

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Казанский государственный энергетический  
университет»

**ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ: НАДЕЖНОСТЬ, БЕЗОПАСНОСТЬ,  
ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ**

Международная научно-практическая конференция  
( Казань, 22 апреля 2022 г.)

Материалы конференции

Казань 2022

УДК 621.31

ББК 31.2

Ч54

Рецензент:

М. Ш. Гарифуллин

доктор техн. наук, проф. каф. «Электроэнергетические системы и сети»,

Редакционная коллегия:

В.В. Максимов (отв. редактор), А.Г. Арзамасова, О.В. Воркунов, А.Х. Сабитов, К.Р.

Хамидуллина

**Ч54 Международная научно-практическая конференция «Электрические сети: надежность, безопасность, энергосбережение и экономические аспекты»** матер. конф. (Казань 22 апреля 2022 г.) / редкол. В.В. Максимов (отв. редактор) и др. Казань: Казан гос. энерг. ун-т, 2022. 314 с.

ISBN 978-5-89873-601-9

Опубликованы материалы II международную научно-практическую on-line конференцию «Электрические сети: Надежность, Безопасность, Энергосбережение и Экономические аспекты»:

- Обеспечение надежности электроэнергетических систем;
- Энергосбережение и современные технологии в промышленности и быту;
- Современные задачи электроснабжения горных машин и оборудования;
- Экономические аспекты обеспечения надежности;
- Подготовка кадров электротехнических специальностей в современных условиях.

Предназначен для научных работников, аспирантов и специалистов, работающих в области энергетики, а также для обучающихся образовательных учреждений энергетического профиля.

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

## ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

УДК 621.315

### ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ИЗОЛЯТОРОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ДЛЯ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ НЕМОТИВИРОВАННЫХ ОТКЛЮЧЕНИЙ

Зарипов Дамир Камилевич<sup>1</sup>, Закиров Динар Файзелханович<sup>2</sup>, Петров Антон Викторович<sup>3</sup>

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

<sup>1</sup>dzaripov@list.ru

В данной статье представлены результаты экспериментальных исследований, направленных на изучение состояния подвесных высоковольтных изоляторов при их неравномерном загрязнении и увлажнении, путем регистрации значений амплитуды синусоидальной составляющей и импульсов тока утечки, а также регистрации сигналов, поступающих с дистанционного датчика системы контроля изоляторов воздушных линий электропередачи (СКИВЛ). Показано, что разрядная активность на изоляторах и вероятность перекрытия существенно выше при неравномерном загрязнении, чем при равномерном.

**Ключевые слова:** воздушные линии электропередачи, контроль состояния изоляторов, онлайн системы диагностики изоляции

### DIAGNOSTICS OF OVERHEAD LINE INSULATORS TO PREVENT UNMOTIVATED OUTAGES

Zaripov Damir Kamilevich<sup>1</sup>, Zakirov Dinar Fayzelkhanovich<sup>2</sup>, Petrov Anton Viktorovich<sup>3</sup>

This article presents the results of experimental studies aimed at studying the condition of suspended high-voltage insulators under their uneven contamination and dampening, by recording the values of the amplitude of the sinusoidal component and leakage current pulses, as well as recording the signals coming from the remote sensor of the overhead power line insulator monitoring system. It is shown that the discharge activity on insulators, and thus the probability of overlap and breakdown, is significantly higher with non-uniform contamination than with uniform contamination.

**Keywords:** overhead power lines, control of insulator condition, online systems of insulation diagnostics

Перекрытия изоляции воздушных линий электропередачи (ВЛЭП) по причине загрязнения изоляторов исторически были одной из основных причин отключения линий при нормальных условиях эксплуатации. В последние два десятилетия ситуация начала улучшаться, поскольку были разработаны новые

способы успешной борьбы с загрязнением воздуха. В результате основные источники загрязнения, воздействующие на воздушные линии, в наши дни стали в основном природными. В последние годы более актуальной становится проблема отключений линий, вызванных птицами. Однако, как и в случае с загрязнением, в настоящее время имеется достаточно знаний о том, как их можно минимизировать.

Напротив, сегодня, похоже, существует большая доля отключений, которые нельзя легко отнести ни к загрязнению, ни к птицам, ни вообще к какой-либо конкретной причине [1,2]. Можно описать один и тот же типичный сценарий для этих отключений по «неизвестным» причинам, в том числе затрагивающих чистые или слабозагрязненные изоляторы и происходящих чаще всего ранним утром при наличии росы или тумана. Эти отключения, как правило, однофазные без признаков загрязнения при визуальном осмотре после успешного повторного включения. По общему мнению, их доля довольно высока, как, например, в России, где они составляют около 30% от всех отключений линий 220 кВ и 500 кВ [1].

Аналогичные результаты получены авторами данной статьи при анализе аварийных отключений в одной из сетей Республики Татарстан. Диаграмма процентного распределения общего числа аварийных отключений ВЛЭП в период с 2002 по 2018 гг. по вызвавшим их причинам представлена на рис. 1, где доля отключений по невыясненным причинам составляет 22 %.

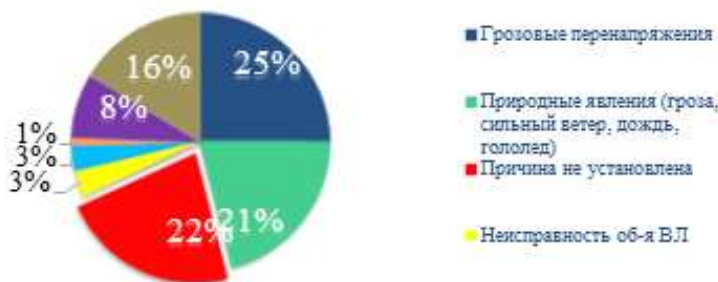


Рис. 1. Распределение аварийных отключений по вызвавшим их причинам

Основные выводы из анализа отключений, вызванным "неизвестными" причинами:

- они обычно происходят в зонах очень слабого загрязнения, т.е. ESDD/NSDD всего 0,01/0,06 мг/см<sup>2</sup>;
- отключения, как правило, совпадают со средней относительной влажностью воздуха 91%;
- все пострадавшие изоляторы имеют уровень изоляции 11-12 мм/кВ линейного напряжения.

Предполагаемый механизм отключений в ранние утренние часы заключается в неравномерном смачивании гирлянды изоляторов туманом или росой. Часть поверхностей гирлянды, например, нижние остаются сухими, потенциал земли передается вниз по гирлянде и становится приложенным в основном к нижним тарелкам. Они перекрываются дугой и вызывают мокрое включение оставшихся тарелок. Это может привести к перекрытию всей гирлянды.

Представляется возможным, что в дополнение к классическому перекрытию сухой полосы при загрязнении, может происходить воздушный пробой, особенно на легко загрязненных неравномерно изоляторах. Предлагаемый механизм основан на том факте, что на изолятор, имеющий наибольшее сопротивление, будет приложено наибольшее напряжение. Другими словами, если напряжение между линией и землей системы превысит напряжение перекрытия от одного до трех дисков (в зависимости от класса напряжения линии), то возможно, что эти диски перекроет дугой с распространением ее на остальные тарелки гирлянды.

В нормальных условиях эксплуатации изоляторы постоянно находятся под напряжением и ожидается, что возникновение любого внезапного смачивания может запустить механизм вспышки такого типа.

Устранение таких необъяснимых отключений становится все более важным, поскольку энергетические компании во всем мире пытаются установить нормы допустимого уровня отключений на каждом классе напряжения. Однако для этого им необходимо лучше понять, что на самом деле происходит с изоляторами на их линиях.

Эксперименты с неравномерно загрязненными изоляторами в атмосфере чистого тумана проводилось с применением установки, схема которой представлена на рисунке 1.

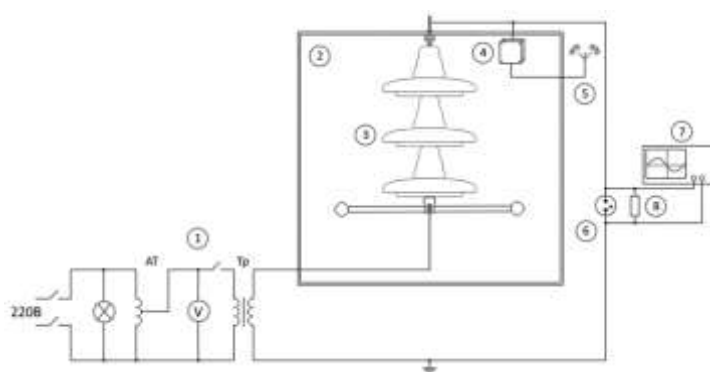


Рис. 2. Схема экспериментальной установки

- 1 – испытательная установка 110 кВ; 2 – климатическая испытательная камера (камера тумана); 3 – объект испытаний; 4 – электрод датчика беспроводной системы контроля; 5 – беспроводной передатчик; 6 – разрядник; 7 – осциллограф; 8 – резистор R=1000 Ом

В гирлянде использованы стандартные стеклянные тарельчатые изоляторы. Загрязнение их проводилось в соответствии с методом предварительного загрязнения (ПЗ) [3]. Для имитации неравномерности загрязняющего слоя нижняя часть тарелки нижнего изолятора была оставлена чистой. Измеренная эквивалентная поверхностная плотность естественного солевого загрязнения изоляторов (ESDD) составила 0,06 мг/см<sup>2</sup>. Уровень легкого загрязнения.

Изменения состояния изоляции гирлянды при воздействии тумана контролировалось измерением осциллографом тока утечки и регистрацией сигналов с емкостного датчика беспроводной системы контроля изоляции воздушных линий (СКИВЛ) [4]. Сигналы, регистрируемые датчиком, передавались через установленный снаружи камеры тумана беспроводной передатчик на персональный компьютер. Полученные данные отображались на экране в виде данных высокочастотных и низкочастотных сигналов (ВЧС и НЧС).

Подробное описание методик, использованного оборудования и датчиков контроля приведено в статьях [5-7].

Испытания проводились приложением к гирлянде изоляторов напряжения 30 кВ и непрерывным увлажнением в климатической испытательной камере. Температура окружающего воздуха в помещении при испытаниях была в пределах от 18°С до 24°С, относительная влажность воздуха составляла от 47 % до 64 %. Всего было проведено несколько экспериментов. Продолжительность каждого эксперимента составляла около 1 часа.

Эксперимент заключался в измерении значений амплитуды синусоидальной составляющей и импульсов тока утечки, протекающего по поверхности неравномерно загрязненной изоляции при её увлажнении. В качестве дополнительной меры контроля регистрировались сигналы, поступающие с датчика СКИВЛ.

Полученные результаты представлены на рисунке 3.

Согласно представленным на рисунке 3 графикам, резкий рост амплитудных значений импульсов тока утечки наблюдался спустя 46 минут после включения тумана и полного насыщения слоя загрязнения влагой, о чём свидетельствует график НЧС. Максимальное амплитудное значение тока утечки при этом составило 16 мА. Одновременно с этим наблюдался резкий рост высокочастотных сигналов (ВЧС), поступающих с датчика СКИВЛ, свидетельствующий о значительном увеличении частоты следования разрядов на поверхности изоляторов.

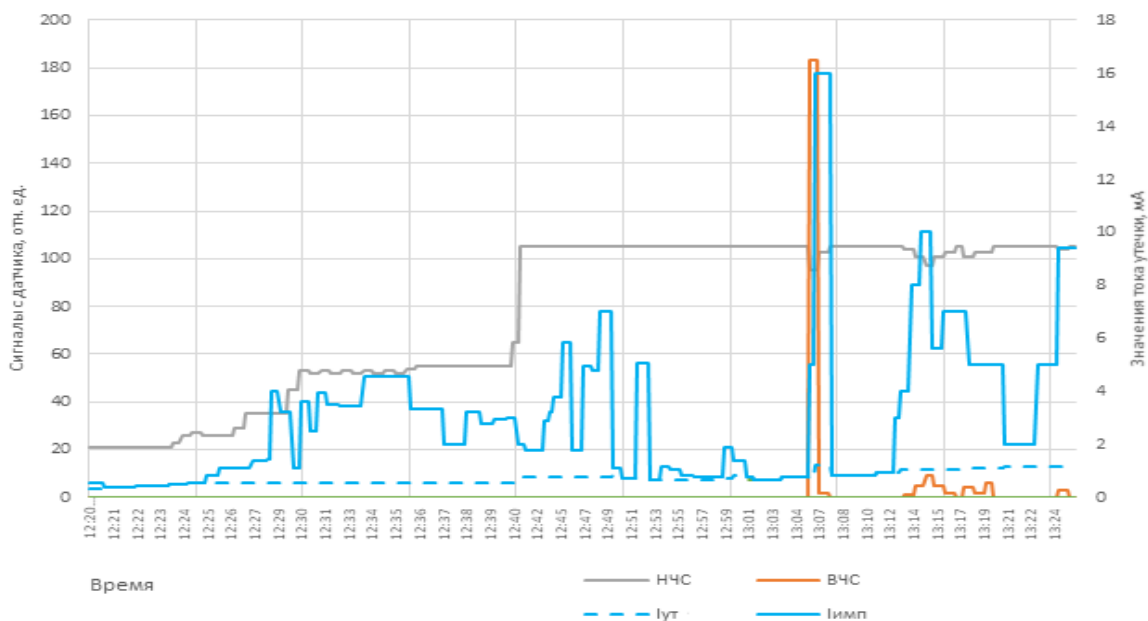


Рис. 3. Результаты измерений при неравномерном загрязнении

Резкий скачок значений импульсных токов утечки с одновременным увеличением значений высокочастотных сигналов, наблюдаемый уже после насыщения слоя загрязнения влагой, обусловлен неравномерностью загрязнения гирлянды изоляторов. Помимо этого, в течение всего процесса увлажнения наблюдаются достаточно высокие значения импульсных токов утечки, которые при равномерном загрязнении не наблюдались.

Таким образом, можно сделать следующие выводы.

1. Неравномерное распределение загрязнения по поверхности изоляции в процессе её увлажнения приводит к возникновению высокого уровня импульсных токов, который сохраняется на протяжении всего процесса увлажнения. В данном случае, в отличие от равномерного загрязнения, выравнивание распределения напряжения вдоль гирлянды не происходит, что приводит к более высокой вероятности возникновения перекрытия изоляторов именно при неравномерном загрязнении.

2. Резкий рост импульсных токов наблюдается после полного насыщения слоя загрязнения влагой, что может служить в качестве диагностического признака при непрерывном контроле состояния подвесной изоляции ВЛЭП и предупреждения немотивированных отключений.

## Источники

1. Research Provides New Insight into Unexplained Line Outages [Электронный ресурс] // INMR: [сайт]. [2017]. URL: <https://www.inmr.com/research-provides-new-insight-unexplained-line-outages/#> (дата обращения: 24.02.2022).
2. Research into an increased number of unexplained line outages of polymeric insulator sets used within the Czech transmission grid // CIGRE, B-208, 2016.
3. ГОСТ 10390-2015. Электрооборудование на напряжение свыше 3 кВ. Методы испытаний внешней изоляции в загрязненном состоянии. М.: Стандартиформ, 2016. 16 с.
4. «Experimental system for continuous monitoring of overhead power lines and substations insulation» // Damir Zaripov and Rustem Nasibullin // E3S Web Conf. Volume 216, 2020 Rudenko International Conference “Methodological problems in reliability study of large energy systems” (RSES 2020).
5. Патент № 2731169 С1 Российская Федерация, МПК G01R 31/08. Датчик для системы непрерывного контроля состояния изолирующих конструкций : № 2019145586 : заявл. 30.12.2019 : опубл. 31.08.2020 / Д. К. Зарипов, Р. А. Насибуллин, Р. Р. Ибрагимов, М. Ч. Игтисамов ; заявитель ОАО "Сетевая компания". EDN NKSFAM.
6. Устройство оптической индикации дефекта высоковольтной изолирующей конструкции / Р.Н. Балобанов, Д. К. Зарипов, Р. А. Насибуллин, С. М. Маргулис // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2017. Т. 19. № 3-4. С. 119-125.
7. Критерии выявления дефектов оборудования для тепловизионной системы контроля электрической подстанции / А. Д. Зарипова, Д. К. Зарипов, А. Е. Усачев // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2017. Т. 19. № 5-6. С. 51-57.
8. Геркусов А. А. Влияние несимметричной нагрузки на потери электроэнергии в распределительных сетях 0,4-20 кВ / А. А. Геркусов, Е. И. Грачева, О. А. Шумихина // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 2(54). С. 15-28. EDN MEYUIW.



## **ОЦЕНКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТАХ В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ ELCUT**

Качанов Александр Николаевич<sup>1</sup>, Каменский Вадим Владимирович<sup>2</sup>

Россия, г. Орёл, <sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева»

<sup>1</sup>kan@ostu.ru, <sup>2</sup>kamensky.vadik@yandex.ru

В статье рассмотрены возможности применения программного продукта ELCUT для расчетов основных параметров электромагнитного поля вдоль трасс прохождения воздушных линий электропередач и прокладки кабельных линий с целью оценки электромагнитной обстановки и выявления влияния электромагнитных помех на окружающую среду и устойчивость работы технических средств, находящихся в зоне эксплуатируемых и проектируемых воздушных и кабельных линий разных уровней напряжений.

**Ключевые слова:** программный продукт ELCUT, основные параметры электромагнитного поля, воздушные и кабельные линии электропередач, электромагнитная обстановка

## **ASSESSMENT OF THE ELECTROMAGNETIC ENVIRONMENT AT ENERGY AND INDUSTRIAL FACILITIES IN THE ELCUT SOFTWARE ENVIRONMENT**

Kachanov Alexander Nikolaevich<sup>1</sup>, Kamensky Vadim Vladimirovich<sup>2</sup>

The article considers the possibilities of using the ELCUT software product to calculate the main parameters of the electromagnetic field along the routes of overhead power lines and cable lines in order to assess the electromagnetic situation and identify the impact of electromagnetic interference on the environment and the stability of the technical means located in the area of operated and projected overhead and cable lines of different voltage levels.

**Keywords:** ELCUT software product, basic parameters of the electromagnetic field, overhead and cable power lines, electromagnetic environment

Известно, что электромагнитная обстановка (ЭМО) – это совокупность электромагнитных явлений и/или процессов в данной области пространства или данной проводящей среде в частном или временном диапазоне [1]. Оценка ЭМО представляет собой сложную и трудоемкую задачу, т.к. даже на однотипных предприятиях уровни электромагнитных помех могут быть

совершенно разными, обусловленными такими факторами как внесение изменений в проект при его реализации, модернизация электрооборудования в процессе его эксплуатации, климатическая зона и т.п. Таким образом, оценка ЭМО на любом предприятии требует индивидуального подхода, особенно на предприятиях с высоким уровнем энерговооруженности. Информация о техногенных и природных электромагнитных помехах, полученная расчетным или экспериментальным путем позволяет оценивать их влияние на эксплуатационный персонал и, например, микропроцессорную технику, находящиеся в непосредственной близости от электрооборудования. [2].

В данной статье авторы ограничились исследованием ЭМО вдоль воздушных и кабельных линий электропередач от электромагнитных помех техногенного характера. Поставленная задача была решена с использованием современных инновационных методик, а именно компьютерного моделирования физических и технологических процессов в программной среде ELCUT.

На первом этапе исследований была дана оценка электромагнитной обстановки вдоль трассы ЛЭП 750 кВ [3]. Для нахождения распределения параметров электромагнитного поля по обе стороны от оси трассы ЛЭП была применена как классическая методика (метод зеркальных отображений), так и компьютерное моделирование в программной среде ELCUT. Графики распределения модуля наведенного потенциала (высота измерения 1,8 м от уровня земли) в зависимости от расстояния до ЛЭП 750 кВ приведены на рисунках 1-4. Расчеты были выполнены для нормального и аварийного режимов работы ЛЭП.

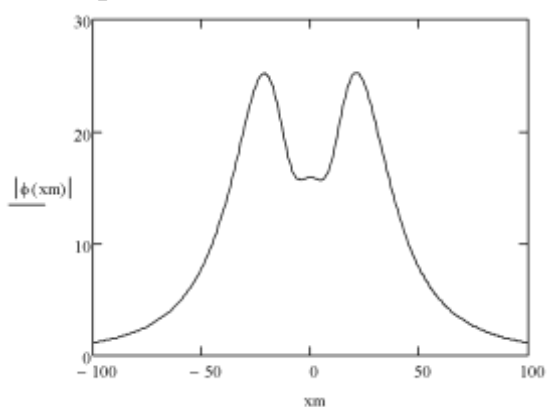


Рис.1. Распределение модуля  $\dot{m}$  в охранной зоне ЛЭП в нормальном режиме работы (метод зеркальных отображений)

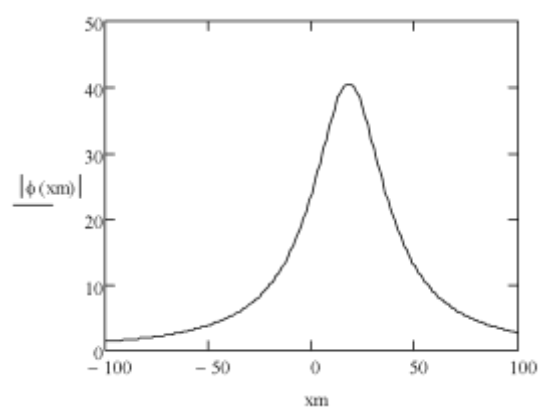


Рис. 2. Распределение модуля  $\dot{m}$  в охранной зоне ЛЭП в аварийном режиме работы (обрыв двух фаз) (метод зеркальных отображений)

Сравнивая графики, полученные классическим методом и с помощью компьютерного моделирования можно сделать заключение, они качественно и

количественно (практически) совпадают. Экспериментально не удалось проверить, какой из двух методов более точный, поскольку в Орловской области отсутствуют ЛЭП 750 кВ. Сравнительный анализ результатов, полученных путем компьютерного моделирования и экспериментально для линий напряжением 110, 35 и 10 кВ подтвердил возможность применения программной среды ELCUT для оценки ЭМО, т.к. погрешность метода не превышает 2-4%.

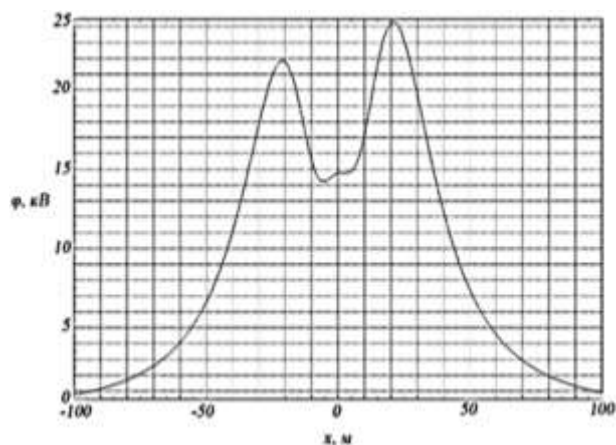


Рис. 3. Распределение модуля  $\dot{m}$  в охранной зоне ЛЭП в нормальном режиме работы (ELCUT)

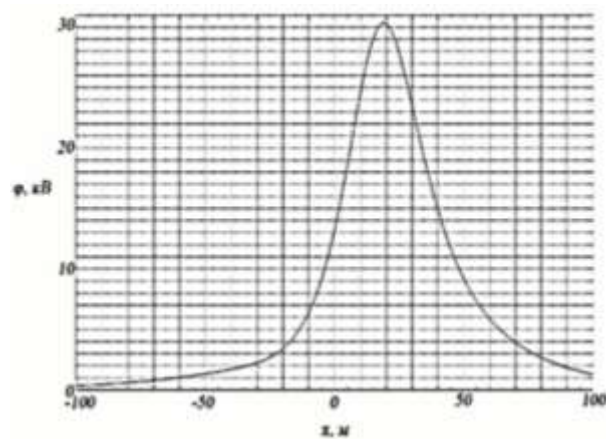


Рис. 4. Распределение модуля  $\dot{m}$  в охранной зоне ЛЭП в аварийном режиме работы (обрыв двух фаз) (ELCUT)

Также следует отметить, что использование программной среды ELCUT позволяет, по сравнению с классическим методом, значительно сократить время и трудоёмкость вычислительных работ. Кроме того, сравнивая расчетные значения электромагнитных помех с их нормативными значениями [4] можно оценить не только состояние ЭМО, но и выявить их влияние на окружающую среду и устойчивость работы технических средств, находящихся в зоне эксплуатируемых и проектируемых воздушных и кабельных ЛЭП разных уровней напряжения.

На втором этапе исследований была проведена оценка ЭМО в зоне прокладки кабельных линий (КЛ) с номинальными напряжениями соответственно равными 0,4 (ВБШв 4x70), 10 (ПВП 3x50) и 110 (ПВПг 1x185/95) кВ. Выявлены зависимости параметров электромагнитного поля от уровней напряжения и режимов работы КЛ. Принято допущение, что в каждой из исследуемых КЛ течет номинальный ток, равный 200 А. В процессе моделирования установлено, что электрическое поле КЛ с заземлённым с двух сторон экраном сосредоточено лишь внутри кабеля и не выходит за пределы экрана, поэтому его значения у поверхности земли равны нулю, что и подтверждается графиком распределения электрического поля на уровне поверхности земли в зависимости от расстояния от оси КЛ (рис. 5), а также

картиной электрического поля с учетом пространственного расположения проводников (рис. 6).

Анализируя полученные результаты, был сделан следующий вывод: поскольку электрическая составляющая электромагнитного поля ( $E$ ) пренебрежительно мала, то магнитную составляющую ( $H$ ) можно учитывать по величине индукции ( $B = f(H)$ ). График распределения индукции на уровне поверхности земли в зависимости от расстояния до оси прокладки кабеля представлен на рисунках 7-9.

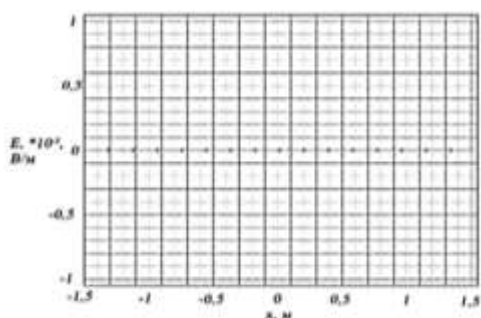


Рис. 5. Распределение электрического поля от КЛ 110 кВ у поверхности земли (глубина прокладки кабеля 1 м)

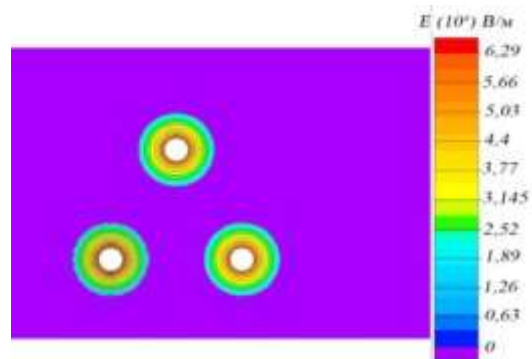


Рис. 6. Картина распределения электрического поля внутри КЛ 110 кВ

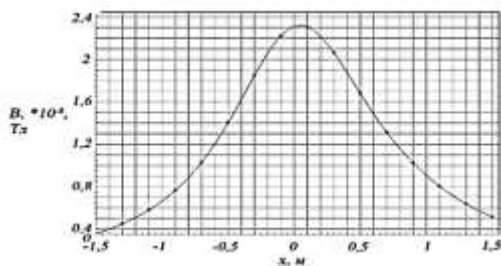


Рис. 7 –  $B(x)$  для КЛ 0,4 кВ в нормальном режиме работы на уровне поверхности земли (глубина прокладки 0,7 м)

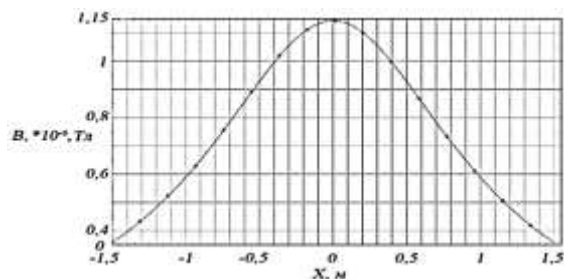


Рис.8 –  $B(x)$  для КЛ 10 кВ в нормальном режиме работы на уровне поверхности земли (глубина прокладки 1 м)

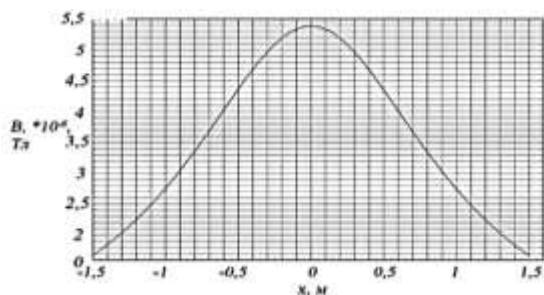


Рис. 9.  $B(x)$  для КЛ 110 кВ в нормальном режиме работы на уровне поверхности земли (глубина прокладки 1 м)

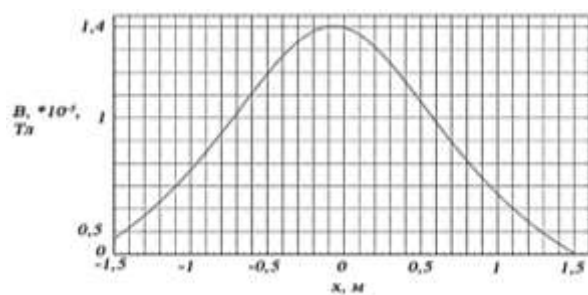


Рис.10.  $B(x)$  для КЛ 110 кВ в нормальном режиме КЗ на уровне поверхности земли (глубина прокладки 1 м)

Как видно из графиков, интенсивность магнитной индукции зависит от уровня напряжения кабельной линии и расстояния до места прокладки КЛ. Кроме того, на величину индукции влияют и токи, протекающие по линии, как это показано на графике распределения индукции на уровне поверхности земли в зависимости от расстояния до оси прокладки кабеля представлен на рисунке 10 для КЛ 110 кВ в аварийном режиме работы (однофазное КЗ).

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

- целесообразно применять программную среду ELCUT для оценки ЭМО, т.к. погрешность метода не превышает 2-4%

- использование программной среды ELCUT позволяет, по сравнению с аналитическими методами расчетов, значительно сократить время и трудоёмкость вычислительных работ.

- сравнивая расчетные значения электромагнитных помех с их нормативными значениями можно оценить не только состояние ЭМО, но и выявить их влияние на окружающую среду и устойчивость работы технических средств, находящихся в зоне эксплуатируемых и проектируемых воздушных и кабельных ЛЭП разных уровней напряжения.

- предложенный алгоритм оценки ЭМО может быть рекомендован для использования его в учебном процессе при подготовке кадров для электроэнергетики и электротехники.

### **Источники**

1. Дьяков А.Ф. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике и электротехнике/ А.Ф Дьяков, Б.К. Максимов, Р.К. Борисов; под ред. А.Ф Дьякова. М.: Энергоатомиздат, 2003. 234 с.

2. Дьяков А.Ф. Требования по выполнению условий электромагнитной совместимости на объектах электроэнергетики: метод. указания. М: Энергопрогресс, 2005. 65 с. (Библиотечка электротехника, приложение к журналу «Энергетик». Вып. 10(82)).

3. Качанов А.Н. Оценка электромагнитной обстановки в зоне эксплуатации воздушных линий электропередач / А.Н. Качанов, В.В. Каменский; Материалы XIX международной научно-практической конференции (10 – 12 ноября 2021 г., г. Орёл) / под редакцией д-ра техн. наук, проф. А.Н. Качанова, д-ра техн. наук, проф. Ю.С. Степанова. – Орёл: ОГУ им. И.С. Тургенева, 2021. – С. 43-48

4. ГОСТ Р. 51317.6.2-99 (МЭК 61000-6-2-99). Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к электромагнитным помехам технических средств, применяемых в промышленных зонах. Требования и методы испытаний.

5. «Experimental system for continuous monitoring of overhead power lines and substations insulation» // Damir Zaripov and Rustem Nasibullin // E3S Web Conf. Volume 216, 2020 Rudenko International Conference “Methodological problems in reliability study of large energy systems” (RSES 2020).

6. 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 TBRQPH.

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

УДК 622.271.33:004.89:681.586.7

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА КОНТРОЛЯ И БЕЗОПАСНОСТИ УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВ КАРЬЕРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ**

Мади Перизат Шаймуратовна  
КарТУ имени Абылкаса Сагинова  
peri@mail.ru

В данном тезисе исследуется выдвигнутая научная гипотеза о создании нового метода контроля устойчивости бортов карьеров. Представлены вопросы, связанные с разработкой системы контроля смещения горного массива, приводящих к обрушению бортов карьера.

**Ключевые слова:** безопасность, устойчивость, контроль, борт, карьер, оптическое волокно, датчик

## **INVESTIGATION OF THE METHOD OF CONTROL AND SAFETY OF STABILITY OF THE SIDES OF QUARRIES USING FIBER-OPTIC SENSORS**

Madi Perizat Shaimuratovna

In this thesis, the scientific hypothesis put forward about the creation of a new method for controlling the stability of the sides of quarries is investigated. The issues related to the development of a system for monitoring the displacement of the mountain range, leading to the collapse of the sides of the quarry, are presented

**Keywords:** safety, stability, control, board, quarry, optical fiber, sensor

В Казахстане активно ведутся разработки полезных ископаемых открытым способом ведутся на более 50 крупных и средних месторождениях. Открытые разработки по глубине карьеров на некоторых месторождениях достигают до 400-600 м, большинство других карьеров колеблется в пределах от 100 м. до 300 м. С ростом глубины карьера растет и срок службы бортов карьера. Все открытые разработки характеризуются наличием карьеров с огромным сроком службы, которые превышают 60-летний рубеж, когда в среднем расчетный срок карьеров колеблется в пределах от 20-30 лет. В связи с ростом глубины карьера, как правило ухудшаются геотехнические и геомеханические параметры устойчивости бортов карьеров [1]. Поэтому особая роль отведена надежному обоснованию и обеспечению безопасности при контроле устойчивости бортов карьера. Несмотря на многочисленные исследования, проблема обеспечения безопасности бортов в их предельном положении в силу своей сложности и разнообразия месторождений особенно актуальна. В связи с этим безопасность и контроль устойчивости бортов карьеров является актуальной научной и практической проблемой. Актуальность работы обусловлена повышением эффективности и безопасности контроля устойчивости бортов карьеров в процессе эксплуатации. Анализ источников показывает, что существует проблема. И к решению этой проблемы нельзя подходить в одностороннем порядке. Необходимо использовать различные методы [2,3]. Поэтому работа была направлена на разработку нового метода контроля с использованием оптического волокна. В настоящее время используются различные методы, как инструментальные наблюдения (традиционные методы) и с использованием современного геодезического оборудования и технологий: электронная тахеометрия, глобальные навигационные спутниковые системы, автоматизированная система «GEOMOS», наземное лазерное сканирование, радарная интерферометрия (спутниковая и наземная). Существующие методы имеют достоинства и в свою очередь эффективны, но существуют некоторые недостатки, которые приводят к возникновению вопроса разработки нового метода, основанный на волоконно-оптической технологии [4,5]. И целью работы является создание нового метода, основанной на волоконно-оптической технологии усовершенствуя процессы контроля устойчивости бортов карьеров для безопасной работы. Так как волоконно-оптическая технология обладает рядом преимуществ, описанных в работах [6,7].

Для практических реализаций проведенных исследований, для проверки выдвинутой научной гипотезы была разработана схема измерений имитационного лабораторного образца, которая представлена на рисунке 1.

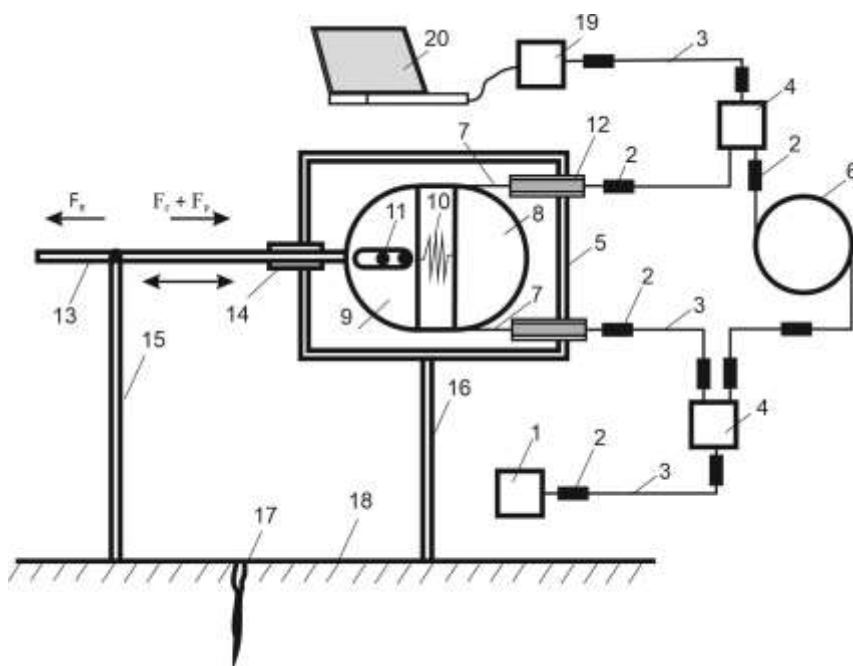


Рис. 1. Схема измерений имитационного лабораторного образца

1 – источник света, 2 – коннекторы, 3 – патч-корды, 4 – оптический разветвитель, 5 – корпус, 6,7 – плечи интерферометра, 8,9 – полудиска, 10 – пружина, 11 – ось перемещения, 12 – муфта, 13 – ригель, 14 – втулка, 15,16 – реперы, 17 – трещина, 18 – массив, 19 – фотоприемное устройство, 20 – персональный компьютер с аппаратно-программным комплексом контроля

Измерение проводится на основе метода определения дополнительных потерь в оптическом волокне при механическом воздействии. Измеритель оптической мощности VIAVI (JDSU) SmartPocket OLP-38 используется в качестве измерительного устройства, работающего в динамическом диапазоне от -60 до +26 дБ, с диапазоном длин волн 780-1650 нм. В качестве источника оптического излучения используется SmartPocket OLS-34/35/36. Подключение к оптическому волокну осуществляется через универсальный адаптер UP2.5mm и оптический разъем типа SC. Измерительный орган представляет собой датчик, основанный на двух роликах, расположенных в корпусе, отделенных друг от друга упругим элементом. На фото белый короб, изготовленный из пластика, детали которого распечатаны на 3Д принтере. В ходе эксперимента был создан имитационный стенд лабораторного образца датчика смещения на основе простейшего интерферометра Маха-Цендера.

Полученные результаты объясняются обратной зависимостью между значениями коэффициента упругости: чем больше число витков оптического волокна, тем ниже коэффициент упругости. Было проведено ряд экспериментов для определения дополнительных потерь мощности оптического излучения, проходящего через оптоволоконные датчики при



различном смещении. Измерение величины смещения повторяется, затем обрабатываются экспериментальные данные, и полученное значение усредняется с помощью линейки, график которого показан на рисунке 2.

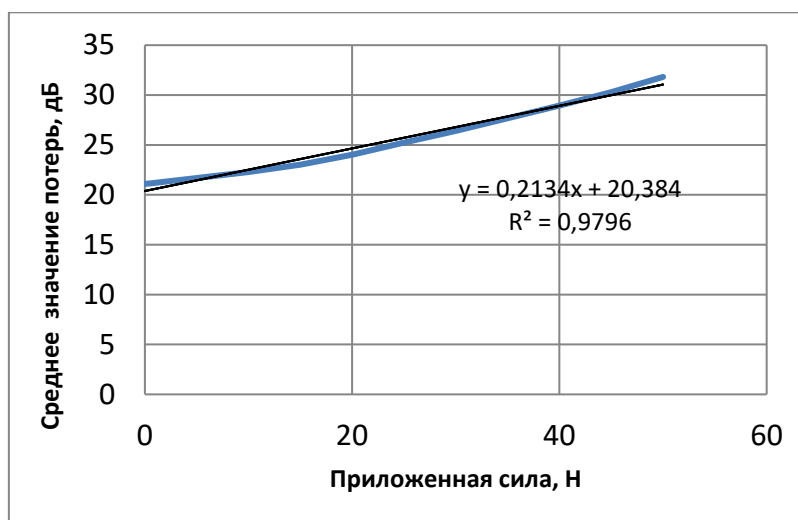


Рис. 3. График зависимости оптических потерь от значений смещений

Результаты лабораторных экспериментов доказывают, что оптическое волокно может быть использовано в качестве датчика, обладает хорошей линейностью и может использоваться для контроля стабильности обеих сторон карьера. Устойчивость бортов карьера можно безопасно дистанционно контролировать в режиме реального времени с помощью волоконно-оптических датчиков.

### Источники

1. Низаметдинов Ф.К., Ожигин С.Г., Ожигина С.Б., Долгоносов В.Н., Радей К., Станькова Г. Мониторинг состояния откосов уступов и бортов карьеров. - Здибы, Чешская Республика: Научно-исследовательский геодезический, топографический и картографический институт, 2015. - 350 с.

2. Ozhigin S, Ozhigina S, Ozhigin D 2018 Method of Computing Open Pit Slopes Stability of Complicated-Structure Deposits Journal of the Polish Mineral Engineering Society. Inzynieria Mineralna 41(1) pp. 203-207 doi: 10.29227/IM-2018-01-32

3. Dorokhov D V, Nizametdinov F K, Ozhigin S G, Ozhigina S B 2018 A Technique for Surveying of Ground Surface Deformations in Mine Field Journal of Mining Science, Vol.54(5) pp.874-882 doi: 10.1134/S1062739118055011

4. Glisic B., Inaudi D. Fibre Optic Methods for Structural Health Monitoring. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd, 2007. 276 p.

5. Волоконно-оптические датчики / Под ред. Э. Удда. М.: Техносфера, 2008. 520 с. [Fiber Optic Sensors: An Introduction for Engineers and Scientist / E.Udd, ed. N.Y.: John Wiley & Sons, Inc. 1991. 496 p.]

6. V.V. Yugay, P.Sh.Madi, S.B.Ozhigina, D.A.Gorokhov, A.D.Alkina. Questions of application of fiber-optic sensors for monitoring crack growth during rock deformations. Actual Problems of Radiophysics International Conference (APR 2021) Journal of Physics: Conference Series 2140 (2021) 012037 doi:10.1088/1742-6596/2140/1/0120373

7. Mekhtiyev, A.D., Soldatov, A.I., Neshina, Y.G., Alkina, A.D., Madi, P.Sh. The working roof rock massif displacement control system News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences this link is disabled, 2021, 5(449), pp. 68-76

8. Mekhtiyev, A.D., Kovtun, A.A., Yugay, V.V., ...Aimagambetova, R.Z., Alkina, A.D. Research of mechanical stress at tension of quartz optical fiber (QOF) Metalurgijathis link is disabled, 2021, 60(1-2), pp. 121–124.

9. 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.

10. Н.В. Буюкова, А. В. Крюков, К. В. Суслов, Д. А. Середкин Моделирование электромагнитных полей, создаваемых тяговыми сетями 25 кВ на многопутных участках // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 2(54). С. 3-14. EDN JIMGMZ.

УДК 621.315

## **ВЛИЯНИЕ СИСТЕМ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ЭНЕРГОСИСТЕМ**

О.С. Рахимов<sup>1</sup>, М.И. Тошходжаева<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Политехнический институт Таджикского Технического Университета  
имени академика М.С. Осими

**Аннотация.** В статье рассмотрены проблемы обеспечения устойчивости электроэнергетических систем с источниками распределенной генерации. Выявлены основные факторы влияющие на устойчивость системы. Приведены алгоритм определения оптимального соотношения источников РГ и энергосистемы, а также имитационная модель электроэнергетической системы.

**Ключевые слова:** устойчивость, системы распределенной генерации, напряжение, частота, сеть, алгоритм

## INFLUENCE OF DISTRIBUTED GENERATION SYSTEMS ON THE STABILITY OF POWER SYSTEMS

O.S. Rakhimov<sup>1</sup>, M.I. Toshkhodzhaeva<sup>2</sup>

**Annotation.** The article considers the problems of ensuring the stability of electric power systems with sources of distributed generation. The main factors influencing the stability of the system are identified. An algorithm for determining the optimal ratio of DG sources and the power system and a simulation model of the electric power system are presented.

**Key words:** sustainability, distributed generation systems, voltage, frequency, network, algorithm

Вопрос обеспечения устойчивости режимов работы электроэнергетической системы Согдийской области, до развала СССР, на повестке дня была не стояла, так как функционировала единая Электроэнергетическая система Средней Азии. Однако, после возникновения отдельных государств и автономных энергосистем, в частности, присоединения энергосистемы Согдийской области к высоковольтной линии «Север-Юг -500 кВ и отделения от энергосистемы Республики Узбекистан (1997 г) возникла острая проблема обеспечения устойчивости Согдийской энергосистемы. Эта проблема связана с тем, что в линии «Север-Юг» 500 кВ протяженностью более 300 км, из-за изменения параметров линии (линия проходит по высокогорному перевалу, где на протяженности линии можно наблюдать зиму, весну, лето и осень) и подключения относительно мощных насосных станций имели место колебания напряжения и отключения ряд потребителей.

