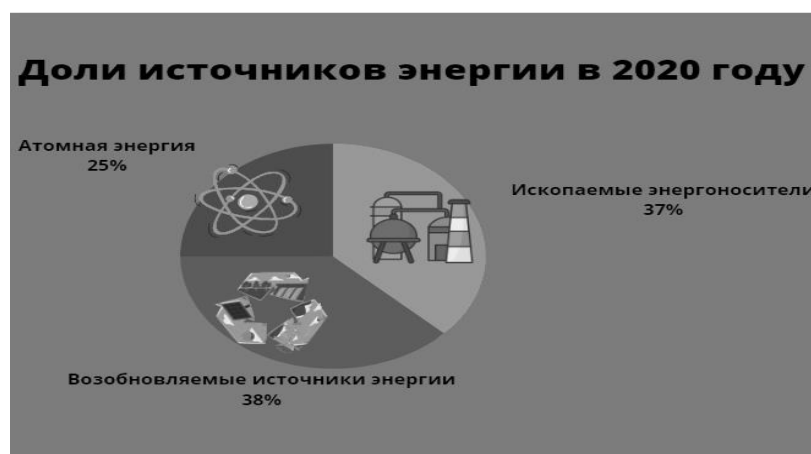


Рис. 1. Доли источников энергии в мире, в 2020 году

Ветер и солнце обеспечили пятую часть всей выработки электроэнергии в ЕС [3]. ВИЭ заняли лидирующие позиции (рис.1.) благодаря продолжающемуся быстрому росту ветровой и солнечной энергии, несмотря на экономический кризис, увеличили выработку в

2020 году на 9% соответственно. Вместе они обеспечили 19% всей выработки электроэнергии в прошлом году: на долю ветра пришлось 14%, а солнца – 5%.

В России доля возобновляемых источников энергии в единой энергетической системе приближается к 1%. Установленная мощность солнечных и ветровых электростанций (ВЭС) на начало 2021 года составляла 1440,00 МВт и 1008,80 МВт – 0,57% и 0,41% от общей мощности соответственно. С гидроэлектростанциями ситуация лучше: их доля составляет 20,24% [5].

Для исправления ситуации были разработаны государственные меры поддержки ВИЭ. В 2021 году цены на газ и уголь выросли гораздо больше, чем того требует развитие возобновляемых источников энергии. Генерация на их основе не дает необходимого количества энергии, а традиционные источники энергии стали очень дорогими для потребителей. Рост цен на энергоносители ускоряет инфляцию, то есть дорожают все остальные товары. (рис.2.)



Рис. 2. Цены на нефть в 2021 году, в России

Страны ЕС, отказавшиеся от импорта углеводородов из России, безусловно, могут попасть в водоворот стремительного формирования генерации на основе возобновляемых источников энергии, однако шансов выбраться из него немного, считает Константин Симонов, руководитель Фонда национальной энергетической безопасности. Кадри Симсон, комиссар ЕС по энергетике, уже назвал сумму субсидий для граждан ЕС из-за увеличения стоимости на энергию – 21 млрд евро, и это, даже не считая убытков компаний, уточняет эксперт.

Российскую нефть еще можно будет заменить поставками с Ближнего Востока или из США, если они будут в избытке; альтернативы нашему газу у Европы нет. (рис.3.)

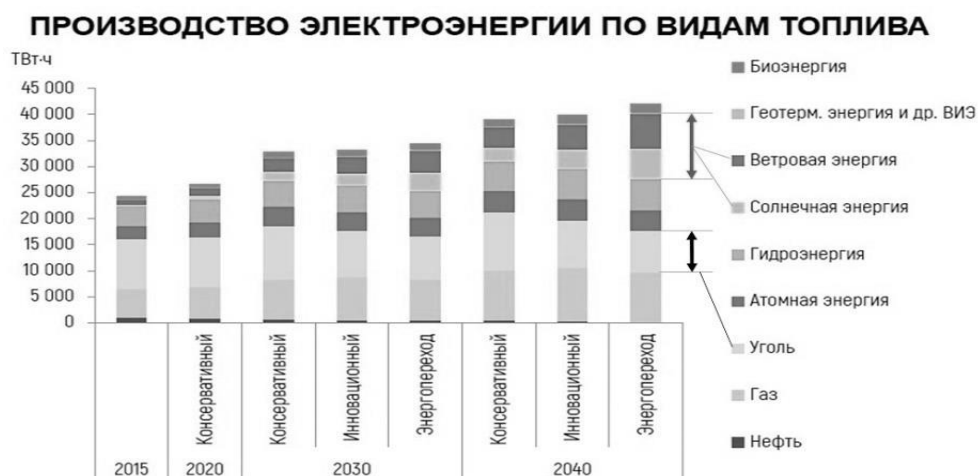


Рис. 3. Производство электроэнергии по видам топлива в десятилетиях

Отказ Европы от российских энергоресурсов неизбежно приведет к резкому росту мировых цен на нефть. Новый виток роста цен на нефть, газ и электроэнергию может ввергнуть в тяжелый кризис не только европейский энергетический сектор, но и промышленность и сельское хозяйство, а также повлечь за собой неприемлемо высокие социальные издержки, считает эксперт.