Вышеуказанные проблемы обеспечения устойчивости энергосистемы Согдийской области усугубились возникновение сетей с распределенной генерацией. Поэтому задача исследования устойчивости энергосистемы Согдийской области в условиях наличия сетей РГ различного класса напряжений является своевременной и актуальной.

При анализе функционирования электроэнергетических систем, учитываются не только электромагнитные параметры систем электроснабжения, но и механические параметры элементов системы, поскольку эти параметры оказывают влияние на электромагнитные процессы. Электромеханические процессы в основном происходят в генераторах, двигателях нагрузки в регуляторах, где электрическая энергия преобразуется в механическую. В качестве параметров электроэнергетической системы принят

напряжение в узловых точках и токи в ветвях ЭС, а под возмущением понимают изменение механического момента на валу двигателя, генераторов или мощности нагрузки [1, 2].

При управлении системы электроснабжения без систем распределенной генерации (РГ), расчеты переходных процессов производится с учетом изменения схемно-режимной ситуации, правильная работа противоаварийной автоматики обусловлен просмотром значительного количества аварийных ситуаций за ограниченное время, чтобы не допустить каскадное развитие аварий в системе электроснабжения [3]. При децентрализованном электроснабжении обеспечение селективности работы противоаварийной автоматики значительно сложнее чем при централизованной электроснабжении, поскольку при введении дополнительных источников электроэнергии изменяется свойства электроэнергетической системы. Поэтому требуется разработка новых подходов обеспечения устойчивости электроэнергетической системы с учетом специфики задач управления сетей с распределенной генерацией. Основной целью исследования является анализ статической и динамической устойчивости электроэнергетических систем с РГ в нормальном режиме функционирования [4].

Принципы анализа статической и динамической устойчивости исследованы на примере электроэнергетической системы с распределенной генерацией, которая состоит из источника питания (синхронный генератор без устройства АВР) мощностью 187 мВА, повышающего трансформатора мощностью 140 МВА напряжением 10/110 кВ, воздушной линии электропередач (ВЛЭП) протяженностью 11,4 км, поперечное сечение которого составляет АС-95 мм<sup>2</sup>, двух понижающих трансформаторов мощностью 16 мВА напряжением 110/10 источника распределенной генерации мощностью 25 мВА (на рисунке показана как подсистема). Источник РГ расположен на территории промышленного предприятия, предназначен для частичной разгрузки электроэнергетической системы, коэффициент мощности промышленного предприятия составляет 0,87 и при включении дополнительного генератора коэффициент загрузки трансформаторов составляет 0,69, при их мощности 16 МВА. (доля источников РГ в данной системе составляет 20% от общей мощности) (Рис.1)

Следует отметить, что электрическая нагрузка на стороне низкого напряжения условно не меняется в течении времени, исключением является промышленное предприятие где установлено источник РГ. К нагрузкам которые не меняются в течении времени можно отнести предприятия горнодобывающей промышленности, электродуговые сталеплавильные печи и шахты по добыче угля. На территории Согдийской области к таким секторам принадлежат предприятия расположенные на территории г. Гулистон.

На модели представлены контрольно-измерительные приборы, которые предназначены для контроля механических и электрических параметров системы. Между источником и повышающим трансформатором расположен комплект измерительных приборов, основная предназначение которых является контроль изменения электрических и механических параметров на зажиме основного генератора. На выходе понижающих трансформаторов также подключены контрольно-измерительные приборы.

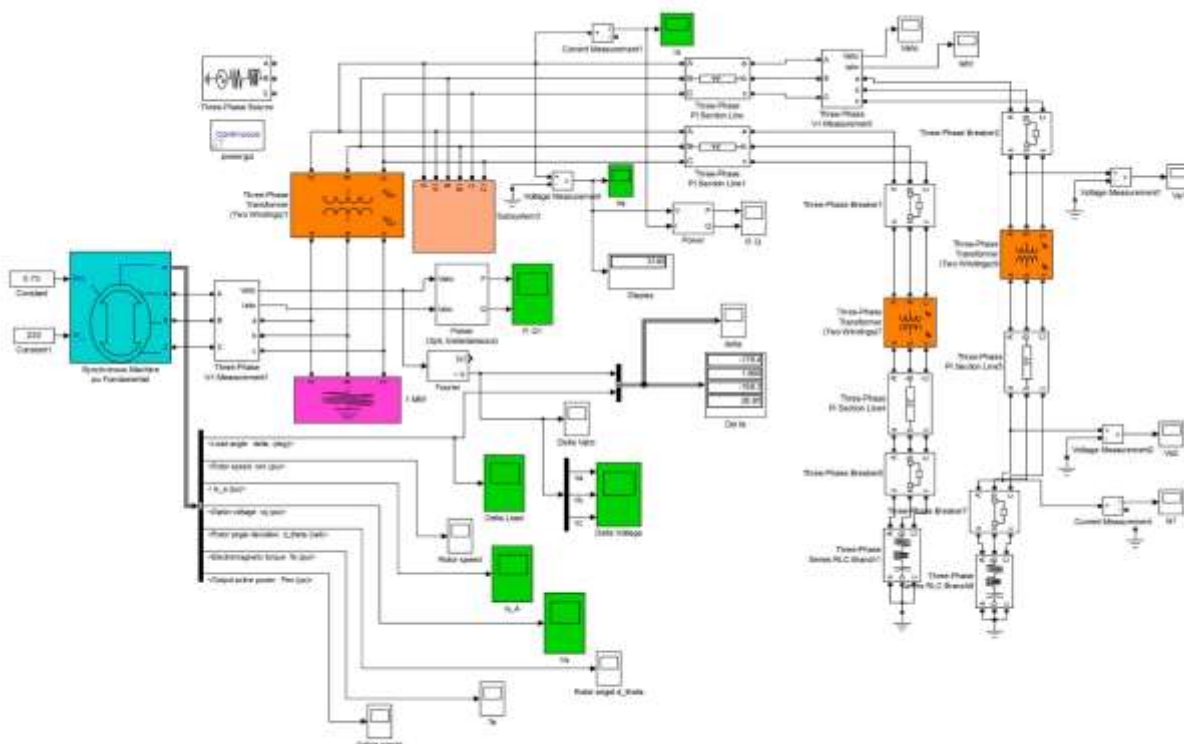


Рис.1.Иммитационная модель электроэнергетической системы с источником РГГ.

Основными параметрами, характеризующими устойчивость электроэнергетической системы, являются время изменения частоты вращения генераторов, изменение токов на линиях или изменение угла фазового сдвига между ЭДС-ом генератора и напряжением сети.

Поскольку в генераторе вырабатывается синусоидальный ток, который выражается формулой [5]:

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} = \sqrt{\int_0^T I_m^2 \sin^2 \omega t dt} \quad (1)$$

где:  $T$  – период синусоиды, 1/с;

$i$  – значение тока, А;

$I_m$  – мгновенное значение тока, А;

$\omega$  – угловая частота сети, рад/сек.

Ниже приведен график изменения тока на выходе основного генератора (Рис.2).

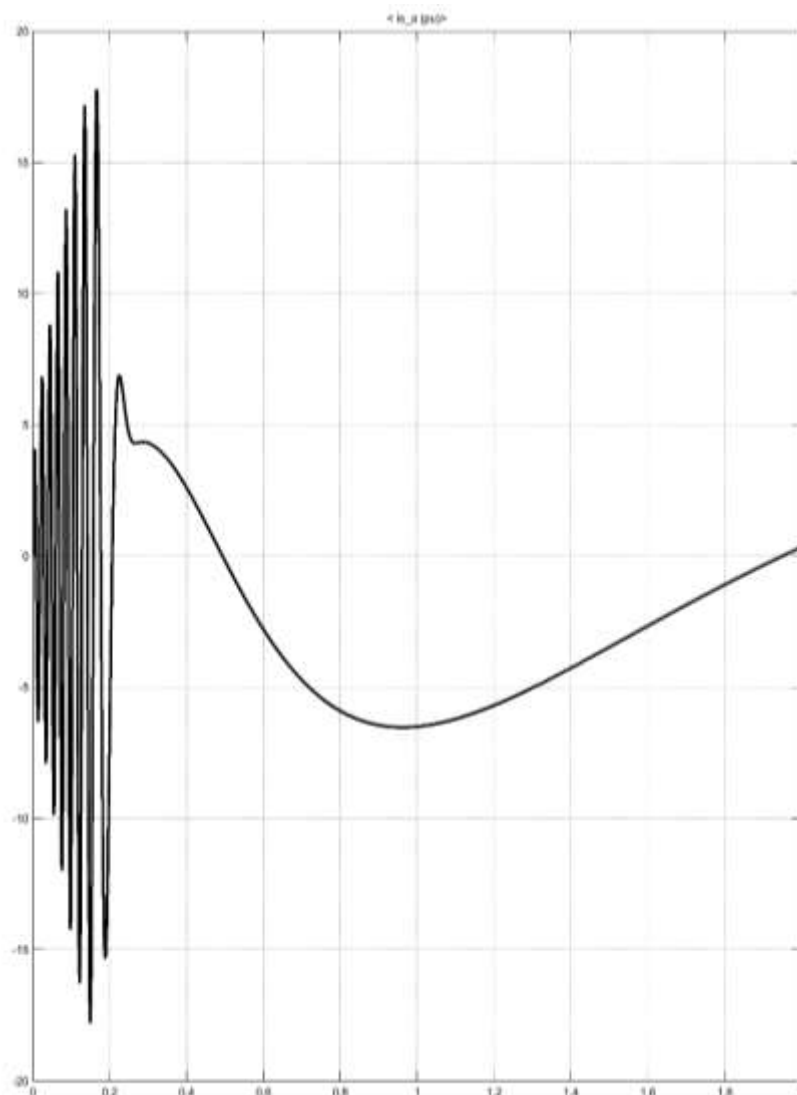


Рис.2. Изменение тока на выходе основного генератора

Из выше приведённого графика следует, что при одновременном пуске основного и дополнительного генератора, ток на зажимах основного генератора в течении 0,21 секунды скачкообразно возрастает до 18 кА, имеет синусоидальный характер, в течении 0,4 секунды снижается до 3 кА, в течении 1 секунды снижается до -5 кА затем возрастает и принимает синусоидальную форму, что свидетельствует об окончании переходного процесса.

Частота вращения ротора является важным показателем устойчивости электроэнергетической системы, поскольку от него зависят изменения основных параметров системы [5]:

$$n_1 = \frac{60f}{p} \quad (2)$$

где:  $f$  -частота тока, Гц;

$P$  -число пар полюсов.

На Рис.3 изображен изменение частоты вращения ротора в условных единицах в зависимости от времени

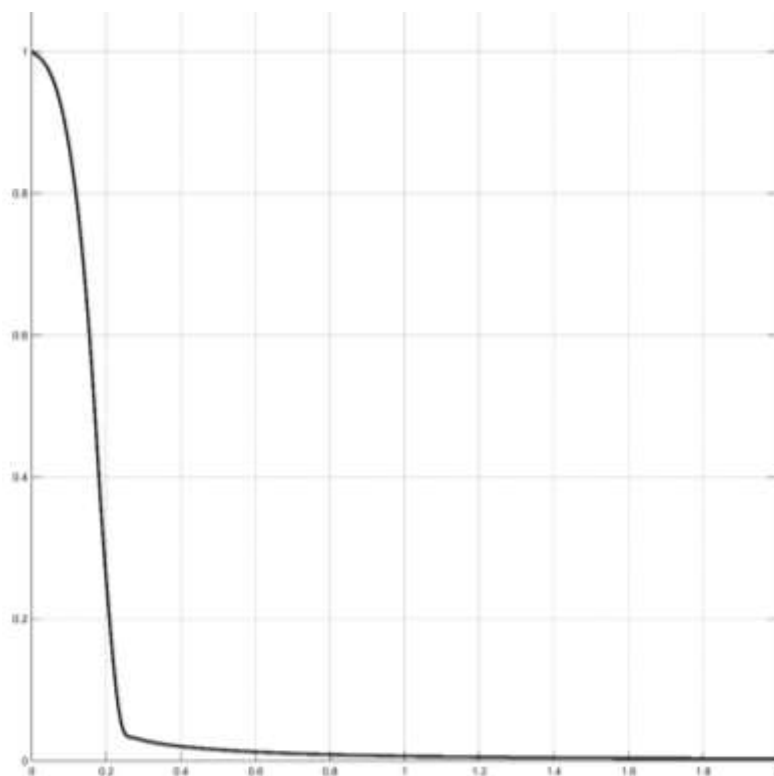


Рис. 3. Изменение частоты вращения ротора в зависимости от времени в условных единицах

Из выше приведенного графика следует что, в начальный момент пуска частота вращения ротора является максимальным и равняется единице, по мере набирания оборота в течении 0,6 сек скорость вращения ротора становится стабильным.

Таким образом, собрана имитационная модель в программной среде *MATLAB/Simulink* системы электроснабжения горнодобывающей промышленной зоны г. Гулистон, Согдийской области, которая характеризуется условно постоянной нагрузкой. В исследуемой модели мощность источника РГ является минимальным и составляет 20% от общей мощности энергосистемы, но при увеличении его мощности, изменения активной и реактивной нагрузки в течении времени должен соблюдаться, минимальное время протекания переходных процессов, что требует тщательного исследования.

Все выше приведенные зависимости при пуске основного и дополнительного генераторов являются допустимыми и приемлемыми для данной электроэнергетической системы. Однако увеличение числа мощности

источников РГ, также изменении характера нагрузки и самой нагрузки в течении суток требует отдельного моделирования.

### **Источники**

1. Perelmuter V.M. Electrotechnical systems. Simulation with Simulink and SimPowerSystems, CRC Press, 2013.

2. Perelmuter V.M. Electrotechnical systems. Simulation with Simulink and SimPowerSystems, CRC Press, 2013.

3. Кушнерев А. А., Алюнов А. Н. Структурное моделирование и анализ статической устойчивости электроэнергетических систем // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. 2018. №. 2. С. 34-40.

4. Суворов А.А. и др. Верификация расчётов динамической устойчивости энергорайонов с распределёнными генерирующими объектами //Электрические станции. 2021. №. 10. С. 12-25.

5. Lisin E. et al. Sustainable development of regional power systems and the consumption of electric energy // Sustainability. 2018. V. 10. №. 4. p. 1111.

6. Donnelly M.R., Dagle J.E., Trudnowski D.J., Riders G.J. Impact of the Distributed Utility on Transmission System Stability // IEEE Trans. Power Systems, 1996, Vol.11, № 2, p.741-746.

7. Jenkins N., Allan R., Grossley P., Kirschen D., Strbac G. Embedded Generation. London; IEE, 2000, 273 p.

8. Ротач, Р. Р. Повышение эффективности котельной при использовании винтовых расширительных машин / Р. Р. Ротач, Ю. В. Ваньков // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 2. С. 14-23. DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-2-14-23. EDN ATIQMW.

9. Коршунов, Е. А. Автоматизация процессов обслуживания энергетического оборудования с помощью специализированных программных решений / Е. А. Коршунов, А. А. Капанский, К. Е. Коршунов // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 1(53). С. 65-75. EDN THPONK.



## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНЖЕНЕРНЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ В КОНТЕКСТЕ СТАНДАРТОВ CDIO

А.А. Умарчонов<sup>1</sup>, Ш.А.Бобоев<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Горно-металлургический институт Таджикистана

**Аннотация:** В статье, на основе анализа полученных результатов реализации грантового проекта финансируемого со стороны Всемирного Банка, предложена инновационная образовательная модель для модернизации инженерного образования в Республике Таджикистан. В качестве такой модели предлагается подход CDIO - современный подход к реформированию инженерного образования. Утверждается, что предложенная образовательная модель позволит существенно изменить подход к проектированию и реализации инженерных образовательных программ и, в результате этого, усилить у выпускников soft skills и digital skills - которые существенно повышают их конкурентоспособность как на местном, так и глобальном рынке труда.

**Ключевые слова:** инженерное образование, образовательная программа, интегрированный учебный план, подход CDIO, стандарты CDIO, проектно-организованное обучение, soft skills, digital skills

## DESIGN OF ENGINEERING EDUCATIONAL PROGRAMS IN THE CONTEXT OF CDIO STANDARDS

A.A. Umarjonov<sup>1</sup>, SH.A. Boboev<sup>2</sup>

**Abstract:** Based on the analysis of the results of the implementation of the grant project financed by the World Bank, the article proposes an innovative educational model for the modernization of engineering education in the Republic of Tajikistan. As such a model, the CDIO approach is proposed - a modern approach to reforming engineering education. It is argued that the proposed educational model will significantly change the approach to designing and implementing engineering educational programs and, as a result, strengthen graduates' soft skills and digital skills - which significantly increase their competitiveness both in the local and global labor markets.

**Keywords:** engineering education, educational program, integrated curriculum, CDIO approach, CDIO standards, project-based learning, soft skills, digital skills

За последние 30 лет государственной независимости Республики Таджикистан мы столкнулись с необходимостью обратиться к реальной инженерной практике и привнести в инженерную профессию богатство и разнообразие человеческой деятельности и сделать обучение в технических

ВУЗах страны более захватывающим. В связи с поставленными стратегическими задачами устойчивого развития Республики Таджикистан - развития «зеленой экономики», а также задач, поставленных в Государственной Программе ускоренной индустриализации страны и Указе Президента Республики Таджикистан об объявлении 2022-2026 годов «Годами развития промышленности», пришло время переосмыслить состояние и перспективы таджикского инженерного образования. Современные студенты должны уметь совмещать естественные и информационные науки на нано-, микро- и макроуровнях, владеть профессиональной этикой и ощущать социальную ответственность, быть творческими личностями и новаторами, иметь развитые навыки устного и письменного общения. Они должны понимать принципы развития бизнеса, быть экспертами в области разработки и производства продукции, знать, как планировать, проектировать, производить и применять сложные инженерные системы. Они должны вести профессиональную деятельность, применяя принципы устойчивого развития, и быть готовы жить и работать в глобальном мире.

В стенах Политехнического института Порто (г. Порто, Португалия), Научно-исследовательского технологического университета «Московский институт стали и сплавов» (г. Москва, Россия), Университета Естественных Наук Норвегии (г. Осло, Норвегия) Университета Западной Аттики (г. Афины, Греция), Белорусского национального технического университета (г. Минск, Беларусь), Соколовского института науки и технологий (г. Москва, Россия) мы встречали студентов, способных выполнить все перечисленные требования, и даже больше. Значит, и мы должны стремиться к большему. Вопрос лишь в том, каким образом мы сможем включить все обозначенные аспекты в образовательную программу? Что из имеющегося опыта должно быть сохранено, а что необходимо изменить?

В рамках данного направления Горно-металлургический институт Таджикистана развивается следующим образом: применяет стандарты Всемирной Инициативы CDIO (подход CDIO) в качестве основы для реформирования содержания базового инженерного образования и механизма его непрерывного совершенствования в инженерно-технических ВУЗах Республики Таджикистан. Подход CDIO - крупный международный проект по реформированию базового инженерного образования, начатый в октябре 2000 года в Массачусетском технологическом институте (MIT, США) с участием ученых, преподавателей и представителей промышленности. Цель Инициативы - приведение содержания и результативности инженерных образовательных программ в соответствие с уровнем развития современных технологий и ожиданиями работодателей. Стандарты CDIO – это комплексный проектно-ориентированный подход к инженерному образованию: набор общих

принципов проектирования образовательных программ, их материально-технического обеспечения, подбора и обучения преподавателей. На сегодняшний день подходом CDIO охвачены более 100 вузов по всему миру (30 стран), в том числе университеты Лидса и Бристоля (Великобритания), Калифорнийский и Стэнфордский университеты (США), Сиднейский университет (Австралия), многие вузы в Финляндии, Китае, Португалии и России.

Со стороны преподавателей кафедры металлургии Горно-металлургического института Таджикистана было проведено комплексное исследование рынка труда цветных металлов и металлургического производства, которое позволило сформировать требования современного рынка труда к компетенциям выпускников. Исследование охватило 14 промышленных предприятий Республики Таджикистан, таких как: ООО «Таджикско-Китайская горнопромышленная компания», п.г.т. Зарнисор; Совместное Таджикско-Канадское общество с ограниченной ответственностью «Апрелевка», п.г.т. Кансай; Государственное унитарное предприятие «Таджредмет», г. Бустон; Общество с ограниченной ответственностью «Худжандторгмаш», г. Худжанд; Государственное унитарное предприятие «Ленинабадский комбинат редких металлов», г. Худжанд; Государственное унитарное предприятие «Исфаринский химический завод», г. Исфара; Акционерное общество открытого типа «Исфаринский гидрометаллургический завод», г. Исфара; Общество с ограниченной ответственностью «Адрасманский ГОК», п.г.т. Адрасман; Общество с ограниченной ответственностью «СП Анзоб»; Государственное унитарное предприятие «ТАЛКО», г. Турсунзаде; Совместное Таджикско-Китайское предприятие «ООО Зарафшон», г. Пенджикент; Общество с ограниченной ответственностью «Пакрут», г. Вахдат, Общество с ограниченной ответственностью «ТВЕА (Верхний Кумарг)», Айнинский район; Совместное Таджикско-Канадское общество с ограниченной ответственностью «Нукрафом», г. Истиклол (г. Табошары). В результате проведённых комплексных исследований рынка труда, опроса выпускников и преподавателей со стороны экспертов (консультантов) были сформулированы требования к результатам обучения для образовательной программы «Металлургия цветных металлов\_CDIO»: сформулированы и утверждены 26 универсальных и 26 профессиональных компетенций. Разработанный «Перечень планируемых компетенций», приобретаемых выпускниками после освоения образовательной программы «Металлургия цветных металлов\_CDIO» послужил основой при проектировании образовательной программы [1].

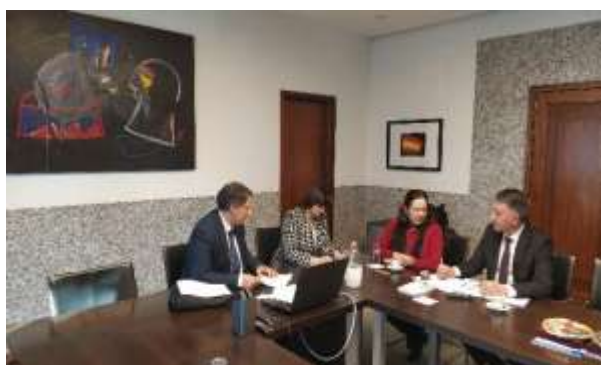


Рис.1. Фрагмент обсуждения содержания образовательной программы с коллегами из Политехнического института Порту, г. Порту, Португалия, 22.02.2020 г.(а) и НИТУ МИСИС, г. Москва

При проектировании новых образовательных программ для инженерных специальностей возникла сложность совместного практического применения Государственного стандарта высшего профессионального образования Республики Таджикистан, стандартов подхода CDIO и международных стандартов EUR-ACE Framework Standards for Accreditation of Engineering Programs. Для устранения указанных противоречий и упорядочения процедуры проектирования образовательных программ, отвечающих требованиям стандартов подхода CDIO с учётом опыта проектирования образовательных программ Политехнического института Порто (Португалия), НИТУ МИСИС (г. Москва) и результатов проведенных комплексных исследований рынка труда (металлургическое производство), было разработано «Положение об образовательной программе Горно-металлургического института Таджикистана». Результатом работы в данном направлении является разработка практических способов адаптации стандартов подхода CDIO: разработанное Положение определяет требования к структуре, порядку проектирования и реализации уровневых образовательных программ подготовки выпускников с высшим профессиональным образованием (бакалавр, магистр) по различным направлениям и является обязательным для исполнения всеми структурными подразделениями Горно-металлургического института Таджикистана. Авторитетной рабочей группой на основе Положения была спроектирована инновационная образовательная программа «Металлургия цветных металлов\_CDIO» [2].

Разработанная при участии широкого круга преподавателей, студентов, работодателей и ВУЗов партнёров, образовательная программа бакалавриата «Металлургия цветных металлов\_CDIO», удостоена высокой оценки со стороны международного эксперта МНО РТ профессора Владимира Бриллера - директора по стратегическому развитию института Пратта (г. Нью-Йорк,

США). Наша образовательная программа рекомендована как образцовая для университетов Республики Таджикистан [3].

Структура и содержание образовательной программы “Металлургия цветных металлов\_CDIO” были согласованы с такими высококвалифицированными учёными, признанными специалистами в области инженерного образования – Петровым Вадим Леонидовичем, д.т.н., профессором, проректором по учебной работе НИТУ МИСИС (г.Москва, Россия) и Хосе Карлос Куадраду, PhD, профессором, про-Президентом Политехнического института Порту (г. Порто, Португалия) (рис.1).

Для реализации образовательной программы был разработан интегрированный учебный план специальности 42010104-Металлургия цветных металлов, состоящий из двух циклов, шести блоков и восьми модулей.

Таким образом, в ходе реализации грантового проекта было установлено, что применение подхода CDIO обеспечить явные выгоды для конечных бенефициаров – ВУЗу в целом, преподавателям, студентам, выпускникам и их семьям, работодателям. Мы считаем, что настало время перемен для инженерного образования Таджикистана – модернизации инженерного образования в Республике Таджикистан на основе инновационной образовательной модели, улучшающий процесс обучения студентов, способствующий интегрировать современные технологии в процесс обучения, позволяющий научить будущих инженеров «проектировать и создавать».

Исходя из результатов реализации грантового проекта, в качестве такого вида инновационной образовательной модели мы рекомендуем подход CDIO - современный подход к реформированию инженерного образования. Подход CDIO направлен на подготовку всесторонне образованных инженеров, способных планировать, проектировать, производить и применять сложные инженерные объекты, системы и процессы с высокой добавленной стоимостью в современных условиях командной работы. При модернизации бакалавриата в идеологии подхода CDIO необходимо решить следующие задачи: 1) формирование команды профессорско-преподавательского состава и лаборантского корпуса, обладающего CDIO компетенциями; 2) проектирование инновационной образовательной программы специальности и других учебных материалов на основе 12 стандартов CDIO; 3) создание рабочего пространства для инженерной деятельности в формате CDIO (модели 4П): «Планирование – Проектирование – Производство – Применение».

Результаты грантового проекта реализуемого в горно-металлургическом институте Таджикистана при поддержке Всемирного Банка показали, что предложенная образовательная модель позволит существенно изменить подход к проектированию и реализации образовательных программ и, в результате этого, усилить у выпускников компетенции soft skills и digital skills - которые

существенно повышают их конкурентоспособность как на местном, так и глобальном рынке труда [4].

Практика показывает, что применение подхода CDIO является важным фактором успешности аккредитации образовательной программы в Европейской сети ENAEE в соответствии со стандартами EUR-ACE. Выпускники образовательных программ, аккредитованных по критериям, соответствующим стандартам EUR-ACE, получают в перспективе возможность пройти процедуру регистрации в международных регистрах International Engineering Technicians Register (выпускники с квалификацией техник), International Engineering Technologists Register (выпускники с квалификацией прикладной бакалавр), APEC Engineer Register и International Professional Engineers Register (выпускники с квалификацией бакалавр).

Таким образом, принятие вышепринятых комплексных мер без сомнений будут способствовать повышению качества и престижа таджикского инженерного образования в мировом образовательном пространстве.

### **Источники**

1. Чучалин А.И., Замятин А.В. Управление образовательной деятельностью в интегрированной системе менеджмента качества вуза // Вопросы образования, 2010, № 1, с.116-133.

2. Эволюция программ подготовки инженеров в Томском политехническом университете, под ред. Чучалина А.И. // Томск, Изд-во ТПУ, 2006, 186 с.

3. Чучалин А.И., Замятин А.В., Соловьев М.А. Стандарт основной образовательной программы в системе менеджмента качества Томского политехнического университета // Вестник высшей школы «AlmaMater», 2008, № 6, с. 25-29.

4. Стандарты и руководства по обеспечению качества основных образовательных программ подготовки бакалавров, магистров и специалистов по приоритетным направлениям развития Национального исследовательского Томского политехнического университета (Стандарт ООП ТПУ) // Сборник нормативно-производственных материалов, под ред. А.И. Чучалина, Томск: Изд-во ТПУ, 2012, 206 с..

5. PDTR 24748:2007 Systems and software engineering – Life cycle management – Guide for life cycle management («Системная и программная инженерия. Руководство по управлению жизненным циклом»).

6. ISO/IEC TR 24774:2007 Software and systems engineering – Life cycle management – Guidelines for process description («Программная и системная

инженерия. Управление жизненным циклом. Руководство по описанию практик).

7. ISO/IEC TR 19760:2003 Systems engineering – A guide for the application of ISO/IEC 15288 (System life cycle processes). Системная инженерия – Руководство по применению ISO/IEC 15288.

8. Цветков, А. Н. Исследования по оптимизации векторного управления асинхронным двигателем с применением системы аналитического контроля / А. Н. Цветков, Н. Ш. Доан, Д. А. Ярославский // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 3. С. 144-157. DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-3-144-157. EDN USMMDW.

9. 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 621.317.32

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ СИГНАЛОВ ПРИ КОММУТАЦИЯХ В ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Хузяшев Рустэм Газизович<sup>1</sup>, Кузьмин Игорь Леонидович<sup>2</sup>, Минаев Ильдар Айратович<sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>к.ф.-м.н., доцент кафедры ЭСИС КГЭУ, <sup>2</sup>к.ф.-м.н., доцент кафедры РЗА КГЭУ, <sup>3</sup>студент  
кафедры ЭСИС КГЭУ

<sup>1</sup>142892@mail.ru, <sup>2</sup>to\_kigor@list.ru, <sup>3</sup>enhtane@gmail.com

**Аннотация:** Показана важность изучения переходных сигналов, генерируемых коммутационными явлениями в электрических сетях, при практическом использовании волновых методов определения места повреждения. Перечислены основные причины формирования переходных сигналов. Приводится пример моделирования переходных сигналов в пакете PSCAD.

**Ключевые слова:** переходные сигналы, классификация, PSCAD

## SIMULATION OF TRANSIENT SIGNALS

Khuziashe Rustem Gazizovich<sup>1</sup>, Kuzmin Igor Leonidovich<sup>2</sup>, Minaev Ildar Airatovich<sup>3</sup>

**Abstract:** The importance of studying transient signals generated by switching phenomena in electrical networks is shown for the practical use of wave methods for fault location. The main

reasons for the formation of transient signals are listed. An example of modeling transient signals in the PSCAD package is given.

**Keywords:** transient signals, classification, PSCAD

Установившиеся режимы в электроэнергетических системах достаточно часто нарушаются разнообразными коммутационными процессами. К ним относятся плановые включения участков сети к источникам электроэнергии после плановых отключений, связанных с ремонтными работами. Разнообразные замыкания между элементами электрической сети обладающих разным электрическим потенциалом вследствие пробоя высоковольтной изоляции являются примером коммутационных процессов. Частичные разряды в твердотельной изоляции также являются примером коммутационных процессов. Грозовые перенапряжения, вызванные как ударами молнии в провода линий электропередач, так и индуктированные перенапряжения при ударах молнии в землю также являются примерами коммутационных процессов. Они связаны с мгновенным появлением дополнительного источника ЭДС.

Коммутационные процессы вызывают появление переходных сигналов. Эти переходные сигналы при распространении по протяженным элементам электрической сети подвергаются механизмам дисперсии, переотражения от узлов неоднородности и интерференции переотраженных сигналов.

Негативное влияние переходных сигналов на элементы электрической сети связано с воздействием электрических перенапряжений, которые либо пробивают, либо ослабляют твердотельную высоковольтную изоляцию.

Полезным свойством генерируемых переходных сигналов является их информативность о свойствах объекта, в котором они возникли. Поэтому методы регистрации и обработки сигналов переходных процессов бурно развиваются несколько последних десятилетий, что в первую очередь связано с развитием цифровой техники. Примерами таких областей техники являются сейсмология, ультразвуковая дефектоскопия, радиолокация. Коммутации вызывают появление бегущих волн, распространяющихся во всех направлениях вдоль линии. Регистрация бегущих волн в единой шкале времени является основой метода определения места повреждения с помощью бегущей волны [1].

ВОМП обладает меньшей погрешностью ОМП на линиях магистрального типа по сравнению с импедансными методами ОМП, использующими параметры установившегося аварийного режима. В распределительных сетях древовидной структуры импедансный метод ОМП неработоспособен. В настоящее время задача определения зоны повреждения воздушных ЛЭП решается индикаторами замыканий, монтируемых на провод линии электропередач. Размер участка поиска места повреждения зависит от



количества установленных датчиков. Экономическая целесообразность не позволяет достигать длины участка менее 5 км, что не высвобождает оперативную бригаду от пешего обхода всей линии или выделенного участка линии в зависимости от типа установленных индикаторов – без GSM канала связи или с GSM каналом связи. Индикаторы снабжены батарейным электропитанием с ограниченным сроком службы. Установка индикаторов с GSM каналом вдали от населенных пунктов определяет низкую надежность канала GSM-связи. На кабельных линиях установка индикаторов невозможна. Датчики предлагаемого волнового комплекса устанавливаются в тупиковых трансформаторных подстанциях (ТП), что определяет гарантированное электропитание и высокую надежность канала GSM-связи, связанную с расположением ТП в зоне жилой инфраструктуры. Перечисленные факторы указывают на перспективность практического развития ВОМП.

Интенсивное практическое развитие волновых методов определения места повреждения в линиях электропередач обусловлено прогрессом в области электронных технологий. Несмотря на результаты большого количества [2-7] теоретических и экспериментальных исследований методов волнового определения места повреждения (ВОМП), их широкомасштабная реализация осложняется множеством проблем. Они проявляются как в сложности достижения потенциальной точности ВОМП, так и с идентификацией причины возникновения сигналов переходного процесса (СПП). Если первая проблема тесно связана с влиянием механизма дисперсии особенно в неоднородных кабельных и воздушных линиях, то вторая проблема затрудняет ее практическое использование, когда информация о неаварийных СПП отвлекает сетевых диспетчеров от оперативной работы.

Регистрация СПП с высокой частотой дискретизации до 10 МГц обеспечивает большой объем данных. Их интеллектуальная обработка позволяет определить не только место повреждения, но и причину возникновения СПП. Развитие интеллектуальных методов обработки данных позволит оперативно доставлять диспетчеру только информацию об аварийных событиях и, после соответствующей обработки, отчеты о состоянии высоковольтной изоляции в различных частях сети. Работы в этом направлении пока находятся в зачаточном состоянии. Это связано со сложностью разработки как аппаратной, так и алгоритмической поддержки ВОМП. Развитие этих работ является актуальным направлением, так как позволяет значительно повысить качество информации о состоянии важнейшего объекта электроэнергетики - кабельных и воздушных линий.

СПП представляет собой ограниченный по времени колебательный сигнал, на который наложены амплитудная, фазовая и частотная модуляции. Именно параметры модуляции дают полезную информацию о причине и

местоположении сигнала, а также о местоположении и параметрах неоднородностей на пути распространения СПП.

Эта связь исследуется путем моделирования, например, в программном пакете PSCAD. В ВОМП используется только один, наиболее важный параметр СПП – время его начала в единой шкале времени в конкретной точке сети. Чтобы ответить на вопрос о причинах генерации СПП, необходимо использовать остальные параметры СПП. Интеллектуальный анализ осциллограмм СПП предполагает поиск связи между его структурой и информацией о местоположении и причинах генерации СПП.

СПП, возникающие при аварийном переключении, имеют большую амплитуду и легко обнаруживаются, но по мере распространения их амплитуда значительно уменьшается, а структура сильно искажается.

Нейронные сети позволяют работать с неструктурированной информацией, и они сами извлекают необходимые для классификации признаки, избавляя исследователя от необходимости определять признаки [8,9]. Недостатком нейронных сетей является процедура их обучения, что затрудняет их использование при анализе СПП.

Предлагается поиск связи причины возникновения СПП с его параметрами осуществлять на основе анализа результатов моделирования в программном пакете PSCAD. Целью является получение дополнительной информации о причине возникновения СПП при коммутациях в ЛЭП.

Рассмотрим схему замещения с распределенными параметрами для плановой коммутации в программном пакете PsCad / EMTDC (Рис. 1).

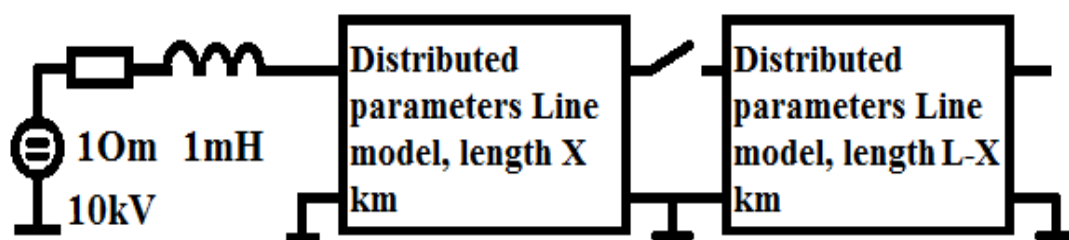


Рис. 1. Схема замещения плановой коммутации в линиях электропередачи

Длина линии  $L$  составляет 100 км. Плановая коммутация осуществляется на расстоянии  $X$  км от начала линии. На рис.2 изображены осциллограммы переходных сигналов на каждом 20-м километре линии, полученных при нулевом значении  $X$ . Осциллограммы иллюстрируют основные механизмы, возникающие при распространении скачка напряжения: дисперсия, отражение от неоднородностей, интерференция. Траектория с метками «0»-«6» иллюстрирует формирование одного периода свободных колебаний переходного сигнала.

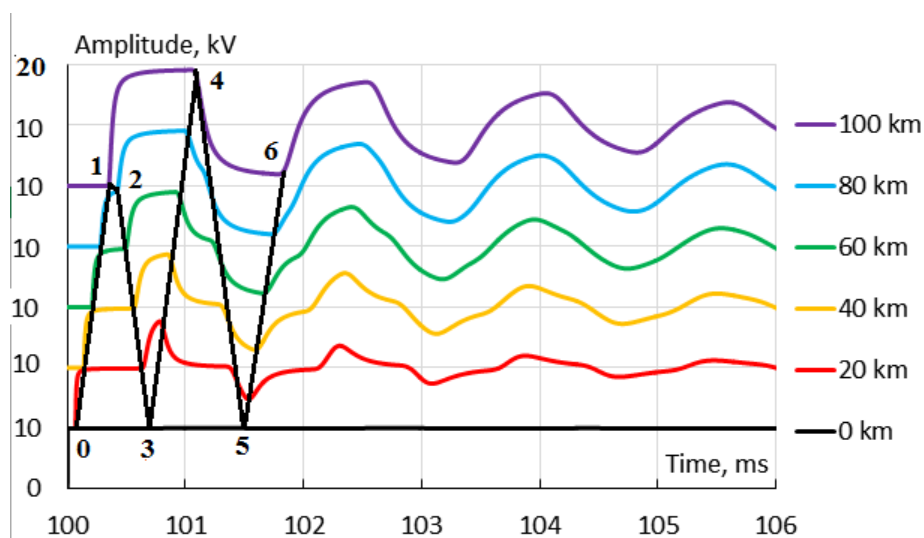


Рис. 2. СПП при ПК на разных расстояниях от начала линии.

Практическая реализация волнового определения места повреждения указывает на существование четырех основных причин возникновения переходных сигналов: частичные разряды, грозовые перенапряжения, аварийные и плановые коммутации. Классификация причин возникновения переходных сигналов необходима для информирования диспетчера сетей лишь о месте возникновения аварийных коммутаций. Пакет PSCAD позволяет формулировать диагностические признаки переходных сигналов для разных причин их возникновения.

### Источники

1. E.O. Schweitzer, A. Guzmán, M.V. Mynam, Skendzic, V., Kaszteny, B., & Marx, S., “Locating faults by the traveling waves they launch”, in Proc. *67th annual conference for protective relay engineers*, pp. 95-110, March 2014.

2. L. Xun, L.Shun-gui, H.Rong-hui, A.Jingwen, A.Yunzhu, C.Ping, and X.Zhengxiang, “Study on accuracy traveling wave fault location method of overhead line – Cable hybrid line and itsinfluencing factors”, 2017 Chinese Automation Congress (CAC), Oct. 2017, pp.4593-4597.

3. L.Xun, L.Shun-gui, H.Rong-hui, A.Jingwen, A.Yunzhu, C.Ping, and X.Zhengxiang, “Study on accuracy traveling wave fault location method of overhead line – Cable hybrid line and itsinfluencing factors”, 2017 Chinese Automation Congress (CAC), Oct. 2017, pp.4593-4597.

4. J.Huibin, “An Improved Traveling-Wave-Based Fault Location Method with Compensating the Dispersion Effect of Traveling Wave in Wavelet Domain”, *Mathematical Problems in Engineering*, 2017, №1.

5. R.G.Khuziashev, I.L.Kuzmin, V.D.Vasiliev, and S.M.Tukaev, “Practical implementation of the wave method for determining the location of damage in branched distribution electrical networks 6 (10) kV”, *Electricity. Transmission and distribution.*, 2019, pp. 98-107.

6. Новиков, С. И. Простейшие алгоритмы обнаружения сигналов переходного процесса напряжения в линиях электропередач / С. И. Новиков, И. Л. Кузьмин, Р. Г. Хузяшев // *Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики.* 2017. Т. 19. № 7-8. С. 114-125.

7. Ба Бораик, А. М. 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.

8. N.T. H. Anh, T. H. Hoang, D. T. Dung, V. T. Thang, and T. T. Q. Bui., “An artificial neural network approach for electroencephalographic signal classification towards brain-computer interface implementation”, *IEEE RIVF International Conference on Computing Communication Technologies, Research, Innovation, and Vision for the Future (RIVF)*, 2016, pp. 205–210.

9. T. Debnath, M. M. Hasan, and T. Biswas, “Analysis of ecg signal and classification of heart abnormalities using artificial neural network”, *9th International Conference on Electrical and Computer Engineering (ICECE)*, 2016, pp. 353–356.

10. 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.

11. Цветков, А. Н. Исследования по оптимизации векторного управления асинхронным двигателем с применением системы аналитического контроля / А. Н. Цветков, Н. Ш. Доан, Д. А. Ярославский // *Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики.* 2022. Т. 24. № 3. С. 144-157. DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-3-144-157. EDN USMMDW.

12. Квазигорячее распыление водоугольных суспензий с добавками пирогенетической жидкости / Д. В. Гвоздяков, А. В. Зенков, С. В. Лавриненко, А. А. Матвеева // *Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики.* 2022. Т. 24. № 3. С. 28-41. DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-3-28-41. – EDN RWGMLZ.

# НАПРАВЛЕНИЕ: ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ, НАДЕЖНОСТЬ, БЕЗОПАСНОСТЬ, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

УДК 621.315

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОРРЕЛЯЦИИ МЕЖДУ КООРДИНАТОЙ ЦВЕТНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА И ЕГО КИСЛОТНЫМ ЧИСЛОМ

Абазлдинова Алсу Флоритовна<sup>1</sup>, Валиуллина Дилия Мансуровна<sup>2</sup>,  
Козлов Владимир Константинович<sup>3</sup>

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

<sup>1</sup>Abzaldinova.alsu@gmail.com, <sup>2</sup>valiullinadiliya@mail.ru, <sup>3</sup>vk\_kozlov@bk.ru

Старение трансформаторного масла, приводит к увеличению кислотного числа и тангенса диэлектрических потерь, к изменению цвета масла и как следствие к снижению надежности всей изоляционной системы маслонеполненного оборудования. В работе исследованы изоляционные масла, определены их координаты цветности по спектрам пропускания и отражения в видимом диапазоне, а также установлена их связь с кислотным числом.

**Ключевые слова:** трансформаторное масло, кислотное число, координаты цветности масла, изоляция трансформатора

## DETERMINATION OF THE CORRELATION BETWEEN THE COLOR COORDINATE OF TRANSFORMER OIL AND ITS ACID NUMBER

<sup>1</sup>Abzaldinova Alsu Floritovna, <sup>2</sup>Valiullina Diliya Mansurovna, <sup>3</sup>Kozlov Vladimir Konstantinovich

Aging of transformer oil leads to an increase in acid number and dielectric loss tangent, to a change in the color of the oil and, as a result, to a decrease in the reliability of the entire insulation system of oil-filled equipment. In this work, insulating oils are investigated, their color coordinates are determined from the transmission and reflection spectra in the visible range, and their relationship with the acid number is established.

**Keywords:** transformer oil, acid number, oil color coordinates, transformer insulation

Силовые трансформаторы являются основными элементами систем электроснабжения, а их объемной составной частью является трансформаторное масло [1].

Любое трансформаторное масло, даже самой глубокой очистки, содержит небольшое число нафтеновых кислот, оказывающие воздействие на конструкционные материалы, из которых изготовлен трансформатор. Продукты взаимодействия накапливаются и выпадают в виде шлама, как следствие этого наблюдается резкое снижение изоляционных свойств масла [2-3].

Основным фактором старения трансформаторного масла являются окислительные превращения входящих в его состав углеводородов, смолистых и сернистых продуктов.

В результате эксплуатации трансформаторные масла подвергаются «старению», выражающееся в изменении их химических и физических свойств. К химическим показателям относятся кислотное число (К), определяющее содержание растворимых кислот и щелочей, степень окисления и «рабочие характеристики» масла.

Свежее трансформаторное масло представляет собой прозрачную жидкость светло-желтого цвета. В процессе эксплуатации трансформаторного масла, оно окисляется, что приводит к увеличению кислотного числа, изменению цвета масла, то есть оно темнеет и приобретает медно-бурый оттенок [4].

Для определения корреляции (R) между координатой цветности масла и его кислотным числом было проведено исследование образцов трансформаторных масел с различной степенью окисления. Корреляционная зависимость между координатами цветности и кислотным числом масел наиболее точно описывается координатой  $x$ , которая соответствует красному цвету [5-6].

При получении спектров пропускания масел были использованы три источника света: белый, синий и зеленый. По полученным спектрам пропускания определены координаты цветности исследуемых масел.

Обнаружено, что координата цветности  $x$  с увеличением кислотного числа имеет тенденцию к возрастанию (рис. 1, 2 и 3) [7].

Как видно из графиков, исследуемых образцов трансформаторного масла кислотное число находится в пределах нормативных значений. Предельное максимальное значение кислотного числа для трансформаторов установлено равным не более 0,25 мг КОН/г. Таким образом, представлена возможность определения степени старения трансформаторного масла, а именно кислотного числа, по координатам цветности масла.

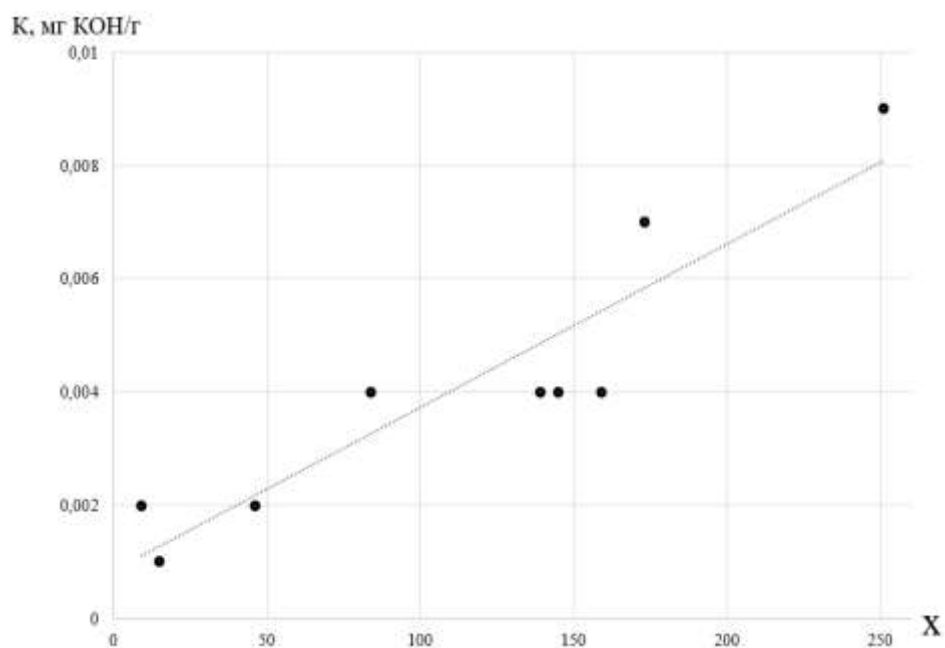


Рис. 1. Корреляционная зависимость кислотного числа от координаты цветности при пропускании через масло белого источника света.  $R=0,92367$

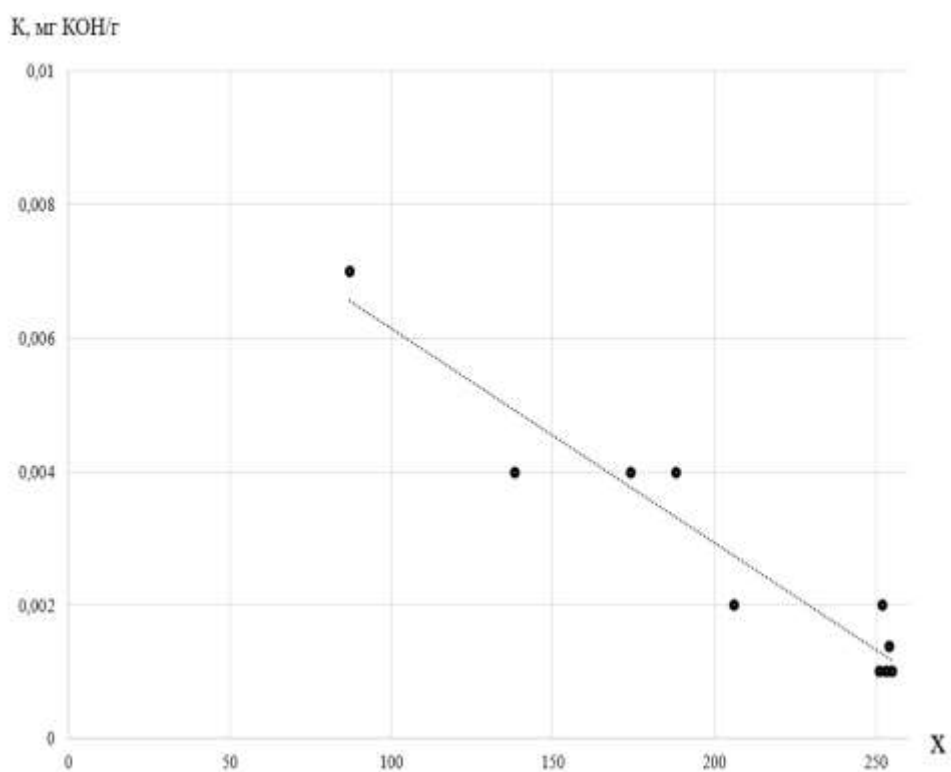


Рис. 2. Корреляционная зависимость кислотного числа от координаты цветности при пропускании через масло синего источника света.  $R=-0,9581$

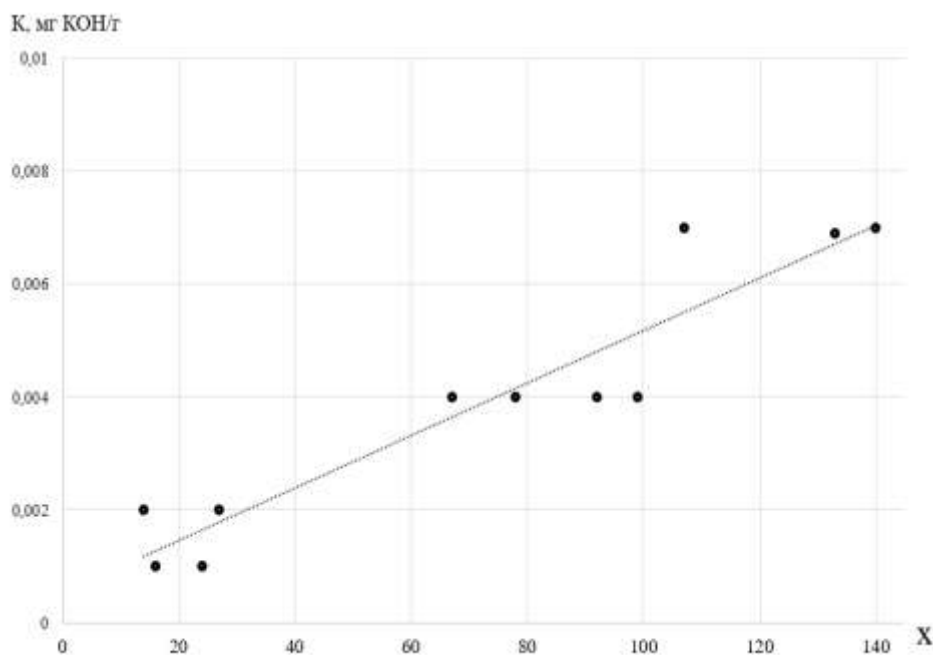


Рис. 3. Корреляционная зависимость кислотного числа от координаты цветности при пропускании через масло зеленого источника света.  $R=0,94528$

### Источники

1. Липштейн Р.А., Шахнович М.И. Трансформаторное масло. М.: Энергоатомиздат, 1983. 296 с.
2. Масло трансформаторное ГК: технические характеристики, гост и очистка [Электронный ресурс]. <https://globecore.ru/> (дата обращения: 04.04.2022).
3. Виды испытаний трансформаторного масла [Электронный ресурс]. <https://leg.co.ua/info/transformatory/> (дата обращения: 09.04.2022).
4. Валиуллина Д.М., Ильясова Ю.К., Козлов В.К. Качественные методы спектрального анализа в диагностике трансформаторных масел // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2019. Т. 21. № 1-2. С. 87-92. DOI:10.30724/1998-9903-2019-21-1-2-87-92.
5. Валиуллина Д. М., Гарифуллин М. Ш., Козлов В. К. Цвет как показатель качества изоляционных масел // Энергетика. Методы и средства диагностики масел. 2003. №4. С. 95-100.
6. Валиуллина Д. М., Ильясова Ю. К., Козлов В. К. [и др.] Определение характеристик трансформаторного масла спектральным методом // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Т. 13. № 1(49). С. 66-74.



7. Козлов В.К. Исследование зависимости коэффициента пропускания и цвета изоляционных масел от их кислотного числа / В.К. Козлов, Д.М. Валиуллина, М.Ш. Гарифуллин // Материалы докл. IV Междунар. Молодежной школы-семинар БИКАМП'03. СПб., 2003. С. 309–313.

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. EDN CZPDFX.

9. Шенец, Е. Л. Комплексная оценка регулировочной способности энергоэффективности предприятия по производству листового стекла / Е. Л. Шенец // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 2(54). С. 59-70. EDN CQBRIT.

УДК 621.833

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАХОЖДЕНИЯ ПРИБЛИЖЕННОГО ВЫЧИСЛЕНИЯ ОПРЕДЕЛЕННОГО ИНТЕГРАЛА МЕТОДОМ ТРАПЕЦИИ**

Азимов Наби Саидович

ПИТТУ имени М.С. Осими в г. Худжанд, г. Худжанд, Таджикистан

dilmurod.tjk@gmail.com

Для повышения качества знаний важную роль играет моделирование математических процессов для студентов технических вузов. В данной работе приведен процесс моделирования нахождения приближенного значения определенного интеграла методом трапеции.

**Ключевые слова:** моделирование, определенный интеграл, метод трапеции, приближенное значение, формула Ньютон-Лейбница

## **MODELING OF THE PROCESS OF FINDING AN APPROXIMATE CALCULATION OF A CERTAIN INTEGRAL BY THE TRAPEZOID METHOD**

Azimov Nabi Saidovich

Modeling of mathematical processes for students of technical universities plays an important role in improving the quality of knowledge. In this paper, the process of modeling the finding of an approximate value of a certain integral by the trapezoid method is presented.

**Keywords:** modeling, definite integral, trapezoid method, approximate value, Newton-Leibniz formula

Процесс моделирования математических процессов является одним из ключевых способов повышения качества знаний студентов технических вузов. Данная работа посвящена нахождению приближенного значения определенного интеграла методом трапеции.

Известно, что для вычисления определенного интеграла пользуются формулой Ньютон-Лейбница. Однако, для функций, которые в области элементарных функций не имеют первообразной, пользуются приближенным методом. Площадь, ограниченной кривой линией  $y = f(x)$ , с достаточной точностью можно заменить на сумму площадей трапеций, вписанной в эту область. Для этого, отрезок интегрирования делим на  $n$  равных частей, длина каждого из которых равна  $h$ . Так как площадь трапеции равна произведению полу суммы длины основания на высоту, то находя площадь каждой трапеции, суммируя находим площадь фигуры, ограниченной этой линией по следующей формуле:

$$S = h \left( \frac{1}{2} y_0 + y_1 + y_2 + \dots + y_{n-1} + \frac{1}{2} y_n \right)$$

Заметим, что чем больше количество интервалов интегрирования, тем точнее можно найти сумму площадей трапеций, ограниченной кривой линией.

В работе приведен процесс моделирования процесса нахождения приближенного значения определенного интеграла методом трапеции. Общий вид программы приведен на рисунке 1.

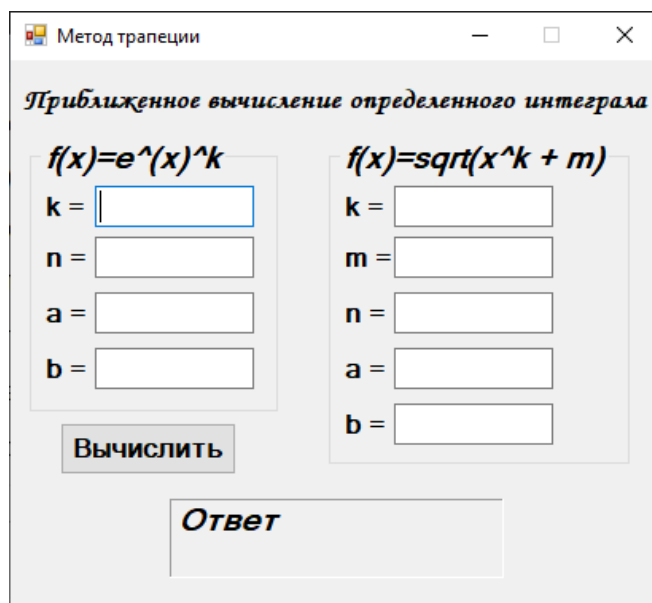


Рис. 1. Общий вид программы

Приведем код вычисления [2].

Листинг 1. Код вычисления

```
Private Sub Button1_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles
Button1.Click
    Dim a1, a2, n1, n2, b1, b2, k1, k2, m As Integer
    If aValue.Text <> "" Then a1 = Integer.Parse(aValue.Text) : If a2Value.Text
<> "" Then a2 = Integer.Parse(a2Value.Text) : If bValue.Text <> "" Then b1 =
Integer.Parse(bValue.Text) : If b2Value.Text <> "" Then b2 =
Integer.Parse(b2Value.Text) : If kValue.Text <> "" Then k1 =
Integer.Parse(kValue.Text) : If k2Value.Text <> "" Then k2 =
Integer.Parse(k2Value.Text) : If nValue.Text <> "" Then n1 =
Integer.Parse(nValue.Text) : If n2Value.Text <> "" Then n2 =
Integer.Parse(n2Value.Text) : If mValue.Text <> "" Then m =
Integer.Parse(mValue.Text) : If aValue.Text <> "" And bValue.Text <> "" And a1 >=
b1 Or a2Value.Text <> "" And b2Value.Text <> "" And a2 >= b2 Then
    MsgBox("Нижняя граница интеграла должна быть меньше верхней!",
vbCritical, "Ошибка") : Exit Sub
    End If
    If nValue.Text <> "" And n1 Mod 2 = 1 Or n2Value.Text <> "" And n2
Mod 2 = 1 Then
        MsgBox("Значение n должен быть четным!", vbCritical, "Ошибка") : Exit
Sub
        End If
        If kValue.Text <> "" And k1 <= 1 Or k2Value.Text <> "" And k2 <= 2 Then
            MsgBox("Степень x соответственно должна быть больше 1 и 2!",
vbCritical, "Ошибка") : Exit Sub
            End If
            If aValue.Text <> "" And bValue.Text <> "" And kValue.Text <> "" And
nValue.Text <> "" Then
                answer.Text = "Ответ 1 = " & exponenta(a1, b1, k1, n1)
                ElseIf a2Value.Text <> "" And b2Value.Text <> "" And k2Value.Text <> ""
And n2Value.Text <> "" And mValue.Text <> "" Then
                    answer.Text = "Ответ 2 = " & koren(a2, b2, k2, n2, m)
                End If
                If aValue.Text <> "" And bValue.Text <> "" And kValue.Text <> "" And
nValue.Text <> "" And a2Value.Text <> "" And b2Value.Text <> "" And
k2Value.Text <> "" And n2Value.Text <> "" And mValue.Text <> "" Then _
                    answer.Text = "Ответ 1 = " & exponenta(a1, b1, k1, n1) & vbCrLf & "Ответ 2
= " & koren(a2, b2, k2, n2, m) : End Sub
```

```

Private Function exponenta(ByVal a1 As Integer, b1 As Integer, k1 As
Integer, n1 As Integer) As Double
    Dim h, stepen, yChet, yNechet As Double
    h = (b1 - a1) / n1
    For i = 2 To n1
        stepen = (a1 + (i - 1) * h) ^ k1
        If i Mod 2 = 0 Then : yNechet = yNechet + Math.Exp(stepen)
        ElseIf i Mod 2 = 1 Then : yChet = yChet + Math.Exp(stepen)
        End If
    Next
    exponenta = Math.Round((h * ((Math.Exp(a1 ^ k1) + Math.Exp(b1 ^ k1))
+ (4 * yNechet) + (2 * yChet))) / 3, 4)
End Function

Private Function koren(ByVal a2 As Integer, b2 As Integer, k2 As Integer,
n2 As Integer, m As Integer) As Double
    Dim h, virojenie, yChet, yNechet As Double
    h = (b2 - a2) / n2
    For i = 2 To n2
        virojenie = ((a2 + (i - 1) * h) ^ k2) + m
        If i Mod 2 = 0 Then : yNechet = yNechet + Math.Sqrt(virojenie)
        ElseIf i Mod 2 = 1 Then : yChet = yChet + Math.Sqrt(virojenie)
        End If
    Next
    koren = Math.Round((h * ((Math.Sqrt((a2 ^ k2) + m) + Math.Sqrt((b2 ^
k2) + m)) + (4 * yNechet) + (2 * yChet))) / 3, 4)
End Function

```

В качестве примера приведен код вычисления для нахождения приближенного значения определенного интеграла от функций  $f_x = e^{xk}$  ( $k > 1$ ) и  $f_x = x^{k+m}$  ( $k > 2$ ).

В рисунке 2 приведено нахождение приближенного значения определенного интеграла от этих функций методом трапеций при значения параметров  $k = 2$ ,  $n = 10$ ,  $a = 0$  и  $b = 1$  для первой функции и  $k = 3$ ,  $n = 4$ ,  $a = -1$ ,  $b = 3$  и  $m = 2$  для второй функции.

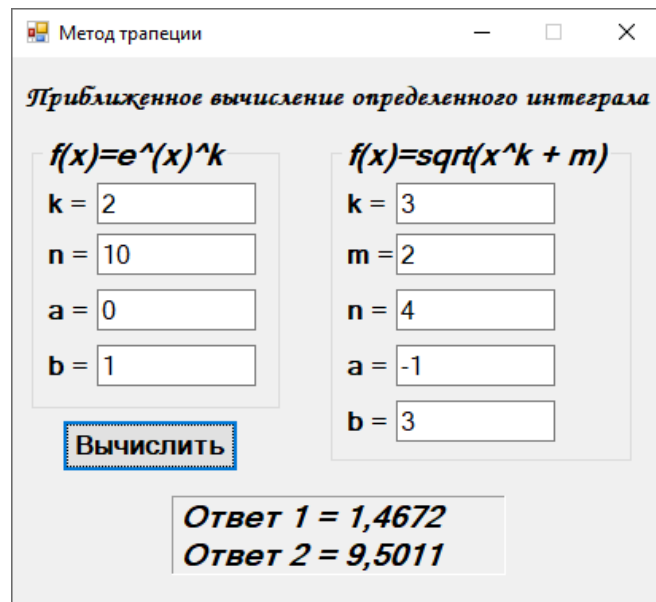


Рис. 2. Пример вычисления

Вывод: моделирование математических процессов с использованием элементов программирования даёт возможность найти приближенное значение определенного интеграла от функций, для которых не существует первообразных функций. Вычисления показывают, что погрешность метода трапеции равна меньше трети процента.

### Источники

1. Пискунов Н.С. Дифференциальное и интегральное исчисления для втузов. Москва: Наука, 1985. 432 с.
2. Дейтел Х.М., Дейтел П.Дж. Как программировать на Visual Basic.NET: Книга 1. Основы программирования. Пер. с англ. Москва: ООО «Бином-Пресс», 2003. 768 с.
3. Шпенст В.А., Орел Е.А. Способы обеспечения устойчивости работы электротехнических комплексов постоянного тока в условиях Арктики // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 4. С. 166-179. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-4-166-179.
4. IEC 61850 Communication networks and systems in substations.
5. ABB IED 670 Selection Guide, 1MRK 500 078-SEN.
6. ПУЭ, с изм. и доп., 2021 г.
7. 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.

7. Синюков А.В., Синюкова Т.В., Грачева Е. И. [и др.] Оптимизированные бездатчиковые системы управления механизмами перемещения грузов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 6. 87-98 с.

9. Петрущенко В.А., Коршакова И.А. Качественный и количественный анализ тепловой энергетики малых мощностей в России.// Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2020. Т. 22. № 5. 52-70 с.

10. Афанасьева О.В., Галькеева А.А., Вафин А.Р., Мингалеева Г.Р. Региональные аспекты использования угля на объектах малой распределенной энергетики // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2017. Т. 19. № 9-10. 85-93 с.

11. Интеллектуальная система оценки технического состояния трансформаторной подстанции 35/6(10) кВ / И. В. Ившин, А. Р. Галяутдинова, О. В. Владимиров [и др.] // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 2. С. 24-34. DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-2-24-35. EDN YXIMVA.

12. Исследование влияния пористости волокнистого материала на значение энергетической эффективности / О. В. Соловьева, С. А. Соловьев, А. Р. Талипова [и др.] // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 1(53). С. 56-64. EDN QKCEXX.

13. Герасименко, А. С. Особенности прямых измерений для оценки объемной активности радионуклидов в воздухе рабочей зоны / А.С. Герасименко, С. В. Дорохов, В. В. Криворотова // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 3. С. 3-14. DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-3-3-14. EDN NSHQUA.

УДК 330.524: 627

## **КОНЪЮНКТУРА РЫНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ СОГДИЙСКОЙ ОБЛАСТИ И ПРОБЛЕМЫ ЕГО РАЗВИТИЯ**

Алиназарова М.А.

Политехнический институт Таджикского технического университета имени академика М.С.

Осими в г. Худжанде, Худжанд (Таджикистан)

В статье описано состояние рынка энергетических ресурсов, проблемы дисбаланса электроэнергии Согдийской области. Показаны прием, передача электроэнергии по определённым предприятиям и организациям региона. Приведены расчеты выработки

электроэнергии, и их разницы в определённые промежутки. Построена диаграмма отклонения выработки электроэнергии по полугодиям и анализировано темп снижения выработки гидроэлектростанции. Выявлено неудовлетворенность потребности населения региона в эти промежутки времени.

**Ключевые слова:** рынок энергетических ресурсов, электроэнергия, гидроэлектростанция, лимит электроэнергии

## **MARKET CONDITIONS OF ENERGY RESOURCES OF SUGHD REGION AND PROBLEMS OF ITS DEVELOPMENT**

Alinazarova M.A.

The article describes the state of the energy market, the problem of imbalance power Sogd region. Showing reception, transmission power of certain companies and organizations in the region. Calculations of power generation and the difference in specific intervals. The diagram of power generation deviations by half the rate of decline and analyze the development of hydroelectric power. Identified unmet needs of the population of the region in these intervals.

**Keywords:** market of energy resources, electric power, hydroelectric power, limit electricity

В условиях завершения процесса перехода в рыночную экономику с развитием экономики и общества энергетическая отрасль промышленности развивается с низким темпом. Современная энергетика является сложным и многофункциональным комплексом, которая под воздействием факторов и условий формирующейся рыночной среды, непрерывно изменяется.

Рынок электроэнергии представляет собой один из товарных рынков, а электроэнергия здесь является универсальным товаром, который входит во все производственные процессы. Оно относится к товарам, для которых процессы производства и потребления совмещены во времени. Временная остановка процессов производства и потребления электроэнергии показывает нарушения равновесия на данном рынке, что непременно влияет во всей сфере экономики. Состояние регионального рынка энергетических ресурсов является важным фактором, определяющим конкурентоспособность экономики региона.

Энергетические ресурсы – это запасы топлива и энергии в природе, которые при современном уровне техники могут быть практически использованы человеком для производства материальных благ. В обеспечении потребности жизнедеятельности человека они занимают важное место, и их особенностью является ограниченность. Именно этим определяется актуальность изучения рынка энергоресурсов, их механизмов, участием, как отдельного предприятия, так и мировой экономики в целом. Под влиянием глобальных изменений преобразование рынка энергоресурсов затрагивает не

только субъектов данного рынка, но и субъектов любых других экономических структур и государств, являющихся их потребителем [1].

Энергетический сектор национальной экономики Республики Таджикистан является основой жизнедеятельности населения и субъектов хозяйствования и консолидации регионов и территории, а также определяет формирование основных макроэкономических показателей её устойчивого социально – экономического развития. В энергетическом секторе формируются ресурсы и используются для удовлетворения потребностей общества [2].

На рынке энергетических ресурсов Согдийской области в последние десятилетия ощущается острая нехватка электроэнергии, особенно в зимний период, что негативно влияет на экономическое, социальное положение данного региона.

Как известно, в данном регионе Кайраккумский ГЭС является единственным производителем электроэнергии (т.е. монополистом данного региона), вырабатываемая электроэнергия, которого недостаточно для удовлетворения потребности населения региона. Кроме Кайраккумского ГЭС имеются малые и средние гидроэлектростанции, мощность выработки электроэнергии, которых очень малые и используются в частные сектора (домохозяйства) расположенные на определенные районы.

Кроме Кайраккумского ГЭС, в баланс электроэнергии названного региона входит и импортируемый ресурс электроэнергии, показатель которого приведен в таблице 1.

Таблица 1

Производство и потребление электроэнергии на электрических сетях Согдийской области за 2019 год

№ п/п	Наименование	Выработка и прием млн. кВт·час	
		I полугодие	II полугодие
1	Выработка ГЭС – 24 «Кайраккум»	368,9	259,3
2	Прием из линии Л – 518 «Согд»	2119,3	2003,8
3	Прием из линии «Северного портала»	-	-
4	Импорт из Региональной электрической сети Киргизстана	46,3	67,4
5	Прием электрических сетей Согда, в том числе:	1009,1	1009,6
	- экспорт в РЭС Киргизстана	29,6	40,7
	- импорт из РЭС Киргизстана	4,7	5,0
6	Прием ЭС Истаравшана, в том числе:	618,3	702,6
	- экспорт в РЭС Киргизстана	35,4	41,8
	- импорт из РЭС Киргизстана	5,9	5,3
7	Прием ЭС Исфары, в том числе:	112,7	112,4
	- экспорт в РЭС Киргизстана	13,9	28,8
	- импорт из РЭС Киргизстана	45,6	59,3



8	Прием ЭС Пенджикента	300,6	279,5
9	Прием ЭС Худжанда	311,8	321,7
10	Прием ЭС Чкалова	78,6	82,4
	Всего прием ЭС Согдийской области	4550,4	4838,7
	Всего экспорт в РЭС Киргизистана	78,9	111,3

Источник: данные получены с ОАХК «Барқи тоҷик» Согдийской области.

В таблице приведены показатели 2019 года по производству электроэнергии внутри Согдийской области и приема электроэнергии из других электрических сетей. В пятой строке даны показатели, которые в нужные моменты времени года импортируются из Региональной электрической сети Киргизстана и обратно же экспортируются им по выше указанным электрическим сетям.

Видно, что на второе полугодие выработка электроэнергии Кайраккумского ГЭС относительно на первое полугодие значительно сокращается и из показателей потребления электроэнергии видно, что мощность вырабатываемой электроэнергии данной ГЭС не обеспечивает потребность населения Согдийской области, особенно в зимний период. В связи с этим, в последние годы с октября до января месяца вводится лимит электроэнергии, что такая критическая ситуация обязательно оставит не хорошие последствия (диаграмма 1). Проблемы прекращения лимита на потребление электроэнергии до сих пор стоит на первом месте.

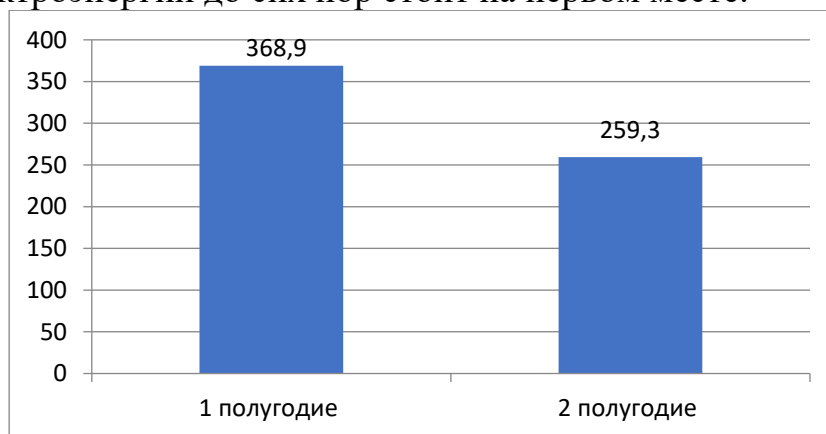


Рис. 1. Отклонение выработки электроэнергии Кайраккумского ГЭС по полугодиям: 1 – первое полугодие, 2 – второе полугодие

Из приведенной диаграммы можно сделать вывод, что в последние годы из-за изменения климата во всем мире, резкие потепления и похолодания, оставляют за собой след и в наших регионах. Год за годом количество осадочных дней уменьшается, что свидетельствует в дальнейшем об уменьшении уровня воды в региональных водохранилищах.

Если из выработанного показателя первого полугодия Кайраккумского ГЭС вычесть показатель второй полугодии, то получим дисбалансированную ( $D_6$ ) разницу показателя выработки второго полугодия:

$$D_6 = B_{\varepsilon_1} - B_{\varepsilon_2},$$
$$D_6 = 368,9 - 259,3 = 109,6 \text{ млн. кВт}\cdot\text{час.}$$

Из полученного расчета видно, что выработка электроэнергии второго полугодия относительно первого, значительно меньше. Это означает, что проблема в накоплении уровня воды водохранилища. В определенные месяцы второго полугодия наблюдается перепад уровня гидроресурсов Кайраккумского водохранилища. Водоохранилище заполняется от потока воды Тактогульского водохранилища Киргизстана. Такая проблема в определенное время года связано с договоренностью между соседними странами, политической ситуацией этих стран.

Если суммировать данные показатели выработки обеих полугодий, то получим:

$$B_{\text{общ}} = B_{\varepsilon_1} + B_{\varepsilon_2},$$

$$B_{\text{общ}} = 368,9 + 259,3 = 628,2 \text{ млн. кВт}\cdot\text{час.}$$

От того, что мощность вырабатываемой электроэнергии Кайраккумского ГЭС не обеспечивает должную потребность региона, холдинговая компания «Барки точик», как лицо уполномоченное регулировать такое положение, в нужный момент импортирует и экспортирует электроэнергию за пределы нашего региона, а также из Киргизстана, чтобы создавать баланс электроэнергии региона. Но однако, эти энергетические ресурсы не могут компенсировать должную потребность, поскольку в нашем регионе в последние годы появились немало малых и средних производственных предприятий, объем выпуска продукции, которых требует значительных мощностей использования электроэнергии. Приостановка деятельности таких предприятий в определенном промежутке времени непременно приносит ущерб, и конечно же отрицательно влияет на развитие промышленности и отражается на благополучное состояние населения, и в конечном итоге обязательно ухудшает социальное, экономическое и культурное положение данного региона. Более того за счет внедрения энергоемких бытовых электрооборудований в жилищных комплексах потребление электроэнергии вырастает день за днем.

Таким образом, для обеспечения баланса электроэнергии Согдийской области внутренними энергетическими ресурсами требуется строительство малой ГЭС на реке Зеравшан, можно по географическому расположению районов размещать солнечные, ветряные электростанции, использовать потенциал биоэнергетики, которые в свою очередь обеспечивают

экологичность выработки электроэнергии. Естественная монополия на энергетическом рынке региона, в том числе страны вынуждает на создание конкурентной сферы в этой отрасли. Для решения такой важной проблемы должны быть внедрены государственные программы и проекты, в том числе по поводу внедрения возобновляемых источников электроэнергии, как в Республике Казахстан и задействованы все уполномоченные организации для его осуществления, поскольку население или бюджетные организации не в силах предпринимать такие решения. Также создание инвестиционного климата в отрасли энергетики, особенно в электроэнергетике и привлечение иностранных инвестиций для создания новых компаний по выработке электроэнергии способствуют дальнейшему созданию конкурентной среды на рынке и право выбора потребителей на пользование их продукцией по предложенным тарифам.

### Источники

1. Механизм ценообразования на рынке энергетических ресурсов [Электронный ресурс] (дата обращения 21.01.2019). <http://bibliofond.ru/view.aspx?id=486603>.

2. Муллобоев И.С. Рыночная трансформация энергетического сектора национальной экономики Республики Таджикистан. Автореферат на соискание ученой степени кандидата экономических наук. Худжанд, 2012 г. с.1.

3. Митрофанов С.В., Светличная А.Е., Арестова А.Ю., Русина А.Г. Разработка программного модуля внутривыпускной оптимизации для целей краткосрочного планирования режима работы ГЭС // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Т. 13. № 3(51). С. 156-167.

4. Лукичева И.А., Куликов А.Л. Использование многомодельной прогнозной оценки состояния систем электроснабжения для обнаружения кибер-атак // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 5. С.13-23. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-5-13-23.

5. Илюшин, П. В. Особенности возникновения и протекания аварийных режимов в распределительных сетях с распределенной генерацией / П.В. Илюшин // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Т. 13. № 3(51). С. 3-14.

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

7. Актуальные подходы к организации образовательного процесса для подготовки специалистов энергетических систем и комплексов / Р.Р. Хуснутдинов, Н. К. Мифтахова, И. В. Ившин, В. В. Максимов // Вестник

Казанского государственного энергетического университета. – 2017. – № 3(35). – С. 153-160.

8. Качанов А.Н., Коренков Д.А., Ревков А.А., Максимов В.В., Воркунов О.В. Моделирование процессов высокочастотной сушки деревянных опор в вакуумной камере // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2020. Т. 22. № 6. 130-142 с.

9. Солуянов Ю. И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Солуянов В.И. Анализ фактических электрических нагрузок помещений общественного назначения, встроенных в жилые здания // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 6. 134-147 с.

10. Абдуллазянов Э.Ю., Грачева Е.И., Горлов А.Н.[и др.] Исследование качества функционирования электрических аппаратов низкого напряжения в составе электротехнических комплексов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 6. 3-15 с.

11. Коршунов, Е. А. Автоматизация процессов обслуживания энергетического оборудования с помощью специализированных программных решений / Е. А. Коршунов, А. А. Капанский, К. Е. Коршунов // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 1(53). С. 65-75. EDN THPONK.

УДК 621.31

## **ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ МНОГОСЛОЙНОГО ПЕРСЕПТРОНА**

Альзаккар Ахмад <sup>1</sup>, Местников Николай Петрович <sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Северо-Восточный федеральный университет, г. Якутск, Россия

<sup>1</sup>Ahmadalzakkar86@gmail.com

Целью исследования является разработка интеллектуального подхода к оценке Индекса Устойчивости Напряжения нагрузки (ИУН) в энергосистеме с использованием методов вычислительного интеллекта (нейронные сети). В ходе проведения данных исследований применен способ оценки ИУН, который применяется для мониторинга устойчивости напряжения в энергосистеме с помощью метода «СмартПарк».

**Ключевые слова:** устойчивость, линия электропередачи, СмартПарк, ИУН

## **INVESTIGATION OF THE STABILITY OF ELECTRIC ENERGY SYSTEMS USING A MULTILAYER PERCEPTRON**

The aim of the study is development of an intelligent approach to assessing the Load Stability Index (VSLI) in the power system using computational intelligence methods (neural networks). In the course of these studies, a method for estimating the VSLI was used, which is used to monitor the stability of voltage in the power system using the "Smart Park" calculation method.

**Key words:** Stability, transmission lines, Smart Park, VSLI

Индекс нагрузки устойчивости напряжения (ИУН), используемый в этой статье, рассчитывается из измерений Единицы Измерения Фазора (ЕИФ) [1] величин и углов напряжения при нагрузочных шинах.

ЕИФ может предоставить измерения в реальном времени фазорам напряжения и фазорам тока инцидента. Данная информация может быть адекватно использована для определения запаса устойчивости напряжения непосредственно из данных проведенных замеров и в режиме реального времени [2]. Минимальное количество ЕИФ, которое делает наблюдаемый системой, помещается на заранее определенные шины, чтобы предпринять прямые измерения, в то время как информация фазора напряжения на оставшихся автобусах рассчитывается из этих измерений и известных импульсов передачи системы [3]. Математическая формулировка методики (ИУН), используемая в данной статье, получена из уравнений напряжения двух шинной сети, как показано на рис.1.

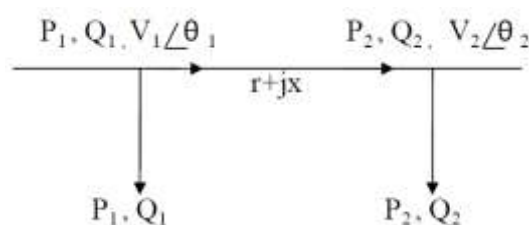


Рис.1. Две шины сети

$$ИУН = \frac{4[V_0 V_L \cos(\theta_0 - \theta_L) - V_L^2 \cos^2(\theta_0 - \theta_L)]}{V_0^2} \quad (1)$$

Где  $V_0$  и  $V_L$  — величины напряжения с и без нагрузки на шине, а  $\theta_0$  и  $\theta_L$  — измерения фазового угла напряжения с и без нагрузки соответственно. Величина индекса нагрузки устойчивости напряжения меняется от нуля на холостом ходу до единицы в точке предела устойчивости напряжения или обрушения. Индекс показывает расстояние шины до предела устойчивости напряжения. Точка предела устойчивости напряжения, соответствующая  $ИУН=1$  является точкой, в которой коэффициент нагрузки максимален [4,10].

Использоваться для оценки ИУН устойчивости напряжения на шине. Выражения (10) и (14) показывают, что индекс ИУН является функцией активной мощности ( $P$ ), реактивной мощности ( $Q$ ), а также величины напряжения ( $V$ ) и фазы ( $\theta$ ) на шине. Величины выбираются в качестве входных переменных при оценке ИУН с использованием нейронной сети МСП, как показано на рис.2. МСП состоит из 4 нейронов входного слоя, 35 нейронов скрытого слоя и 1 нейрона выходного слоя. Входными данными нейронной сети являются измерения активной и реактивной мощности ( $P$ ,  $Q$ ), напряжения и угла ( $V$ ,  $\theta$ ) на соответствующей шине нагрузки. Выходом нейронной сети является расчетный ИУН устойчивости напряжения на шине нагрузки. Функции активации во входном и выходном слоях являются линейными функциями активации, в то время как в скрытом слое используются сигмоидальные функции активации.

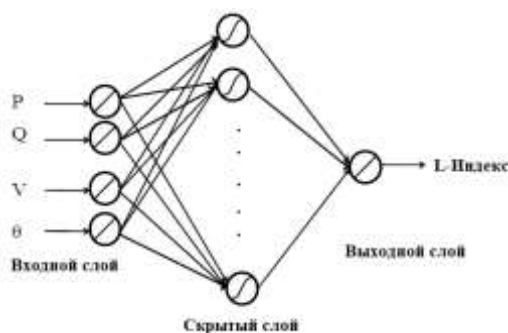


Рис.2. Структура многослойного персептрона для оценки ИУН

Процесс разработки МСП состоял из двух этапов, показанных на блок-схеме на рис.3.



Рис.3. Этапы разработки и эксплуатации ИУН

На рис.4. показана система тестирования устойчивости напряжения на 10 шинах с ПЭМ [5]. Энергосистема состоит из двух генераторов  $G_1$  и  $G_2$ , питающих зону нагрузки по 5 ЛЭП параллельных (200 км) и одного локального генератора  $G_3$ , обеспечивающего поддержку напряжения в зоне нагрузки. Шина 10 — это шина, управляемая напряжением, с использованием регулирования напряжения трансформатора под нагрузкой. Системные параметры и условия загрузки системы, используемые на литературе [6]. Оригинальная система с 10 шинах была изменена путем добавления 2 шины системы «СмартПарк» 11 и 12.

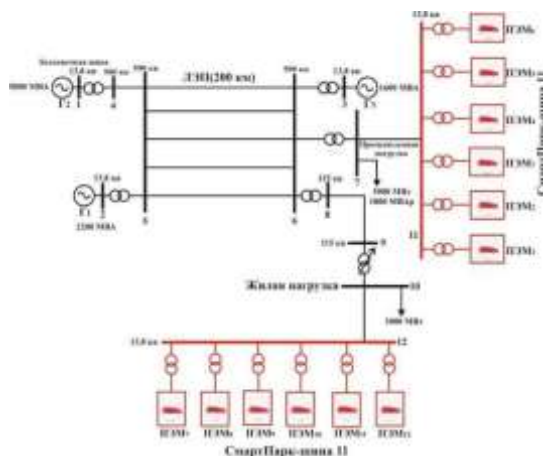


Рис.4. Энергосистема с СмартПарк

На рис.5 показаны напряжения на шине и ИУН от активной мощности и реактивной мощности на шине 7. На рис.5 увеличение спроса нагрузки на шинах нагрузки приводит к увеличению ИУН [7-9].

Напряжение уменьшается с увеличением нагрузки. После 3200 МВт шина 10 является критической шиной. Результаты тестирования подтвердили, что МСП точно оценивает ИУН энергосистемы. Среднеквадратическая Ошибка (СКО), полученная с использованием МСП составила –  $8,75 \times 10^{-5}$  о.е.

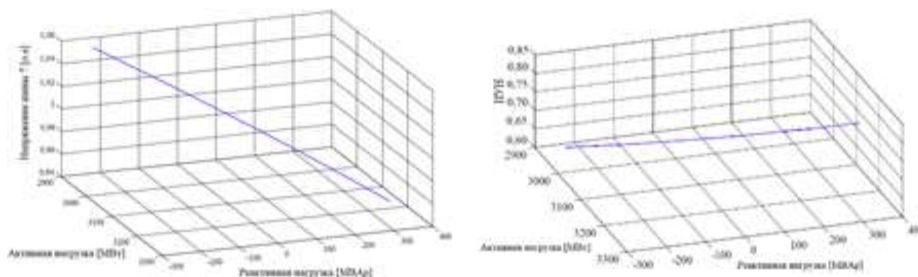


Рис. 5. График напряжения на шине от активной и реактивной нагрузки для шины 7 и 10

Авторами статьи сформулированы следующие выводы:

1. Произведена попытка обоснования возможности проведения оценки индекса Устойчивости напряжения на нагрузки посредством применения подхода, основанный на многослойной персептронной (МСП) нейронной сети с прямой связью, для оценки ИУН в энергосистеме с «СмартПарк».

2. Представлен подход, основанный на многослойной персептронной (МСП) нейронной сети с прямой связью, для оценки ИУН в энергосистеме с «СмартПарк» с приведением необходимых закономерностей расчета и графических интерпретаций в среде Matlab.

3. Представленный подход нейронной сети не зависит от напряжения холостого хода на данной шине нагрузки;

4. Наличие показателей активной и реактивной мощности и напряжения на шине нагрузки достаточно для выполнения оценки ИУН;

5. Подход МСП позволяет точно оценить ИУН даже при изменении топологии и условий эксплуатации.

### **Источники**

1. Рейс А. В., Гуарда Ф. Г., Гастальдини К. К., Моделирование векторной измерительной единицы в реальном времени с использованием Тайфун Виртуальный NIL// Конференция IEEE PES по инновационным технологиям интеллектуальных сетей, 2019.

2. Фишов А.Г., Мурашкина И.С., Марченко А.И., Энхсайхан Э., Ивкин Е.С., Исследование влияния электронной генерации на статическую аperiodическую устойчивость электроэнергетической системы// Проблемы энергетики- КГЭУ. Т. 22. № 2. 2020. С. 5164.

3. Альзаккар А., Местников Н.П. Исследование применения накопителей энергии по обеспечению бесперебойного электроснабжения потребителей //Журнал Грозненский естественнонаучный бюллетень, 2022.

4. Альзаккар А., Местников Н.П. Анализ динамического воздействия электрического соединения на устойчивость угла ротора для синхронных генераторов в электроэнергетической системе Сирии // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. – Т. 23. – №. 4. – С. 120-133.

5. Валеев И. М., Альзаккар А., Гармоники и их Влияние при Определении Метода Компенсации Реактивной Мощности в Электрических Сетях// Вестник Казанского технологического университета. 2020. № 12. С. 2439.

6. Фишов А.Г., Мурашкина И.С., Марченко А.И., Энхсайхан Э., Ивкин Е.С., Исследование влияния электронной генерации на статическую аperiodическую устойчивость электроэнергетической системы// Проблемы энергетики- КГЭУ. Т. 22. № 2. 2020. С. 5164.



7. Тейлор С., Устойчивость напряжения энергосистемы// Серия EPRI Power System Engineering, 1994.

8. Валиуллина Д.М., Ильясова Ю. К., Козлов В.К. Качественные методы спектрального анализа в диагностике трансформаторных масел // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2019. Т. 21. № 1-2. 87-92 с.