Мониторинг формирования энергоресурсов на ближайшие 20 лет значительно варьируют, но большая часть специалистов склоняются к мнению, что потребность на атомную энергию останется на прежнем уровне или снизится незначительно, на нефть и уголь – сократится более значительно, на природный газ и ВИЭ – возрастет (рис. 4).

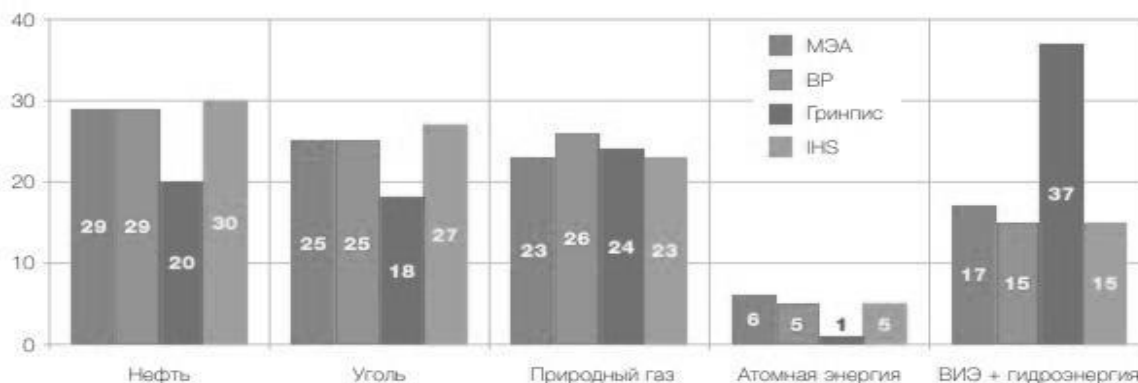


Рис. 4. Прогнозируемая структура спроса на первичную энергию: 2030 (%)



В этих условиях о крупных инвестициях и быстром развитии возобновляемых источников энергии, требующих высоких субсидий, не может быть и речи. Скорее, ситуацию необходимо как-то успокоить.

Таким образом, авторы статьи пришли к выводу о в современных условиях развития национальной экономики, существуют неопределенные факторы, которые могут оказать воздействие на развитие возобновляемой энергетики в мире и России в последующие 15-20 лет.

### Список литературы

1. Зайченко В.М., Чернявский А.А. Системы автономного электроснабжения // Москва:Издательство «НЕДРА». 2015. С. 285.
2. Гаранина О.Л. Повестка дня энергетического перехода: Вызовы для России в контексте пандемии Российский внешнеэкономический вестник / Российский внешнеэкономический вестник. 2021. № 4. С. 40-52.
3. Купреенко А.И., Исаев Х.М. Развитие энергетического сектора в России на основе возобновляемых источников энергии // Бюллетень Брянской государственной сельскохозяйственной академии.2021. С. 55-60.
4. Нефедова Л.В. Перспективы производства зеленого водорода в регионах России / Изд-во Моск. ун-та. 2021. С. 59.
5. Березкин М.Ю. Исторические типы природопользования на примере Крыма / Издательский дом «Энергия». 2020. С. 78.
6. Бушуев В.В., Клепач А.Н. Анализ и прогноз цикличности социально-природных явлений первой половины 21 века // Экология и энергетика 2021. С. 36-44.
7. Бушуев В.В.,Сокотущенко В.Н. Интеллектуальное прогнозирование // Москва: Издательство «Энергия».2016. С. 109.
8. Соловьев Д.А. Природно-климатические аномалии в Северном полушарии и их влияние на экономику // Энергетическая политика 2021. С. 94-103.
9. Проскуракова Л.Н., Ермоленко Г.В.Возобновляемая энергетика 2030: глобальные вызовы и долгосрочные тенденции инновационного развития // Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». 2017. С. 42.

УДК 621.039

### ПЕРСПЕКТИВЫ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

<sup>1</sup>Ульбрехт Данил Александрович, <sup>2</sup>Ахмедова Ольга Олеговна,

<sup>3</sup>Вдовиченко Вячеслав Вадимович  
<sup>1,2,3</sup>Камышинский технологический институт (филиал) ВолгГТУ,  
г. Камышин, Россия

<sup>1</sup>danil22013@mail.ru, <sup>2</sup>ahmedova-olga@mail.ru, <sup>3</sup>vdovichenko\_vyacheslav@mail.ru

В статье рассматривается сложившаяся ситуация на электроэнергетическом рынке России. Представлены основные аспекты и перспективы развития отрасли. Произведён анализ и предложен метод производства электроэнергии на основе применения атомных электростанций малой мощности. Рассмотрен принцип работы АСММ на тории в непосредственной близости к потребителям.

**Ключевые слова:** энергетический рынок, метод производства энергии, атомные электростанции малой мощности, АСММ.

## PROSPECTS FOR NUCLEAR POWER PLANTS LOW POWER

<sup>1</sup>Ulbrecht Danil Aleksandrovich, <sup>2</sup>Akhmedova Olga Olegovna,  
<sup>3</sup>Vdovichenko Vyacheslav Vadimovich

<sup>1,2,3</sup>Kamyshinsky Technological Institute (branch) VolgGTU,  
Kamyshin, Russia

<sup>1</sup>danil22013@mail.ru, <sup>2</sup>ahmedova-olga@mail.ru, <sup>3</sup>vdovichenko\_vyacheslav@mail.ru

The article deals with the current situation in the Russian electricity market. The main aspects and prospects for the development of the industry are presented. An analysis has been made and a method for the production of electricity based on the use of low-capacity nuclear power plants has been proposed. The principle of ASMM operation on thorium in close proximity to consumers is considered.

**Key words:** energy market, energy production method, low power nuclear power plants, ASMM.

Электроэнергетическая отрасль считается основополагающей и дающей возможность развиваться другим областям промышленности, в следствии этого идёт с опережением по сравнению с другими отраслями. Для обеспечения размеренной стабильной экономики и высокого уровня жизни населения и внешнеэкономических связей нужно правильно и максимально действенно использовать не возобновляемые энергетические природные ресурсы с полным применением потенциала энергетического сектора.

Главным гарантом безопасности и надёжного снабжения электрической энергии потребителей по-прежнему остаётся Единая энергетическая система России.

Согласно Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года ведущими положениями считается уменьшения воздействия отраслей топливно-энергетического комплекса на окружающую среду и адаптацию их к изменениям климата за счёт: рационального природопользование и энергетической

производительности; перехода к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике [1].

Решением проблемы может стать активное развитие ядерной энергетики, одной из самых молодых и динамично развивающихся отраслей глобальной экономики.

Малые АЭС (АСММ) имеют все шансы применяться для генерации тепла и опреснения для удалённых районов, в которых нецелесообразно сооружение более мощных АЭС.

Стратегия развития малой энергетики России для решения подобных задач предусматривает строительство плавучих АЭС с использованием судовых технологий, а в этом деле, как известно, у России опыт большой.

Преимущества данных электростанций перед классическими:

- 1) Реакторные модули АСММ производятся в виде блоков на машинно-строительных заводах, что снижает сложность постройки АЭС;
- 2) Высокоманёвренные. Хорошо дополняют ветроэлектростанции (ВЭС) и солнечные электростанции (СЭС);
- 3) Стоит выгоднее и имеет возможность увеличивать мощность последовательно, путём строительства дополнительных блоков.

АЭММ имеют сравнительно небольшие размеры и капиталовложения при строительстве блока позволяют доводить до практики многие идеи конструкций и технологий ядерных реакторов, относительно традиционного двухконтурного реактора с водой под давлением.

«Росатом» разрабатывает на основе ледокольных реакторов КЛТ-40С реакторы для АСММ РИТМ-200: первый используется в ПАТЭС, а на базе последнего предлагается создать наземную АЭС с 50-мегаваттными модулями. Серийное строительство этих реакторов также добавляет плюсы к потенциальным покупателям малых АЭС [2].



Рис. 1. Наземная АСММ

«Росатом» ведёт широким фронтом разработку и более передовых вариантов малых реакторов: тут стоит назвать проекты «Шельф»,

«Витязь», АТГОР, СВБР-100, АБВ-6, наконец, сооружаемый в рамках проекта «Прорыв» БРЕСТ-300. Пока кроме БРЕСТа все эти реакторы остаются в стадиях технического предложения или эскизного проекта, не имея финансирования и привязки к конкретному строительству, однако могут быть доведены до реальной АЭС за 5-10 лет [2].

Сегодняшний парк промышленных ядерных реакторов, целиком и полностью использует урановое топливо. Наиболее часто используется изотоп урана U235. Это единственный природный изотоп, который способен поддерживать цепную реакцию распада [3]. Остальные природные тяжёлые элементы, например U238 и Th232 (торий) цепную ядерную реакцию не поддерживают. Есть ещё несколько искусственно получаемых элементов, которые способны работать в реакторе, например Pu239 или U233, получаемые путём трансмутации тех самых U238 (уран), Th232 (торий) [4].

В качестве топлива для АЭММ можно рассмотреть более безопасный торий Th232, у которого есть преимущества над традиционным топливом для АЭС:

- 1) Большая распространённость. В земной коре, торий встречается в три раза чаще, чем уран;
- 2) Ториевые реакторы более выгодные, чем урановые [5];
- 3) Уже построенные реакторы можно будет перевести на торий;
- 4) Торий прежде всего ненужно обогащать, проводя сложную и дорогостоящую операцию разделения изотопов в отличие от урана.