9. Дремичева Е.С., Зверева Э.Р., Бурганова Ф.И., Зверев Л.О. Перспективы технологии совместного сжигания биомассы и угля на объектах энергетики // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 1. 119-130 с.

10. Козлов, В.К., Сабитов А. Х. Степень полимеризации бумажной изоляции силовых трансформаторов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2018. Т. 20. № 9-10. 34-38 с.

11. 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 621.3

## **КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ ЭЛЕГАЗА В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕГАЗОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Байгускарова Нурзиля Шафкатовна<sup>1</sup>, Воркунов Олег Владимирович<sup>2</sup>

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

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

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. Данный газ при нормальном атмосферном давлении и температуре 20° в 5 раз тяжелее воздуха. В соответствие с этим элегаз обладает молекулярной массой в пять раз больше чем, у воздуха при указанных условиях. Открытие данного газа было осуществлено в конце XIX века. Использование элегаза в промышленности началось только спустя полстолетия. Именно тогда его первый раз применили в мировой энергетике в качестве уже привычных тогда высоковольтных электротехнических аппаратов. В соответствии с этим воздух, масло и вакуум стали заменяться газовым оборудованием, что повысило эффективность производства. 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 серьёзными преимуществами. 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).

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.

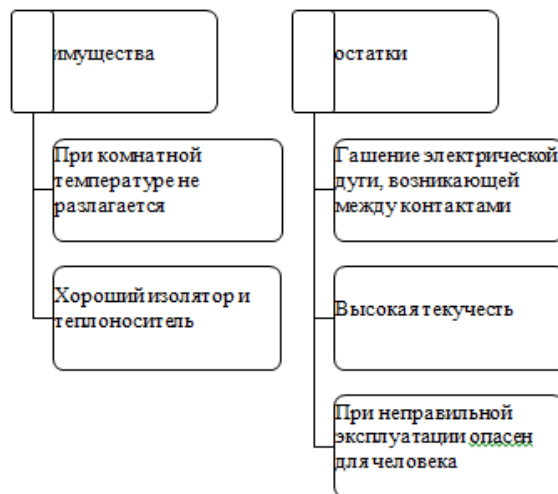


Рис. 1. Преимущества и недостатки использования элегаза в промышленности

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.

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 [4].

Диагностический контроль состояния элегазового оборудования можно проводить несколькими способами (рис. 2).

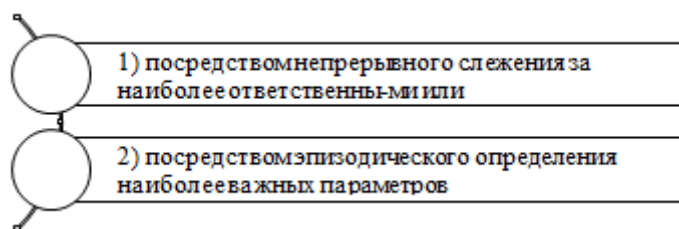


Рис. 2. Способы диагностического контроля

Как видим, можно осуществлять непрерывное слежение за важными показателями или осуществлять эпизодическое определение наиболее важных параметров состояния элегазового оборудования. Следовательно, основными методами контроля состояния элегазового оборудования является диагностика и мониторинг.

Итак, мониторинг можно представить как непрерывное слежение за определенными элементами оборудования. При реализации мониторинга как метода контроля осуществляют слежение за определенными параметрами и в случае приближения его к предельному значению, осуществляют восстановление этого параметра.

При осуществлении диагностики проводится эпизодическое определение ряда параметров. Определение этих параметров не входит в систему мониторинга и необходимо для того, чтобы оценить состояние оборудования и принять последующее решение по восстановлению или исправлению части неработоспособных элементов оборудования. Также при диагностике может быть принято решение о прекращении использования данного оборудования по назначению.

Совершенно очевидно, что мониторинг предполагает использование неразрушающих методов контроля, т. е. методов, не приводящих к расходованию ресурса, и осуществляется одновременно с выполнением электроаппаратом основных своих функций. Методы диагностики могут быть разнообразны в зависимости от целей и функций действующего аппарата. Так при осуществлении диагностики могут быть приостановлены основные функции аппарата, либо же мониторинг будет осуществляться без приостановки функций аппарата. Кроме этого методы диагностики могут осуществляться как с расходованием ресурсов, так и без него. Очевидно, что к оперативным методам диагностики, т. е. выполняемым первоочередно, можно отнести только те, которые позволяют получать диагностические заключения без остановки функционирования аппарата и без расходовании его ресурса [7-11].

Использование для диагностического контроля методов мониторинга и методов оперативной диагностики меняет лишь идеологию подхода к решению задачи определения состояния оборудования. Если нет возможности

реализовать оперативно диагностику, применяют периодическое оперативное диагностическое обследование. Это позволяет обеспечить действенный контроль за состоянием оборудования. При осуществлении диагностического обследования проводится более глубокое изучение проблемы всеми доступными средствами. Следовательно, рассмотренные методы контроля не являются взаимозаменяемыми, они дополняют друг друга в зависимости от имеющихся ресурсов, диагностических целей, имеющегося оборудования или специалистов.

Одной из важных проблем является очистка элегаза. Но 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.

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.

### **Источники**

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.

8. Новиков, С.И., Кузьмин И.Л., Хузяшев Р.Г. Простейшие алгоритмы обнаружения сигналов переходного процесса напряжения в линиях электропередач // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2017. Т. 19. № 7-8. 114-125 с.

9. Гарифуллин М.Ш., Гиниатуллин Р.А., Козлов В.К. [и др.] Определение технологии производства и марки минеральных трансформаторных масел по их оптическим спектрам // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2017. Т. 19. № 9-10. 59-64 с.

10. Петрущенко В.А., Коршакова И.А. Качественный и количественный анализ тепловой энергетики малых мощностей в России. // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2020. Т. 22. № 5. 52-70 с.

11. Афанасьева О.В., Галькеева А.А., Вафин А.Р., Мингалеева Г.Р. Региональные аспекты использования угля на объектах малой распределенной энергетики // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2017. Т. 19. № 9-10. 85-93 с.

12. Федюхин, А. В. Перспективные направления использования теплоты низкопотенциальных источников химических производств / А. В. Федюхин, А. Г. Звончевский // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 3. С. 15-27. DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-3-15-27. EDN YEC5YV.

13. Использование ферритовых магнитов в синхронных двигателях с постоянными магнитами / А. Р. Сафин, Е. И. Грачева, К. В. Ranjan, Т. И. Петров // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 1(53). С. 47-55. EDN FBPZWP.

## МОДЕЛЬ АСИНХРОННОЙ МАШИНЫ ДЛЯ ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА

Вагапов Георгий Валериянович<sup>1</sup>, Шаряпов Ахмет Маратович<sup>2</sup>,  
Мингазова Регина Альбертовна<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>ФГБОУ ВО «КНИТУ», г.Казань, Россия

<sup>1</sup>vagapov@list.ru, <sup>2</sup>ahmet61@list.ru, <sup>3</sup>fluuuuger@mail.ru

Предлагается метод диагностики асинхронного трехфазного двигателя с использованием уравнений состояния в осях d-q и компьютерном моделировании в пакете программ MatLab/Simulink.

**Ключевые слова:** асинхронный двигатель, преобразование d-q, моделирование, сопротивление, ток утечки

## MODEL OF ASYNCHRONOUS MACHINE FOR DIGITAL MONITORING SYSTEM

Vagapov Georgy Valerianovich<sup>1</sup>, Sharyapov Akhmet Maratovich<sup>2</sup>,  
Mingazova Regina Albertovna<sup>3</sup>

A proposes a method for diagnosing an asynchronous three-phase motor using the equations of state in the d-q axes and computer simulation in the MatLab/Simulink software package.

**Keywords:** Induction motor, d-q conversion, modeling, resistance, leakage current

Одним из важнейших технико-экономических показателей качества электрических машин является надежность. Данный показатель определяет способность электрической машины безотказно работать в определенных условиях эксплуатации, а именно, работа в течение заданного времени при неизменных технических характеристиках. Изучение статистических данных об отказах является традиционным путем исследования надежности электрических машин. Причиной отказов, а так же «слабым» узлам при первоначальном изучении статистики отказов различных типов машин уделяется наибольшее внимание. Отказы электрических машин принято разделять на: конструкционные (которые возникают из-за нарушения правил конструирования и проектирования электрических машин), технологические (возникающие из-за нарушений в процессе ремонта машины или ее производства) и эксплуатационные (причинами возникновения которых является нарушения условий эксплуатации и отсутствия защиты). В

процентном соотношении причины отказов выглядят следующим образом: конструкционные - 15%, технологические - 35%, эксплуатационные - 50% (главным образом из-за неудовлетворительной защиты электродвигателя). Так же отказы электрических машин могут быть вызваны случайной концентрацией нагрузки, которую в большинстве случаев невозможно предвидеть, износом узлов и старением материалов.

В 85-95% случаев в асинхронных двигателях (АД), мощность которых превышает 5 кВт, отказы происходят в результате повреждений обмоток: межвитковые замыкания - 93%, пробой межфазной изоляции - 5%, пробой пазовой изоляции – 2%. На подшипниковый узел приходится 5-8% отказов, и небольшой процент связан с такими причинами как скручивание валов, разрыв стержней ротора, распайка выводных концов и др. Выявление замыканий на ранних стадиях позволит существенно улучшить показатель потока отказов, что повысит надежность электрических машин и обеспечит решение актуальной научно-технической задачи [4].

Один из возможных диагностических подходов основан на постоянном анализе электрических параметров асинхронной машины. Однако, требуется определение первичных расчетных параметров машины. Оно может быть реализовано посредством моделирования асинхронных машин. В качестве преимущества выступает возможность исследования как в стационарном, так и в динамическом режимах работы [3]. Динамическое моделирование устанавливает все механические уравнения для инерции, крутящего момента и скорости в зависимости от времени. Также есть возможность моделирования всех дифференциальных напряжений, токов и потокосцепления между неподвижным статором и движущимся ротором. Динамическая модель в форме пространства состояний важна для анализа переходных процессов АД. В данной работе для динамического моделирования асинхронного двигателя используется программное обеспечение MatLab. Двигатель может быть смоделирован как во вращающейся, так и в неподвижной системе отсчета [2]. Электрические переменные в модели могут быть выбраны как потоки, токи или смесь того и другого. В данной работе рассматриваются уравнения пространства состояний машины во вращающейся системе координат. Поскольку MatLab является программатором операций модели, имитационная модель может быть легко разработана путем добавления новых подмоделей для удовлетворения различных функций управления. В качестве подмодели АД может быть включен в полную систему привода электродвигателя [5].

Векторное управление приводом основано на динамической модели в осях d-q асинхронного двигателя [7,9]. Преобразование (d-q) - это математическое преобразование, используемое для упрощения анализа трехфазной цепи. В случае сбалансированных трехфазных цепей применение



преобразования d-q уменьшает три величины переменного тока до 2 величин [8,10-12]. Затем можно выполнить упрощенные вычисления для этих мнимых величин перед выполнением обратного преобразования для восстановления фактических результатов трехфазного переменного тока. Преобразования d-q, применяемые к трехфазным напряжениям, показаны ниже [1].

Трехфазные напряжения, подаваемые на двигатель:

$$\begin{aligned} u_{as} &= U_m \sin \omega t \\ u_{bs} &= U_m \sin \left( \omega t - \frac{2\pi}{3} \right) \\ u_{cs} &= U_m \sin \left( \omega t + \frac{2\pi}{3} \right) \end{aligned}$$

где:

$U_m$  – амплитуда напряжения;

$\omega$  – частота питания

При математическом моделировании динамических процессов в трехфазных АД как правило используют преобразование из осей  $a, b, c$  к осям  $d, q$ . Для этого переменные трехфазной неподвижной системы координат  $(u_{as}, u_{bs}, u_{cs})$  преобразуются в переменные двухфазной системы отсчета  $(u_{ds}^s, u_{qs}^s)$ . Это делается с помощью следующих уравнений:

$$\begin{aligned} u_{as} &= u_{qs}^s \\ u_{bs} &= \frac{-1}{2} u_{qs}^s - \frac{\sqrt{3}}{2} u_{ds}^s \\ u_{cs} &= \frac{-1}{2} u_{qs}^s + \frac{\sqrt{3}}{2} u_{ds}^s \\ u_{ds}^s &= -\frac{1}{\sqrt{3}} u_{bs} + \frac{1}{\sqrt{3}} u_{cs} \\ u_{qs}^s &= \frac{2}{3} u_{as} - \frac{1}{3} u_{bs} - \frac{1}{3} u_{cs} = u_{as} \\ u_{ds} &= u_{qs}^s \sin \theta + u_{ds}^s \cos \theta \\ u_{qs} &= u_{qs}^s \cos \theta - u_{ds}^s \sin \theta \\ u_{ds}^s &= -u_{qs}^s \sin \theta + u_{ds}^s \cos \theta \\ u_{qs}^s &= u_{qs}^s \cos \theta + u_{ds}^s \sin \theta \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
u_{as} &= U_m \cos(\omega t + \phi) \\
u_{bs} &= U_m \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{3} + \phi\right) \\
u_{cs} &= U_m \cos\left(\omega t + \frac{2\pi}{3} + \phi\right) \\
u_{ds}^s &= -U_m \sin(\omega t + \phi) \\
u_{qs}^s &= U_m \cos(\omega t + \phi) \\
u_{ds} &= -U_m \cos \phi \\
u_{qs} &= U_m \cos \phi
\end{aligned}$$

Входящие в данные выражения переменные статора могут быть любыми произвольными функциями времени. Переменные функции в системе отсчета могут быть объединены и представлены комплексным пространственным вектором.

$$\bar{u} = u_{qs}^s = u_{qs}^s - ju_{ds}^s = U_m [\cos(\omega t + \phi) + j \sin(\omega t + \phi)] = U_m e^{j\phi} e^{j\omega t}$$

Это указывает на то, что вектор вращается против часовой стрелки со скоростью  $\omega$  от начального ( $t=0$ ) угла  $\phi$  к оси  $q$ . Компоненты  $q-d$  также могут быть объединены в векторную форму:

$$\begin{aligned}
u_{qds} &= u_{qs} - ju_{ds} = (u_{qs}^s \cos \theta - u_{ds}^s \sin \theta) - j(u_{qs}^s \sin \theta + u_{ds}^s \cos \theta) = (u_{qs}^s - ju_{ds}^s) e^{-j\theta} = \bar{u} e^{-j\theta} \\
\bar{u} &= u_{qs}^s - ju_{ds}^s = (u_{qs} - ju_{ds}) e^{+j\theta}
\end{aligned}$$

Векторные величины в неподвижной и вращающейся системах отсчета равны, то есть:

$$\begin{aligned}
|\bar{u}| &= U_m = \sqrt{(u_{qs}^s)^2 + (u_{ds}^s)^2} = \sqrt{u_{qs}^2 + u_{ds}^2} \\
\bar{u} &= u_{qs}^s - ju_{ds}^s = \left(\frac{2}{3}u_{as} - \frac{1}{3}u_{bs} - \frac{1}{3}u_{cs}\right) - j\left(-\frac{1}{\sqrt{3}}u_{bs} + \frac{1}{\sqrt{3}}u_{cs}\right) \\
&= \frac{2}{3} \left[ u_{as} + \left(\frac{-1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right)u_{bs} + \left(\frac{-1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right)u_{cs} \right] = \frac{2}{3} [u_{as} + au_{bs} + a^2u_{cs}]
\end{aligned}$$

Уравнения связи потоков [6]:

Статор:

$$\psi_{ds} = i_{ds}L_s + i_{dr}L_m$$

$$\psi_{qs} = i_{qs}L_s + i_{qr}L_m$$

Ротор:

$$\psi_{dr} = i_{dr} L_r + i_{ds} L_m$$

$$\psi_{qr} = i_{qr} L_r + i_{qs} L_m$$

Текущие уравнения:

Статор:

$$i_{ds} = \frac{1}{XL_s} (\psi_{ds} - \psi_{md})$$

$$i_{qs} = \frac{1}{XL_s} (\psi_{qs} - \psi_{mq})$$

Ротор:

$$i_{dr} = \frac{1}{XL_r} (\psi_{dr} - \psi_{md})$$

$$i_{qr} = \frac{1}{XL_r} (\psi_{qr} - \psi_{mq})$$

Уравнения напряжения:

Статор:

$$u_{ds} = i_{ds} r_s + \frac{d\psi_{ds}}{dt} - \omega \psi_{qs}$$

$$u_{qs} = i_{qs} r_s + \frac{d\psi_{qs}}{dt} - \omega \psi_{ds}$$

Ротор:

$$u_{dr} = i_{dr} r_r + \frac{d\psi_{dr}}{dt} - \omega \psi_{qr}$$

$$u_{qr} = i_{qr} r_r + \frac{d\psi_{qr}}{dt} - \omega \psi_{dr}$$

Электромагнитный крутящий момент:

$$T_{em} = \frac{p}{2} L_m (i_{qs} i_{dr} - i_{ds} i_{qr})$$

где:

$d$  – продольная ось;  
 $q$  – поперечная ось;  
 $s$  – переменная статора;  
 $r$  – переменная ротора;  
 $\psi$  – потокосцепление;  
 $u_{ds}, u_{qs}$  – напряжения статора по оси  $q$  и  $d$ ;  
 $u_{dr}, u_{qr}$  – напряжения ротора по оси  $q$  и  $d$ ;  
 $r_s, r_r$  – сопротивление статора и ротора;  
 $XL_s, XL_r$  – индуктивное сопротивление, характеризующее ток утечки статора и ротора;  
 $L_m$  – индуктивность намагничивания;  
 $p$  – количество полюсов;  
 $i_{ds}, i_{qs}, i_{dr}, i_{qr}$  – мгновенные значения токов статора и ротора по осям  $q$  и  $d$ ;  
 $T_{em}$  – электромагнитный момент

Полученные значения сопротивлений статора и ротора, а также значения токов утечки статора и ротора позволяют произвести оценку данных значений в номинальных режимах. И, соответственно, появляется возможность оценки текущих значений относительно расчетных, что в свою очередь позволяет выявлять аварийные режимы на ранних стадиях.

### Источники

1. Беллюр А. Динамическая d-q модель асинхронного двигателя с использованием Simulink: Международный журнал инженерных тенденций и технологий (IJETT). Т. .24, № 5 , 2015. 252с.
2. Герман-Галкин, С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0: учебное пособие / С.Г. Герман-Галкин. СПб.: КОРОНА ПРИНТ, 2001. 241с.
3. Ключев, В.И. Теория электропривода: учебник для вузов / В.И. Ключев. М.: Энергоатомиздат, 1985. 205с.
4. Котеленец, Н.Ф., Испытания и надежность электрических машин / Н.Ф. Котеленец, Н.Л. Кузнецов. М.: Высшая школа, 1988. –232 с.
5. Мигдаленок А.А. Моделирование электропривода на ЭВМ: учебно-методическое пособие /А.А. Мигдаленок. – Минск: БНТУ, 2010. Ч.2. 66с.
6. Сифат Ш. Прямое квадратичное (D-Q) моделирование трехфазного асинхронного двигателя с использованием: Канадский журнал по электротехнике и электронике / Ш. Сифат, А. Рашид, М.К.Л. Бхатти.Т.3, №5, 2012. – 237с.
7. Уайт Д. Электромеханическое преобразование энергии/ Д. Уайт, Г. Вудсон М.Л.: Энергия, 1964. – 365с.

8. Фираго, Б.И. Теория электропривода: учебное пособие / Б.И. Фираго, Л.Б. Павлячик. - Минск: Техноперспектива, 2004. – 154с.

9. Качанов А.Н., Коренков Д.А., Ревков А.А., Максимов В.В., Воркунов О.В. Моделирование процессов высокочастотной сушки деревянных опор в вакуумной камере // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2020. Т. 22. № 6. 130-142 с.

10. Солуянов Ю. И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Солуянов В.И. Анализ фактических электрических нагрузок помещений общественного назначения, встроенных в жилые здания // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 6.134-147 с.

11. Синюков А.В., Синюкова Т.В., Грачева Е. И. [и др.] Оптимизированные бездатчиковые системы управления механизмами перемещения грузов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 6. 87-98 с.

12. Абдуллазянов Э.Ю., Грачева Е.И., Горлов А.Н.[и др.] Исследование качества функционирования электрических аппаратов низкого напряжения в составе электротехнических комплексов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 6. 3-15 с.

13. 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. EDN XYITGG.

УДК 681.51

## **СИСТЕМА НА БАЗЕ ПО «ПСИЭНЕРГОКОНТРОЛ», ЭМИЛИРУЮЩЕЙ РАБОТУ АСДУ НА УЧАСТКЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ**

Ветчинкина Альбина Вячеславовна  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия  
vetalbina@gmail.com

В данном тезисе исследуется эффективность автоматизированной системы диспетчерского контроля ПСИэнергоКонтроль. Рассматриваются ее преимущества и недостатки.

**Ключевые слова:** АСДУ, программное обеспечение, ПСИэнергоКонтроль

# THE SYSTEM IS BASED ON THE SOFTWARE "PSYENERGOKONTROL", EMULATING THE WORK OF THE ASSC ON THE SITE OF THE DISTRIBUTION NETWORK

Vetchinkina Albina Vyacheslavovna

In this thesis, the effectiveness of the automated dispatch control system PSYenergoKontrol is investigated. Its advantages and disadvantages are considered.

**Keywords:** ASSC, software, PSYenergoKontrol

Автоматизированная система диспетчерского управления (АСДУ) предназначена для организации контроля режимов работы инженерных систем и оборудования, своевременного предупреждения о возникновении аварийных ситуаций или нештатных режимов работы инженерного оборудования, предотвращения и минимизации ущерба в случае подобных ситуаций. АСДУ необходима для решения многих диспетчерских задач.

На сегодняшний день существует множество автоматизированных систем: ОИК СК-2007, ПАК Энергия, АИД диспетчер, PSIControl и многие другие.

Одной из удачных АСДУ, которые применяются на практике является система ПСИЭнергоКонтрол.

Она выгодно отличается от других программно-технических комплексов так как стала более удобной в использовании [2]. Мнемокадры объектов электрической сети системы ПСИЭнергоКонтрол представлены с выводом максимального объема технической и телеметрической информации. На рисунке 1 показан фрагмент схемы подстанции, который отрисован с использованием стандартного функционала ПО в технологии сетей среднего напряжения.



Рис.1. Фрагмент схемы ПС [8]

Принцип отображения обозначения на мнемосхеме особо важных потребителей и информации по телемеханизации объекта в системе PSIControl и ПСИЭнергоКонтрол одинаков (информация появляется при включении слоя и определённом масштабировании), но в последней предлагается отображение для конкретного объекта во всплывающем окошке.

При увеличении/уменьшении масштаба схемы (функция zoom) поэтапно отображаются/скрываются определённые графические элементы:

- системы шин и ячейки;
- системы шин, ячейки и наименования объектов;
- системы шин, ячейки, наименования объектов, коммутационные аппараты;
- системы шин, ячейки, наименования объектов, коммутационные аппараты, подписи к системам шин [3].

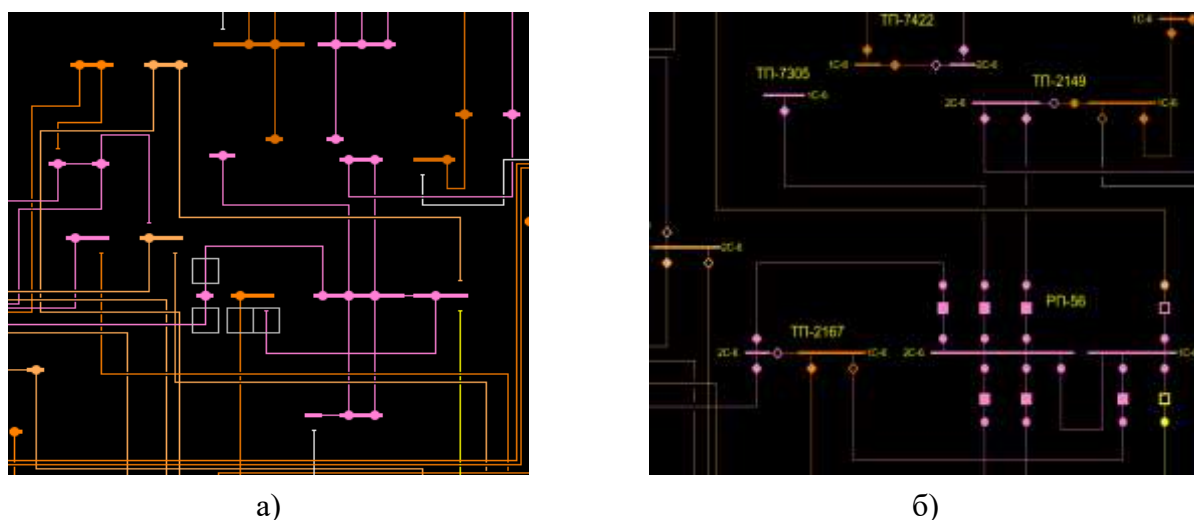


Рис. 2. Масштабы участка сети: а) минимальный; б) максимальный [8]

Для более легкого восприятия схемы сети используется разные цвета. Примером является различное окрашивание линий по состоянию сети: под напряжением, обесточено, заземлено, допущена бригада.

При возникновении отключения коммутационных аппаратов автоматически создается отчет о повреждениях. В нем собирается информация об оборудовании, вызвавшем повреждение, обесточенных потребителях и сообщения релейной защиты. На видеостену высвечивается схема, на которой изображаются неисправности [4].

Помимо сбора сигналов, система обладает функциями телеуправления. Сброс нагрузки позволяет отключить predetermined перечень коммутационных аппаратов одной сборной командой: формируется

определенная очередь отключения оборудования. Также есть возможность контролировать напряжение на шинах в реальном времени.

ПТК ПСИЭнергоКонтрол обеспечивает выполнение функции «Тренажер диспетчера». Функция позволяет проводить обучение персонала как на учебных схемах, так и на реальных моделях сети.

Предназначен для использования в учебных целях [3]. В данном режиме производится полное моделирование работы системы с управлением переключениями, заданием внешних воздействий, расчетом режима работы системы [7].

Система ПСИЭнергоКонтрол имеет ряд преимуществ, но также диспетчеры отмечают и некоторые ее недостатки. Одной из них является проблема вывода абсолютно всех сигналов на видеоэкран, что делает ее неудобной, так как повышается вероятность того, что диспетчер за чередой сигналов может пропустить нужный. В системе АИД для этого предусмотрена фильтрация, в которой можно задать определенный список сигналов, которые нужны для вывода на экран [5].

Также ПТК ПСИЭнергоКонтрол является дорогой в ежегодном обслуживании. Для того, чтобы внести в нее какие-либо изменения или дополнения, нужно писать ТЗ для разработчиков.

АСДУ ПСИЭнергоКонтрол показала себя как эффективная система-помощник диспетчера. Она имеет возможность плавного масштабирования обзорных схем со скрытием или показом оборудования присоединений, выполнения расчетно-аналитических задач сети [6,9,10].

### **Источники**

1. Григорьев Л.И., Костогрызов А.И. Актуальность и основы инновационного пути развития АСДУ // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. - 2016

2. Шакиров А.А., Зарипова Р.С. Проблемы и перспективы внедрения информационных и управляющих систем для энергетических объектов // XX ВСЕРОССИЙСКАЯ СТУДЕНЧЕСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ НИЖНЕВАРТОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА. Нижневартковск: Нижневартковский государственный университет, 2018.

3. Турицын Ю.А., Баранникова И.В., Пасечник И.А. Обзор современных АСУТП и АСДУ на промышленных предприятиях // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)

4. Луков Д.К. Автоматизированные системы управления технологическим процессом (АСУ ТП) // European science. 2019.



5. Митрофанов С.В., Светличная А.Е., Арестова А.Ю., Русина А.Г. Разработка программного модуля внутривычислительной оптимизации для целей краткосрочного планирования режима работы ГЭС // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Т. 13. № 3(51). С. 156-167.

6. Лукичева И.А., Куликов А.Л. Использование многомодельной прогнозной оценки состояния систем электроснабжения для обнаружения кибер-атак // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 5. С.13-23. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-5-13-23.

7. Илюшин, П. В. Особенности возникновения и протекания аварийных режимов в распределительных сетях с распределенной генерацией / П. В. Илюшин // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Т. 13. № 3(51). С. 3-14.

8. Программный комплекс ПСИЭнергоКонтроль // ОрехСофт URL: [http://орехсофт.рф/rene\\_descr.php](http://орехсофт.рф/rene_descr.php) (дата обращения: 25.03.2022).

9. Козлов В.К., Гарифуллин М.Ш., Сабитов А.Х., Гиниатуллин Р.А. Люминесцентные свойства бумажной изоляции маслонаполненных трансформаторов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2018. Т. 20. № 11-12. 144-151 с.

10. Анализ доли потребителей разной мощности в структуре технологических присоединений в электросетевых компаниях / А. В. Виноградов, М. В. Бородин, А. А. Лансберг, Н. В. Махиянова // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 1(53). С. 86-95. EDN RUQJDS.

УДК 621.314.212

## **АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИОННЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТИПА ДЦ**

Воронцов Георгий Николаевич<sup>1</sup>, Мухаметжанов Рустем Наимович<sup>2</sup>

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

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

В данной работе проанализированы конструкционные особенности трансформаторов типа ДЦ. Продемонстрировано внедрение новой системы мониторинга на энергообъекты партнёра – ПАО «Татнефть», разработанной в Казанском государственном энергетическом университете.

**Ключевые слова:** циркуляция воздуха и масла, силовой трансформатор, системы охлаждения масла, система мониторинга

# ANALYSIS OF STRUCTURAL FEATURES OF DC TYPE TRANSFORMERS

Vorontsov Georgy Nikolaevich<sup>1</sup>, Mukhametzhanov Rustem Naimovich<sup>2</sup>

In this paper, the structural features of DC type transformers are analyzed. The introduction of a new monitoring system for the energy facilities of the partner – PJSC Tatneft, developed at the Kazan State Energy University, was demonstrated.

**Keywords:** air and oil circulation, power transformer, oil cooling systems, monitoring system

Современные темпы развития электрификации диктуют условия бесперебойной передачи электроэнергии на большие расстояния от источника генерации до потребителя первой, второй и третьей категории электроприёмников. Именно поэтому для передачи и распределения электроэнергии по электроэнергетическим сетям используют силовые трансформаторы. Они могут работать практически в любом климате, на открытом воздухе или в помещении с допустимой влажностью [1-3].

Существует три основных типа охлаждения силовых трансформаторов: сухие; с масляным охлаждением; жидкостные. Эти типы трансформаторов содержат в себе множество вариаций исполнения охлаждения, приведённые в Таблице 1.

Таблица 1

Таблица условных обозначений видов охлаждения

Тип трансформаторов	Вид охлаждения	Обозначение
Сухие	Естественное воздушное при открытом исполнении	С
	Естественное воздушное при защищённом исполнении	СЗ
	Естественное воздушное при герметичном исполнении	СГ
	Воздушное с дутьем	СД
Масляные	Естественная циркуляция воздуха и масла	М
	Принудительная циркуляция воздуха и естественная циркуляция масла	Д
	Естественная циркуляция воздуха и принудительная циркуляция масла	МЦ
	Принудительная циркуляция воздуха и масла	ДЦ
	Принудительная циркуляция воды и естественная циркуляция масла	МВ
С негорючим жидким диэлектриком	Принудительная циркуляция воды и масла	Ц
	Естественное охлаждение негорючим жидким диэлектриком	Н
	Охлаждение негорючим жидким диэлектриком с дутьем	НД

В рамках данной работы предложено рассмотреть конструктивные особенности трансформаторы типа ДЦ – с принудительной циркуляцией воздуха и масла. Системы, выполненные с принудительной циркуляцией масла и обдувом воздуха, именуется ДЦ и применяются для охлаждения

трансформаторов мощностью до 160 МВА. Данные устройства дополняются электромаслонасосами, установленными в систему охлаждения и обеспечивающими непрерывную циркуляцию масла через трубы радиатора-охладителя. Они обдуваются воздухом от внешних вентиляторов (Рис.1.)

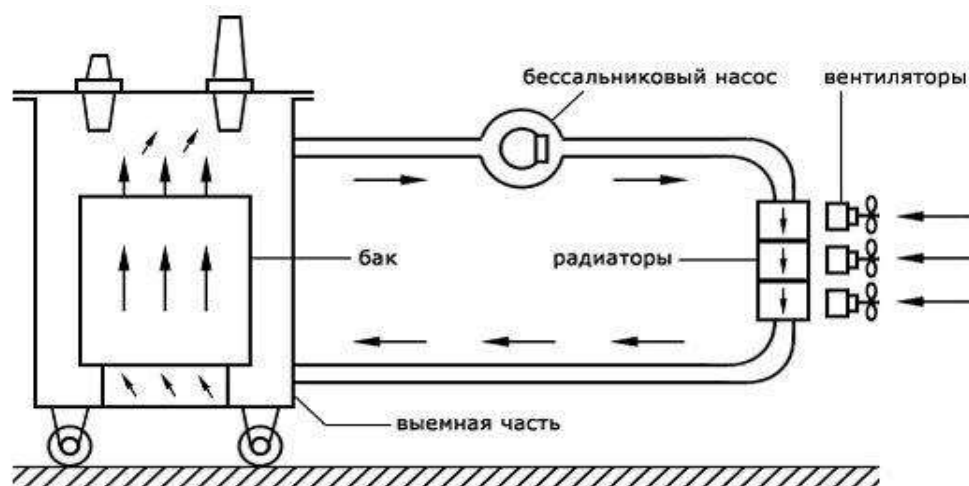


Рис.1. Схема циркуляции масла в контуре трансформатора

Благодаря высокой скорости циркуляции масла, большой площади охлаждения и принудительному дутью на охладители (трубки) обеспечивается высокая теплоотдача и компактность всей установки. Важно заметить, что охладители можно установить на одном фундаменте с трансформатором.

Управлять охлаждением можно как в ручном, так и в автоматическом режиме. Последний вид управления позволяет автоматически осуществлять скорость вращения вентиляторов и циркуляции маслонасоса. Система управления находится в отдельном шкафу, который оснащён дистанционной сигнализацией о прекращении циркуляции масла, остановке вентиляторов дутья и других опасных неисправностей или нежелательных режимов работы [4-5].

Самая важная конструкционная особенность данного типа трансформатора заключается в наличии автоматики, которая может полностью управлять трансформатором и его охлаждением. Для наиболее быстрого реагирования и устранения необходимо разработать программное обеспечение и подобрать подходящее оборудование, позволяющее отслеживать состояние режимов работы и других показателей как подстанции, так и трансформаторов [6-10].

Команда энергетиков из Казанского государственного энергетического университета в рамках Программы Академического Стратегического Лидерства внедрила на трансформаторы ПАО «Татнефть» в Альметьевском районе Республики Татарстан свою новую разработку – система дистанционного мониторинга состояния подстанции, в том числе трансформатора. Данная

разработка позволяет отслеживать не только основные параметры трансформатора, но и температуру каждой выходящей фазы, вибрационные изменения, снять полный отчёт работы и многое другое. На фотографии ниже представлен один из датчиков трансформатора №2, показывающий температуру каждой фазы (Рис.2).



Рис.2. Показания датчика температуры фаз трансформатора ПАО «Татнефть»

Скоро данная система мониторинга будет внедрена во всей Республике Татарстан. Такая интеграция позволит повысить оперативность обслуживающего персонала и облегчит выполнять отчётные документы.

### Источники

1. Бесконтактный лазерный контрольно-измерительный комплекс для определения уровня прессовки обмоток и магнитопровода силового трансформатора / В.Р. Басенко, О.В. Владимиров, И. В. Ившин, М. Ф. Низамиев // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 3. С. 140-153. DOI 10.30724/1998-9903-2021-23-3-140-153. EDN TJHKLP.

2. ПУЭ, с изм. и доп., 2021 г.

3. 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.

4. Оськин, С. В. Основы расчета вероятности безотказной работы силового трансформатора / С. В. Оськин, А. С. Макаренко // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2014. № 47. С. 171-173. EDN TGTVOP.

5. Шпенст В.А., Орел Е.А. Способы обеспечения устойчивости работы электротехнических комплексов постоянного тока в условиях Арктики // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 4. С. 166-179. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-4-166-179.

6. Валиуллина Д.М., Ильясова Ю. К., Козлов В.К. Качественные методы спектрального анализа в диагностике трансформаторных масел // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2019. Т. 21. № 1-2. 87-92 с.

7. Дремичева Е.С., Зверева Э.Р., Бурганова Ф.И., Зверев Л.О. Перспективы технологии совместного сжигания биомассы и угля на объектах энергетики // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 1. 119-130 с.

8. Козлов, В.К., Сабитов А. Х. Степень полимеризации бумажной изоляции силовых трансформаторов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2018. Т. 20. № 9-10. 34-38 с.

9. IEC 61850 Communication networks and systems in substations.

10. ABB IED 670 Selection Guide, 1MRK 500 078-SEN.

11. 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 621.311

## **АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ SMART GRID КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЙ СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В БЫТОВОМ СЕКТОРЕ**

Воронцов Георгий Николаевич<sup>1</sup>, Мухаметжанов Рустем Наимович<sup>2</sup>

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

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

В данной работе анализируется интегрирование технологий Smart grid в единую энергетическую систему нашей страны. Рассматриваются положительные и отрицательные стороны цифровизации энергетики. Рассматривается возможность интегрирования интеллектуальных технологий в жилищно-бытовой сектор.

**Ключевые слова:** энергосбережение, энергоэффективность, интеллектуальные технологии, цифровизация, возобновляемые источники энергии, системы контроля и учета электроэнергии

# ANALYSIS OF SMART GRID TECHNOLOGIES AS A PROMISING WAY TO INCREASE ENERGY SAVING IN THE HOUSEHOLD SECTOR

Vorontsov Georgy Nikolaevich<sup>1</sup>, Mukhametzhano Rustem Naimovich<sup>2</sup>

This paper analyzes the integration of Smart grid technologies into the unified energy system of our country. The positive and negative aspects of energy digitalization are considered. The possibility of integrating intellectual technologies into the housing sector is being considered.

**Key words:** energy saving, energy efficiency, smart technologies, digitalization, renewable energy sources, electricity control and metering systems

В современном мире человечество сталкивается с проблемой увеличения энергопотребления, что в свою очередь делает актуальными проблемы энергосбережения и энергоэффективности. Данные понятия тесно связаны, так как рациональное потребление энергии подразумевает под собой минимизацию потерь и полный контроль над перетоками электроэнергии, что является непростой задачей в единой энергетической системе. Очень важно осуществлять контроль на всех уровнях потребления и генерации энергии. Однако развитие интеллектуальных сетей, активно осуществляющееся в последние десятилетия, делает упор на высоких уровнях потребления и распределения электроэнергии (станции, подстанции, производственные мощности), отдавая меньший приоритет жилищно-бытовому сектору [1,2].

Интеллектуальные сети - Smart grid - подразумевают под собой современное развитие энергетической отрасли, опирающееся на цифровизацию процессов и оборудования, которая должно улучшить качество работы последнего, а также предоставить удаленный доступ к его управлению. В нашей стране данная концепция ассоциируется, прежде всего, с активно-адаптивной сетью. Данная сеть включает в себя множество элементов, способных регулировать топологические параметры сети, информационные, технические системы и системы управления, доступ к которым может быть осуществлен в любое время. Также примерами устройств интеллектуальной сети могут послужить: электромагнитные преобразователи энергии, изменяющие напряжения по модулю и фазе, устройства аккумулирования энергии, устройства автоматического секционирования пунктов. Использование данных технологий позволяет оптимизировать весь жизненный цикл электроэнергии. На сегодняшний день интеллектуальные системы активно внедряются в энергетику страны, однако процесс затрудняет ряд обстоятельств, связанных с износом эксплуатируемого оборудования и высокой стоимостью элементов интеллектуальной сети. Однако политика нашего государства поддерживает развитие данных технологий на самых высоких уровнях.

Развитие технологий Smart Grid отмечается как приоритетное в Энергетической стратегии России на период до 2030 года. Это позволяет рассматривать данные технологии как перспективные для повышения энергоэффективности и энергосбережения [2-4].

Для повышения энергосбережения в жилищно-бытовом секторе в рамках концепции интеллектуальных сетей используют современные системы контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ). Данные системы позволяют точно и оперативно вести учет потребляемой электроэнергии, что в свою очередь ведет к снижению издержек и цен на энергию, помимо этого повышается энергоэффективность использования ресурсов, а процессы сбора, обработки и хранения данных полностью автоматизированы. Дальнейшее развитие данных технологий в бытовом секторе позволило бы существенно уменьшить энергопотребления, за счет эффективного распределения энергии, а также введения новых технологий. Например, внедрение в бытовой сектор микросетей, которые подразумевают под собой использование распределенной генерации в сетях низкого напряжения, это помогло бы снять часть нагрузки с центральной энергосистемы и способствовало бы более активному развитию возобновляемых источников энергии, что также является перспективным направлением развития энергетики нашей страны. При этом стоит понимать, что использование распределенной генерации никак не должно повлиять на качество электроэнергии в сети [5-11].

Интеллектуальные сети являются перспективным направлением развития и модернизации энергосистемы, данные технологии позволяют снизить утечки мощности за счет ее более эффективного распределения и точного контроля над перетоками.

### **Источники**

1. Зиннатуллина Д.Р., Миннигареев В.И. Положение России и республики Татарстан в развитии системы Smart grid // В сборнике: Актуальные вопросы в науке и практике. Сборник статей по материалам XI международной научно-практической конференции. В 2 частях. 2018. С. 37-43.

2. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.infobio.ru/sites/default/files/Energostrategiya-2030.pdf> (дата обращения: 8.04.22)

3. Коновалов Ю.В., Вайгачёв А.Е., Уваров А.А. Автоматизация и цифровизация объектов электроэнергетики. // Вестник Ангарского государственного технического университета. 2021. № 15. С. 51-55.

4. Титаренко О.Н., Куликова Н.А., Чуклин А.А. Автоматизация учета потребления электроэнергии в бытовом секторе как одно из важных направлений энергосбережения в электроэнергетике. // Энергетические установки и технологии. 2017. Т. 3. № 4. С. 65-70.

5. Паздерин А.В., Мухлынин Н.Д. Поточковая модель оценивания состояния и оптимизации режимов работы распределительных сетей. // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2016. Т. 9. № 10. С. 3-5. doi:10.30724/1998-9903-2016-0-9-10-3-15

6. Савина Н.В., Бодруг Н.С. Проблемы нормирования качества электроэнергии при переходе на интеллектуальные электроэнергетические системы. // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2016. Т. 5. № 6. С. 19-26. doi:10.30724/1998-9903-2016-0-5-6-19-26

7. Основные положения концепции интеллектуальной энергосистемы с активно-адаптивной сетью. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.fsk-ees.ru/upload/docs/ies\\_aas.pdf](http://www.fsk-ees.ru/upload/docs/ies_aas.pdf)

8. Новиков С.И., Кузьмин И.Л., Хузяшев Р.Г. Простейшие алгоритмы обнаружения сигналов переходного процесса напряжения в линиях электропередач // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2017. Т. 19. № 7-8. 114-125 с.

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

10. Филимонова А.А., Чичиров А.А., Чичирова Н.Д. [и др.] Перспективы развития водородной энергетики в Татарстане // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2020. Т. 22. № 6. 79-91 с.

11. Солуянов Ю. И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Солуянов В.И. Анализ фактических электрических нагрузок помещений общественного назначения, встроенных в жилые здания // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 6. 134-147 с.

12. Коршунов, Е. А. Автоматизация процессов обслуживания энергетического оборудования с помощью специализированных программных решений / Е. А. Коршунов, А. А. Капанский, К. Е. Коршунов // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 1(53). С. 65-75. EDN THPONK.



## **ТАРИФЫ НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ КАК СТИМУЛИРУЮЩИЙ ФАКТОР РАЗВИТИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ В РОССИИ**

Гарифуллин Марсель Шарифьянович<sup>1</sup>, Каминский Семен Олегович<sup>2</sup>, Лашманова Марина  
Ивановна<sup>3</sup>, Мухаметжанов Рустем Наимович<sup>4</sup>  
<sup>1,2,3,4</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

<sup>1</sup>g\_marsels@mail.ru, <sup>2</sup>wolf19980202@gmail.com, <sup>3</sup>marina\_lashmanovaa@mail.ru,  
<sup>4</sup>ruustem@yandex.ru

В работе рассмотрены основы современной концепции развития электроэнергетических систем, в основе которой лежит комплексная интеграция в неё распределенной генерации. Рассмотрен современный уровень развития распределенной генерации в России. Обоснован рост объемов распределенной генерации в условиях существующей тарифной политики и изменяющейся нормативно-правовой базы.

**Ключевые слова:** Тарифы, распределенная генерация, микрогрид, ADMS, DERMS, Активный энергокомплекс (АЭК)

## **HIGH ELECTRICITY TARIFFS AS A STIMULATING FACTOR IN THE DEVELOPMENT OF DISTRIBUTED GENERATION IN RUSSIA**

Garifullin Marsel Sharifjanovich<sup>1</sup>, Kaminsky Semyon Olegovich<sup>2</sup>, Lashmanova Marina Ivanovna<sup>3</sup>,  
Mukhametzhanov Rustem Naimovich<sup>4</sup>

The paper considers the fundamentals of the modern concept of power system development, which is based on the integrated integration of distributed generation into it. The current level of distributed generation development in Russia is considered. It substantiates the growth of distributed generation volumes under conditions of the existing tariff policy and the changing regulatory framework.