При этом если урановые стержни надо извлекать из реактора, торий можно использовать полностью, до завершения его преобразования в уран-233 для поддержания ядерной реакции. Одна тонна тория может дать столько же энергии, сколько 200 тон урана или 3,5 млн. тон угля.

Оксид тория является более тугоплавким и устойчивым веществом, чем оксид урана. Это открывает возможность для создания высокотемпературных реакторов на тории с рабочей температурой 700-800°C. Такой реактор может работать с обычным парогенераторным оборудованием. Для него не нужно сложных и небезопасных систем охлаждения, а КПД может достигать 50-55%, что почти вдвое выше, чем у традиционных урановых АЭС (с водо - водяными реакторами на тепловых нейтронах вырабатывают для турбины водяной пар с параметрами: 330°C и 7 МПа с КПД 35 %)

Торий требует внешнего источника нейтронов для осуществления ядерной реакции, этот элемент более безопасен в эксплуатации. Нетрудно

создать такую схему, при которой в случае аварии реакция просто автоматически прекращалась.

Радиоактивные отходы, образующиеся в результате ядерных реакций, в случае использования тория гораздо менее опасны, чем традиционных урановых реакторов, и образуется их в несколько раз меньше.

### Список литературы

1. Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года. URL: <https://docs.cntd.ru/document/565068231> (дата обращения 20.05.2022 года).
2. Атомные станции малой мощности. URL: <https://www.rosatom.ru/production/atomnye-stantsii-maloy-moshchnosti> (дата обращения 20.05.2022 года).
3. Рыночные перспективы малых АЭС. URL: <http://www.proatom.ru/modules.php?file=article&name=News&sid=8370> (дата обращения 20.05.2022 года).
4. Торий в ядерной энергетике. URL: <https://habr.com/ru/post/382991/> (дата обращения 20.05.2022 года).
5. Ториевый ядерный реактор. URL: <https://maximus67.livejournal.com/930924.html> (дата обращения 23.05.2022 года).

УДК 621.313

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ЦИФРОВИЗАЦИИ В ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКАХ ЭНЕРГИИ

<sup>1</sup>Червяков Денис Юрьевич, <sup>2</sup>Сошинов Анатолий Григорьевич  
<sup>1,2</sup>Камышинский технологический институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волгоградский государственный технический университет», г. Камышин, Россия  
<sup>1</sup>E-mail: DY25092004@mail.ru, <sup>2</sup>E-mail: epp@kti.ru

Возобновляемые источники энергии являются одним из основных направлений развития мировой энергетики. Внедрение технологий цифровизации в них позволит добиться более точного мониторинга параметров сети и тем самым надёжности электроснабжения потребителя.

**Ключевые слова:** Возобновляемые источники энергии, мировая энергетика, цифровизация, смарт-грид, умные сети, качество электроэнергии, цифровые подстанции.

## APPLICATION OF DIGITALIZATION TRCHNOLOGIES IN RENEVABLE ENERGY SOURCES

<sup>1</sup>Chervyakov Denis Yurievich, <sup>2</sup>Soshinov Anatoly Grigorievich

<sup>1,2</sup>Kamyshin Institute of Technology (branch) of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Volgograd State Technical University", Kamyshin

<sup>1</sup>E-mail: DY25092004@mail.ru, <sup>2</sup>E-mail: epp@kti.ru

Renewable energy sources are one of the main directions in the development of world energy. The introduction of digitalization technologies in them will make it possible to achieve more accurate monitoring of network parameters and, thereby, the reliability of consumer power supply.

**Key words:** Renewable energy sources, global energy, digitalization, smart grid, smart grids, power quality, digital substations.

На данный момент развитие мировой энергетики напрямую зависит от внедрения технологий цифровизации и компьютеризации в системы учёта и прогнозирования распределения электроэнергии. Внедрение «цифры» в технологический процесс не обошло стороной и возобновляемые источники энергии. Доступность технологий ВИЭ и вариативность мощности энергоустановок способствуют распространению такого явления, как децентрализация генерации — потребители все чаще стремятся сами обеспечить себя энергией ради экономии, заработка или получения субсидий. Как следствие, в современных энергосистемах меняется роль потребителей: теперь они могут выступать и производителями. Добавим к этому все возрастающую потребность в более гибкой (эластичной) и надежной электросети из-за погодных аномалий и риска кибератак [1].