**Keywords:** Tariffs, distributed generation, microgrid, ADMS, DERMS, Active Energy Complex (AEC)

Затраты на электроэнергию являются неременной составляющей в себестоимости любой продукции. Доля энергетических затрат определяется видом производства и варьирует в широких пределах, достигая в цветной металлургии величины 30 %. Даже если на электроэнергию приходится небольшая доля производственных затрат хозяйствующего субъекта, её стоимость всё равно остаётся важным фактором, влияющим на конкурентоспособность продукции и предприятия в целом [1].

В России с 2015 по 2020 год тарифы на электроэнергию для предприятий и организаций выросли на 40-50 % [2]. При этом темпы роста тарифов в зарубежных странах росли существенно медленнее [3].

В результате к 2020 году стоимость электроэнергии для промышленных предприятий в Российской Федерации сравнялась или стала выше, чем во многих экономически развитых западных странах [4,5].

Динамика цен (тарифов) на электроэнергию для промышленных потребителей разных стран в 2018 и 2019 гг. представлена в таблице 1 [5]:

Таблица 1  
Динамика тарифов на электроэнергию для промышленных потребителей,  
EUR(USD)/кВт·ч [5]

Страны	2018	2019	Изменение цены, %
Норвегия	0,0575	0,0466	-18,9%
Бельгия	0,0681	0,0572	-15,9%
Испания	0,0874	0,081	-10,6%
Италия	0,0938	0,0854	-9,0%
Швеция	0,0584	0,0548	-6,2%
Дания	0,2402	0,2267	-5,6%
Европа в целом	0,0748	0,0747	-0,1%
США (USD/кВт·ч)	0,0692	0,0683	-1,3%
Россия (USD/кВт·ч)	0,0695	0,0713	+2,7%
Россия (руб./кВт·ч)	4,357	4,619	+6,0%

Последовавшая за этим пандемия привела к повышению цен на энергоносители, что повлекло за собой и рост тарифов на электроэнергию в большинстве зарубежных стран [6]. Однако, представляется, что данная ситуация будет временной и в долгосрочной перспективе стоимость электроэнергии в зарубежных странах будет иметь тенденцию снижения к прежним уровням. В это же самое время проблема конкурентоспособности промышленности в России остаётся актуальной по причине сохраняющейся тенденции роста тарифов.

Отдельно следует обозначить слабо работающие рыночные механизмы в регулировании цен на рынке электроэнергетики. К примеру, в условиях пандемии спрос на электроэнергию существенно понизился за счёт введения карантинных мер. В результате во многих странах мира стоимость электроэнергии в 2020 году снизилась по сравнению с допандемийным 2019

годом [3]. В это же самое время в России тарифы на электроэнергию продолжали расти.

Как было отмечено выше, высокие тарифы на электроэнергию существенно сужают возможности развития бизнеса, препятствуют расширению тяжелой и легкой промышленности, и негативно влияют на всю экономику страны в целом. В связи с этим снижение величины тарифов становится важнейшим фактором для снижения цен на продукцию, и, как следствие, повышения конкурентоспособности предприятий.

В этой связи следует рассмотреть основные особенности формирования тарифов на электроэнергию в РФ, а также существующие для бизнеса варианты по снижению своих затрат на электроэнергию.

В данный момент в стране на рынке электроэнергии сложилась двухуровневая система. Первый уровень – это рынок оптовой продажи электроэнергии и мощности (ОРЭМ), второй уровень - рынок розничной продажи, на котором осуществляются сделки купли-продажи только электроэнергии.

Рассмотрим подробнее нюансы оптового и розничного рынков электроэнергии.

Наиболее выгодные условия существуют на оптовом рынке. Поэтому основным способом снижения стоимости электроэнергии является выход на ОРЭМ.

Однако, для малого и среднего бизнеса выходить на ОРЭМ затруднительно, так как одним из требований выхода является общая присоединенная мощность энергопринимающего оборудования объекта, которая должна быть не менее 20 МВА. Кроме того в каждой группе точек поставки мощность должна быть более 750 кВА.

Малый и средний бизнес зачастую не набирает мощность таких объемов. Объединению нескольких предприятий в «виртуального единого потребителя» препятствуют определенные законодательные положения.

Также необходимо отметить высокую стоимость вступительных и членских взносов в Ассоциацию НП «Совет рынка», а также значительные затраты на строительство специальных АИИС КУЭ, соответствующих требованиям ОРЭМ.

Таким образом, значительная часть промышленных предприятий, в том числе малый и средний бизнес, вынуждены покупать электроэнергию на розничном рынке у энергосбытовых компаний по существенно более высоким тарифам.

Цена на розничном рынке формируется из следующих составляющих:

1. цена покупки электроэнергии на ОРЭМ;

2. тариф за услуги по передаче электроэнергии и мощности (оплата сетевым организациям);
3. сбытовая надбавка;
4. плата за иные услуги Системному оператору, Администратору торговой системы и Центру финансовых расчетов.

Тарифы за услуги по передаче электроэнергии включают в себя «перекрестное субсидирование» в электроэнергетике, при котором одни группы потребителей (юридические лица) фактически оплачивают часть стоимости электрической энергии (мощности), потреблённой другими потребителями (население)» [7]. Большая часть этой составляющей ложится на малый и средний бизнес.

Необходимо упомянуть, что в цену покупки электроэнергии на ОРЭМ также заложена оплата индустриальными предприятиями и бизнесом излишних мощностей по программе ДПМ (договор о предоставлении мощности) [8] и другие инвестирующие надбавки, необходимые для обновления действующей генерации и решающие иные задачи [9]. В результате этих надбавок стоимость электроэнергии на ОРЭМ с учетом взносов и первоначальных вложений уже не выглядит привлекательной.

Нежелание оплачивать существующие и вновь вводимые надбавки к цене мощности вынуждает крупных потребителей уходить с оптового рынка на розничный. Снижение стоимости электроэнергии при этом осуществляется путем использования различных схем. Например, долгосрочная аренда расположенной рядом генерации с уводом ее с ОРЭМ, или же строительство собственной генерации, которая также не является участником ОРЭМ. В результате этого снижается потребление от централизованных источников, что в итоге увеличивает расходы оставшихся участников оптового рынка [9].

Вышеперечисленные ценообразующие факторы препятствуют повышению конкурентоспособности для малого и среднего бизнеса, а также крупных промышленных предприятий в России.

В свете вышеизложенного необходимо обратить внимание на современные тенденции в сфере энергетики в зарубежных странах, внедрение которых в России могло бы способствовать снижению тарифов для конечного потребителя.

Четвертая индустриальная революция, которая набирает обороты за счет активного внедрения кибернетических систем, интеллектуализации производственных процессов, развитие ИОТ и ПОТ технологий, приводит не только к появлению новых секторов рынков, но и к кардинальным изменениям классических и инфраструктурных отраслей рынка. Так, существенные изменения, ставшиеся результатом перехода к новому технологическому укладу, сегодня наблюдаются в сфере электроэнергетики. Ведущие экономики

(Германия, Великобритания, Япония, США и др.) уже приступили к реализации инновационных сценариев развития энергетических инфраструктур [10].

Увеличивающиеся на западе количество источников генерации возобновляемой энергии, и распределенной генерации, электромобилей, и быстрое эволюционирование архитектуры сетей, привело к увеличению количества взаимосвязанных источников распределенной электроэнергии. Увеличение количества источников распределенной генерации вызвало проблемы в сети, которые заключались в:

- Устойчивом высоком напряжении в участке сети, где стоит распределенная генерация;

- Большие колебания напряжения из-за непостоянности возобновляемых источников энергии [11].

Эти и другие проблемы, возникающие при эксплуатации сетей с распределенной генерацией, являются нестандартными для традиционной энергосистемы, и оказывают существенное влияние на работу электрических сетей. Для централизованного управления сетями и источниками распределенной генерации было предложено использовать Системы расширенного управления распределением электроэнергии ADMS (Advanced Distribution Management System - ADMS) [12].

ADMS — это программная платформа, которая поддерживает полный набор функций управления и оптимизации среди источников распределенной генерации, и распределенных потребителей. Система ADMS, разрабатываемая для электроэнергетических компаний, и включает в себя такие функции как моделирование работы и анализ распределения электроэнергии в реальном времени, поиск, изоляция неисправностей, и восстановление работоспособности сети, оптимизация вольт/вар характеристик, повторная координация релейной защиты, возможность дополнить устаревшие системы, которые не могут интегрироваться с новыми технологиями, или которые больше не обслуживаются и пр. [13].

Практические реализации таких систем в настоящее время предлагаются такими компаниями как Schneider Electric [14], Siemens [15], ABB [16], Oracle [17] и пр.

Управление отдельными участками сети с распределенной генерацией осуществляется с помощью «Распределенной системы управления энергоресурсами» - DERMS (Distributed Energy Resources Management System) [18].

Система DERMS представляет масштабируемое решение для управления и оптимизации распределенной генерацией. Система DERMS включает в себя такие функции как возможность интеграции с ADMS [19], отслеживание и контроль высокого напряжения, и минимизация колебаний напряжения [20],

создание энергетических ячеек и возможность размещения большого количества распределенных энергетических систем в изолированных системах [21], возможность эффективно использовать энерго-накопительные системы [22], моделирование работы и анализ распределения электроэнергии в реальном времени [23], интеллектуальная обработка аварийных сигналов [24], осуществление коммерческих транзакций внутри системы [25] и пр.

Взаимодействие систем ADMS и DERMS представлено на рис. 1 [26]:

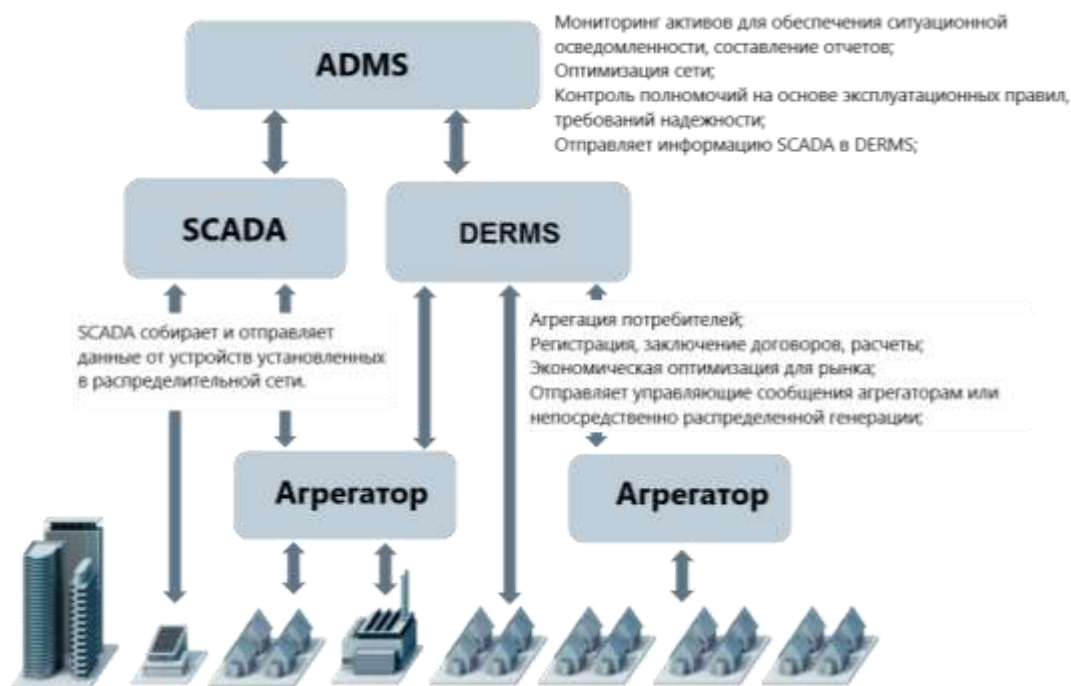


Рисунок 1. Взаимодействие систем ADMS и DERMS [26]

Прежде чем проводить анализ возможных направлений развития распределенной генерации в России оценим ее долю в общем объеме генерируемой мощности. Дать точную оценку объема распределенной генерации, а также динамику ее изменения в российской энергетике не представляется возможным, так как основные регуляторы отрасли (Минэнерго, Системный оператор, Совет рынка) не выделяют распределенную генерацию в своих публичных отчетах. Также в публичных отчетах не указывается количество электростанций, работающих в локальной системе для одного потребителя, или не выдающие энергию в сеть [27].

Поэтому были использованы данные из альтернативных источников, таких как:

-база данных Росстата в отношении электростанций мощностью менее 25 МВт, в том числе работающих в зоне децентрализованного энергоснабжения (эта статистика не учитывает электростанции мощностью более 25 МВт) [28];

-база данных McKinsey & Company по мощности электростанций в динамике 2009-2016 гг. в России [29];

-ежегодные публичные отчеты Системного оператора с информацией о введенных за отчетный год электростанциях (эта статистика, как правило, не учитывает электростанции мощностью менее 5 МВт и электростанции любой мощности, не подключенные к энергосистеме) [30].

Из данных Росстата известно что в 2016 г. в России работало 36 тысяч энергетических установок общей мощностью 13 ГВт, и мощность каждой установки не превышало 25 МВт. Примерно 8,5 ГВт эксплуатируется в зоне децентрализованного энергоснабжения. Только 1 тысяча объектов имеет мощность более 500 кВт, а средняя мощность еще почти 35 тысяч децентрализованных энергетических систем составляет в среднем около 30 кВт. Основная часть упомянутых объектов – это ТЭС, на которые приходится 92 % общей мощности (оставшиеся 8% приходятся на солнечные, гидравлические и др. станции) [28].

По данным McKinsey & Company, в ЕЭС России на 2017 г. около 5 ГВт распределенной генерации мощностью менее 25 МВт (это число примерно соответствует данным Росстата по централизованным электростанциям в 2016 г.) и еще как минимум 10 ГВт – мощностью более 25 МВт [29,30].

По мнению генерального директора НП «Распределенная энергетика», на собственную генерацию может приходиться от 13 до 23 ГВт [31]. Аналогичные цифры приводятся в статье [32]. Близкие к верхней границе цифры дает и Энергетический центр Московской школы управления СКОЛКОВО который оценивал совокупную мощность объектов распределенной генерации в России по состоянию на 2017 г. величиной около 23-24 ГВт [27].

Из базы данных Росстата известно, что общая мощность электростанций составляет около 250 ГВт. Таким образом на основе этих данных можно оценить долю установленной мощности распределенной генерации в энергосистеме страны на уровне в 9-9,5%. Это намного меньше, чем в большинстве западных стран. Кроме того, современная технологическая архитектура и законодательная база российской энергетики сложилось в целом к середине 20 века, с тех пор не претерпев качественных изменений.

На основе проведенного анализа можно заключить, что при столь малой доле распределенной генерации в России полноценная реализация концепции DERMS в «чистом виде», как она разрабатывалась зарубежными авторами, в условиях России является нецелесообразной [33].

В то же время нельзя не отметить, что, несмотря на сложившуюся экономическую ситуацию, в последние годы в России были сделаны определенные шаги по развитию распределенной энергетики и приняты новые технологические повестки в энергетике, такие как:

- научные заделы в распределенной энергетике;
- отраслевые стартапы;
- принятие Прогноза научно технологического развития отраслей топливно-энергетического комплекса России на период до 2035 года;
- принятие в 2016 г. дорожной карты «Энерджинет», национальной технологической инициативы [34].

В рамках «Энерджинет» была представлена концепция «Архитектуры Интернета энергии» IDEA (IDEA - Internet of Distributed Energy Architecture), которая является отечественным аналогом систем управления сетей с распределенной генерацией. «Архитектура Интернета энергии» была разработана, чтобы удовлетворить потребности малого и среднего бизнеса, которые хотят сэкономить на оплате электроэнергии, используя распределенную генерацию. Архитектура IDEA имеет схожие функциональные возможности с системой DERMS [35], являясь адаптированным под Российские условия вариантом .

Вышеописанная архитектура Интернета энергии (IDEA) открывает технологические возможности для реализации распределенной электроэнергетики в рамках нового системного подхода, так как эта система подходит для работы с нынешней законодательной базой и с существующей архитектурой энергетических сетей. Архитектура IDEA была создана, чтобы удовлетворить потребности стремительно развивающихся производств и создание новых бизнес-практик с использованием распределенной генерации [35].

Следует заметить, что в текущем варианте внедрение архитектуры IDEA является дорогим и технически сложным проектом. В результате в настоящее время реализуется упрощенный вариант этой системы - Активный энергетический комплекс (АЭК) [36].

Активный энергетический комплекс – первый российский микрогрид, состоящий из розничной ТЭЦ, непосредственно присоединенных к ней промышленных потребителей и управляемого интеллектуального соединения.

При создании экспериментальной зоны с АЭК в 2020-2023 гг., АЭК можно определить как микрогрид, связанный с ЕЭС, в который входит не участвующая в оптовом рынке генерация общей мощностью до 25 МВт, потребителями в котором являются только промышленные предприятия, административно - деловые и торговые центры - рис. 2.





Рис. 2. Концепция архитектуры АЭК [36]

Регулирование производства и потребления энергии в АЭК обеспечивается за счет управляемого интеллектуального соединения (УИС) - специального программно- аппаратного комплекса.

С его помощью поддерживаются параметры перетока мощности от ЕЭС в сторону АЭК в пределах заранее установленного лимита. При этом учитываются добровольно взятые потребителями обязательства по потребляемой мощности из сети (так называемой разрешенной мощности). Кроме того, УИС балансирует производство и потребление энергии в АЭК и обеспечивает возможность ограничения режима потребления электроэнергии внутри АЭК [36].

В отличие от архитектуры Интернета энергии, в которой предусматривается прямая продажа электроэнергии как между генераторами и промышленными потребителями, так и между потребителями, обменивающимися необходимой мощностью между собой, в концепции АЭК с помощью системы УИС предусмотрена лишь возможность так называемой «переуступки» части мощности между потребителями в необходимый час. Такой подход обусловлен упрощенной архитектурой АЭК по сравнению с полноценным микрогридом.

Исходя из этого рассмотрим принципиальные отличия концепции АЭК от «классического» микрогрида, как его обычно описывают в различных источниках [37,38,39] - Таблица 2/

Таблица 2.

Сравнительная характеристика «классического» микрогрида и АЭК

Свойства	Микрогрид	АЭК
Источники распределенной генерации	Традиционные источники (ГПУ, ДГУ, мини ТЭЦ), ВИЭ (ветровая и солнечная генерация)	Традиционные источники (ГПУ, ДГУ, мини ТЭЦ)

Наличие систем накопления электроэнергии	есть	Не предусмотрено
Максимальная мощность комплекса	Не ограничена	До 25 МВт

Следует отметить, что типовая мощность АЭК ограничена величиной 25 МВт. Также предполагается, что мощность отдельных потребителей в составе АЭК также является достаточно высокой.

Описанная концепция АЭК реализуется в настоящее время только в ряде регионов в качестве пилотных проектов. При этом для большинства промышленных предприятий, а также малого и среднего бизнеса в ближайшей перспективе ситуация с высокими тарифами на электроэнергию так и остается без изменений. В этой ситуации, как уже было отмечено выше, перспективным становится развитие малой генерации, удовлетворяющей потребности конкретных потребителей. Реализация такого подхода может осуществляться в виде строительства собственных источников генерации [40], так и в виде энергосервисных контрактов, в ходе которых потребители арендуют генерирующее оборудование у организаций, предоставляющих данные услуги.

По своей сути такие решения представляют собой замкнутые мини-АЭК, при этом отсутствуют сложные административные барьеры и различные ограничения. В результате реализации этих проектов потребители получают снижение стоимости электроэнергии. Кроме того, при строительстве мини ТЭЦ одновременно появляется возможность снижения издержек на теплоснабжение.

Следует заметить, что реализация таких изолированных, локальных проектов не позволяет в полной мере получить все преимущества, которые может дать использование распределенной генераторов при их интеграции в единую сеть, что могло бы повысить как эффективность, так и надежность электроснабжения потребителей.

Здесь нужно отметить, что в 2020 году был принят федеральный закон "Об экспериментальных правовых режимах в сфере цифровых инноваций в Российской Федерации" (№ 258-ФЗ от 31.07.2020). В результате появилась возможность испытывать новые архитектуры сетей и программное обеспечение по управлению сетями с источниками распределенной генерации. Следующим шагом является появление соответствующих полигонов для апробации различных решений.

В рамках Татарстанского энергетического форума ТЭФ-2022 компанией ПАО «Татнефть» было заявлено о планах создания углеродно-нейтрального посёлка [41], в котором будут использованы возобновляемые источники электроэнергии: солнечные батареи, а также ветро- и биогазовые установки. Для одновременного использования всех этих установок потребуется

разработка нестандартной архитектуры электрической сети с соответствующей системой управления.

Другим проектом, который в ближайшее время планируется реализовывать также в республике Татарстан, является создание Центра компетенций по высокотехнологичным разработкам в области энергетики. В проекте предполагается участие ОАО «Сетевая компания», при этом будут выделены участки распределительных сетей с напряжением до 110 кВ.

Использование подобных полигонов позволит отработать принципы проектирования новых архитектур построения сетей, отладки систем их управления, а также пуско-наладочных работ. Очевидно, что на начальном этапе управление работой распределенной генерацией будет осуществляться по заранее заложенному алгоритму. [46]. Со временем для управления могут использоваться алгоритмы, использующие элементы искусственного интеллекта [45]. Актуальность такого способа управления будет возрастать по мере увеличения количества источников распределённой генерации [44].

В целом можно заключить, что в российской электроэнергетике назрела потребность в структурных преобразованиях и проблема высоких тарифов на электроэнергию [42] для крупных промышленных потребителей становится одним из важнейших факторов, стимулирующих эти преобразования [47].

Высокие тарифы на электроэнергию в России являются стимулирующим фактором развития собственной генерации как крупными промышленными предприятиями, так и предприятиями, относящимися по объемам производства к малому и среднему бизнесу. В результате этого наблюдается тенденция ускорения роста в России общего объема установленной мощности распределенной генерации.

В зависимости от развития нормативно-законодательной базы распределенная генерация может стать полноправным участником рынка электроэнергии, либо пойти по пути распространения различных форм микрогридов, например, в виде АЭЖ и других альтернативных вариантов. В настоящее время и видимой перспективе развитие распределенной генерации будет осуществляться по второму варианту.

Максимальная эффективность и надежность работы микрогрида может быть получена при совместной скоординированной работе сети с несколькими источниками генерации. Для этого потребуются разработка соответствующей научно-технологической базы, которая может быть сформирована с помощью пилотных проектов на соответствующих полигонах.

В целом же, исходя из представленного обзора, становится очевидно, что в сфере энергетики России назрела необходимость её серьёзного реформирования с учетом последних мировых достижений в области децентрализации и цифровизации.

## Источники

1. Energy Efficiency and EU Industrial Competitiveness: Energy Costs and their Impact on Manufacturing Activity. The Vienna Institute for International Economic Studies. Research Report 405, 2015. 96 P. (дата обращения: 23.04.2022).

2. Почему тарифы на электроэнергию постоянно растут? [Электронный ресурс]. [https://www.energo-konsultant.ru/sovets/elektrosnabgenie/yuridicheskim\\_licam/cena\\_na\\_elektroenergiyu\\_dlya\\_uridicheskix\\_lic\\_i\\_pr/pochemu\\_tarify\\_na\\_elektroenergiyu\\_dlya\\_predpriyatij\\_postoyanno\\_rastut/](https://www.energo-konsultant.ru/sovets/elektrosnabgenie/yuridicheskim_licam/cena_na_elektroenergiyu_dlya_uridicheskix_lic_i_pr/pochemu_tarify_na_elektroenergiyu_dlya_predpriyatij_postoyanno_rastut/) (дата обращения: 23.04.2022).

3. Цены на электроэнергию ведущих технологических стран [Электронный ресурс]. <https://www.eeseaec.org/energetika-vedusih-tehnologiceskih-stran-mira/ceny-na-elektroenergiu-vedusih-tehnologiceskih-stran> (дата обращения: 23.04.2022).

4. Электроэнергия для промышленности в России в 2019 году оказалась дороже, чем в США и целом ряде стран Евросоюза [Электронный ресурс]. <https://www.np-ace.ru/news/partnership/1384/> (дата обращения: 23.04.2022).

5. Электроэнергия для промышленности в Европе и США в 2019 году подешевела, а в России подорожала в два раза выше инфляции [Электронный ресурс]. <https://www.np-ace.ru/news/partnership/1466/> (дата обращения: 23.04.2022).

6. Растущие цены на энергоресурсы могут не снизиться до следующего года [Электронный ресурс].

7. <https://www.imf.org/ru/News/Articles/2021/10/22/blog-surgin-energy-prices-may-not-ease-until-next-year> (дата обращения: 23.04.2022)

8. Рекомендации «круглого стола» на тему «Вопросы перекрестного субсидирования в электроэнергетике, его влияние на развитие отрасли и экономику страны, меры по его минимизации» [Электронный ресурс]. <http://komitet2-13.km.duma.gov.ru/Rabota/Rekomendacii-po-itogam-meropriyatij/item/16707591/> (дата обращения: 23.04.2022).

9. Из чего складывается платёж за мощность на оптовом рынке [Электронный ресурс]. <https://zen.yandex.ru/media/eenergy/iz-chego-skladyvaetsia-platej-za-moscnost-na-optovom-rynke-5ef71b1ba51b122dfb911a41> (дата обращения: 23.04.2022).

10. Распредгенерацию приглашают на опт [Электронный ресурс]. <https://peretok.ru/articles/strategy/23115/> (дата обращения: 23.04.2022).

11. Что такое цифровизация российской энергетики [Электронный ресурс]. <https://www.energovector.com/replic-cto-takoe-tsifrovizatsiya-rossiyskoj-energetiki.html> (дата обращения: 23.04.22).

12. Integration of distributed energy resources in isolated microgrids: the Colombian paradigm [Электронный ресурс]. <https://www.redalyc.org/journal/3442/344255453001/html/> (дата обращения: 23.04.22).

A. P. S. Meliopoulos, E. Polymeneas, Z. Tan, R. Huang and D. Zhao, "Advanced Distribution Management System," in *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 4, no. 4, pp. 2109-2117, Dec. 2013, doi: 10.1109/TSG.2013.2261564.

13. Advanced Distribution Management System (ADMS) [Электронный ресурс]. <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/advanced-distribution-management-systems-adms> (дата обращения: 23.04.22).

14. Advanced Distribution Management System (ADMS) [Электронный ресурс]. <https://www.se.com/ww/en/work/solutions/for-business/electric-utilities/advanced-distribution-management-system-adms/> (дата обращения: 23.04.22).

15. Transforming energy distribution for a better tomorrow [Электронный ресурс]. <https://new.siemens.com/global/en/products/energy/energy-automation-and-smart-grid/grid-control/advanced-distribution-management.html> (дата обращения: 23.04.22).

16. ABB Ability Network Manager ADMS conversation card [Электронный ресурс]. [https://library.e.abb.com/public/18711cbf30d3417b893375311012c82a/ConvoCard\\_ADMS\\_A5\\_9AKK107045A1353%20WEB.pdf](https://library.e.abb.com/public/18711cbf30d3417b893375311012c82a/ConvoCard_ADMS_A5_9AKK107045A1353%20WEB.pdf) (дата обращения: 23.04.22).

17. Advanced Distribution Management System (ADMS) from Oracle [Электронный ресурс]. [https://library.e.abb.com/public/18711cbf30d3417b893375311012c82a/ConvoCard\\_ADMS\\_A5\\_9AKK107045A1353%20WEB.pdf](https://library.e.abb.com/public/18711cbf30d3417b893375311012c82a/ConvoCard_ADMS_A5_9AKK107045A1353%20WEB.pdf) (дата обращения: 23.04.22).

18. What is a distributed energy resource management system? [Электронный ресурс]. <https://www.veritone.com/blog/distributed-energy-resource-management-system/> (дата обращения: 23.04.22).

19. DERMS Terms – Going Beyond the Buzzword [Электронный ресурс]. <https://separpower.org/knowledge/derms-terms-going-beyond-the-buzzword/> (дата обращения: 23.04.22).

20. Strezoski, L.; Stefani, I. Utility DERMS for Active Management of Emerging Distribution Grids with High Penetration of Renewable DERs. *Electronics* 2021, 10, 2027. <https://doi.org/10.3390/electronics10162027>.

21. Managing variable and distributed energy resources: A new era for the grid [Электронный ресурс]. <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/energy-resources/us-er-grid-integration.pdf> (дата обращения: 23.04.22).

22. How intelligent DERMS controls at multiple levels maximize the impact of energy storage [Электронный ресурс]. <https://www.utilitydive.com/spons/how-intelligent-derms-controls-at-multiple-levels-maximize-the-impact-of-en/567132/> (дата обращения: 23.04.22).

23. Wang, J.; Padullaparti, H.; Ding, F.; Baggu, M.; Symko-Davies, M. Voltage Regulation Performance Evaluation of Distributed Energy Resource Management via Advanced Hardware-in-the-Loop Simulation. *Energies* 2021, 14, 6734. <https://doi.org/10.3390/en14206734>.

24. Guidelines for Implementing Advanced Distribution Management Systems [Электронный ресурс].

25. <https://publications.anl.gov/anlpubs/2015/08/120642.pdf> (дата обращения: 23.04.22).

26. DERMS enables a modernized grid for a decarbonized society [Электронный ресурс]. <https://www.power-grid.com/executive-insight/derms-enables-a-modernized-grid-for-a-decarbonized-society/> (дата обращения: 23.04.22).

27. A look towards the future: Integrating DERMS and ADMS [Электронный ресурс]. <https://www.power-grid.com/der-grid-edge/a-look-towards-the-future-integrating-derms-and-adms/#gref> (дата обращения: 23.04.22).

28. Распределенная энергетика - потенциал в России [Электронный ресурс]. [https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/Research/SKOLKOVO\\_Enec\\_DER-3.0\\_2018.02.01.pdf](https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/Research/SKOLKOVO_Enec_DER-3.0_2018.02.01.pdf) (дата обращения: 23.04.22).

29. Государственная программа «Энергоэффективность и развитие энергетики» [Электронный ресурс]. <https://www.minenergo.gov.ru/system/download/323/71254> (дата обращения: 23.04.22).

30. Энергоэффективная Россия [Электронный ресурс]. <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Business%20Functions/Sustainability/Our%20Insights.pdf> (дата обращения: 23.04.22).

31. ИТОГОВЫЙ ОТЧЕТ - Министерство энергетики РФ [Электронный ресурс]. <https://minenergo.gov.ru/system/download-pdf/18288/120934> (дата обращения: 23.04.22).

32. Ольга Новоселова, генеральный директор НП «Распределенная энергетика»: Треть будущих «подключений» — за распределенной генерацией [Электронный ресурс]. <https://www.eprussia.ru/epr/articles/olga-novoselova-generalnyu-direktor-np-raspredelennaya-energetika-tret-budushchikh-podklyucheniya-za-.htm> (дата обращения: 23.04.22).

33. Развитие распределенной генерации в мире и в России [Электронный ресурс]. <https://www.c-o-k.ru/articles/razvitie-raspredelennoy-generacii-v-mire-i-v-rossii> (дата обращения: 23.04.22).

34. Зубакин Василий Александрович (2019). Государственное стимулирование трансформации электроэнергетики. Стратегические решения и риск-менеджмент, 10 (4), 320-329. (дата обращения: 23.04.22).

35. План мероприятий ("дорожная карта") "Энерджинет" Национальной технологической инициативы [Электронный ресурс]. <http://static.government.ru/media/files/LqKPTwOrMkzgHm8alKBP5bOh70wHZq6P.pdf> (дата обращения: 23.04.22).

36. Архитектура Интернета энергии IDEA [Электронный ресурс]. <https://idea-go.tech/IDEA-whitepaper-ru.pdf> (дата обращения: 23.04.22).

37. Активные энергетические комплексы – первый шаг к промышленным микрогридам в России [Электронный ресурс]. [http://www.ntc-msk.ru/assets/upload/testimonials/Doklad\\_AEK\\_2020.pdf](http://www.ntc-msk.ru/assets/upload/testimonials/Doklad_AEK_2020.pdf) (дата обращения: 23.04.22).

38. Интернет энергии. MicroGrid. Малая распределенная энергетика [Электронный ресурс]. <https://www.tadviser.ru/a/508235> (дата обращения: 23.04.2022).

39. Что такое микрогрид? [Электронный ресурс]. <https://neosun.com/ru/chto-takoe-mikrogrid/> (дата обращения: 23.04.2022)

40. MicroGrid — ответ на новые вызовы электроэнергетики [Электронный ресурс] <https://controlengrussia.com/otraslevye-resheniya/microgrid/> (дата обращения: 23.04.2022).

41. Компания «КАМА-Энергетика» [Электронный ресурс]. <https://www.kama-e.ru/> (дата обращения: 23.04.2022).

42. Чудеса под Азнакаево: Равиль Маганов рассказал, как превратит Актюбинский в полигон биотеха [Электронный ресурс]. <https://www.business-gazeta.ru/article/547397> (дата обращения: 23.04.2022).

43. Системное тарифное регулирование в энергетической отрасли: теория. методология, практика: монография / А.Д. Ахророва, А.Д. Куанышбаев, С.С. Сагинтаева и др. М.: Издательство МЭИ, 2022. 536 с.

44. Нгуен, Д. Т. Оценка энерго- и ресурсосберегающего эффекта при внедрении гибридных объектов малой распределенной генерации в республике Вьетнам / Д. Т. Нгуен, Г. Р. Мингалеева, М. В. Савина // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2019. Т. 21. № 5. 132-140 с.

45. Булатов, Ю. Н. Исследование режимов работы изолированной системы электроснабжения с управляемыми установками распределенной генерации, накопителями электроэнергии и двигательной нагрузкой / Ю. Н. Булатов, А. В. Крюков, К. В. Суслов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 5. 184-194 с.

46. Хазиева, Р. Т. Выбор оптимальных параметров устройства для генерации постоянного магнитного поля / Р. Т. Хазиева, М. Д. Иванов //

Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2020. Т. 22. № 6. 176-187 с.

47. Данилов, М. И. Оперативный расчет потерь электроэнергии в сети с неизвестными параметрами в АИИС КУЭ / М. И. Данилов, И. Г. Романенко // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2020. Т. 22. № 5. С. 116-127 с.

48. Восстановление поверхности теплообмена в условиях ее загрязнения при конденсации парогазовой смеси / А. В. Дмитриев, Г. Р. Бадретдинова, С. Д. Борисова, А. Н. Николаев // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 1. С. 176-185. DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-1-176-185. EDN LZIELB.

УДК 621.316

## **ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ПОЯВЛЯЮЩИЕСЯ ПРИ ВНЕДРЕНИИ РЕМОНТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ**

Гиниятуллин Ильназ Фанисович<sup>1</sup>, Куракина Ольга Евгеньевна<sup>2</sup>

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

ginilfan@mail.ru

В крупных электросетевых компаниях начинает постепенно внедряться проведение ремонтов под напряжением (ПРПН). Постепенно возникнет необходимость внедрения ПРПН и в малых сетевых компаниях. При ПРПН используются специальные средства индивидуальной защиты и соответствующий инструмент. Стабильное усредненное многолетнее значение электротравм, при ежегодно увеличивающемся финансировании на мероприятия по ТБ и ОТ, подталкивает тому что бы использовать специальные средств индивидуальной защиты (СИЗ) и ТБ и ОТ, что и при проведении ПРПН, с соответствующими изменениями в отраслевые стандарты предприятий.

**Ключевые слова:** электротравматизм, работы под напряжением, средства индивидуальной защиты, стандарты техники безопасности и охраны труда.

## **POSITIVE ASPECTS APPEARING DURING THE INTRODUCTION OF REPAIR OF ELECTRIC NETWORKS UNDER VOLTAGE.**

Giniyatullin Ilnaz Fanisovich<sup>1</sup>, Kurakina Olga Evgenievna<sup>2</sup>

In large electric grid companies, the implementation of repairs under voltage (PRRP) is gradually beginning to be introduced. Gradually, there will be a need to implement PRP in small grid companies. During PPN, special personal protective equipment and appropriate tools are used.



The stable averaged multi-year value of electrical injuries, with annually increasing funding for HSE activities, encourages the use of special personal protective equipment (PPE) and HSE, as in the POP, with corresponding changes in industry standards of enterprises.

**Key words:** electrical injuries, work under voltage, personal protective equipment, safety and labor protection standards.

В 30-е годы прошлого столетия уральские энергетики стали впервые провели в ремонтные работы на ЛЭП без отключения напряжения. Инженер Понедилко предложил схему работы у проводов 35–110 кВ «провод — человек — изоляция — земля». Этот способ только через 15 лет получил широкое распространение в других странах [1]. На сегодняшний момент во многих энергокомпаниях проводят ремонтные работы на ЛЭП с отключением напряжения. В последнее десятилетие в электросетевых компаниях начали внедрять ремонтные работы под напряжением (ПРПН). Первый в мировой практике экспериментальный выход человека на провода линии под напряжением 500 кВ был совершен в июле 1984 года на учебном полигоне подстанции 750 кВ «Белый Раст»[2].

В проведения ПРПН, достигается решение нескольких задач: исключается электротравматизм, увеличивается надежность и качество электроснабжения потребителей, обеспечивается энергоэффективное управление производством и его активами, уменьшаются затраты труда оперативного персонала: исключаются этапы работ, которые связаны с отключением, заземлением, подготовкой рабочего места. Эти работы порой занимают больше времени, чем производство самих работ [3,4,5]. В первые РФ ПРПН на 0,4кВ были внедрены в БуЭС (Буинские электросети, ОАО Сетевая компания) в 2009г, далее были освоены работы на напряжении 10 кВ. Активное внедрение ПРПН началось с 2015 года. Это позволило с 2015 по 2021 г.г.увеличить одновременно с показателями надёжности электроснабжения потребителей, показатель SAIDI (средняя продолжительность отключений) уменьшился в 3,4 разаи показатель SAIFI (средняя частота отключений) - в 2,7 раза. В региональных филиалах ПАО «Россети» такой метод активно применяется в магистральном комплексе, а к 2023 году внедрят технологию проведения работ на электросетях под напряжением во всех регионах[6].

При использовании ПРПН персонал экиперуется СИЗ из композитных тканей и оснащается специальным инструментом. У метода есть серьёзные преимущества:

- Отсутствует ограничение электроснабжения потребителей на период ремонта или при подключении новых абонентов.[12]

- Сокращаются трудозатраты: отключение оборудования, заземление, подготовка рабочего места порой занимают не меньше времени, чем сам ремонт. При этом снижаются риски электротравматизма.

По данным проверок Роструда в Российской Федерации на предприятиях количество нарушений охраны труда и техники безопасности в целом до 2019 года оставалось без значительных изменений. Количество проверок и выявленных нарушений условий и охраны труда за период 2010–2020 годы представлено на рисунке 1 [7]. После каждого из выявленных случаев нарушений, а особенно с травматизмом и летальным исходом выписываются штрафы и предписания предупредительных мер для устранения подобных случаев на производстве в дальнейшем. По данным ФСС с каждым годом предприятия увеличивают расходы на проведение работ по технике безопасности для сотрудников предприятий.[11] На рисунке 2 показана динамика расходов ФСС на обеспечение предупредительных мер по сокращению производственного травматизма и профзаболеваний в 2003–2020 годах (по данным ФСС)[7]. Однако в целом существенных изменений не наблюдается.

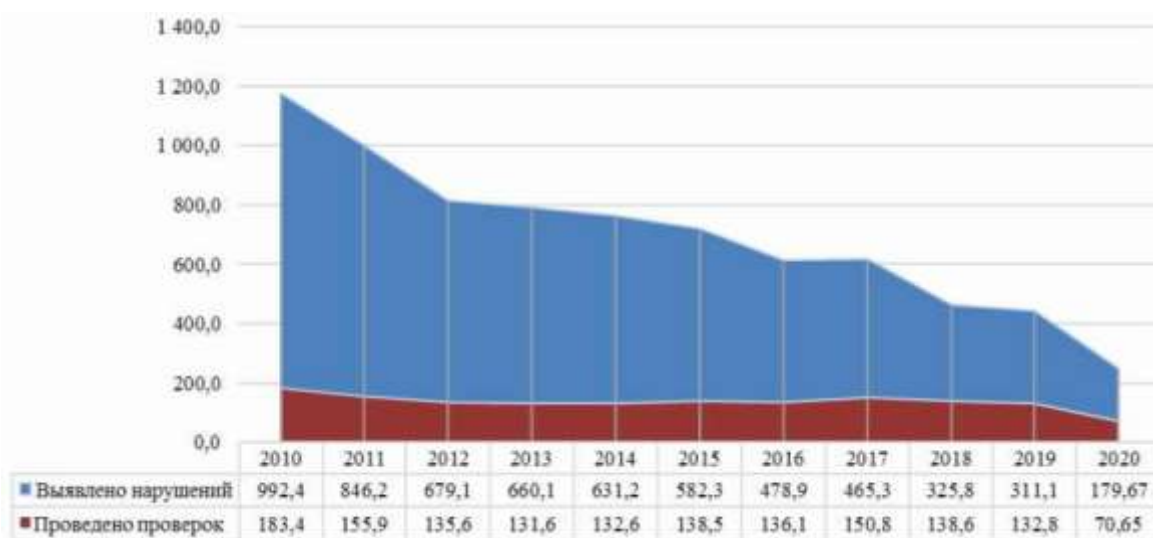


Рис. 1. Количество проверок и выявленных нарушений условий и охраны труда за период 2010–2020 годы (по данным Роструда) [7].

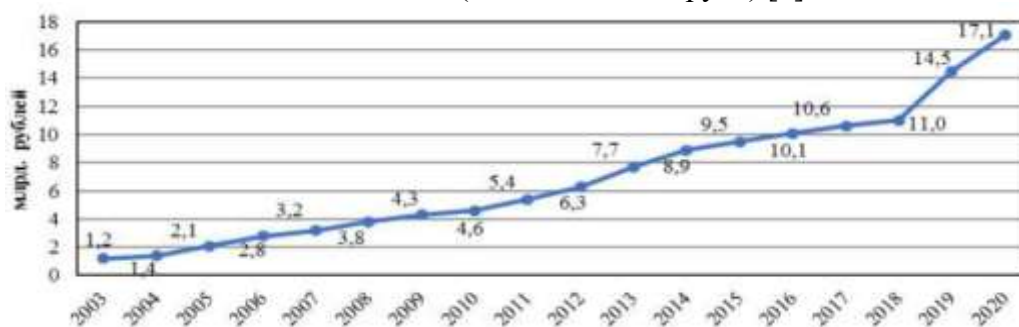


Рис. 2. Динамика расходов ФСС на обеспечение предупредительных мер по сокращению производственного травматизма и профзаболеваний в 2003–2020 годах (по данным ФСС) [7].

Проверяющими органами Минтруда выявляются также и факты сокрытия несчастных случаев, в том числе и со смертельным исходом, скрываемые руководителями предприятий. Динамика выявления сокрытых несчастных случаев на производстве показана на рисунке 3 [7].



Рис. 3. Динамика выявления сокрытых несчастных случаев на производстве (по данным Роструда) [4].

Фиксацию нарушения ТБиОТ и несчастных случаев на объектах энергетики проводит Ростехнадзор. На рисунках 4 и 5 показана динамика травматизма со смертельным исходом за 7 месяцев и за 9 месяцев соответственно, по годам начиная с 2012 по 2021гг [8].

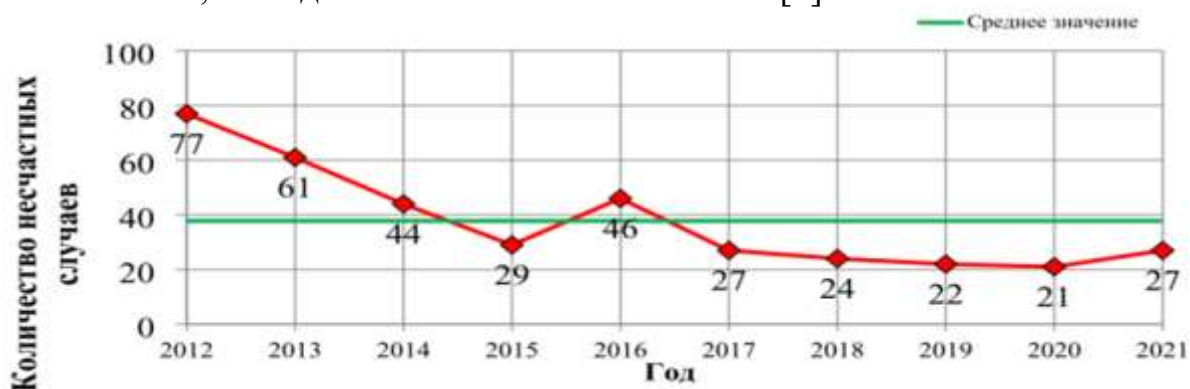


Рис. 4. Динамика травматизма со смертельным исходом за 7 месяцев по годам начиная с 2012 по 2021гг [8].