Решение, которое поможет избежать или снять эти проблемы, уже существует — это смарт-грид (Smart Grid — умная энергосеть). Базовый технологический элемент, фундамент «умной» или цифровой сети — интеллектуальная система учета электроэнергии, предназначенная для оперативного формирования достоверного объема услуг, многотарифного учета, мониторинга качества электроэнергии и других функций. Источниками первичной информации в такой сети служат интеллектуальные счетчики и датчики, объединенные в сеть — так называемый Интернет вещей. [1]

Smart Grid – концепция "умной энергетики". Она охватывает всю технологическую цепочку системы, связанную с производством электроэнергии из альтернативных источников. Контролировать производимое ВИЭ электричество практически невозможно, поэтому и необходима технология Smart Grid, которая, в то время когда потребность в электричестве можно удовлетворить при помощи ВИЭ (гейзеров, воды, солнца), будет отключать подачу энергии с тепловых станций, и наоборот. Это комбинация передовых ИТ-, коммуникационных и энергетических технологий, таких как измерительная аппаратура, умные инверторы,

распределенные хранилища энергии, силовой электроники, элементов АСУ ТП, которые позволяют эффективно управлять отраслью с минимальным воздействием на окружающую среду. Кроме технологий, система SmartGrid основывается также на передовом ценообразовании, управлении спросом, автоматической дистрибуции, прогнозировании выработки ВИЭ [2].

Задачи подключения ВИЭ к энергетическим сетям могут быть оптимизированы на основе использования «умных сетей» (рис. 1). Особенностью решения задач оптимизации на основе умных сетей является использование элементов искусственного интеллекта, нейронных сетей, на основе которых осуществляется поиск наиболее оптимальных вариантов решения задач с использованием предыдущего опыта аналогичных задач, опыта ведущих экспертов в этой предметной области. [3]

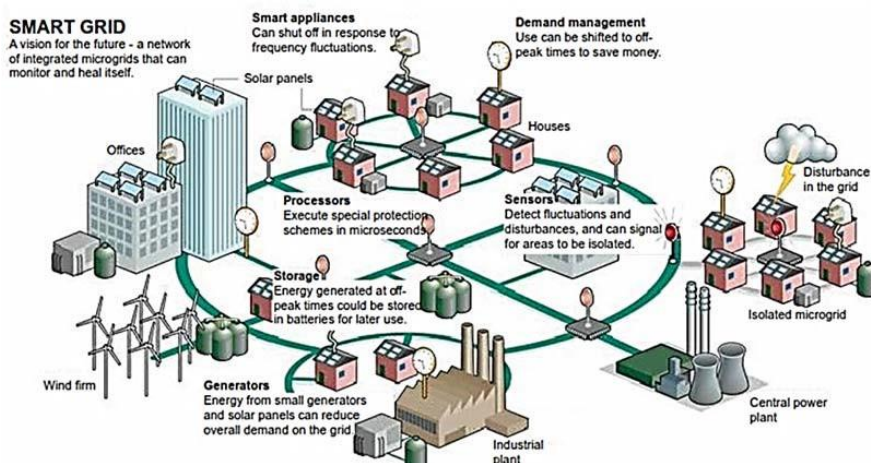


Рис. 1. Концептуальное построение «умных сетей» в области возобновляемой энергетики.

Следует отметить, что принятие решений с использованием «умных сетей» может осуществляться в online режиме, с использованием всех современных оперативных видов связи (Интернет, мобильная и радиосвязь) (рис. 2).

Характеристики Smart Grid:

- способность к самовосстановлению после сбоев в подаче электроэнергии;
- возможность активного участия в работе сети потребителей;
- устойчивость сети к физическому и кибернетическому вмешательству злоумышленников;
- обеспечение требуемого качества передаваемой электроэнергии;
- обеспечение синхронной работы источников генерации, в том числе ВИЭ, и узлов хранения электроэнергии;
- появление новых высокотехнологичных продуктов и рынков;
- повышение эффективности работы энергосистемы в целом.



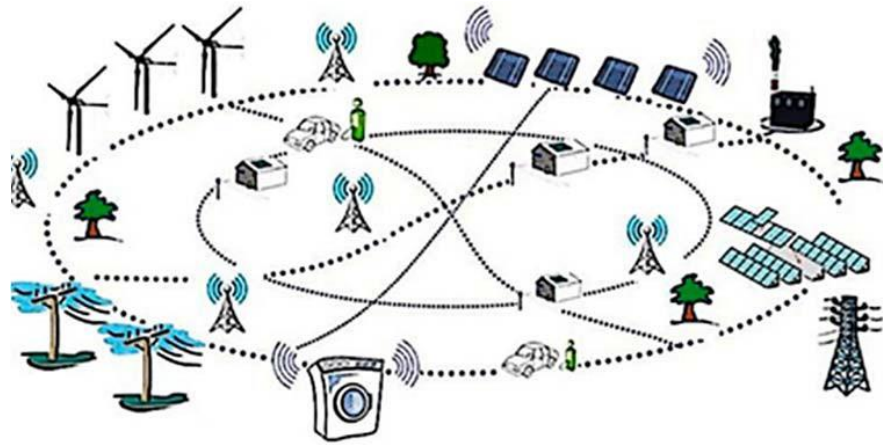


Рис. 2. Применение современных средств связи при реализации концепции «умные сети».

Страны, развивающие SmartGrid, могут рассчитывать на повышение надежности энергосистемы и качества электроэнергии. Это позволит максимизировать использование энергии, увеличить долю ВИЭ и, как следствие, уменьшить ущерб, наносимый окружающей среде. Одной из самых удобных возможностей SmartGrid является получение данных о работе системы в режиме реального времени.

Еще один важный элемент «умной сети» – самовосстанавливающиеся технологии, проводящие диагностику и позволяющие изолировать поврежденные участки и узлы системы; они также автоматически восстанавливают работоспособность аварийного элемента, изменяя маршрут передачи электроэнергии и информируя ремонтный персонал.

Это хороший инструмент для оптимального использования энергоресурсов. Серьезная экономия достигается на оплате системных услуг (меньше потребность в регулировании частоты из-за оптимальной интеграции ВИЭ), минимизации потерь в электросетях, снижении расходов на дистрибуцию, а также затрат на ремонт — за счет уменьшения числа отказов оборудования, количества отключений и перепадов напряжения [1].

Таким образом, применение технологий цифровизации в возобновляемых источниках энергии поможет достичь более высокого качества получаемой электроэнергии, надёжности электроснабжения и более точного контроля за оборудованием.

### Список литературы:

1. Цифровизация электроэнергетики [https://atomicexpert.com/power\\_industry\\_digitalization\\_072018](https://atomicexpert.com/power_industry_digitalization_072018) (дата обращения: 20.05.2022).



2. Smart Grid: ТЭК и ИТ в поисках симбиоза.<http://lib.tsonline.ru/articles2/focus/smart-grid-tek-i-it-v-poiskah-simbioza> (дата обращения: 30.05.2022) Цифровая электроэнергетика <https://habr.com/ru/company/T1Holding/blog/342268/> (дата обращения: 25.05.2022)

3. Интегрирование ВИЭ в энергетические сети. «Умные» сети (SmartGrids).[https://itexn.com/8503\\_integrirovanie-vije-v-jenergeticheskie-seti-umnye-seti-smart-grids.html](https://itexn.com/8503_integrirovanie-vije-v-jenergeticheskie-seti-umnye-seti-smart-grids.html) (дата обращения: 30.05.2022)

4. Преимущества цифровизации объектов энергетики <https://controleng.ru/otraslevye-resheniya/preimushhestva-cifrovizacii/> (дата обращения: 27.05.2022)

5. Как цифра влияет на эффективность проектов электроэнергетики <https://plus.rbc.ru/news/5f7228667a8aa97fa4a23e33> (дата обращения: 27.05.2022)

6. Цифровая электроэнергетика <https://habr.com/ru/company/T1Holding/blog/342268/> (дата обращения: 25.05.2022)

## СОДЕРЖАНИЕ

### Секция 1. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

<i>Абдрашитов Д.Р., Нигматзянов Р.И.</i> Температурный контроль обмоток на электрических машинах	3
<i>Антропов Д.М., Рыжкова Е.Н.</i> Сравнительный анализ и выбор оптимального решения системы молниезащиты для промышленных предприятий	7
<i>Атрашенко О.С., Былинкин Я.Ю.</i> Внедрение гибридных экспертных систем для диагностики полимерных изоляторов	13
<i>Ахметшин А.Р.</i> Корректировка нормативных значений электрической нагрузки для проектирования жилых зданий г. Москвы	18
<i>Багавиев Р.Ф., Куракина О.Е.</i> Диагностика трансформаторного масла с использованием хроматографического анализа растворенных газов	22
<i>Баязитов И.И.</i> Мониторинг гололедных образований на воздушных линиях электропередач	25
<i>Гатунов Л.И., Тукшаитов Р.Х.</i> Температурный анализ различных видов металлов с помощью инфракрасной термометрии	29
<i>Дьяконов А.А., Семенова Н.Г.</i> Система поддержки принятия решений оперативным персоналом при оперативно-технологическом управлении распределительными электрическими сетями 6-10 кВ.	33
<i>Жигadlo А.А., Немчинов Н.А., Рыжкова Е.Н.</i> Выбор режима нейтрали в системах электроснабжения промышленных объектов	37
<i>Зонхоев Г.Б., Дашеев Д.Е., Жалсанов П.А.</i> Вопросы проектирования подстанций с высшим напряжением 110-220 кВ в период цифровой трансформации электроэнергетики	42
<i>Иркагалиева И.И.</i> Определение параметров сигнала переходного процесса в одноконтурной RLC-схеме	46
<i>Клочкова Н.Н., Обухова А.В.</i> Автоматизация проектирования электроснабжения промышленной зоны	51
<i>Немчинов Н.А., Жигadlo А.А., Рыжкова Е.Н.</i> Экономическое обоснование выбора режима нейтрали в системах электроснабжения промышленных объектов	55
<i>Ольховой А.В., Семенова О.Д.</i> Технико-экономическая оценка анализаторов качества электроэнергии	60
<i>Рудаков А.И., Мухаматяров М.Р.</i> Этапы разработки и внедрения автоматизированной системы управления группой малых ГЭС	65
<i>Солуянов В.И.</i> Новые удельные электрические нагрузки для проектирования жилых зданий Московской области	69
<i>Сидоров А.Е., Ляшко М.Ю.</i> Прогнозирование ожидаемой нагрузки проектируемой системы электроснабжения летательного аппарата	73