Рис. 5. Динамика травматизма со смертельным исходом за 9 месяцев по годам начиная с 2012 по 2021гг [8]

Из представленных данных Ростехнадзора видно, что в целом существенных изменений не наблюдается: предписания выписываются, финансирование предприятий на работы по ТБиОТ увеличиваются, однако координальных уменьшений числа травматизма не наблюдается. На объектах электроэнергетики наиболее частыми случаями являются невнимательность и неосторожное касание или приближение меньше предельно допустимого расстояния персоналом токоведущих частей. Средства индивидуальной защиты не позволяют полностью защитить персонал от поражения электрическим током.[9] Выходом является внедрение применения средств индивидуальной защиты, техники безопасности и охраны труда аналогичные как и при работах ПРПН. По статистическим данным отечественного и зарубежного опыта работ ПРПН ни одного случая электротравматизма не выявлено.[10] Это достигается использованием специальных СИЗ, степень ответственности и внимательности, ремонтного персонала на интуитивном уровне значительно повышается.

В целях увеличения надежности электроснабжения, уменьшения травматизма и времени на ремонт необходимо внедрять работы ПРПН не только в крупных сетевых организациях, но и для малых региональных.

Для уменьшения электротравматизма при ремонтных работах рекомендовать внести соответствующие изменения в федеральные и отраслевые стандарты об использовании СИЗ и ТБ и ОТ при работах с отключением напряжения, как и при работах ПРПН.

### Источники

1. Официальный сайт ПАО «Россети». [Электронный ресурс]. <http://gazeta.rosseti.ru/> (дата обращения: 5.03.2022).
2. Официальный сайт ФСК ЕЭС. [Электронный ресурс]. [https://www.fsk-ees.ru/press\\_center/news\\_branches/](https://www.fsk-ees.ru/press_center/news_branches/) (дата обращения: 2.04.2022).

3. Фардиев И. Ш., Зиганшин А. Г., Галимов А. И., Михеев Г. М., Производство работ под напряжением в электрических сетях. Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 2021. № 2. сс. 52-61.

4. Секретарев Ю.А., Левин В.М. Оценка влияния на надежность системы электроснабжения различного рода дефектов ее основных элементов. Вестник КГЭУ, 2019, № 4 (44), сс. 55-63.

5. Бык Ф.Л., Какоша Ю.В., Мышкина Л.С. Фактор надежности при проектировании распределительной сети Проблемы энергетики, 2020, том 22, № 6, сс. 43-54.

6. СТО 34.01-21.1-001-2017 Распределительные электрические сети напряжением 0,4 - 110 кВ. Требования к технологическому проектированию. АО "Институт Энергосетьпроект" при участии ПАО "Россети" и ДЗО. Утвержден и введен в действие Распоряжением ПАО "Россети" от 02.08.2017. 400с.

7. Официальный сайт Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации. [Электронный ресурс]. <https://mintrud.gov.ru/> (дата обращения: 2.03.2022).

8. Официальный сайт Ростехнадзора. [Электронный ресурс]. <https://www.gosnadzor.ru/> (дата обращения: 2.03.2022).

9. Качанов А.Н., Коренков Д.А., Ревков А.А., Максимов В.В., Воркунов О.В. Моделирование процессов высокочастотной сушки деревянных опор в вакуумной камере // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2020. Т. 22. № 6. 130-142 с.

10. Солуянов Ю. И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Солуянов В.И. Анализ фактических электрических нагрузок помещений общественного назначения, встроенных в жилые здания // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 6.134-147 с.

11. Абдуллазянов Э.Ю., Грачева Е.И., Горлов А.Н.[и др.] Исследование качества функционирования электрических аппаратов низкого напряжения в составе электротехнических комплексов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 6. 3-15 с.

12. Дремичева, Е. С. Эколого-экономические аспекты использования торфа в энергетике / Е. С. Дремичева, А. А. Эминов // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 1(53). С. 96-108. EDN ZSBYLN.

## ОСОБЕННОСТИ ПОДГОТОВКИ КАДРОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ В ОГУ им. И.С. ТУРГЕНЕВА

Голенков Вячеслав Александрович<sup>1</sup>, Качанов Александр Николаевич<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева»

<sup>1</sup>president@ostu.ru, <sup>2</sup>kan@ostu.ru

В статье рассмотрены некоторые аспекты подготовки кадров для электроэнергетики и электротехники в ФГБОУ ВО ОГУ имени И.С. Тургенева на кафедре электрооборудования и энергосбережения в бакалавриате и магистратуре. Приведены некоторые результаты инициативной научно-исследовательской работы «Комплексная система повышения качества учебного процесса», направленные на снятие имеющихся противоречий между рынком образования и рынком труда.

**Ключевые слова:** подготовка кадров, электроэнергетика и электротехника, бакалавриат и магистратура, комплексная система повышения качества учебного процесса, рынок образования и рынок труда

## FEATURES OF TRAINING FOR POWER INDUSTRY AND ELECTRICAL ENGINEERING At the OSU I.S. TURGENEV

Golenkov Vyacheslav Alexandrovich<sup>1</sup>, Kachanov Alexander Nikolaevich<sup>2</sup>

The article discusses some aspects of personnel training for the electric power industry and electrical engineering at the I.S. Turgenev Federal State Budgetary Educational Institution at the Department of Electrical Equipment and Energy Conservation in bachelor's and Master's degrees. Some results of the initiative research work "Integrated system for improving the quality of the educational process», aimed at removing the existing contradictions between the education market and the labor market, are presented.

**Keywords:** personnel training, electric power and electrical engineering, bachelor's and master's degree, integrated system for improving the quality of the educational process, education market and labor market

В постсоветское время перед высшей школой, которая последние три десятилетия находится в процессе постоянного реформирования, стала задача, как сбалансировать потребность рынка труда в специалистах энергетического профиля. Старая, проверенная временем советская система подготовки кадров перестала работать и сохранилась лишь в умах профессоров и доцентов –

выходцев из СССР. Сегодня выпускники ведущих вузов страны не рвутся в Сибирь и на Дальний восток, а предпочитают работать в крупных мегаполисах с достойным уровнем заработной платы и в комфортных условиях. При таком состоянии дел потребность региональной экономики в квалифицированных инженерных кадрах практически полностью обеспечивается за счет местных учебных заведений.

Для решения обозначенной проблемы руководством регионального Орловского государственного технического университета в 2001 году (сегодня это ОГУ им. И.С. Тургенева) было принято решение начать подготовку инженеров-электриков по специальности электрооборудование и электрохозяйство промышленных предприятий, организаций и учреждений. С момента создания выпускающей кафедры «Электрооборудование и энергосбережение» её сотрудниками выполняется инициативная научно-исследовательская работа «Комплексная система управления качеством учебного процесса» (КСУКУП), направленная на выполнение требований постоянно меняющихся ФГОСов, с одной стороны, и на обеспечение требований, предъявляемых работодателями к инженерной квалификации выпускников, с другой стороны. Рассмотрим некоторые результаты, полученные в процессе выполнения КСУКУП.

Многолетний опыт общения кафедры с работодателями показал, что основная масса наших выпускников свой карьерный рост начинает с рабочих профессий, проходит стажировки, работает дублерами, сдает экзамены на группу допуска к работе в электроустановках. Такой многоступенчатый подход к совершенствованию теоретических и практических знаний выпускников на их пути к инженерной должности оправдан, т.к. в конечном счете, он и обеспечивает достижение бесперебойной работы электрооборудования и электроэнергетики в целом.

Очередным испытанием на «прочность» высшей школы стал её переход от специалитета на двухступенчатую систему образования «Бакалавриат – Магистратура». Не безызвестный «Болонский процесс» был без энтузиазма воспринят технической интеллигенцией высшей школы [1, 2, 3]. По данным ЮНЕСКО за годы реформ Россия, в рейтинге стран мира по уровню образования, скатилась с третьего места на место в четвертом десятке. Положение дел для технических специальностей усугубилось еще и тем обстоятельством, что школьники перестали изучать физику и сдавать ЕГЭ по данному предмету. Так в 2019 и 2020 гг. количество школьников, имеющих право поступать на технические специальности, сравнивалось с контрольными цифрами приема, выделенными министерством науки и высшего образования РФ вузам на технические профили.

Не выдерживает критики процесс разработки учебных стандартов по инженерным специальностям на федеральном уровне, где их подготовка была поручена специалистам, не имеющим опыта работы в инженерных школах. Погоня российских управленцев в образовании или менеджеров от образования за пресловутыми учебными схемами и технологиями запада, привели к утрате ценного опыта советской и российской высшей школы, снижению уровня работы преподавательского корпуса, сокращению штатов общенаучных и профильных инженерных кадров, уходу из вузов высококвалифицированных ученых – педагогов в реальный сектор экономики или на пенсию без должного восполнения вузовских кафедр молодыми учеными и педагогами.

В соответствии с учебными стандартами, которые, кстати, меняются почти через год, и не в лучшую сторону, значительно сократилось время обучения, по таким, базовым и необходимым для инженера дисциплинам как: математика, физика, химия, материаловедение, сопромат, теория машинимеханизмов, теоретическая и общая электротехника и многие другие предметы. Предметы по профилю инженерных специальностей сокращены еще в большей степени. Уменьшение времени по общенаучным и профильным дисциплинам, сокращение инженерных предметов, замена процесса обучения студента умеющего решать конкретные инженерные задачи, с получением результата и его анализа, эфемерным и не конкретным понятием компетентность, привело к снижению уровня и качества подготовки инженера, и следовательно, утрате высоких позиций российской высшей инженерной школы.

В конечном итоге, обычный выпускник инженерного вуза, квалификации бакалавр, мало на что способен, так как с одной стороны, не имеет достаточных навыков, умения и опыта работы в качестве высоко квалифицированного рабочего и с другой стороны, имеет низкий уровень базовых общенаучных и специальных знаний, что не позволяет ему эффективно работать в качестве инженера.

По существующей практике в промышленном производстве бакалавр после инженерного вуза является не полноценным работником и его приходится системно и профессионально доучивать или еще хуже переучивать, на что затрачиваются дополнительно время и средства.

Наличие дефицита инженерных кадров в регионе повысило деловую активность бизнеса, который заинтересован в подготовке специалистов с учетом профиля предприятий. Университет расширяет практику привлечения работодателей к участию в следующих видах учебного процесса: чтение лекций; руководство и консультирование практико-ориентированных ВКР; проведение мастер-классов и круглых столов по вопросам внедрения цифровизации в электроэнергетику и электротехнику; проведение и



консультирование всех видов практик. В рамках выполнения КСУКУП идет постоянный поиск новых форм взаимовыгодного сотрудничества между профильными предприятиями и университетом.

Известно, что государственные стандарты охватывают широкий круг требований, а производству зачастую нужны узкие специалисты. Поэтому кафедре необходимо разобраться и понимать, что должен делать выпускник на конкретном предприятии и какие технические задачи ему предстоит выполнять в его будущей профессиональной деятельности. Учебное управление вуза считает, что стандарты незыблемы, но реальность такова, что если при обучении невозможно достижение определенного уровня знаний у студентов, то их ожидания и ожидания работодателей будут не оправданы. Вместе с тем, ст. 11 закона «Об образовании в РФ» (пункт 3) предусматривает вариативность содержания программ с учетом образовательных потребностей [1]. Таким образом, стандарты не являются догмой, главным при подготовке кадров для региона могут быть и требования сформулированные работодателями. В этом случае коллективу выпускающей кафедры следует создать модуль необходимых знаний, а именно, выбрать тот набор знаний и умений, который необходим будущему выпускнику. В данном модуле, включающем теоретические и практические знания не должно быть места знаниям, которые в перспективе будут не востребованы. Уже сегодня преподаватели разрабатывают рабочие программы специальных дисциплин с учетом указанной выше возможности для обеспечения набора компетенций, которыми должен обладать выпускник.

Для оценки уровня освоения знаний, кафедра учитывает не только результаты плановых зачетов и экзаменов, но и систематически проводит анкетирование студентов для выявления форм и способов получения ими теоретических и практических знаний. По результатам проведенных исследований установлено, что в процессе обучения преобладают «пассивные» формы передачи знаний. Так 95% студентов четвертого курса указали, что в рамках образовательного процесса лекции посещаются ими часто и используются при подготовке к зачетам и экзаменам. Установлено, что 20 % студентов в процессе обучения не участвовали в обсуждении или проектной работе вне больших групп, а 35 % не готовили собственных презентаций. Для большинства студентов основным источником информации служит преподаватель, самостоятельный поиск профессиональной информации в студенческой среде не практикуется, лишь 15-20 % студентов принимают участие в проектах выполняемых преподавателями кафедры. Кроме того, 45 % студентов старших курсов никогда не проводили самостоятельные проекты, 65 % – не реализовывали групповые студенческие проекты и не выступали с презентацией проведенного проекта, 90 % – не участвовали в выполнении

реальных проектов для промышленных предприятий, 80 % – не читали техническую литературу на иностранном языке (данное замечание есть и в отчетах ГЭК). У 60 % старшекурсников отсутствуют представления об условиях работы на энергетических предприятиях Орловщины, а также в службах главного энергетика промышленных предприятий. Приведенные выше проценты делают ожидаемым прогноз по трудоустройству выпускников, а именно, только около 50 % выпускников работают по избранному ими профилю бакалавриата. Другая же их часть переориентируются на более востребованные и высокооплачиваемые профессии, например, в области финансовой и банковской деятельности, коммерции и других областях экономики. Есть также и положительный момент, который заключается в том, что до 70% выпускников бакалавриата продолжают обучение в магистратуре на нашей кафедре. Свое решение продолжить обучение в магистратуре студенты объясняют необходимостью повысить уровень своей инженерной подготовки. И снова перед коллективом преподавателей кафедры стоит сложная задача, как обеспечить выполнение требований ФГОСа по организации обучения на втором уровне, который предусматривает подготовку будущих преподавателей вузов и инженеров-исследователей научных лабораторий с одновременным углублением инженерной подготовки выпускников бакалавриата [2].

Приведенные выше цифры подтверждают имеющиеся у работодателей сомнения в отношении 100 % готовности выпускников к самостоятельному решению профессиональных задач в следующих областях их будущей профессиональной деятельности: научно-исследовательская; проектно-конструкторская; организационно-управленческая; производственно-технологическая; монтажно-наладочная и сервисно-эксплуатационная [3]. Работодатели отмечают следующие недостатки по уровню качества образования у 50 % молодых специалистов: сужение мышления до фрагментарного, неспособность самостоятельно решать сложные технические задачи или решать их в основном только «по аналогии». Элементарные математические расчеты выполняются при помощи калькулятора, а инженерный анализ заменен поиском готовых решений в интернете.

С учетом сложившейся ситуации и для снятия имеющихся противоречий между рынком образования и рынком труда требуется разработка методологии и анализа взаимодействия данных структур, а также создание модели их взаимосвязанного прогнозирования. Одним из перспективных направлений активизации учебного процесса является разработка (совершенствование) и внедрение в учебный процесс следующих современных инновационных методик: конкретных ситуаций; компьютерного моделирования физических и технологических процессов; проведения практических занятий в виде

«мозгового штурма» или «круглого стола»;использования на всех видах учебных занятий средств мультимедиа (видео, презентации, и т.п.).

Анализ результатов внедрения в учебный процесс указанных инновационных методик показал, что занятия стали более информативными, обеспечивающими более глубокое усвоение обучающимися теоретического и практического материала. Уже сегодня преподаватели профессиональных дисциплин успешно используют следующие методики: конкретных ситуаций, а именно, путем решения на практических занятиях конкретных задач – 40 %; компьютерного моделирования физических и технологических процессов – 40 %; проведение практических занятий в виде «мозгового штурма» (решение инженерно-технических задач путем высказывания гипотез в ограниченный промежуток времени – 20 %) или «круглого стола» (обсуждение с участием работодателей актуальных тем – 10 %); использования на всех видах учебных занятий мультимедийного оборудования (видео, презентации и т.п.) – 75 %. Таким образом, использование современных инновационных методик это только одно из направлений повышения качества инженерной подготовки выпускников.

Другим путем, может стать путь прикрепления студентов-бюджетников, начиная со второго курса к конкретным предприятиям с назначением им руководителей и выплате им дополнительной стипендии от предприятия при условии заключения трехстороннего Договора на оказание образовательных услуг (студент-предприятие-университет). В Договоре можно расписать права и обязанности всех заинтересованных сторон. Получая достойную стипендию, студенты перестанут подрабатывать на непрофильных предприятиях. Университет продолжит вооружать будущего специалиста базовыми знаниями по ТОЭ и профильным дисциплинам, перечень которых в рабочих программах сегодня нужно согласовывать с УМО РФ по Электроэнергетике и электротехнике, УМК по профилю «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений», а также с предприятием. Кафедра уже сегодня готова рассмотреть варианты организации для студентов выполнения всех его расчетно-графических, курсовых работ и проектов, а в перспективе выпускных квалификационных работ для бакалавриата и магистратуры с учетом профиля предприятия. Руководитель от предприятия согласует график работы студента на предприятии с расписанием учебных занятий, консультирует его по техническим вопросам, организует прохождение всех видов практик и т.д. Работа студента на профильном предприятии будет способствовать его становлению как специалиста, за счет получения и совершенствования навыков отдельных рабочих профессий (электромонтер, электромонтажник и т.п.), а также умения самостоятельно решать инженерные задачи для предприятия при выполнении курсовых работ и проектов. Данный

алгоритм подготовки кадров может заработать при условии решения в правовом поле вопроса о возврате денежных средств студентами-выпускниками, не отработавшими, например, три года на предприятии после окончания университета.

### **Источники**

1. ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ЗАКОН «Об образовании в Российской Федерации» № 273-ФЗ от 29.12.2012 г. (с изменениями на 30 декабря 2021 года, редакция, действующая с 1 марта 2022 года)

2. Качанов А.Н. Методологические аспекты мировоззренческого воспитания студентов в процессе выполнения научно-исследовательской работы / 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 // – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2019. С. 372-376

3. Дьяков А.Ф., Платонов В.В. Проблемы инженерного образования в электроэнергетике и электротехнике, значимость наукоёмкости этих отраслей экономики // Энергетика. 2014. №1(48). С. 20-25.

4. Определение основных параметров высокотемпературного сверхпроводящего трансформатора с функцией токоограничения / В. З. Манусов, Д. М. Иванов, А. В. Семенов, О. В. Боруш // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Т. 13. № 3(51). С. 25-38.

5. Зорина, Т. Г. Совершенствование методологии оценки цифровой трансформации объединенной энергетической системы Республики Беларусь. Проблемы и перспективы / Т. Г. Зорина, С. Прусов // Вестник Казанского государственного энергетического университета. –2021. Т. 13. № 3(51). С. 99-113.

6. Дремичева, Е. С. Перспективы использования загрязненного нефтепродуктами торфа в энергетике / Е. С. Дремичева, А. Эминов // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021.Т. 13. № 2(50). С. 133-141.

7. Бирюлин В.И., Куделина Д.В., Ларин О.М. Выявление источник фликера в системах электроснабжения // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 5. 3-12 с.

8. Гарифуллин М.Ш., Гиниатуллин Р.А., Козлов В.К. [и др.] Определение технологии производства и марки минеральных трансформаторных масел по их

оптическим спектрам // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2017. Т. 19. № 9-10. 59-64 с.

9. Петрущенко В.А., Коршакова И.А. Качественный и количественный анализ тепловой энергетики малых мощностей в России.// Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2020. Т. 22. № 5. 52-70 с.

10.Афанасьева О.В., Галькеева А.А., Вафин А.Р., Мингалеева Г.Р. Региональные аспекты использования угля на объектах малой распределенной энергетики // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2017. Т. 19. № 9-10. 85-93 с.

11. 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.

12. Ценовые характеристики источников электроэнергии мини и микрогрид / А. В. Паздерин, В.О. Самойленко, Н. Д. Мухлынин, П. А. Крючков // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 1(53). С. 122-139. EDN GFPVIZ

УДК 621.316

## **УМЕНЬШЕНИЕ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ ПУТЕМ ОБНАРУЖЕНИЯ ИЗНОШЕННЫХ УЧАСТКОВ ЛЭП С ПОМОЩЬЮ БЛА**

Давыдова Ксения Александровна<sup>1</sup>, Наумов Олег Витальевич<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

ksyunya.davydova.99@mail.ru

На величину технических потерь электроэнергии влияет несколько факторов: нагрузочные потери, условно-постоянные потери, погрешности приборов учета. Устранение и уменьшение влияния этих явлений учтено в утверждено программе «Цифровой трансформации». Сегодня мало уделяется внимания на потери, возникающие на изношенных участках ЛЭП вследствие дефектов конструкций и материалов. Обнаружение изношенности, приводящей к потерям электроэнергии, возможно с использованием БЛА.

**Ключевые слова:** потери в линиях, мероприятия по устранению потерь в сетях, обнаружение дефектов в линиях

## **REDUCING ELECTRICITY LOSSES IN DISTRIBUTION NETWORKS BY DETECTING WEAR-OUT SECTIONS OF POWER LINES USING UAV**

Davydova Ksenia Aleksandrovna<sup>1</sup>, Naumov Oleg Vitalievich<sup>2</sup>

The value of technical losses of electricity is influenced by several factors: load losses, conditionally constant losses, errors of metering devices. The elimination and reduction of the impact of these phenomena is taken into account in the approved Digital Transformation program. Today, little attention is paid to the losses that occur in the worn sections of power lines due to defects in structures and materials. Detection of wear and tear, leading to power losses, is possible using UAVs.

**Key words:** losses in lines, measures to eliminate losses in networks, detection of defects in lines

С каждым годом в РФ увеличивается количество потребляемой электроэнергии. В условиях реального электроснабжения между производителями электрической энергии и потребителями присутствует промежуточное звено -распределительные электрические сети. Транспортировку электроэнергии выполняют отдельные предприятия, которые распределяют и передают электрическую энергию от станций генерации до конечного потребителя[1]. На рисунке 1 показана динамика роста потребления и максимумов потребления мощности [2]. Передачей электроэнергии на различных классах напряжений в РФ занимаются несколько компаний. Самой крупной является ПАО «Россети» со своими дочерними структурами. Совокупная протяженность ЛЭП ПАО «Россети» с каждым годом увеличивается. В 2018 году – 2,35 млн.км, в 2019 году – 2,37 млн.км, в 2020 году – 2,40 млн.км [3]. В ведении обслуживания дочерних компаний ПАО «Россети» находятся «Россети - Центр» эксплуатируют 400,8 тыс.км ЛЭП по трассе и 277,1 тыс. км «Россети - Центр и Приволжье». На рисунке 2 представлено распределение ЛЭП по классам напряжений Россети «Центр» и Россети «Центр и Приволжье»[4].

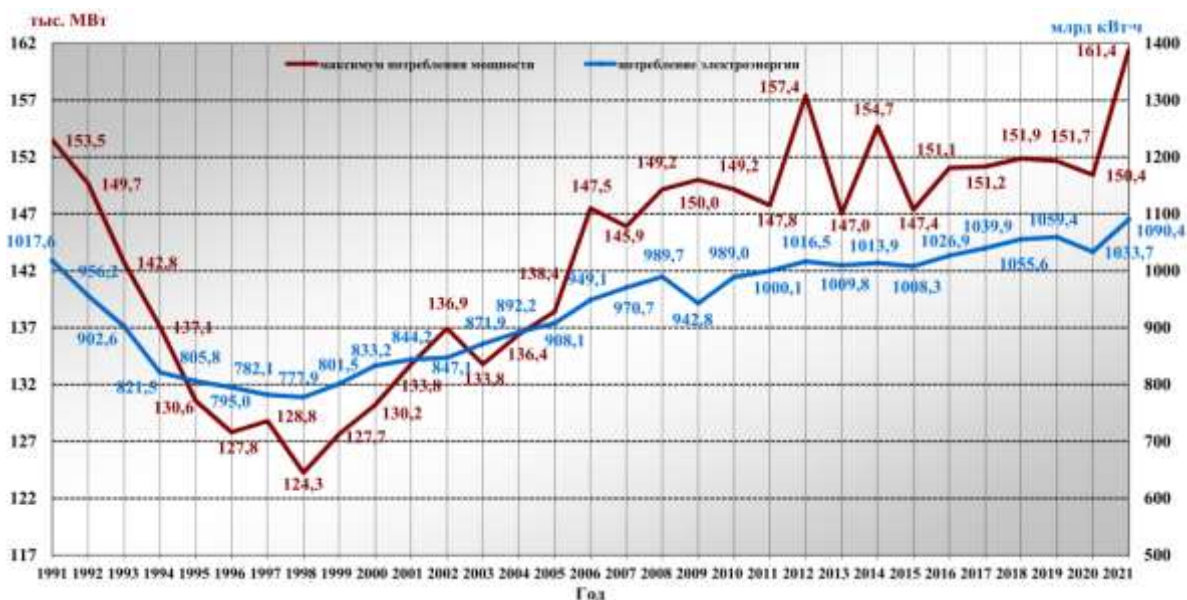


Рис. 1. Динамика изменения потребления электроэнергии и мощности по ЕЭС России [2].



Рис. 2. Распределение ЛЭП по классам напряжений «Россети Центр» и «Россети Центр и Приволжье»[4].

В распределительных сетях разных напряжений ежегодно фиксируются значительный процент потерь электроэнергии. Из представленных на рисунке 3 потерь в электрических сетях «Россети Центр» и «Россети Центр и Приволжье» видно, что в данных предприятиях наблюдается снижение потерь по сравнению с предыдущим годом. Однако в целом в электросетевых компаниях из-за изношенности ЛЭП и парка оборудования, величина потерь с каждым годом увеличивается. В таблице 1 показаны потери электроэнергии по напряжениям, возникшие в сетях на примере ОАО «МРСК Урала».

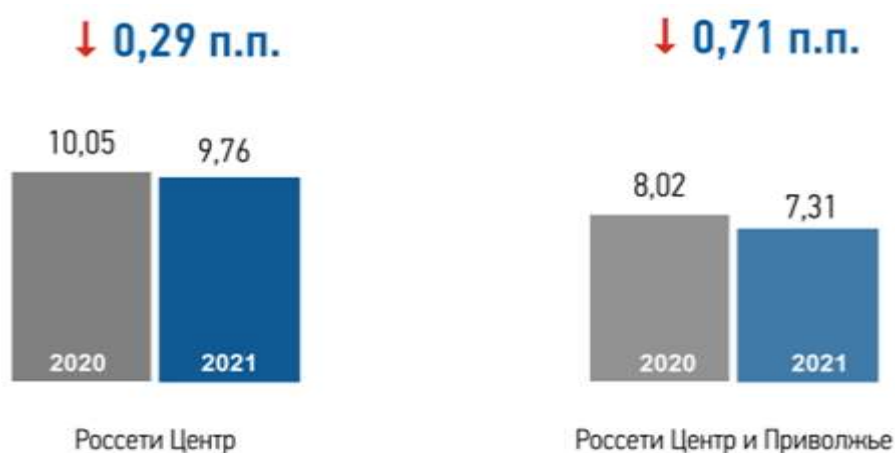


Рис. 3. Потери электроэнергии зарегистрированные «Россети Центр» и «Россети Центр и Приволжье», %[4].

Таблица 1

Потери электроэнергии, возникшие в сетях ОАО «МРСК Урала» по напряжениям [5]

Показатель	РСК	ВН	СН1	СН2	НН
Потери электроэнергии, возникшие в сетях ОАО «МРСК Урала» (относительные), %	Пермэнерго	3,29	3,81	4,37	8,50
	Свердловэнерго	2,04	1,78	3,75	11,23
	Челябэнерго	2,77	1,99	5,04	10,60
	МРСК Урала	2,56	2,63	4,36	10,08

В таблице 2 представлен уровень потерь электроэнергии крупных сетевых компаний в относительных единицах за последние 3 года.

Таблица 2

Уровень потерь электроэнергии крупных сетевых компаний [3]

	Уровень потерь электроэнергии, %		
	2018	2019	2020
Россети ФСК ЕЭС	8,39	8,16	4,3
Итого по Группе «Россети»	8,95	8,58	8,64

На ближайшие четыре года ПАО «Россети» планирует увеличивать протяженность своих ЛЭП. В таблице 3 показана поэтапная программа увеличения основных фондов ЛЭП до 2025 года.



## Инвестиционная программа ПАО «Россети» на 2021-2025 гг. [3]

Ввод в основные фонды ЛЭП, тыс.км					
	2021	2022	2023	2024	2025
Распределительный комплекс	17,6	17,3	14,4	14,7	12,6
Магистральный комплекс	1,1	4,2	0,7	1,1	-
Итого в ПАО «Россети»	18,7	21,5	15,0	15,8	12,6

Наряду с увеличением протяженности ЛЭП будет увеличиваться и значение технических потерь электроэнергии в линиях. Технические потери, возникающие при ее передаче, состоят из условно-постоянных потерь - не зависящих от величины передаваемой мощности, и нагрузочных потерь - объем которых зависит от величины передаваемой мощности.[9]

Определение технологических потерь электроэнергии в электрических сетях в целом и по уровням напряжения осуществляется в следующем порядке: определение нагрузочных потерь электроэнергии, определение условно-постоянных потерь электроэнергии, определение потерь электроэнергии обусловленных допустимыми погрешностями системы учета электроэнергии, определение отпуска электроэнергии в сеть.[8] Не маловажным фактором является и выявление и учет потерь энергии на изношенных участках сети. Однако выявлением данных случаев возможно только при визуальном осмотре. Так, например, в числе мероприятий по снижению технических потерь в сетях в Россети Урал в 2021 году были проведены: замена проводов на большее сечение на перегруженных ЛЭП, замена перегруженных или недогруженных трансформаторов, выравнивание нагрузок фаз в распределительных сетях 0,38 кВ[5].

В рамках масштабной программы в ПАО «Россети» «Цифровой трансформации» проводятся большие структурные изменения и подходы к логике технологических и корпоративных процессов управления компанией на основе проведения бизнес-аналитики с использованием больших данных. В середине августа 2021 года в ПАО «Россети» начали использование дронов Aeromotus в Ленинградской области. Беспилотники применяются на воздушных линиях электропередачи наиболее массового класса напряжения – 6-10 кВ – при проведении аварийно-восстановительных работ [6]. В числе многочисленных задач решаемых БЛА являются: мониторинг (оптический и тепловизионный) для выявления аварийных ситуаций и перегревов (ведущих к значительным потерям в сети); контроль коррозии деталей опор, оголения и ржавления арматуры. Использование БЛА позволит провести ранжирование наиболее изношенных участков ЛЭП, выводя их на первый план по программе

замены. Что позволит внести корректировки в оценки состояния оборудования системы электроснабжения выполняется на основе обобщенного индекса технического состояния[7].Таким образом использование БЛА внесет свою часть в программу уменьшения потерь в электрических сетях путем значительного уменьшения времени эксплуатации наиболее изношенных участков ЛЭП, эксплуатирующихся с большими потерями электроэнергии.[10] Возникает потребность во включении в пункты регламента всех предприятий, содержащих на балансе ЛЭП, осмотра ЛЭП с использованием БЛА, носящих обязательный характер и с наибольшей периодичностью.[11]

Выводы: на основании данных исследований и проведенного анализа целей уменьшения потерь в распределительных сетях помимо изложенных в программе ПАО «Россети» «Цифровой трансформации» пунктов возникает необходимость дополнить использованием БЛА с внесением в обязательный регламент для всех электросетевых предприятий и с учащенной периодичностью.

### **Источники**

1. Секретарев Ю.А., Меняйкин. Д.А. Особенности расчетов последствий отказов электроснабжения в распределительных сетях с монопотребителем электрической энергии // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2020. Т. 22. № 2. 43-50 с. doi:10.30724/1998-9903-2020-22-2-43-50.

2. Официальный сайт АО «Системный оператор Единой энергетической системы».[Электронный ресурс]. [www.so-ups.ru](http://www.so-ups.ru)(дата обращения: 10.03.2022).

3. Официальный сайт ПАО «Россети» [Электронный ресурс]. <https://rosseti.ru>(дата обращения: 23.03.2022).

4. Официальный сайт ПАО «Россети Центр и Приволжье» [Электронный ресурс]. <https://mrsk-cp.ru>(дата обращения: 20.02.2022).

5. Официальный сайт ПАО «Россети МРСК – Урал» [Электронный ресурс]. <https://rosseti-ural.ru> (дата обращения: 5.04.2022).

6. Официальный сайт ПАО «Россети Ленэнерго» [Электронный ресурс]. <https://rosseti-lenenergo.ru/press/smi/127103.html>(дата обращения: 22.03.2022).

7. Секретарев Ю. А., Левин В. М. Оценка влияния на надежность системы электроснабжения различного рода дефектов ее основных элементов. Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2019, Т. 11. № 4(44). 55-63 с.

8. Абдуллазянов Э.Ю., Грачева Е.И., Горлов А.Н.[и др.] Исследование качества функционирования электрических аппаратов низкого напряжения в составе электротехнических комплексов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 6. 3-15 с.

9. Синюков А.В., Синюкова Т.В., Грачева Е. И. [и др.] Оптимизированные бездатчиковые системы управления механизмами перемещения грузов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 6. 87-98 с.

10. Петрущенко В.А., Коршакова И.А. Качественный и количественный анализ тепловой энергетики малых мощностей в России.// Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2020. Т. 22. № 5. 52-70 с.

11. Афанасьева О.В., Галькеева А.А., Вафин А.Р., Мингалеева Г.Р. Региональные аспекты использования угля на объектах малой распределенной энергетики // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 19. № 9-10. 85-93 с.

12. 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.

13. Восстановление поверхности теплообмена в условиях ее загрязнения при конденсации парогазовой смеси / А. В. Дмитриев, Г. Р. Бадретдинова, С. Д. Борисова, А. Н. Николаев // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 1. С. 176-185. DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-1-176-185. EDN LZIELB.

УДК 536.12.34

## **ВЛИЯНИЕ НАНОПОРОШКОВ НА ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ МАГНИТНЫХ ЖИДКОСТЕЙ НА ОСНОВЕ ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА**

Джураев Дадахон Собирджонович

к.т.н., ст. преподаватель, Политехнический институт Таджикского технического  
университета им. ак. М.С. Осими, Худжанд, Таджикистан  
juraev77@mail.ru

В данной статье рассматривается экспериментальное исследование теплопроводность трансформаторного масла в зависимости от концентрации нанопорошков в интервале температур 298-473 К при атмосферном давлении.

**Ключевые слова:** теплопроводность, теплоноситель, нанопорошок, нанопорошок, трансформаторное масло

# EFFECT OF NANOPOWDERS ON THERMAL CONDUCTIVITY OF MAGNETIC FLUIDS BASED ON TRANSFORMER OIL

Juraev Dadakhon Sobirjonovich

This article discusses an experimental study of the thermal conductivity of transformer oil depending on the concentration of nanoferrromagnetic materials in the temperature range of 298-473 K at atmospheric pressure

**Key words:** thermal conductivity, coolant, nanopowder, nanoferrromagnet, transformer oil

Применение магнитных жидкостей в различных областях науки и техники предопределяют и разнообразие требований к их физико-химическим характеристикам с учётом конкретных условий их использования. В большинстве случаев ряд свойств магнитных жидкостей однозначно определяет эффективность её работы независимо от сферы применения. Среди них можно назвать намагниченность насыщения и устойчивость к действию гравитационных сил и магнитных полей, – чем они выше, тем, как правило, достигаются более высокие выходные показатели магнитожидкостных устройств. О других свойствах магнитных жидкостей этого сказать нельзя, так как они дифференцированы в зависимости от условий применения. К таким характеристикам магнитных жидкостей можно отнести вязкость, испаряемость, токсичность, термостойкость и специальные требования по химической устойчивости к рабочим средам, что достаточно подробно было освещено в литературе [1-4]. Например, при использовании в скоростных уплотнениях и подшипниковых узлах магнитные жидкости должны обладать низкой вязкостью и испаряемостью в сочетании с высокой термостойкостью; при использовании в качестве магнитных чернил – наоборот, высокой испаряемостью. При использовании магнитных жидкостей в биологии и медицине необходимо учитывать, что они должны обладать нетоксичностью и устойчивостью при контакте с живыми клетками и тканями организма [5– 7].

В данный момент свойство магнитных жидкостей полностью не изучено. Поэтому исследования свойства магнитных жидкостей являются актуальными.

Для измерения теплопроводности и теплоемкости растворов трансформаторного масла и магнитных жидкостей (трансформаторное масло+железо) нами использован метод монотонного разогрева, предложенный профессором Е.С. Платуновым .

Измеритель предназначен для исследования температурной зависимости теплопроводности твердых, механически обрабатываемых материалов в режиме монотонного нагрева.

На основу этого режима положен нагрев или охлаждение исследуемого образца [8.9].

Подробное описание установки и методика расчета приведены в [10]

Поправка учитывающие теплоемкость образца.

$$\sigma_c = \frac{C_o}{2 \cdot (C_o + C_c)}$$

где  $C_o = C(t) \cdot m_{обр}$  - полная теплоемкость испытуемого образца;  $C(t)$  - удельное теплоемкость трансформаторного масло в зависимости от температуре;

$m_{обр} - 10^{-3}$  кг масса образца;

$C_c = C_m(t) \cdot m_c$  - полная теплоемкость стержня;

$C_m(t)$  - удельное теплоемкость меди в зависимости от температуре;

$m_c - 10^{-3}$  кг масса стержня (приведен в техническом описание установки).

Тепловое сопротивление образца

$$P_o = \frac{V_o \cdot S(1 + \sigma_c)}{V_T \cdot K_T}$$

где  $V_o$  - перепад температуры на образце;  $V_T$  - перепад температуры на тепломере;

$S$  - площадь поперечного сечение образца  $m^2$ .

Тепловое проводимость пластины

$$K_T = \frac{V_o}{V_T} \cdot \frac{\lambda_{Т.М}}{h_T} \cdot S \cdot (1 + \sigma_c)$$

где  $\lambda_{Т.М}$  - теплоемкость трансформаторного масло в зависимости от температуры;

$h_{Т.М}$  - высота образца при 100% трансформаторного масло.

Теплопроводность :

$$\lambda = \frac{h}{P_o}$$

где  $h$  - высота испытуемого образца.

Нами экспериментально исследована теплопроводность трансформаторного масла в зависимости от концентрации наноферромагнитных материалов в интервале температур 298-473 К при атмосферном давлении [4-9].

Характер изменения теплопроводности от температуры и от концентрации наноферромагнитных материалов показывают, что с ростом температуры и концентрации наноферромагнитных материалов теплопроводность исследуемых объектов уменьшается по линейному закону.[11-14]Для обобщения экспериментальных данных по теплопроводности трансформаторного масла в зависимости от концентрации наноферромагнитных материалов использован закон соответственных состояний в виде следующей функциональной зависимости

$$\frac{\lambda}{\lambda_p^*} = f\left(\frac{T}{T_1}\right)$$

где  $\lambda$  - теплопроводность испытуемого образца зависимости от температур

$\lambda_p^*$  -теплопроводность испытуемого образца при  $T_1$

$T$ - температура при которой проводятся испытания

$T_1=348K$  - постоянная температура

Отсюда:

$$\lambda_{p_i} = \left[ -3.957 \cdot 10^{-1} \left(\frac{T}{T_1}\right)^2 + 5.034 \cdot 10^{-1} \left(\frac{T}{T_1}\right) + 8.93 \cdot 10^{-1} \right] \cdot 0.1057 - 1.82 \cdot 10^3 \cdot m$$

С помощью уравнения можно вычислить теплопроводность экспериментально неисследованных жидкостей, в зависимости от температуры, с погрешностью 3%.

Для такого вычисления необходимо располагать только значением массовой концентрации.

### Источники

1. Такетоми С., Тикадзуми С. Магнитные жидкости. Пер. с англ. / Под редакцией В. Е. Фертмана. М.: Мир, 1993. 69 -94, 113 122, 125-137с.

2. Фертман В. Е. Магнитные жидкости. Минск.: Высш. школа, 1988. 9-44, 104-162с.

3. Определение характеристик трансформаторного масла спектральным методом / Д. М. Валиуллина, Ю. К. Ильясова, В. К. Козлов [и др.] // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Т. 13. № 1(49). С. 66-74. EDN ZPNNCZ.

4. Ву, Н. З. Хроматографические методы исследования органических экстрагентов трансформаторного масла / Н. З. Ву, В. Ф. Новиков // Известия

высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2020. Т. 22. № 6. С. 202-210. DOI 10.30724/1998-9903-2020-22-6-202-210. EDN MDVFET.

5. Левин Б. Е., Третьяков Ю. Д., Летюк Л. Ф. Физико-химические основы получения, свойства и применение ферритов. М.: Металлургия, 1979. С.55 – 67, С.88-110.

6. Третьяков Ю. Д., Олейников Н. Н., Можаяев А. П. Основы криохимической технологии. М.: Высшая школа, 1987. С.104-114.

7. Нестеренко В. М., Апросин Ю. Д., Шлимак В. М. // Тез. Докл. III Всесоюзн. Конф. по применению магнитных жидкостей в биологии и медицине. Сухуми, 1989. С.158 – 159.

8. Маджидов Х., Двойкин Е.П., Богданов А.И., Зубайдов С., Сафаров М.М. Экспериментальная установка для измерения теплопроводности жидкостей методом монотонного разогрева. Приборостроение, 1989.Т.32.- №12 .С.78-81.

9. Платунов Е.С. Теплофизические измерения в монотонном режиме / Е.С. Платунов. Л.: Энергия, 1973. 142 с.

10. Платунов Е.С. Теплофизические измерения и приборы / [Е.С Платунов., С.Е. Буравой, В.В. Курепин и др.].Л.: Машиностроение, 1986.

11. Валиуллина Д.М., Ильясова Ю. К., Козлов В.К. Качественные методы спектрального анализа в диагностике трансформаторных масел // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2019. Т. 21. № 1-2. 87-92 с.

12. Дремичева Е.С., Зверева Э.Р., Бурганова Ф.И., Зверев Л.О. Перспективы технологии совместного сжигания биомассы и угля на объектах энергетики // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 1.119-130 с.

13. Липантьев, Р.Е., Тутубалина В.П. Влияние сжигания сернистых мазутов на окружающую среду // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2017. Т. 19. № 5-6. 144-148 с.

14. Козлов, В.К., Сабитов А. Х. Степень полимеризации бумажной изоляции силовых трансформаторов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2018.Т. 20. № 9-10. 34-38 с.

15. Ценовые характеристики источников электроэнергии мини и микрогрид / А. В. Паздерин, В.О. Самойленко, Н. Д. Мухлынин, П. А. Крючков // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 1(53). С. 122-139. EDN GFPVIZ.

## ЗАВИСИМОСТЬ ПЛОТНОСТИ МАГНИТНЫХ ЖИДКОСТЕЙ НА ОСНОВЕ ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА ОТ ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТИ

Джураев Дадахон Собирджонович

к.т.н., ст. преподаватель, Политехнический институт Таджикского технического  
университета им. ак. М.С. Осими, Худжанд, Таджикистан  
juraev77@mail.ru

В данной статье рассматривается экспериментальное исследование температуропроводности магнитных жидкостей на основе трансформаторного масла методом лазерной вспышки, в зависимости от давления в интервале 0,101-29,4 МПа и плотностей, равных 1027, 1102, 1177, 1260 и 1331 кг/м<sup>3</sup>, при комнатной температуре.

**Ключевые слова:** температуропроводность, магнитная жидкость, трансформаторное масло, плотность

## RELATIONSHIP OF THE DENSITY OF MAGNETIC FLUIDS BASED ON TRANSFORMER OIL ON THERMAL DIFFUSIVENESS

Juraev Dadakhon Sobirjonovich

This article discusses an experimental study of the thermal diffusivity of magnetic fluids based on transformer oil using a laser flash method depending on pressure in the range of 0.101-29.4 MPa and density 1027, 1102, 1177, 1260 and 1331 kg/m<sup>3</sup> at room temperature.

**Key words:** temperature-conductivity, magnetic fluid, transformer oil, density

Магнитные жидкости - это растворы, которые содержит ферромагнитные материалы размеры которых достигает от 5 нано до 10 микрометров. [1].

В работах [ 2-10] приведены способы получения магнитных жидкостей.

Нами экспериментально исследована температуропроводность исследуемых объектов методом лазерной вспышки, в зависимости от давления в интервале от 0,101 до 29,4 МПа и плотностях 1027, 1102, 1177, 1260 и 1331 кг/м<sup>3</sup> при комнатной температуре. Данный метод основан на быстром локальном нагреве поверхности образца лазерным импульсом, при этом измеряется температура образца и поглощенная им энергия.

Перечень методов измерения температуропроводности приведен в [11]. В настоящее время, примерно 75 % данных по температуропроводности, получены методом лазерной вспышки [12].



Установки, по использованию метода лазерной вспышки, начиная с 80-х годов прошлого века постоянно совершенствовались, в том числе и в странах СНГ. Эти установки позволили измерять теплоемкости жидкостей при комнатной температуре. Наша установка позволяет измерять теплопроводность и температуропроводность прозрачных твердых тел, жидкостей и растворов, в зависимости от давления и индукции магнитного поля, при комнатной температуре.

Полученные экспериментальные значения температуропроводности исследуемых объектов, в зависимости от плотности при комнатной температуре приведены в таблице 1.

Таблица 1

Экспериментальные значения температуропроводности образца в зависимости от плотности.

$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	1027	1102	1177	1260	1331
$a \cdot 10^{-7}$ , м <sup>2</sup> /с	0,8734	0,94589	1,0393	1,1686	1,3636

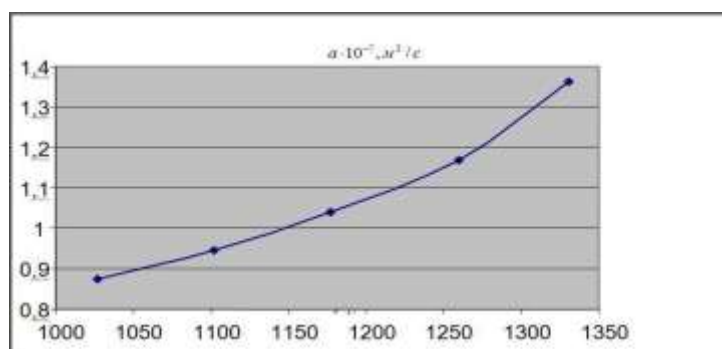


Рис 1. Температуропроводность  $a \cdot 10^{-7}$ , м<sup>2</sup>/с испытуемого образца без влияния магнитного поля в зависимости от плотности

Характер изменения температуропроводности от плотности испытуемых образцов показан на рис.1, из которых видно, что с ростом плотности температуропроводность магнитных жидкостей на основе трансформаторного масла увеличивается.

### Источники

1. Прохоров А.М. Физическая энциклопедия / А.М. Прохоров. М.: Сов. энциклопедия. 1990. Т.2. С.673-675.

2. Berkowits A.E. Journ. Mag. Magn Mat / A.E. Berkowits, J. L. Walter. 39, 1983, 75 p.
3. Kilner M. IEEE Trans. Magn / M. Kilner, S. R. Hoon, D.B. Lambric, J. A. Potton, B. K. Tanner. MAG -20, 1984.1735 p.
4. Kimoto K. Jpn. Journ. Appl. Phys / K. Kimoto. Y. Kamiay, M. Novoyama, R. Ueda: 2 , 1963, –702 p.
5. Berkowits A.E. Materi. Sci. Engin / A.E. Berkowits, J. L. Walter. 55, 1982. –275 p.
6. Thomas J. R. Appl. Phys / J. R. Thomas. 37, 1966. 2914 p.
7. Hoon S.R. Journ. Magn. Magn. Mat / S.R. Hoon, M. Kilner, G.J.Russel, B.K. Tanner.39, 1987.35 p.
8. Такетоми С. Магнитные жидкости: Пер. с англ. / Под редакцией В. Е. Фертмана. М.: Мир, 1993. 69 -94, 113-122, 125-137с.
9. Определение характеристик трансформаторного масла спектральным методом / Д. М. Валиуллина, Ю. К. Ильясова, В. К. Козлов [и др.] // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Т. 13. № 1(49). С. 66-74. EDN ZPNNCZ.
10. Ву, Н. З. Хроматографические методы исследования органических экстрагентов трансформаторного масла / Н. З. Ву, В. Ф. Новиков // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2020. Т. 22. № 6. С. 202-210. – DOI 10.30724/1998-9903-2020-22-6-202-210. – EDN MDVFET.
11. Taylor R. E. Heat-pulse thermal diffusivity measurements / R. E. Taylor // High Temperatures- High Pressures. 1979. V. 11. P. 43–58.
12. Клименко А.В. Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент / А.В. Клименко, В.М.Зорина. 3-е издание. – М.: Издательство МЭИ, 2001. –560 с.
13. Басенко В.Р., Владимиров О.В., Ившин И.В., Низамиев М.Ф. Бесконтактный лазерный контрольно-измерительный комплекс для определения уровня прессовки обмоток и магнитопровода силового трансформатора // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 3. 140-153 с.
14. Козлов В.К., Гарифуллин М.Ш., Сабитов А.Х., Гиниатуллин Р.А. Люминесцентные свойства бумажной изоляции маслонаполненных трансформаторов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2018. Т. 20. № 11-12. 144-151 с.
15. Яруллин Р.С., Салихов И.З., Черезов Д.З., Нурисламова А.Р. Перспективы водородных технологий в энергетике и в химической промышленности // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 2. 70-83 с.

16. Филимонова А.А., Чичиров А.А., Чичирова Н.Д. [и др.] Перспективы развития водородной энергетики в Татарстане // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2020. Т. 22. № 6. 79-91 с.

17. Alzakkar, A. Estimation of load angle of synchronous turbo-generator model TGH-32 / A. Alzakkar, N. Mestnikov, Yu. Samofalov // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Vol. 14. No 2(54). P. 40-47. EDN EMMACU.

УДК 681.586.78

## ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ДВИГАТЕЛЯ С КОМБИНИРОВАННОЙ ОБМОТКОЙ

Доан Нгок Ши<sup>1</sup>, Цветков Алексей Николаевич<sup>2</sup>

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

ngocsynd@gmail.com

В данной работе представлены исследования по совмещению электропривода электродвигателем с комбинированной обмоткой (ЭКО). Это тип двигателя, усовершенствованный по сравнению с обычным асинхронным двигателем с обмоткой статора, состоящей из комбинации двух обмоток звезды и треугольника, соединенных параллельно. Для управления этим двигателем инвертор построен на основе векторного управления методом прогнозирования прямого управляющего напряжения. Алгоритм основан на минимизации целевой функции, вычисляющей погрешность между эталонным значением и фактическим значением прямых параметров и параметров на оси d - q статора. Эталонные значения напряжения статора на оси d-q получаются с помощью комбинации управления аperiodическим управлением модели прогнозирования. Алгоритм прямого управления напряжением статора упрощает управление, экономит время вычислений и уменьшает потери.

**Ключевые слова:** электропривода, электродвигателем с комбинированной обмоткой, инвертор, алгоритм управления

## RESEARCH OF AN ELECTRIC DRIVE MODEL USE MOTOR WITH COMBINED WINDING

DoanNgocSy<sup>1</sup>, Tsvetkov Alexey Nikolaevich<sup>2</sup>

This paper presents research on electric drive combination by electric motor with combined winding. It is a type of motor that is improved from a conventional asynchronous motor with a stator winding consisting of a combination of two star and delta windings connected in parallel. To

control this motor, the inverter is built based on vector control by direct control voltage prediction model method. The algorithm is based on minimizing the objective function that calculates the error between the reference value and the actual value of the direct parameters and the parameters on the d - q axis of the stator. The reference values of the stator voltage on the d-q axis are obtained through the deadbeat control combination of the prediction model. The stator voltage direct control algorithm makes the control simple, saves computation time and reduces loss.

**Key words:** electric drive, electric motor with combined winding, inverter, control algorithm

В настоящее время, по разным оценкам, удельный расход электроэнергии асинхронным двигателем в мире составляет от 47 до 53 % от общего объема электроэнергии, потребляемой в промышленности. Он присутствует во всех технологических процессах, связанных с движением, и охватывает все важные области человеческой деятельности. Поэтому построение системы передачи асинхронного двигателя, устойчиво работающей, энергосберегающей и отвечающей технологическим процессам, вызывает большой интерес у многих ученых[1-3]. Одним из типов двигателей, который находится в центре внимания исследований, поскольку они имеют много выдающихся преимуществ по сравнению с обычными трехфазными двигателями переменного тока, является асинхронный двигатель с комбинированными обмотками (ЭКО). К преимуществам ЭКО можно отнести высокий КПД, плавный момент, снижение колебаний сигнала управления, уменьшение тока в фазах статора и снижение частоты ошибок при работе [4]. Также экспериментально показано, что ЭКО во всем диапазоне нагрузок имеет меньшую потребляемую мощность, чем обычные двигатели. При номинальной нагрузке ЭКО имеет более высокий КПД 3,1%, но разница более заметна при работе при более низких нагрузках, чем номинальная[5]. Необходимо исследовать алгоритм управления ЭКО для достижения оптимальных характеристик, таких как снижение вибрации, высокая эффективность и простота реализации[6]. Для решения вышеуказанных задач предлагается модель прогнозирования прямого управляющего напряжения для ЭКО без использования датчиков. Предлагаемый алгоритм основан на использовании целевой функции, состоящей из двух составляющих, представляющей собой разность между эталонным значением напряжения статора на оси d-q и соответствующим фактическим значением. Целевая функция модели прогнозирования напряжения прямого управления описывается следующим уравнением:

$$C_k^j = |u_{ds,k}^* - u_{ds,k}^{rf}|^j + |u_{qs,k}^* - u_{qs,k}^{rf}|^j + |0 - u_{xs,k}^{rf}|^j + |0 - u_{ys,k}^{rf}|^j$$

где:  $j$  – показатель напряжения. Эталонные значения  $u_{xs,k}^*$  и  $u_{ys,k}^*$  устанавливаются равными 0, чтобы уменьшить потери мощности. Эталонные значения напряжений статора  $u_{ds,k}^*$ ,  $u_{qs,k}^*$  выводятся посредством применения принципа апериодического управления в контроллере прогнозирования напряжения.

Целевая функция (1) использует опорные составляющие статорного напряжения на оси d-q для определения оптимального вектора напряжения, подводимого к статору ЭКО.[8] Выбор оптимального вектора напряжения с использованием целевой функции в приведенном выше уравнении основан на минимизации разницы между эталонным вектором напряжения и фактическим вектором напряжения.[9] Последовательность смещения векторов напряжения и состояния их переключения подробно описаны в статье [7]. Из целевой функции (1) видно, что есть однотипные компоненты, поэтому нет необходимости использовать веса, что экономит время вычислений.

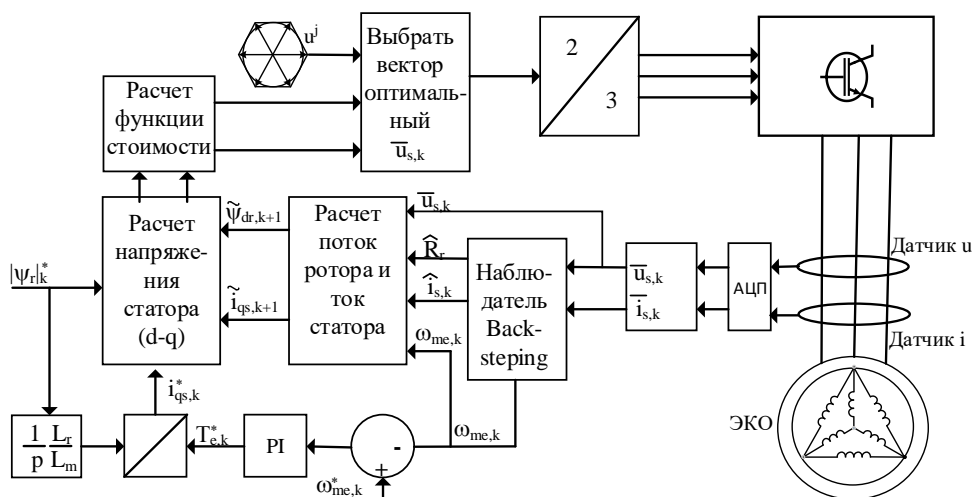


Рис. 1. Схема системы управления для ЭКО

Модель прогнозирования прямого управления напряжением начинает работать с измерения напряжения и тока статора. Измеренное значение подается через преобразователь АЦП, который генерирует соответствующий цифровой сигнал. Эти сигналы затем используются для подачи данных обратному наблюдателю, который прогнозирует ток статора, поток ротора и скорость. Прогнозируемая скорость возвращается обратно в контроллер скорости для расчета опорного значения крутящего момента (опорное значение тока статора по оси q). Эталонные значения потока ротора и тока статора сравниваются с реальным значением, из которого микроконтроллер будет принимать решение о выборе наиболее оптимального вектора напряжения, чтобы через обратное преобразование Парка и Кларка мы могли получить

управляющий сигнал управления мощностью. транзисторы. На рис представлена подробная схема работы модели прогнозирования прямого управляющего напряжения, предложенной в данной статье.

Чтобы проверить алгоритмическую точность модели, тесты выполняются на комбинации тестового оборудования.[10] Двигатель ЕСО улучшен от оригинального двигателя А4804А мощностью 1,1 кВт. К валу двигателя ЕСО подключаются инвертор и другой двигатель, что позволяет тестировать режимы работы с различными параметрами нагрузки. Результаты экспериментов показывают, что расчетные значения скорости следуют своим фактическим значениям с очень небольшими отклонениями. Крутящий момент статора и траектория потока колеблются ниже, чем в модели предсказания прямого управления крутящим моментом.[11] Основываясь на анализе, представленном в этой статье, мы пришли к выводу, что метод моделирования прогнозирования прямого управляющего напряжения может быть использован в качестве лучшей альтернативы методу моделирования прямого управляющего напряжения.

### **Источники**

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. Т.23. №3. С.116-126.

2. Грудинин В.С., Сбоев В.М., Лалетин В.И. Моделирование микропроцессорного управления частотным преобразователем асинхронного двигателя: AdvancedScience. 2017. №1. С. 232.

3. Wang, F., Zhang, Z., Mei, X., Rodríguez, J., Kennel, R. Advanced Control Strategies of Induction Machine: Field Oriented Control, Direct Torque Control and Model Predictive Control: Energies. 2018. 11. 120. pp. 1-13.

4. Мощинский Ю. А., Соколова Е. М. Преимущества и недостатки совмещенной обмотки «славянка»: Электричество. 2018. №11. С. 23–31.

5. Мартынов К.В., Пантелеева Л.А., Благодатских И.А. Оценка энергетических характеристик асинхронного двигателя с совмещённой обмоткой. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021; Т.23 №6. С109-118.

6. Цветков А.Н., Доан Н. Ш. Аппаратно-программный комплекс для экспериментального исследования электроприводов асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором с традиционной обмоткой и двигателей с комбинированной обмоткой: Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021: Т.23 №6. С157-165.

7. NgocSyDoan, Alexey Nikolaevich Tsvetkov, and ThiHoaNguyen. Study and implementation of space vector pulse width modulation inverter on an arduino: E3S Web of Conferences. 2021: vol.288. pp. 1-6.

8. Валиуллина Д.М., Ильясова Ю. К., Козлов В.К. Качественные методы спектрального анализа в диагностике трансформаторных масел // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2019. Т. 21. № 1-2. 87-92 с.

9. Дремичева Е.С., Зверева Э.Р., Бурганова Ф.И., Зверев Л.О. Перспективы технологии совместного сжигания биомассы и угля на объектах энергетики // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 1. 119-130 с.

10. Козлов, В.К., Сабитов А. Х. Степень полимеризации бумажной изоляции силовых трансформаторов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2018. Т. 20. № 9-10. 34-38 с.

11. Липантьев, Р.Е., Тутубалина В.П. Влияние сжигания сернистых мазутов на окружающую среду // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2017. Т. 19. № 5-6. 144-148 с.

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 ZIJECR.

УДК 621.315

## **КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ ГИРЛЯНД ЗАГРЯЗНЕННЫХ ИЗОЛЯТОРОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ УСЛОВИЯХ УВЛАЖНЕНИЯ**

Зарипов Дамир Камилевич<sup>1</sup>, Закиров Динар Файзелханович<sup>2</sup>, Петров Антон Викторович<sup>3</sup>

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

[dzaripov@list.ru](mailto:dzaripov@list.ru)

В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований, направленных на изучение состояния подвесных высоковольтных гирлянд изоляторов при их равномерном загрязнении и увлажнении. Путем регистрации значений амплитуды синусоидальной составляющей и импульсов тока утечки, а также сигналов, поступающих с дистанционного датчика, выявлены характерные при увлажнении загрязненной изоляции особенности которые можно использовать в качестве диагностических признаков.

**Ключевые слова:** воздушные линии электропередачи, контроль состояния изоляторов, онлайн системы диагностики изоляции

# MONITORING OF CONTAMINATED OVERHEAD LINE INSULATORS UNDER WET CONDITIONS

Zaripov Damir Kamilevich<sup>1</sup>, Zakirov Dinar Fayzelkhanovich<sup>2</sup>, Petrov Anton Viktorovich<sup>3</sup>

This paper presents the results of experimental studies aimed at studying the condition of suspended high-voltage insulator daisy chains under their uniform contamination and dampening. By recording the values of the amplitude of the sinusoidal component and leakage current pulses, as well as signals from the remote sensor, the characteristic features of dirty insulation when dampening are revealed, which can be used as diagnostic signs.

**Keywords:** overhead power lines, control of insulator condition, online systems of insulation diagnostics

Введение. Воздушные линии электропередачи (ВЛЭП) и установленное на них оборудование (изоляторы, линейная арматура, разрядники и т. д.) в значительной мере определяют надёжность электроснабжения потребителей различной категории. Согласно материалам информационной бюллетени, выпущенной Исполнительным комитетом Электроэнергетического Совета СНГ [1], за 2020 год в ЕЭС России произошло 16 215 технологических нарушений, 57,4 % (9 312) из которых вызваны аварийными отключениями линий электропередачи напряжением 110 кВ и выше. В период с января по сентябрь 2021 года это число выросло на 4 % по сравнению с прошлым годом и составило 11 836 отключений [2]. При этом одним из наиболее повреждаемых элементов ВЛЭП оказались высоковольтные изоляторы -17,3 % аварий в 2020 году произошло вследствие их повреждения или перекрытия.

В процессе эксплуатации изоляция ВЛЭП подвергается влиянию различных видов электрических воздействий (рабочее напряжение, атмосферные и внутренние перенапряжения и т. д.), одновременно с ними на работу изоляции ВЛЭП оказывают влияние окружающие атмосферные условия. Причем наиболее сильно на работу изоляции влияют атмосферные осадки (дождь, туман, роса и т. д.), а также твердые, жидкие и газообразные частицы различных веществ, осаждающихся на поверхность изолятора из воздуха и образующие на ней с течением времени слой загрязнения. При увлажнении этого слоя атмосферной влагой увеличивается его электропроводность, что снижает изолирующую способность всей изоляционной конструкции ВЛЭП. При этом увлажнение изолятора, вызванное туманом, намного опаснее, чем увлажнение, происходящее при дожде. Во время тумана поверхность изолятора увлажняется более равномерно – смачиваются как верхние, так и нижние поверхности его юбок, в то время как при дожде часть поверхности изолятора остается сухой.



Основная часть научных исследований направлена на изучение электрических характеристик изоляторов (разрядное напряжение, амплитуда синусоидальной составляющей и импульсов тока утечки при разрядах, омическое сопротивление и др.) в различных условиях близких к реальным условиям эксплуатации (фазные напряжение, погодные условия, загрязнения и т. д.). При этом изучение влияния загрязнения и увлажнения поверхности изоляционных конструкций на их разрядные характеристики остается актуальной научной задачей и на сегодняшний день. Решение данной задачи позволит развить существующие представления о механизмах формирования и развития разрядов на загрязненной и увлажненной поверхности изоляции и сформулировать соответствующие диагностические признаки применимые для осуществления контроля состояния изоляционных конструкций ВЛЭП.

Исследования. Моделирование работы загрязнённых изоляторов в атмосфере чистого тумана проводилось с применением экспериментальной установки, схема которой представлена на рис. 1.

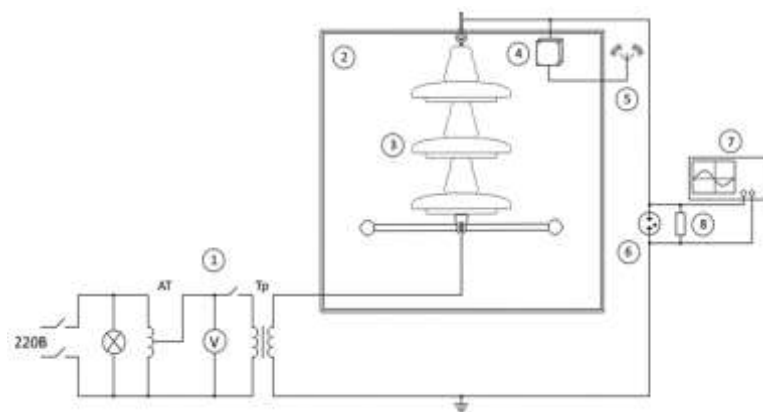


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

1 – испытательная установка 110 кВ; 2 – климатическая испытательная камера (камера тумана); 3 – объект испытаний; 4 – электрод датчика беспроводной системы контроля изоляции ВЛ (СКИВЛ); 5 – передатчик СКИВЛ; 6 – разрядник; 7 – осциллограф; 8 – резистор  $R=1000 \text{ Ом}$

Климатическая испытательная камера (рис. 1, 2) представляет собой куб со стенками, изготовленными из экструзионного пенополистирола, внутренний объем которого составляет  $1 \text{ м}^3$ . В центре камеры устанавливается гирлянда из трех стеклянных изоляторов (рис. 3.1, 3) на который через соединительный провод подается напряжение от испытательной установки 110 кВ (рис. 1, 1), оснащенной высоковольтным испытательным трансформатором.

Туман, генерируемый пьезоэлектрическими элементами 2-х ультразвуковых увлажнителей, подается внутрь камеры через два отверстия, находящиеся сверху и снизу задней стенки камеры. Скорость подачи пара для

всех испытаний – 400 мл/ч. Контроль температуры и относительной влажности воздуха внутри испытательной камеры осуществляется термогигрометром с выносным датчиком.

Токи утечки по поверхности изолятора регистрируются при помощи цифрового осциллографа (рис. 1, 7). Для защиты оборудования от перенапряжений применяется разрядник (рис. 1, 6). Над объектом испытаний закреплен электрод (рис. 1, 4) датчика беспроводной системы контроля изоляции воздушных линий (СКИВЛ) [3-7], предназначенный для непрерывной регистрации разрядной деятельности на изоляции.

Сигналы, регистрируемые датчиком, передаются через установленный снаружи камеры беспроводной передатчик (рис. 1, 5) на приемный блок, подключенный к персональному компьютеру. Полученные данные отображаются на экране в виде графиков высокочастотных и низкочастотных сигналов (ВЧС и НЧС).

СКИВЛ предназначена для осуществления непрерывного контроля изоляции высоковольтных линий электропередачи. Датчик СКИВЛ состоит из следующих основных функциональных узлов: электрода, выпрямителя, узла формирования импульсов, микроконтроллера, беспроводного передатчика и узла питания. Функциональная схема датчика СКИВЛ представлена на рис.2. Все узлы, кроме электрода, размещены на одной печатной плате.

Электрод выполняет функцию обкладки конденсатора. Он соединён с опорой ВЛЭП, представляющей в данном случае «землю», через измерительную часть датчика СКИВЛ и образует совместно с высоковольтным проводом ВЛЭП конденсатор. При появлении переменного электрического поля на ВЛЭП, через электрод датчика СКИВЛ начинает течь ток, который, проходя через датчик, выпрямляется и преобразуется в электрические импульсы. Частота следования импульсов пропорциональна величине тока.

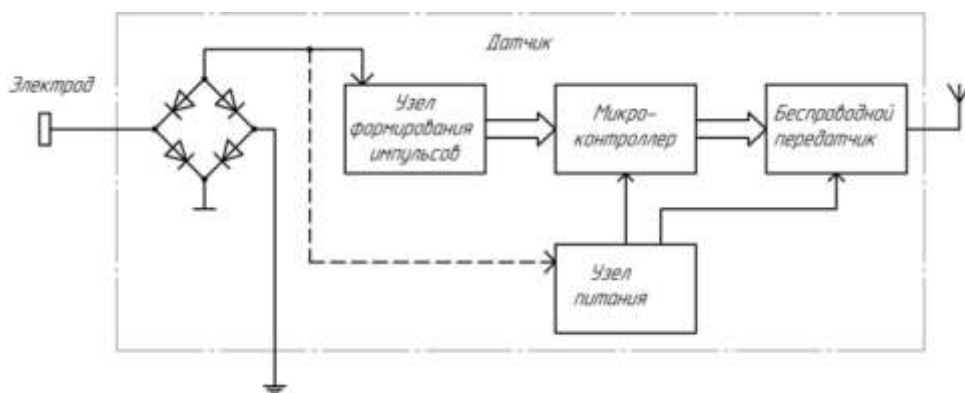


Рис.2. Функциональная схема датчика СКИВЛ

Загрязнение изоляторов проводилось в соответствии с методом предварительного загрязнения (ПЗ) [8]. Измеренная эквивалентная

поверхностная плотность естественного солевого загрязнения изоляторов (ESDD) составила 0,067 мг/см<sup>2</sup>. Данный уровень находится примерно на условной границе между средним и слабым загрязнением.

Испытания проводились длительным приложением к загрязнённой гирлянде изоляторов напряжения, составляющего 30 кВс непрерывным увлажнением в климатической испытательной камере. Температура окружающего воздуха в помещении при испытаниях была в пределах от 18°C до 24°C, относительная влажность воздуха вне камеры тумана составляла от 47 % до 64 %.

Продолжительность увлажнения составляла 1 час.

Анализ полученных результатов. Ход экспериментов заключался в измерении значений амплитуды синусоидальной составляющей и импульсов тока утечки, протекающего по поверхности равномерно загрязненной изоляции при её увлажнении. В качестве дополнительной меры контроля регистрировались сигналы, поступающие с датчика СКИВЛ. Результаты испытаний представлены в виде графиков на рис.3.

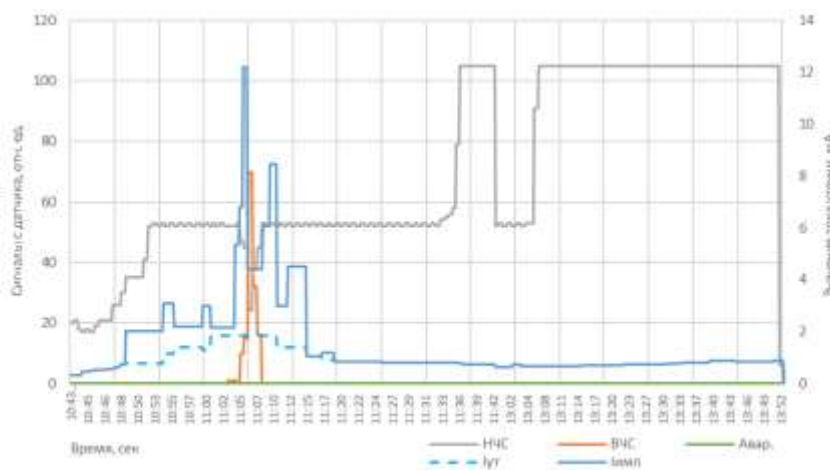


Рис.3. Результаты измерений при равномерном загрязнении

Согласно представленным на рис.3 графикам, резкий рост амплитудных значений импульсов тока утечки наблюдался примерно спустя 20 минут, на начальном этапе увлажнения изолятора. Максимальное амплитудное значение тока утечки при этом составляло порядка 10-12 мА. Одновременно с этим наблюдался резкий рост высокочастотных сигналов (ВЧС), поступающих с датчика СКИВЛ.

Резкий скачок значений импульсных токов утечки с одновременным увеличением значений высокочастотных сигналов в начальный момент времени при равномерном загрязнении обусловлен неравномерностью увлажнения гирлянды изоляторов.[9-10] Слой загрязнения на изоляторах в этот момент времени ещё не достиг состояния насыщения, о чём может

свидетельствовать график низкочастотных сигналов (НЧС). Полное насыщение слоя загрязнения влагой происходит при уровне НЧС =105 (отн.ед.). При этом напряжение вдоль гирлянды распределяется неравномерно. Полное насыщение слоя загрязнения приводит к выравниванию распределения напряжения гирлянды и, как следствие, к снижению импульсного тока утечки на изоляторе.

Выводы. Проведенные эксперименты показали, что неравномерное покрытие влагой изолятора на начальном этапе увлажнения может создавать предпосылки для его перекрытия. Полное насыщение слоя загрязнения влагой при равномерном загрязнении приводит к выравниванию распределения напряжения вдоль гирлянды изоляторов и, как следствие, к снижению импульсного тока утечки.[11-12] Подобный характер поведения сигналов, поступающий с датчиков непрерывного контроля при увлажнении, может использоваться как диагностический признак равномерно загрязненной изоляции при принятии решений по обслуживанию службами ВЛЭП.

### Источники

1. Обзор аварийности и травматизма в электроэнергетических системах государств-участников СНГ за 2020 год: инф. бюллетень № 21. Исполнительный комитет Электроэнергетического совета СНГ, 2021. 141 с.

2. В России участились аварии на энергообъектах [Электронный ресурс] // Известия Iz: [сайт]. [2021]. URL: <https://iz.ru/1248071/2021-11-11/v-rossii-uchastilis-avarii-na-energoobektakh> (дата обращения: 25.11.2021).

3. Световой индикатор состояния изолирующей конструкции: пат. 2660754 Рос. Федерация № 2017125424; заявл. 14.07.17; опубл. 09.07.18, Бюл. № 19. 10 с.

4. Способ оптического контроля изолирующей конструкции: пат. 2517776 Рос. Федерация № 2012151785/28; заявл. 03.12.2012; опубл. 27.05.2014. 6 с.

5. Способ оптической дистанционной диагностики изолирующей конструкции: пат. 2609823 Рос. Федерация № 2015143608, заявл. 12.10.15; опубл. 06.02.17 Бюл. № 4. 7 с.

6. Устройство оптической индикации дефекта высоковольтной изолирующей конструкции / Р. Н. Балобанов, Д. К. Зарипов, Р. А. Насибуллин, С. М. Маргулис // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2017. – Т. 19. – № 3-4. – С. 119-125.

7. Зарипова, А. Д. Критерии выявления дефектов оборудования для тепловизионной системы контроля электрической подстанции / А. Д. Зарипова, Д. К. Зарипов, А. Е. Усачев // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2017. – Т. 19. – № 5-6. – С. 51-57.

8. ГОСТ 10390-2015. Электрооборудование на напряжение свыше 3 кВ. Методы испытаний внешней изоляции в загрязненном состоянии. М.: Стандартинформ, 2016. 16 с.

9 Новиков,С.И., Кузьмин И.Л., Хузяшев Р.Г. Простейшие алгоритмы обнаружения сигналов переходного процесса напряжения в линиях электропередач // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2017. Т. 19. № 7-8. 114-125 с.

10. Гарифуллин М.Ш., Гиниатуллин Р.А., Козлов В.К. [и др.] Определение технологии производства и марки минеральных трансформаторных масел по их оптическим спектрам // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2017. Т. 19. № 9-10. 59-64 с.

11. Петрущенко В.А., Коршакова И.А. Качественный и количественный анализ тепловой энергетики малых мощностей в России.// Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2020. Т. 22. № 5. 52-70 с.

12. Афанасьева О.В., Галькеева А.А., Вафин А.Р., Мингалеева Г.Р. Региональные аспекты использования угля на объектах малой распределенной энергетики // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2017. Т. 19. № 9-10. 85-93 с.

13. 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 MGPAAT.

УДК 621.315

## **ДИАГНОСТИКА ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА ПО ТАНГЕНСУ УГЛА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ**

Иксанова Эльвира Радиковна<sup>1</sup>, Валиуллина Дилия Мансуровна<sup>2</sup>, Козлов Владимир  
Константинович<sup>3</sup>

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

<sup>1</sup>elviraiksanova@list.ru, <sup>2</sup>valiullinadiliya@mail.ru, <sup>3</sup>vk\_kozlov@bk.ru

Силовые трансформаторы играют важную роль в системах передачи. Серьезный отказ силовых трансформаторов происходит в результате пробоя изоляции и требует значительных затрат на ремонт и приводит к финансовым потерям из-за перебоев в подаче электроэнергии. В связи с этим большое значение придается контролю физико-химических показателей и эксплуатационных свойств трансформаторных масел. В работе представлены результаты, позволяющие определять степень старения трансформаторного масла, а именно тангенс угла диэлектрических потерь, по координатам цветности масла. Это значительно

облегчает диагностику трансформаторного масла, предоставляет важную информацию о его текущем состоянии, предотвращает возможные причины аварий маслонаполненного оборудования.

**Ключевые слова:** трансформаторное масло, цветовые характеристики, степень деградации, тангенс угла диэлектрических потерь, корреляция, координаты цветности.

## DIAGNOSTICS OF TRANSFORMER OIL BY THE TANGENT OF THE DIELECTRIC LOSS ANGLE

Iksanova Elvira Radikovna<sup>1</sup>, Valiullina Diliya Mansurovna<sup>2</sup>, Kozlov Vladimir Konstantinovich<sup>3</sup>

Power transformers play an important role in transmission systems. A serious failure of power transformers occurs as a result of insulation breakdown and requires significant repair costs and leads to financial losses due to power outages. In this regard, great importance is attached to the control of physico-chemical parameters and operational properties of transformer oils. The paper presents the results that allow us to determine the degree of aging of transformer oil, namely the tangent of the dielectric loss angle, by the coordinates of the oil color. This greatly facilitates the diagnosis of transformer oil, provides important information about its current state, prevents possible causes of accidents of oil-filled equipment.

**Keywords:** transformer oil, color characteristics, degree of degradation, the tangent of the dielectric loss angle, correlation, chromaticity coordinates.

В электроэнергетике силовые трансформаторы являются ключевым элементом, основным компонентом которого является трансформаторное масло. Трансформаторное масло – это продукт перегонки очищенной, сырой нефти, который используется в целях электроизоляции в силовых и измерительных трансформаторах, выключателях и других высоковольтных маслонаполненных устройствах [1–2].

Во время работы жидкий диэлектрик испытывает воздействие температурных и электрических полей и остается в постоянном контакте с деталями трансформатора. Это ускоряет старение диэлектрика, вызывает изменение его физико-химического состава, который способствует ухудшению его изоляционных свойств, поэтому состояние изоляции энергетического оборудования тщательно контролируется [3–4].

Главными параметрами, которые характеризуют степень деградации трансформаторного масла, считаются кислотное число (КОН) трансформаторного масла и тангенс угла диэлектрических потерь  $\text{tg}\delta$  [4].

Тангенс угла диэлектрических потерь является признаком качества масла, который чувствителен к наличию в масле всевозможных загрязнений. К

подобным веществам относятся растворимые органические соединения металлов (мыла), смолистые вещества, коллоидные образования, возникающие из-за реакций окислительной конденсации и полимеризации при старении масла [5].

Для масла, находящегося в эксплуатации, предельно допустимая величина  $\text{tg}\delta$  при  $90^\circ\text{C}$  составляет 15%. Увеличение  $\text{tg}\delta$  трансформаторного масла может привести к изменению всех характеристик изоляции трансформатора [6–8].

В данной работе для определения корреляции (R) между координатой цветности масла и тангенсом угла диэлектрических потерь было проведено исследование нескольких образцов трансформаторных масел. Для получения спектров пропускания масел были использованы три вида источника света: белый, синий, зеленый. По полученным спектрам определили координаты цветности исследуемых масел. После чего построили корреляционную зависимость между координатами цветности и тангенсом угла диэлектрических потерь.

Данную зависимость можно обнаружить по координатах, которая соответствует красному цвету (см. рис. 1, 2, 3).

Как видно из графиков, наибольшая корреляционная зависимость получается при освещении трансформаторного масла белым светом. Также можно заметить, что при пропускании через трансформаторное масло белого и зеленого источников света координата цвета имеет тенденцию к возрастанию. При пропускании синего источника света через масло возникает обратная корреляционная зависимость.

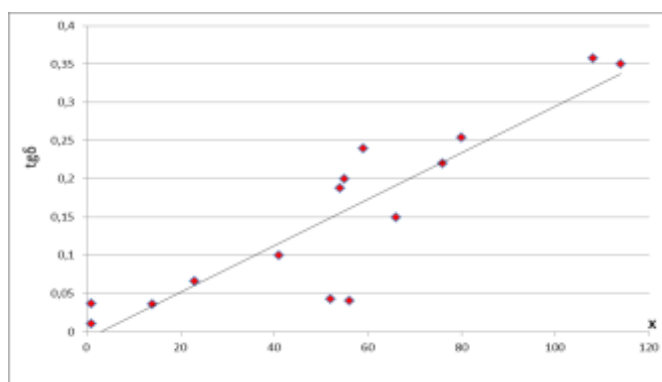


Рис. 1. Корреляционная зависимость тангенса угла диэлектрических потерь от координаты цветности при пропускании белого цвета ( $R=0,88908$ )

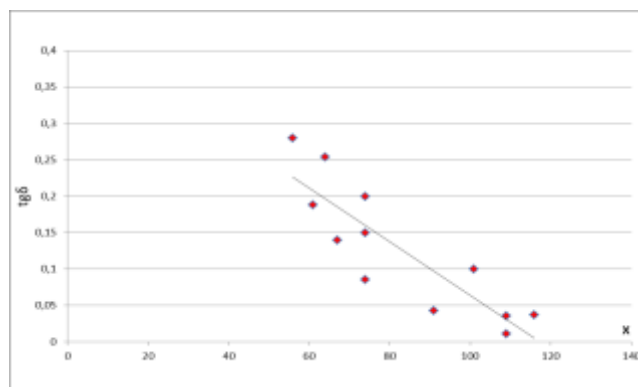


Рис. 2. Корреляционная зависимость тангенса угла диэлектрических потерь от координаты цветности при пропускании синего цвета ( $R=-0,86852$ )

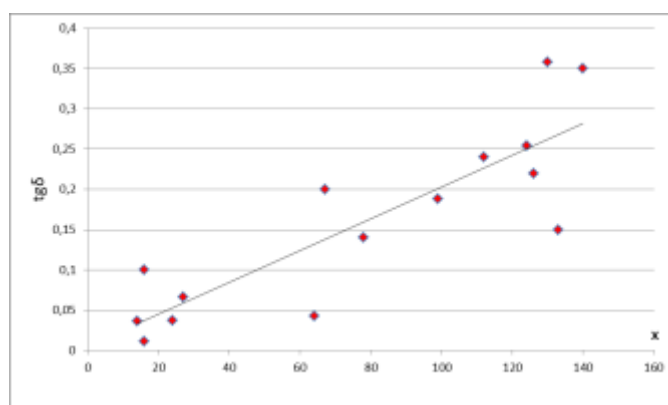


Рис. 3. Корреляционная зависимость тангенса угла диэлектрических потерь от координаты цветности при пропускании зеленого цвета ( $R=0,85799$ )

Эти явления связаны тем, что в процессе старения масло темнеет и приобретает тёмно-коричневый оттенок. Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, степень старения трансформаторного масла, а именно тангенса угла диэлектрических потерь, можно определить по координатам цветности масла.

### Источники

1. Липштейн Р.А., Шахнович М.И. Трансформаторное масло. М.: Энергоатомиздат, 1983. 296 с.
2. Okabe S., Ueta G., Tsuboi T. Investigation of aging degradation status of insulating elements in oil-immersed transformer and its diagnostic method based on field measurement data // IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. 2013. Vol. 20, Iss.1. P.346–355.



3. Валиуллина Д.М., Ильясова Ю.К., Козлов В.К. Качественные методы спектрального анализа в диагностике трансформаторных масел // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2019. Т. 21. № 1-2. 87-92 с. DOI:10.30724/1998-9903-2019-21-1-2-87-92.

4. Karthik R., Sree Renga Raja T. Investigations of transformer oil characteristics. IEEJ Trans Elec Electron Eng, 2012 vol.7, pp. 369-374. doi: 10.1002/tee.21742

5. Д. М. Валиуллина, Ю. К. Ильясова, В. К. Козлов [и др.] Определение характеристик трансформаторного масла спектральным методом // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Т. 13. № 1(49). С. 66-74.

6. Козлов В.К. Исследование зависимости коэффициента пропускания и цвета изоляционных масел от их кислотного числа / В.К. Козлов, Д.М. Валиуллина, М.Ш. Гарифуллин // Материалы докл. IV Междунар. Молодежной школы-семинара БИКАМП'03. СПб., 2003. С. 309–313

7. Menkiti, M.C. Chemically improved Terminalia catappa L. oil: A possible renewable substitute for conventional mineral transformer oil [Text] / M.C. Menkiti, C.M. Agu, P.M. Ejikeme, O.E. Onyelucheya // Journal of Environmental Chemical Engineering. 2017. Vol. 5. Is.1. P. 1107 1118. (DOI: doi.org / 10.1016 / j.jecce.2017.01.037).

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

9. Исследование влияния пористости волокнистого материала на значение энергетической эффективности / О. В. Соловьева, С. А. Соловьев, А. Р. Талипова [и др.] // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 1(53). С. 56-64. EDN QKCEXX.

УДК 621. 31. 333. 325.6

## **УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ЧАСТОТНЫМ ЛОГИЧЕСКИМ АНАЛИЗАТОРОМ ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА**

Исломов Ильёсходжа Икромходжаевич

Политехнический институт Таджикского технического университета имени академика М.С.

Осими в городе Худжанде

ilyos-friend@mail.ru

**Аннотация:** в статье приведена схема управление электропривода с частотным логическим анализатором для стабилизации технологического процесса и схема логического анализатора частоты сети с применения логического вычислителя. Технологического процесс требует точного скорости вращения ротора двигателя и для анализа и управление технологического процесса необходимо анализировать уровень частоты питающего сети.

**Ключевые слова:** схема, транзистор, преобразователь частоты, реверсивная, логический элемент, сигнал, частота, СИФУ, скорость вращения, вперёд, назад, инвертор, магнитный поток

## DRIVE CONTROLS WITH FREQUENCY LOGIC ANALYZER FOR TECHNOLOGICAL PROCESS STABILIZATION

Islomov Ilyoskhoja Ikromkhojaevich.

**Abstract:** The article presents a control circuit for an electric drive with a frequency logic analyzer to stabilize the technological process and a circuit for a network frequency logic analyzer using a logic calculator. The technological process requires the exact speed of rotation of the motor rotor and for the analysis and control of the technological process it is necessary to analyze the frequency level of the supply network.

**Keywords:** circuit, transistor, frequency converter, reversible, logic element, signal, frequency, SIFU, rotation speed, forward, backward, inverter, magnetic flux

Многие схемы управления транзисторным управлением электроприводов имеют одностороннюю проводимость, и во время торможения ток обмотки статора электрической машины не может изменить своё направление, т.е. не может рекупироваться обратно в сеть или корректировать скорость вращения двигателя в зависимости от технологического процесса [1, 2].

При внедрение реверсивного режима работы ПЧ, электрическая системы развивается и становится все более сложной и интеллектуальной в плане управления, и контроля. Электронные устройство на основе логических элементов в современной системе интеллектуальном управления системы электроснабжение широко используется и в будущем поможет для сбор данных и анализа аварии и неисправности всей системы [5].

При реверсивном режиме работы ПЧ применяют две группы транзисторов с разными направлениями тока на выходе. Управление этими группами транзисторов может быть отдельно, при котором одновременно работает только одна группа транзисторов, и совместно, при котором одновременно работают обе группы. Принцип работы реверсивной работы или режима рекуперации энергии показан на рисунке 1.

В данной блок – схеме представлен один комплект СИФУ для управления ключами транзисторов через ключи «вперёд» и «назад».

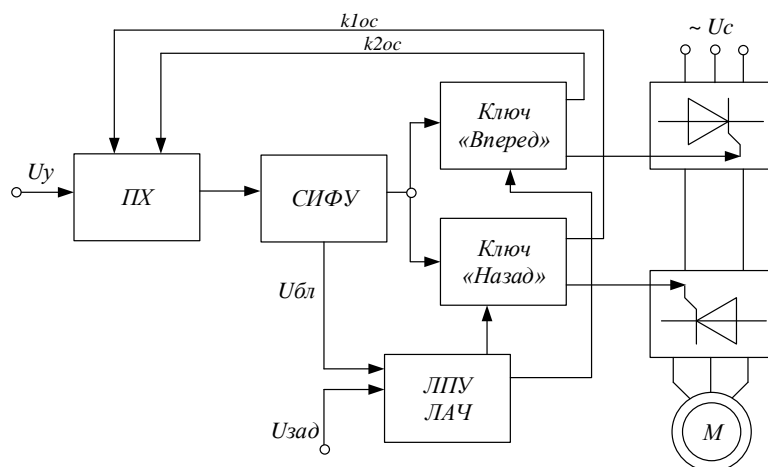


Рис. 1. Блок-схема реверсивного транзисторного ПЧ

Сигнал для переключения идёт отдельно, то благодаря логическим переключающим устройствам (ЛПУ) исключается возможность одновременного подключения транзисторов. Встроенный алгоритм автоматизированной работы ЛПУ даёт команду на открывание только на один из указанных ключей с одновременной выдачей блокирующего сигнала  $U_{обл}$  на другой ключ, при этом исключая возможность подключения одновременно двух управляющих ключей транзистора «вперёд» и «назад». Для контроля состояния ключей транзисторов. В схеме предусмотрено устройство переключения характеристики сигналов (ПХ), на которое поступает отрицательный обратный сигнал от управляющих ключей транзисторов.

Изменение направление скорости вращения двигателя связано с изменением фазы обмотки двигателя переходом двигательного режима работы обусловленной увеличением скорости вращения ротора [2, 3].