<i>Тухфатуллин И.Р., Хузяшев Р.Г.</i> Простейшая модель формирования переходных сигналов	77
<i>Хамадеева З.Р., Воркунов О.В.</i> Методы поиска мест повреждений кабельных линий	81
<i>Харабурова М.Д., Васин В.Е., Рыжкова Е.Н.</i> Устройство ограничения дуговых перенапряжений в сетях с компенсацией емкостных токов замыкания на землю	85
<i>Черепенькин И.В., Хуснутдинов А.Н., Лазарев П.С., Малев Н.А.</i> Влияние пускового ускорения на режим движения электроподвижного состава	89

## **Секция 2. ЭНЕРГО И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ И КОММУНАЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

<i>Антипин С.В., Паплевин И.А.</i> Разделение цепей обогрева и внедрение автоматизации включения-отключения обогрева оборудования с использованием технических контроллеров и датчиков температуры на подстанциях 35-110 кВ.	94
<i>Баширов М.Г., Баширова Э.М., Юсупова И.Г., Акчурин Д.Ш.</i> Нейросетевой анализ сигнала электромагнитно-акустической системы идентификации напряженно-деформированного состояния и поврежденности энергетического оборудования	99
<i>Братухин А.В., Казаковцев В.В.</i> Результаты тестирования указателей места однофазного замыкания на землю	102
<i>Байгускарова Н.Ш., Сафиуллина А.И.</i> Применение рукавных фильтров как способ энергосбережения на производстве	107
<i>Байгускарова Н.Ш., Сафиуллина А.И.</i> Контроль состояния элегаза в процессе эксплуатации элегазового оборудования	112
<i>Воротынцев В.С., Полуянович Н.К., Иванов А.В.</i> Оценка воздействующих факторов и прогнозирование электропотребления в региональной энергосистеме с учетом режима ее эксплуатации	116
<i>Гадельшина В.Р., Рожнецова Н.В.</i> Применение нейронных сетей в электроэнергетике	120
<i>Гарипов А.Р., Мустафин К.М.</i> Способы уменьшения потерь в воздушных линиях электропередач	124
<i>Денисова А.Р.</i> Параметры гигиенической безопасности светодиодных источников света	127
<i>Дубинин Д.В., Рашевская М.А.</i> Исследование и моделирование нагрузки различных электроприемников	132
<i>Калимуллин А.Ю.</i> Повышение компенсации реактивной мощности в сетях промышленных потребителей	136
<i>Камалов Р.Р.</i> Основные методы по решению снижения потерь на корону в сетях сверхвысокого напряжения	140
<i>Прокищ А.А., Сизганова Е.Ю.</i> Исследование потребления	

электроэнергии объектами угледобывающей компании	144
<i>Роженцова Н.В., Савина Н.К.</i> Особенности формирования выборки данных необходимых для обучения и тестирования алгоритмов прогнозирования электропотребления с помощью нейронных сетей	149
<i>Чаевцев Д.А., Роженцова Н.В.</i> Использование нейронных сетей для оценки энергопотребления нейроморфных процессоров	153
<i>Чистяков Д.С., Самолина О.В., Шаповалов С.В.</i> Исследование влияния осветительной нагрузки на появление высших гармоник в системе электроснабжения предприятий	157
<i>Шамсемухаметов И.И.</i> Энергосбережение на промышленном Предприятии	161
<i>Янов Т.А., Денисова А.Р.</i> Внедрение газопоршневых электростанций в состав автономных систем электроснабжения	164
<i>Яппаров Р.Р., Корнева П.А., Роженцова Н.В.</i> Возможности применения нейросетей в электроэнергетике	167

### **Секция 3. ЭНЕРГОСИЛОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, ЭЛЕКТРОПРИВОД И АВТОМАТИЗАЦИЯ**

<i>Альзаккар Ахмад, Местников Н.П.</i> Влияние использования единицы измерения фазора на устойчивость напряжения в электроэнергетических системах	172
<i>Баширов А.А., Сандаков В.Д.</i> Обзор и анализ существующих способов автоматизации технологических процессов на вертикальных фермах	176
<i>Баширов М.Г., Хафизов А.М., Алехин А.В., Саитов А.Р.</i> Разработка учебно-исследовательского комплекса на основе интеллектуальных средств автоматизации компании «Альбатрос»	180
<i>Баширов М.Г., Чурагулов Д.Г., Волкова О.Г., Савченко Д. А., Хисамов Н.А.</i> Разработка программно-аппаратного комплекса для моделирования характерных повреждений насосных агрегатов с электрическим Приводом	183
<i>Быков Н.С., Самолина О.В., Шаповалов С.В.</i> Применение устройства БАВР в системах электроснабжения с двигательной нагрузкой	187
<i>Вахнина В.В., Пудовинников Р.Н.</i> Тестовая модель силового трансформатора с учетом насыщения его магнитной системы	192
<i>Галиев С. Н.</i> Вопросы о соединении шаговых двигателей в единую систему	195
<i>Иванова В.Р., Семёнов Д.Г.</i> Автоматизация биогазовой установки в универсальной среде программирования CODESYSV3.5	198
<i>Казмирук Л.О., Сандаков В.Д.</i> Сравнительный анализ автоматизированных систем пожаротушения	202
<i>Мамаев Г.И., Шириев Р.Р.</i> О беспроводной зарядке автомобилей	205
<i>Минаев И.А.</i> Исследование сигналов переходного процесса	

в модели линии с конденсатором	209
<i>Мухаммадеев Э.И., Фетисов Л.В.</i> Проверка селективности устройств релейной защиты с использованием программного комплекса PSS SINCAL	213
<i>Павлов Д.В., Сандаков В.Д., Сидоров А.Е.</i> Сравнительная характеристика аккумуляторных батарей в автотранспорте	216
<i>Фетисов Л.В., Мурзин Э.С.</i> Системы автоматического контроля температуры	219
<i>Хамидуллин И.Н., Арсланов А.Д., Маслов С.Ю., Назарова А.Д.</i> Система плавки гололедообразования высоковольтных линии электропередач	223

#### **Секция 4. МАЛАЯ ЭНЕРГЕТИКА, ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ, СВЕТОТЕХНИКА**

<i>Алексеев Е.С., Колесник Д.А., Вашестов Е.А., Пидько З.Ф.</i> Возобновляемые источники энергии как развитие энергетической сферы на современном этапе	228
<i>Байгускарова Н.Ш., Сафиуллина А.И.</i> Возобновляемые источники энергии и безопасность	233
<i>Волков М.С., Тасенко А.А., Макарова Ю.С., Струмеляк А.В.</i> Разработка мероприятий, способствующих сходу снежного покрова с фотоэлектрических преобразователей	236
<i>Денисова А.Р., Савин Н.А.</i> Проектирование и визуализация системы искусственного освещения с автодиммированием	242
<i>Загидуллин А.М.</i> Анализ характеристик светодиодных filamentных ламп с разной мощностью в зависимости от напряжения питающей сети	246
<i>Иванова В.Р., Багаутдинов А.И.</i> Анализ организации светового комфорта рабочего пространства	250
<i>Иванова В.Р., Жукова Ю.И.</i> Об изменении подходов к организации образовательного процесса	253
<i>Копейкина Т.В., Козлуков А.А.</i> Применение газовой распределенной генерации как эффективной технологии малой энергетики	256
<i>Миннеханов А.Р., Шириев Р.Р.</i> Электрообогреваемый тротуар	261
<i>Рашевская М.А., Кутейников П.Д.</i> Источники бесперебойного питания на основе возобновляемых источников электроэнергии	264
<i>Савельев К.С., Титова И.В.</i> Разработка экспериментальной установки ветрогенератора	268
<i>Салахутдинов Б.М., Шириев Р.Р.</i> О повышении эффективности солнечных электростанций	272
<i>Тимчук О.Г., Дрянова Е.В., Дюкова В.В.</i> Будущее развитие ВИЭ РВ в условиях санкций	276

*Ульбрехт Д.А., Ахмедова О.О., Вдовиченко В.В.* Перспективы  
атомных электростанций малой мощности 280

*Червяков Д.Ю., Сошинов А.Г.* Применение технологий цифровизации  
в возобновляемых источниках энергии. 284

Научное издание

IV ВСЕРОССИЙСКАЯ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

«ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ И  
ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ»

Казань, 12-13 октября 2022 года

Материалы конференции

Под общей редакцией ректора КГЭУ Э.Ю. Абдуллазянова

Авторская редакция

Корректор В.Р. Иванова / С.Н. Валеева  
Компьютерная верстка С.Н. Валеева  
Дизайн обложки Ю.Ф. Мухаметшина

Подписанов печать 18.09.2022г  
Формат 60\*84/16. Гарнитура «Times». Вид печати РОМ  
Усл.печ.л. 14,78 Уч.-изд.л. 9,53 Тираж 200 экз. Заказ №5263

Центр публикационной активности КГЭУ  
420066, Казань, Красносельская, д.51