В этом режиме транзисторная группа с ключом «вперёд» работает в режиме инвертора, преобразовывая постоянный ток промежуточного звена в переменный ток со стандартной частотой и напряжением сети, а вторая группа транзисторов с ключом «назад» работают в выпрямительном режиме. В режиме двигателя, когда угловая скорость тихоходного ротора меньше заданной величины, ключи группы транзисторов работают в обратном режиме. [8-10]

В рассматриваемой блок-схеме основным элементом, который формирует сигнал управления, является блок ЛПУ с заданным уровнем напряжения  $U_{зад}$  и с сигналом отрицательной обратной связи, которые исходят от управляющих ключей групп транзисторов  $k_{1oc}$  и  $k_{2oc}$ . Первый выполняет функцию отдачи мощности к статору во время уменьшения частоты вращения ВК, а второй

выполняет функцию рекупераций избыточной мощности статора во время увеличения скорости и при этом стабилизирует, и нормализует технологический процесс.[11] При увеличении скорости вращения двигателя магнитный поток статора увеличивается тем самым ток и ЭДС статора увеличивается, тогда напряжение на выходе ДС пропорционально увеличивается и падает сигнал на СИФУ для того, чтобы открыть затвор управляемых транзисторов выпрямителя. При открытии затвора транзистора избыточная мощность проходит через управляющее промежуточное звено постоянного тока и рекуперуется через инвертор в сеть.

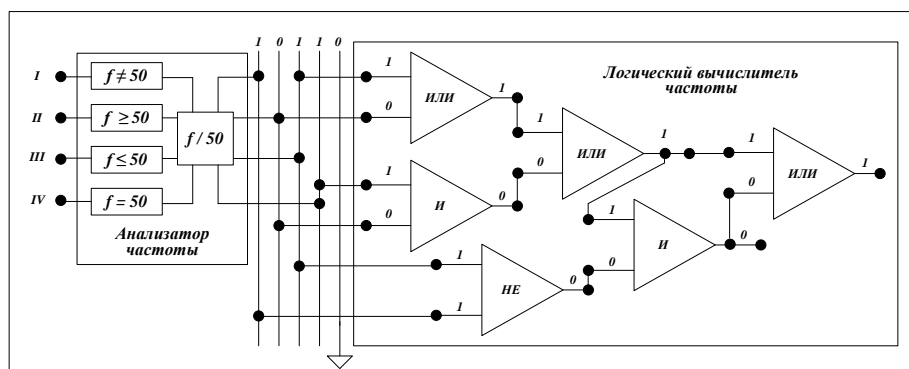


Рис. 2. Схема логического анализатора частоты сети с применением логического вычислителя

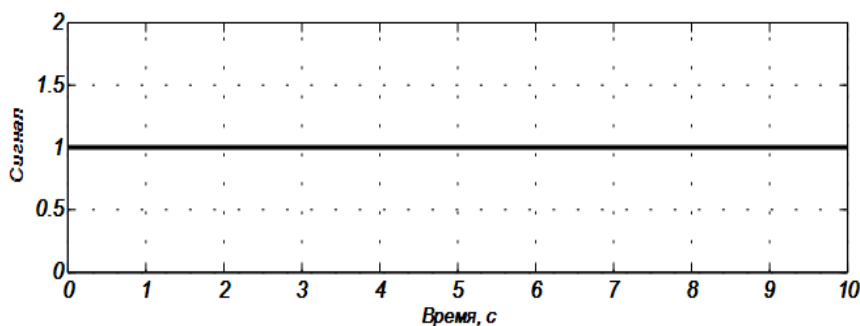


Рис. 3. Сигнал от выхода логического анализатора частоты

Разработанная логический (вычислитель) анализатор частоты (ЛАЧ) состоит из анализатора частоты которое имеет четыре входа *I, II, III, IV* и четырёх условия. Первый, когда  $f \neq 50$ ,  $f \geq 50$ ,  $f \leq 50$  и  $f = 50$  для анализа отклонения частоты на входе после условий установлен делитель частоты для удобства анализа сигнала  $f/50$  (рисунок 2). Сигнал после делителя идёт на шину, где соединены логические элементы *И, ИЛИ, НЕ* для обработки входного сигнала и при отклонения частоты от номинального значения на выходе логического вычислителя выходит сигнал в цифровом виде единички (рисунок 3).

Комбинация логических элементов подстроено так, что при любом изменении частоты на выходе вычислителя частоты выходит сигнал с размерностью единица и этот сигнал уведомляет, о том, что в данной системе электропривода частота не соответствуют стандартному значению и выдаёт значения единичку (рисунок 3). Такое оперативное подача сигнал в цифровом виде способствует оперативного вмешательство при реверсивном режиме работы ПЧ или при коррекции скорости вращения электродвигателя тем самым стабилизирует технологического процесса.

### Источники

1. Дементьев Ю.Н., Чернышев А.Ю., Чернышев И.А. Автоматизированный электропривод: Учебное пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2009. 224 с.

2. Ислотов И. И. Исследования ветроэлектрических установок с механическим планетарным редуктором и магнитным редуктором для повышения и стабилизации угловой скорости ветрогенератора // Известия Тульского государственного университета. Технические науки, 2017. №. 4.

3. Ислотов И. И. Синхронная работа гидроаккумулирующей электростанции с ветроэлектростанцией // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт, 2014. №. 3. 60-62 с.

4. Семёнов А. С., Якушев И. А., Егоров А. Н. Математическое моделирование технических систем в среде MATLAB // Современные наукоемкие технологии, 2017. №. 8. 56-64 с.

5. Ядыкин В. С., Бараев Б. В., Байрамкулов Д. П. Использование современных устройств релейной защиты в электрических сетях // Инновационные направления развития в образовании, экономике, технике и технологиях, 2020. 315-317 с.

6. Бирюлин В.И., Куделина Д.В., Ларин О.М. Выявление источник фликера в системах электроснабжения // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 5. 3-12 с. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-5-3-12.

7. Савина, М. В. Разработка СХЕМЫ Использования генераторного газа из низкосортного угля в ПГУ / М. В. Савина, С. С. Тимофеева // Вестник Казанского государственного энергетического университета, 2021. Т. 13. № 2(50). 66-77 с.

8. Качанов А.Н., Коренков Д.А., Ревков А.А., Максимов В.В., Воркунов О.В. Моделирование процессов высокочастотной сушки деревянных опор в вакуумной камере // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2020. Т. 22. № 6. 130-142 с.

9. Солуянов Ю. И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Солуянов В.И. Анализ фактических электрических нагрузок помещений общественного назначения, встроенных в жилые здания // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 6. 134-147 с.

10. Абдуллазянов Э.Ю., Грачева Е.И., Горлов А.Н.[и др.] Исследование качества функционирования электрических аппаратов низкого напряжения в составе электротехнических комплексов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 6. 3-15 с.

11. Синюков А.В., Синюкова Т.В., Грачева Е. И. [и др.] Оптимизированные бездатчиковые системы управления механизмами перемещения грузов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 6. 87-98 с.

12. Гусева, Ю. В. Лабораторная модель ротора Савониуса / Ю. В. Гусева, С. А. Кострюков, А. Р. Васильев // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 3. С. 83-90. DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-3-83-90. EDN TESZWI.

УДК 621.313

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЛЭП 6-10 кВ С УЧЕТОМ ВРЕМЕНИ СУЩЕСТВОВАНИЯ, ОТЫСКАНИЯ И УСТРАНЕНИЯ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ**

Качанов А.Н.<sup>1</sup>, Чернышов В.А.<sup>2</sup>

Россия, г. Орёл,<sup>1,2</sup> ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева»

kan@ostu.ru<sup>1</sup>, blackseam78@mail.ru<sup>2</sup>

**Аннотация:** В статье рассматривается новая методика оценки эффективности функционирования воздушных электрических сетей напряжением 6-10 кВ, использующая в качестве критерия оценки не только объем эксплуатационных затрат, расходуемых на их содержание, но и временной критерий, характеризующий продолжительность существования, отыскания и устранения однофазных повреждений изоляции.

**Ключевые слова:** воздушные ЛЭП 6-10 кВ, эффективность функционирования, эксплуатационные затраты, однофазные замыкания на землю

## **EVALUATION OF THE OPERATIONAL EFFICIENCY OF 6-10 kV PTL TAKING INTO ACCOUNT THE EXISTENCE TIME, FINDING AND ELIMINATION OF SINGLE-PHASE EARTH FAULT**

Chernyshov V.A.<sup>1</sup>, Loshkarev M.O.<sup>1</sup>

**Abstract:** The article discusses a new method for assessing the efficiency of the functioning of overhead electrical networks with a voltage of 6-10 kV, using as an evaluation criterion not only the amount of operating costs spent on their maintenance, but also a time criterion characterizing the duration of existence, finding and eliminating single-phase insulation damage.

**Key words:** overhead transmission lines 6-10 kV, operating efficiency, operating costs, single-phase earth faults

Как известно, объем эксплуатационных затрат является одним из основных критериев оценки эффективности функционирования электротехнических комплексов и систем электроснабжения [1]. Принимая в расчет временной критерий, характеризующий продолжительность существования, отыскания и устранения однофазных замыканий на землю (ОЗЗ) в воздушных электрических сетях среднего класса напряжения 6-10 кВ [2], можно уточнить классическую методику оценки эффективности их функционирования. Для этого, используя аналитические методы расчета, эксплуатационные затраты можно выразить следующим образом:

$$\sum_{i=1}^a Z_{\Sigma i}(t_1...t_2) = f(T_{\text{сущ. перенапр.}}, T_{\text{опасн. прикл.}}, T_{\text{пер. раб.}}, T_{\text{устр. ОЗЗ}}) \rightarrow \min \quad 1)$$

функционирующей при следующих, обязательных ограничениях:

$$T_{\text{сущ. перенапр.}}(t_1...t_2) = \sum_{i=1}^b (T_{\text{разв. ОЗЗ } i} + T_{\text{сущ. ОЗЗ } i})_{(t_1...t_2)} \leq \sum_1^j T_{\text{сущ. перенапр. макс. доп.}}(t_1...t_2);$$

$$T_{\text{сущ. опасн. ОЗЗ}}(t_1...t_2) = \sum_{i=1}^c (T_{\text{сущ. напр. прикл. (шаг.) } i})_{(t_1...t_2)} \leq \sum_1^j T_{\text{сущ. опасн. ОЗЗ макс. доп.}}(t_1...t_2);$$

$$T_{\text{пер. раб.}}(t_1...t_2) = \sum_{i=1}^d (T_{\text{пер. раб. пл. } i} + T_{\text{пер. раб. ав. } i})_{(t_1...t_2)} \leq \sum_1^j T_{\text{пер. раб. макс. доп.}}(t_1...t_2);$$

$$T_{\text{устр. ОЗЗ}}(t_1...t_2) = \sum_{i=1}^e (T_{\text{поиск. ОЗЗ } i} + T_{\text{ликвид. ОЗЗ } i})_{(t_1...t_2)} \leq \sum_1^j T_{\text{устр. ОЗЗ макс. доп.}}(t_1...t_2);$$

где  $t_1...t_2$  – рассматриваемый период времени функционирования воздушной электрической сети напряжением 6-10 кВ, например, час, декада, месяц, год;

$Z_{\Sigma}(t_1...t_2)$  – совокупные затраты для обеспечения процесса функционирования воздушной электрической сети напряжением 6-10 кВ за период времени  $t_1...t_2$ ;

$i = 1...a$  – количество операций в воздушной электрической сети напряжением 6-10 кВ, определяющие объем затрат за период времени  $t_1...t_2$ ;

$i = 1 \dots b$  – количество случаев превышений времени существования перенапряжений при ОЗЗ в воздушной электрической сети напряжением 6-10 кВ с изолированной нейтралью за рассматриваемый период времени  $t_1 \dots t_2$ ;

$i = 1 \dots c$  – количество случаев существования опасности при ОЗЗ в воздушной электрической сети напряжением 6-10 кВ за период времени  $t_1 \dots t_2$ ;

$i = 1 \dots d$  – количество случаев перерывов в работе (плановых и аварийных) воздушной электрической сети напряжением 6-10 кВ за период времени  $t_1 \dots t_2$ ;

$i = 1 \dots e$  – количество операций, связанных с устранением ОЗЗ в воздушной электрической сети напряжением 6-10 кВ за период времени  $t_1 \dots t_2$ ;

$T_{\text{сущ. ОЗЗ } i(t_1 \dots t_2)}$  – суммарное время существования ОЗЗ, включающее этапы развития дефекта изоляции  $T_{\text{разв. ОЗЗ}}$  и устойчивого пробоя  $T_{\text{уст. ОЗЗ}}$  в воздушной электрической сети 6-10 кВ, продолжительностью, превышающей нормируемое значение [3], возникших за период времени  $t_1 \dots t_2$ ;

$\Sigma T_{\text{сущ. перенапр. макс. доп. } (t_1 \dots t_2)}$  – сумма времени существования перенапряжений в воздушной электрической сети 6-10 кВ, максимально допустимая (определяемая степенью ее износа), за периода времени  $t_1 \dots t_2$ ;

$T_{\text{сущ. опасн. ОЗЗ } (t_1 \dots t_2)}$  – суммарное время существования потенциальной опасности ОЗЗ, обусловленное действием напряжения прикосновения  $T_{\text{сущ. напр. прик.}}$ , или шагового напряжения  $T_{\text{сущ. напр. шаг.}}$  за период времени  $t_1 \dots t_2$ ;

$\Sigma T_{\text{сущ. опасн. ОЗЗ макс. доп. } (t_1 \dots t_2)}$  – суммарное время существования потенциальной опасности ОЗЗ, максимально допускаемое за период времени  $t_1 \dots t_2$ ;

$T_{\text{пер. раб. } (t_1 \dots t_2)}$  – суммарное время перерывов в работе элементов воздушной электрической сети напряжением 6-10 кВ, связанных с плановыми выключениями  $T_{\text{пер. раб. пл.}}$  и (или)  $T_{\text{пер. раб. ав.}}$  аварийными выключениями за период  $t_1 \dots t_2$ ;

$\Sigma T_{\text{пер. раб. макс. доп } (t_1 \dots t_2)}$  – суммарное время перерывов в работе элементов воздушной электрической сети 10 кВ, максимально допускаемое для потребителей за период  $t_1 \dots t_2$ ;

$T_{\text{устр. ОЗЗ } (t_1 \dots t_2)}$  – сумма времени, фактически затраченного на устранение ОЗЗ в воздушной электрической сети напряжением 6-10 кВ, включая этап поиска ОЗЗ -  $T_{\text{поиска ОЗЗ}}$ , а также этап ликвидации ОЗЗ -  $T_{\text{ликвид. ОЗЗ}}$ , за период  $t_1 \dots t_2$ ;

$\Sigma T_{\text{устр. ОЗЗ макс. доп } (t_1 \dots t_2)}$  – сумма времени затрачиваемого на устранение ОЗЗ в воздушной электрической сети напряжением 6-10 кВ, нормируемых ПУЭ по продолжительности существования для периода времени  $t_1 \dots t_2$ , ч.



Используя рассмотренные выше временные интервалы, можно записать следующую формулу для определения затрат, связанных с обеспечением процесса функционирования воздушной электрической сети 6-10 кВ:

$$\sum_1^a Z_{э. i (t1...t2)} = \sum_1^f Z_{экспл. i (t1...t2)} + \sum_1^g Z_{инвест. i (t1...t2)} + \sum_1^h Z_{ущерб i (t1...t2)} + \dots$$

$$\dots + \sum_1^i Z_{компенсац. i (t1...t2)} + \sum_1^j Z_{проч. i (t1...t2)} + \sum_1^k Z_{упущ. выг. i (t1...t2)} \quad (2)$$

где 1...a (f, g, h, i, j, k) – количество операций, сопровождающиеся затратами соответствующего типа за период времени t1...t2;

$\sum Z_{экспл. i (t1...t2)}$  – сумма затрат на эксплуатацию воздушной электрической сети напряжением 6-10 кВ, включая все составляющие эксплуатации (заработная плата персонала, амортизация, налоги, запасные части, топливо, электроэнергия, потери электроэнергии и т.д.) за период времени t1...t2;

$\sum Z_{инвест. i (t1...t2)}$  – сумма затрат на инвестирование в воздушную электрическую сеть напряжением 6-10 кВ с изолированной нейтралью (модернизацию, реконструкцию), включая все составляющие инвестиций период времени t1...t2;

$\sum Z_{ущерб. i (t1...t2)}$  – сумма затрат на покрытие ущерба, возникающего при отказе воздушной электрической сети напряжением 6-10 кВ, включая все составляющие ущерба (ущерб от недоотпуска электроэнергии, ущерб от недополучения оплаты за электроэнергию, ущерб от аварий, прочие виды ущерба) за период времени;

$\sum Z_{компенсац. i (t1...t2)}$  – сумма компенсационных затрат, возникающих при работе воздушной электрической сети напряжением 6-10 кВ, включая все составляющие компенсаций (компенсации потребителям за перерывы в электроснабжении и некачественную электроэнергию, компенсации за инвалидность и гибель при несчастных случаях, штрафы и другие виды компенсаций) за период времени t1...t2 [4];

$\sum Z_{проч. i (t1...t2)}$  – сумма прочих затрат, возникающих при работе воздушной линии электрической сети напряжением 6-10 кВ с изолированной нейтралью, включая все составляющие прочих издержек (природоохранные проекты, научно-исследовательская работа, представительские расходы и т.д.) за период времени t1...t2;

$\sum Z_{упущ. выг. i (t1...t2)}$  – сумма затрат, возникающих вследствие упущенной выгоды при работе воздушной электрической сети напряжением 6-10 кВ, включая все составляющие (упущенная выгода от несвоевременного выполнения реконструкции, модернизации и т.д.) за период времени t1...t2.

Таким образом, предлагаемая методика позволяет достоверно оценивать эффективность функционирования воздушной электрической сети 6-10 кВ, что в дальнейшем позволит объективно, в каждом конкретном случае (через анализ составляющих времени и затрат), классифицировать и систематизировать весь спектр мероприятий, направленных на повышение эффективности ее функционирования.

### **Источники**

1. Хорольский, В.Я. Техничко-экономические расчеты распределительных электрических сетей / В.Я. Хорольский, М.А. Таранов, Д.В. Петров // Ростов-на-Дону, изд. «Терра Принт» 2009. - 132 с.

2. Качанов, А.Н. Повышение эффективности функционирования воздушных электрических сетей 6-10 кВ с изолированной нейтралью при однофазных замыканиях повреждениях изоляции / А.Н. Качанов, В.А. Чернышов, Б.Н. Мешков, М.Ш. Гарифуллин, Е.А. Печагин // Вести высших учебных заведений Черноземья. 2021. № 1(63). С. 80-95.

3. Правила устройства электроустановок: все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7. - Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2010. - 464 с.

4. Гавриченко, А.И. Экономическая эффективность мероприятий, повышающих электробезопасность сельских распределительных сетей 10 кВ с изолированной нейтралью орловской области / А.И. Гавриченко, В.А. Чернышов // Энергообеспечение и безопасность Сборник материалов II Международной выставки-Интернет-конференции. Орел, 2008. С. 326-331.

5. Стенд для исследования работоспособности и качества функционирования электротехнических комплексов и систем электроприводов с регуляторами частоты / Р. Р. Гибадуллин, М. Ф. Низамиев, И. В. Ившин [и др.] // 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 621.316.1.05

## **РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ПРОВЕДЕНИЯ СИММЕТРИРОВАНИЯ НАГРУЗОК ВДОЛЬ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ 0,4 кВ**

Казка Максим Владимирович<sup>1</sup>, Губарев Никита Александрович<sup>2</sup>,

Маклецов Александр Михайлович<sup>3</sup>

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

<sup>1</sup>nesnakomec97@mail.ru, <sup>2</sup>Nikita20143@mail.ru

В данной статье предлагается метод симметрирования нагрузки сетей 0,4 кВ путем определения средне сезонного коэффициента добавочных потерь и определения оптимальной последовательности подключения потребителей к распределительной сети.

**Ключевые слова:** номинальное напряжение, несимметрия напряжения, распределительная сеть, коэффициент добавочных потерь

## DEVELOPMENT OF LOAD SYMMETRIZATION ALGORITHMS ON 0.4 kV POWER TRANSMISSION LINES

Kazka Maxim Vladimirovich<sup>1</sup>, Gubarev Nikita Aleksandrovich<sup>2</sup>,  
Makletsov Alexander Mikhailovich<sup>3</sup>

This article proposes a method for balancing the load of 0.4 kV networks by determining the average seasonal coefficient of additional losses and determining the optimal sequence of connecting consumers to the distribution network.

**Key words:** rated voltage, voltage unbalance, distribution network, additional loss factor

Согласно ГОСТ 32144-2013 [1] отклонение номинального напряжения в сетях 0,4 кВ допускается в пределах  $\pm 5\%$ . Несимметрия напряжений в сети ведёт не только к появлению потерь электрической энергии, но и может привести к увеличению экономического ущерба при возникновении аварийных ситуаций [2]. В частности, для сетей 0,4 кВ таковыми являются короткие замыкания, перегрузки и обрыв нулевого проводника. Для этого сетевыми организациями помимо установки защитных устройств и устройств компенсации реактивной мощности, выполняется оптимальное распределения нагрузок в сети при проектировании строящихся или вновь вводимых распределительных сетей. Однако, на практике значения мощности потребления на стадии проектирования и во время эксплуатации зачастую отличаются [3]. Особенно это проявляется в городских однофазных сетях. Это означает, что применяемых мер для снижения значений несимметрии в распределительных сетях недостаточно.

Одним из способов решения данных проблем является внедрение симметрирующих устройств [4]. Однако данный метод целесообразен для потребителей первой и второй категории в и подразумевает установку устройств в начале ЛЭП. Для потребителей третьей категории эффективным является выполнение повторного симметрирование силами сетевой организации. До внедрения интеллектуальных устройств учета электрической энергии, отвечающей стандартам МЭК 61850 [5], информацию о несимметрии

нагрузок эксплуатационный персонал электроснабжающих организаций получал, как правило, два раза в год в дни контрольных замеров, что приводило к редкому, часто несвоевременному и неправильному симметрированию нагрузок [6]. Однако стоит отметить, что параметры режима электрической сети собираются для коммерческого учёта электрической энергии. Таким образом для выполнения частого повторного симметрирования нагрузки главным препятствием остается качественный анализ и расчёт параметров сети, для выполнения дальнейших работ по симметрированию нагрузки в сетях.

Далее описывается предлагаемый нами алгоритм проведения симметрирования. В качестве распределительной сети ЛЭП частного сектора. Именно в таких сетях распределение мощности по фазам не равномерно (рис. 1).

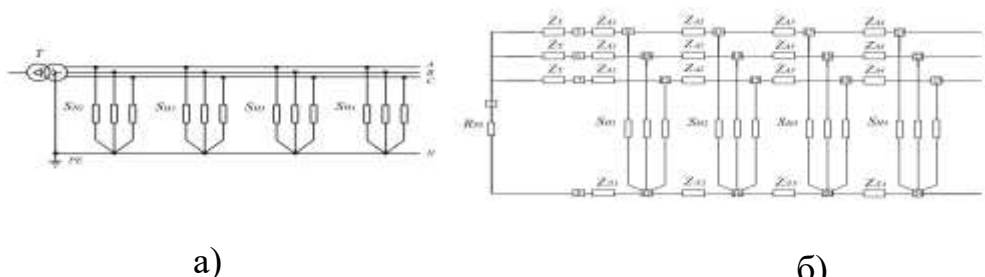


Рис. 1. а) Принципиальная схема распределительной сети, б) Схема замещения

Для сбора данных сети применяются однофазные счётчики СЕ102R5.1145J [7]. Информация при этом поступает в информационно-измерительный комплекс, а затем на сервер сетевой компании. По полученным данным параметров сети производится расчет режима сетей с распределенными по длине нагрузками методом контурных токов. Определяется коэффициент добавочных потерь, которые возникают при несимметрии нагрузок.

$$k_d = N^2 \left(1 + 1,5 \frac{R_0}{R_f}\right) - 1,5 \frac{R_0}{R_f}, \quad (1)$$

где  $R_0$  - сопротивление нулевого провода;  $R_f$  - сопротивление фазного провода;

$$N^2 = (I_a^2 + I_b^2 + I_c^2) / 3(I_m)^2, \quad (2)$$

$$I_m = (I_a + I_b + I_c) / 3, \quad (3)$$

где  $I_a; I_b; I_c$  фазные токи.

Однако, значения фазных токов зависят от времени измерений. При наличии суточного мониторинга токов фаз при сезонных нагрузках оценку целесообразности симметрирования нагрузок в сезоне предлагается определять по среднему коэффициенту добавочных потерь:

$$k_{dm} = \sum_{i=1}^{144} k_{di}, \quad (4)$$

где 144 – количество замеров тока в сутки с частотой опроса 10 мин.

По результатам расчетов потребители электрической сети делятся на три категории: малой, средней и высокой мощности. Разрабатывается наиболее оптимальное подключение данных потребителей вдоль линии.

Данный алгоритм позволит исключить фактор случайного включения фазных нагрузок, и за счёт более гибкого и точного симметрирования нагрузок, сократить потери электроэнергии в распределительной сети.[9-12]

Данные работы рекомендуется проводить не реже одного раза за сезон. Порядок проведения работ определяется сетевыми организациями согласно установленных норм и требований [8].

### Источники

1. ГОСТ 32144—2013. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.

2. Рахимов О. С. Экспериментальное исследование показателей качества и потерь электроэнергии в низковольтных сельских электрических сетях / О. С. Рахимов, Д. Н. Мирзоев, Е. И. Грачева // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 3. С. 209-222. DOI 10.30724/1998-9903-2021-23-3-209-222. EDN NWISVC.

3. Ю. И. Солуянов, А. И. Федотов, А. Р. Ахметшин, В. И. Солуянов // Анализ фактических электрических нагрузок помещений общественного назначения, встроенных в жилые здания / Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 6. С. 134-147. DOI 10.30724/1998-9903-2021-23-6-134-147.–EDN MBYUSE.

4. Барнаульский завод трансформаторов, Силовой симметрирующий трансформатор ТМГС-630 (Электронный ресурс) <https://tszi.ru/catalog/tmgsu/tmgs-630.html> (дата обращения 1.04.2022).

5. ГОСТ Р МЭК 61850-5-2011. Требования к связи для функций и моделей устройств. Национальный стандарт Российской Федерации.

6. Счетчик электроэнергии однофазный многотарифный CE102-R5.1 145J Энергомера (Электронный ресурс) [http://www.energomera.ru/ru/products/meters/ce102r5\\_1?utm\\_source=configurator&utm\\_medium=link&utm\\_campaign=CE102\\_R5.1\\_145\\_JAN](http://www.energomera.ru/ru/products/meters/ce102r5_1?utm_source=configurator&utm_medium=link&utm_campaign=CE102_R5.1_145_JAN) (дата обращения 11.04.2022).

7. ТИЗ4-70-059-86 Типовая инструкция по организации оперативного обслуживания распределительных электрических сетей 0,38 – 20 кВ с воздушными линиями электропередачи (Электронный ресурс) <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294817/4294817247.htm#i71002> (дата обращения 10.04.2022).

8. РД 153-34.0-20.505-2001 Типовая инструкция по переключениям в электроустановках. РАО ЕЭС России (Электронный ресурс) <https://meganorm.ru/Index2/1/4294817/4294817180.htm> (дата обращения 11.03.2022).

9. Новиков, С.И., Кузьмин И.Л., Хузяшев Р.Г. Простейшие алгоритмы обнаружения сигналов переходного процесса напряжения в линиях электропередач // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2017. Т. 19. № 7-8. 114-125 с.

10. Гарифуллин М.Ш., Гиниатуллин Р.А., Козлов В.К. [и др.] Определение технологии производства и марки минеральных трансформаторных масел по их оптическим спектрам // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2017. Т. 19. № 9-10. 59-64 с.

11. Петрущенко В.А., Коршакова И.А. Качественный и количественный анализ тепловой энергетики малых мощностей в России. // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2020. Т. 22. № 5. 52-70 с.

12. Афанасьева О.В., Галькеева А.А., Вафин А.Р., Мингалеева Г.Р. Региональные аспекты использования угля на объектах малой распределенной энергетики // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2017. Т. 19. № 9-10. 85-93 с.

13. Спектральный анализ газодинамических характеристик пульсирующих потоков газа в выпускной системе поршневого двигателя / Л. В. Плотников, Ю. М. Бродов, Б. П. Жилкин [и др.] // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 1. С. 114-125. DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-1-114-125. EDN MRBUUE.

14. Гатин, Р. Р. Исследование применимости моделей различной структуры для решения обратных задач определения пороговых концентраций металлов в питьевой воде, безопасных для населения / Р. Р. Гатин, С. В. Новикова, Г. В. Моисеев // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 2(54). С. 71-81. EDN LGGBCS.

УДК 621.311

## **МЕТОДИКА ВЫЯВЛЕНИЯ ОЧАГОВ ПОТЕРИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ОТ МАЙНИНГА ПРИ ПОМОЩИ КВАДРОКОПТЕРА С ТЕПЛОВИЗЕРОМ**

Калашников Валентин Иванович  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия  
valen.98@mail.ru

В данной статье автор раскрывает идею использования квадрокоптеров с тепловизором для выявления одной из разновидностей коммерческих потерь, а именно, несанкционированных майнинг ферм.

**Ключевые слова:** потери электроэнергии, коммерческие потери, майнинг, майнинг фермы

## **METHOD FOR DETECTING POINTS OF LOSS OF ELECTRIC ENERGY FROM MINING WITH THE HELP OF A QUADROCOPTER WITH A THERMAL SIZER**

Kalashnikov Valentin Ivanovich

In this article, the author reveals the idea of using quadcopters with a thermal imager to detect one of the varieties of commercial losses, namely, unauthorized mining farms.

**Keywords:** electricity losses, commercial losses, mining, farm mining

Разберемся в основе. Потери электроэнергии – это разница между электроэнергией, поступившей в сеть и количеством электроэнергии, которую получил потребитель. Обобщённо их делят на технологические и коммерческие. Технологические потери возникают в связи с тем, что в процессе передачи электроэнергии определенная ее часть преобразуется в тепловую энергию. Также имеет место расход электроэнергии на обеспечение функционирования оборудования подстанций. Коммерческие потери электроэнергии в отличие от технологических являются прямым финансовым убытком сетевых компаний. Являясь, с одной стороны, причиной денежных расходов сетевого предприятия, они в то же время являются и его упущенной выгодой от неоплаченной передачи электроэнергии. Поэтому сетевые организации в большей степени, чем другие участники рынка электроэнергии, заинтересованы в максимально точном учете электроэнергии и правильности расчетов её объемов в точках поставки на границах своей балансовой принадлежности.

Говоря максимально упрощённо, майнинг это структура для функционирования криптовалюты. Криптовалюта - это разновидность цифровой валюты. Майнинг ферма – некоторое количество серверов или компьютеров связанных в единую систему.

Характерными чертами для майнинг ферм является большое количество электронных устройств в одном помещении, работающих двадцать четыре часа в сутки, семь дней в неделю. Побочным эффектом и одной из главных проблем майнинг ферм является выделение большого количества тепла, с которым владельцам приходится бороться. Даже затратив не малые финансы и сделав

хорошую систему охлаждения установок и кондиционирования комнат, рабочая температура обычно получается более 40 градусов Цельсия, что не может остаться незамеченным для тепловизора. Также высокая температура окружающей среды влияет и на долговечность данных устройств, поэтому хорошая система вентиляции, кондиционирования и прохладный климат сильно приветствуются в майнинг индустрии.

Всё вспомогательное оборудование, которое требуется для работы компьютеров и серверов, чаще всего выносится на улицу для циркуляции и обмена воздуха с окружающей средой. Что можно наблюдать внешне или даже распознать с показаний тепловизора, прикреплённого на квадрокоптер.

Есть и так называемые раздражающие факторы майнинг ферм: шум, а точнее гул, чаще всего вызванный вентиляторами для циркуляции воздуха. В совокупности с вышеупомянутым фактом выделения высоких температур, мы приходим к выводу, что не целесообразна и не практична установка незаконных майнинг ферм в многоквартирных домах и местах постоянного наличия людей. Поэтому их часто выносят подальше от чужих глаз в частные гаражи, гаражные кооперативы, сараи и складские помещения, частные участки и т.д.

Ущерб и небезопасность майнинга для сетевых организаций и граждан заключается в том, что профиль нагрузки при потреблении электроэнергии на бытовые нужды существенно отличается от профиля нагрузки потребления майнинга — он круглосуточный и непрерывный, что накладывает дополнительную нагрузку на сетевую инфраструктуру. По сути, такие фермы работают в режиме 24/7, то есть их коэффициент одновременности работы сети равен единице. Бытовые сети же рассчитаны на коэффициенты 0,2–0,4 в летний и 0,6–0,7 в зимний период.

Так же непосредственно кроме роста аварийности нелегалы ухудшают экономические условия для других потребителей электроэнергии, ведь бизнес, по сути, платит за электроэнергию больше, чтобы для простых людей она оставалась сравнительно дешевой.

Необходимо отметить, что тарифы для населения и приравненных к нему категорий потребителей устанавливаются региональными регуляторами на уровне существенно более низком, чем цены для прочих потребителей. Распространение бытового майнинга может привести к росту и без того предельно высокого уровня перекрестного субсидирования и сказаться на тарифах для прочих потребителей, что только усугубит ситуацию

Что касается «серых» схем с подключением ферм к бытовым сетям — очевидно майнеры экономят расходы на оплату электроэнергии и стараются максимально дешевыми и доступными средствами нарастить мощности для майнинга, прибегая к не вполне законным схемам. Ведь стоимость



выработанной при майнинге электроэнергии в среднем приравнивается к 30% прибыли от добычи криптовалюты.

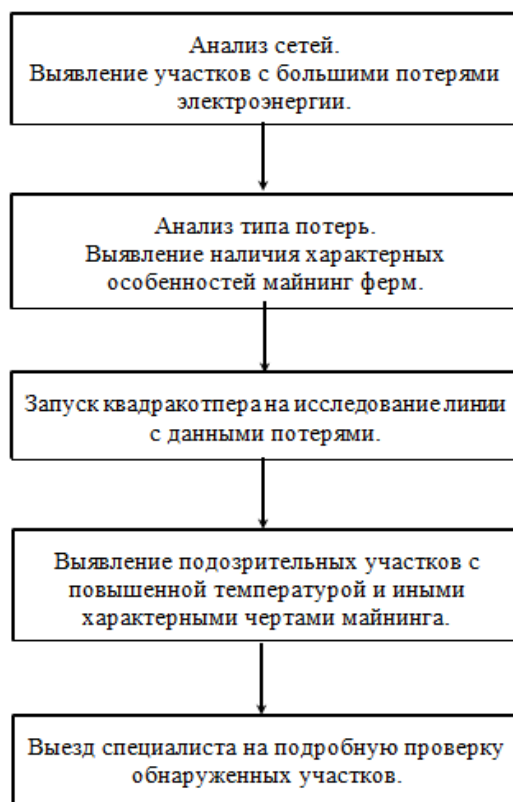
Автором предложена следующая последовательность действий для выявления майнинг ферм (см. рисунок)

Вопрос анализа сетей производится на уровне сетевой организации рассматриваемого района. Обычно отдел потерь электроэнергии ежемесячно проводит анализ потерь, в ходе которых и выявляются участки с повышенным уровнем потерь. Особенно это может быть заметно при сравнении с показанием прошлых месяцев.

Что касается типа потерь. Настроив и запустив майнинг ферму всё её дальнейшее потребление электроэнергии будет, в основном, постоянным и не маленьким, ведь для майнера чем больше часов в год оборудование работает, тем больше будет прибыль. Тем самым изменение потребления дальше прогнозируется в двух случаях:

-при расширении и обновлении оборудования, что приведет ещё к большему наращиванию объёмов;

-при его техническом обслуживании (время которое пытаются свести к минимуму по объясненной ранее причине).



Тем самым если в сети мы наблюдаем резкое, безосновательное возрастание потребления электрической энергии, имеющее постоянное

значение потребления идущего без остановок, есть вероятность, что это майнинг ферма.

После определения участка с повышенными потерями мы, не как обычно направляем специалиста на пеший осмотр который займет много времени и даст доступ далеко не во все точки подключения, а запускаем квадрокоптер с тепловизором, который проведёт данный анализ с высоты птичьего полёта или любой более удобной для осмотра высоты, что позволит увеличить площадь анализа в разы.

Тепловизор обеспечит выявление конкретных очагов повышенной температуры и уровень данной температуры, что в свою очередь и может указывать на наличие майнинг фермы. Так же в режиме осмотра со стандартной камеры этого же квадрокоптера (эти режимы работают параллельно) можно увидеть дополнительные характерные черты майнинг фермы, которые были описаны ранее.

Выезд специалиста уже на конкретный участок позволит провести доскональную проверку подозрительного объекта и принцип его подключения к общей энергетической сети.

Современные и, особенно, быстро развивающиеся проблемы требуют современных и не стандартных решений. Важно успеть подготовиться к ещё большему развитию неофициальных майнинг ферм и на ранней стадии научиться выявлять их наличие и развитие.

Некоторые Территориальные Сетевые Организации уже ошутимо почувствовали на себе эффект от появления майнинг ферм, например, такая как «Иркутскэнерго». В Приангарье выявлено более 500 точек с подозрением на нелегальный майнинг, в Шелеховском районе 175. Потери от незаконного майнинга данных двух районов оцениваются более 9.5 миллионов рублей. И развитие данной отрасли распространяется по всей России, поэтому борьба и своевременное выявление незаконных майнинг ферм в данный момент актуально как никогда.

## **Источники**

1. Бородин М.В., Виноградов А.В., Букреев А.В., Панфилов А.А. Структура времени определения источника искажений показателей качества электрической энергии и программно-аппаратный комплекс для его сокращения // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 6. 29-41 с. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-6-29-41.3.

2. 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. 34-45 с. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-5-34-45.

3. Майнинг, проблемы и решения: [Электронный ресурс]. URL: [http://zvt.abok.ru/articles/435/Maining\\_problemi\\_i\\_resheniya](http://zvt.abok.ru/articles/435/Maining_problemi_i_resheniya). (Дата обращения: 7.04.2021).

4. Московский комсомолец: [Электронный ресурс]. г. Иркутск URL: <https://baikal.mk.ru/economics/2021/06/29/serym-mayneram-priangarya-pridetsya-zaplatit-po-schetam.html>. (Дата обращения: 6.04.2021).

5. Репортаж: как в Шелеховском районе добывают криптовалюту: [Электронный ресурс]. г. Иркутск URL: [https://irk.today/2021/09/14/reportazh-kak-v-shelehovskom-rajone-dobyvajut-kriptovaljutu/?\\_ppp=f2a8550dbd](https://irk.today/2021/09/14/reportazh-kak-v-shelehovskom-rajone-dobyvajut-kriptovaljutu/?_ppp=f2a8550dbd). (Дата обращения: 6.04.2021).

6. TAdviser: Майнинг криптовалют: [Электронный ресурс]. URL: <https://www.tadviser.ru/index.php>. (Дата обращения: 8.04.2021).

7. АНО «Центр энергосбережения УР». Коммерческие потери электроэнергии и их снижение: [Электронный ресурс]. URL: <http://energob18.ru/energoberezhenie/propaganda/publikaczii/kommercheskie-poteri-elektroenergii-i-ix-snizhenie.html>. (Дата обращения: 7.04.2021).

8. Басенко В.Р., Владимиров О.В., Ившин И.В., Низамиев М.Ф. Бесконтактный лазерный контрольно-измерительный комплекс для определения уровня пресовки обмоток и магнитопровода силового трансформатора // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 3. 140-153 с.

9. Козлов В.К., Гарифуллин М.Ш., Сабитов А.Х., Гиниатуллин Р.А. Люминесцентные свойства бумажной изоляции маслонаполненных трансформаторов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2018. Т. 20. № 11-12. 144-151 с.

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

11. Филимонова А.А., Чичиров А.А., Чичирова Н.Д. [и др.] Перспективы развития водородной энергетики в Татарстане // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 22. № 6. 79-91 с.

12. Б. Б. Оразбаев, М. Д. Кабибуллин, А. К. Жумадилаева и др. Исследование проблем моделирования и принятия решений при управлении установкой риформинга и подходы к решению // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 2(54). С. 82-95. EDN CEWPSD.

## **ПРИМЕНЕНИЕ РАНЖИРОВАНИЯ ПРИ МОДЕРНИЗАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ ПОДСТАНЦИИ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ**

Каримов Марсель Маратович<sup>1</sup>, Валиуллина Дилия Мансурована<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>marsel.karimov.1997@mail.ru

Вопросы модернизации оборудования электроподстанций очень актуальны в связи с высокой степенью изношенности существующего парка электрооборудования и как следствие ведущей к повышению степени аварийности, приводящей к нарушению надежности электроснабжения потребителей. Возможным решением является ранжирование проведения работ по модернизации подстанций, на основе выбора по следующим критериями: степенью федеральной и региональной значимости потребителей, финансовыми возможностями энергокомпании, статистикой повреждаемости отдельных узлов подстанционного электрооборудования.

**Ключевые слова:** аварийность электроподстанций, изношенность и модернизация электрооборудования, надежность электроснабжения

## **APPLICATION OF RANKING IN THE MODERNIZATION OF SUBSTATION EQUIPMENT TO INCREASE THE RELIABILITY OF POWER SUPPLY TO CONSUMERS**

Karimov Marcel Maratovich<sup>1</sup>, Valiullina Diliya Mansurovana<sup>2</sup>

The issues of modernization of electrical substation equipment are very relevant due to the high degree of depreciation of the existing fleet of electrical equipment and, as a result, leading to an increase in the degree of accidents, leading to a violation of the reliability of power supply to consumers. A possible solution is to rank the substation modernization work based on the following criteria: the degree of federal and regional significance of consumers, the financial capabilities of the energy company, and the statistics of damage to individual substation electrical equipment components.

**Keywords:** accident rate of electrical substations, depreciation and modernization of electrical equipment, reliability of power supply

Модернизация существующих электрических подстанций и распределительных систем высокого или среднего напряжения в самом широком смысле предполагает внедрение инновационных технологий,

инструментов и методов передачи и преобразования электроэнергии [1]. Понятие категории надежности потребителей лежит в основе проектирования распределительных сетей в котором используется технико-экономическое сопоставление вариантов электроснабжения. Такая ситуация не соответствует современному состоянию энергетического перехода к цифровизации электрической сети, распределенной энергетике и изменениям в системе управления [2]. Необходимо учитывать дополнительные составляющие оценки надежности эксплуатации оборудования. В современных экономических реалиях управления системами электроснабжения одним из ключевых условий его эффективности является мониторинг процессов и оценка технического состояния [3].

При рассмотрении вопроса модернизации электрооборудования в целях повышения надежности электроснабжения необходимо исходить из двух важнейших факторов: текущая изношенность электрооборудования и наличие финансовых возможностей энергокомпаний.

Изношенность находящегося в эксплуатации объектов электрооборудования, на сегодняшний момент составляет в целом по стране порядка 60%. На основании оценочных данных ООО «Газпром энергохолдинг» [4], на рисунке 1 представлен график исчерпания паркового ресурса, электрооборудования находящегося в эксплуатации более 40 лет. Порядка 20% эксплуатируемого электрооборудования подлежит выводу из. Порядка 40% электрооборудования нуждается в модернизации или замене.



Рис. 1. График исчерпания паркового ресурса, электрооборудования находящегося в эксплуатации более 40 лет [4].

На рисунке 2 показана текущая ситуация увеличивающейся динамики требующей модернизации действующего электрооборудования.

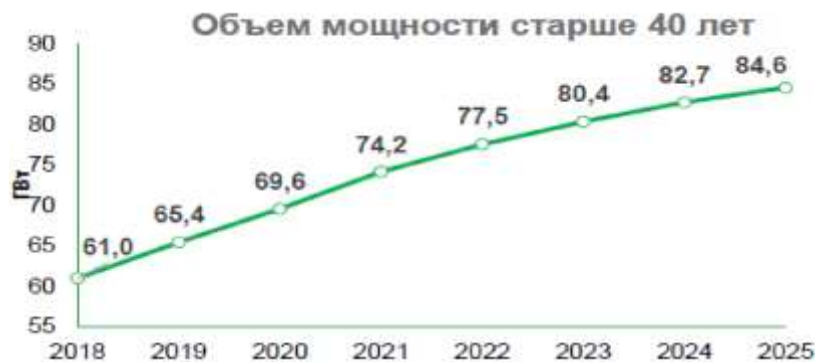


Рис. 2 Динамика модернизации действующего электрооборудования [4].

Фактор финансовых возможностей также вносит свои коррективы. По данным [5] задолженность на оптовом рынке электроэнергии (ОРЭМ) РФ в 2022 году будет расти даже в случае сохранения объемов энергопотребления. При сохранении в РФ объемов потребления электроэнергии в 2022 году на уровне 2021 года долг за поставленное электричество будет продолжать увеличиваться, что отрицательно скажется на финансовых показателях компаний отрасли. Выводы относительно уровня потребления электроэнергии в РФ в 2022 году делать преждевременно, поскольку картина влияния экономических санкций, введенных против России западными странами, на промышленное производство и деловую активность пока не сформировалась. По данным Минэнерго РФ, электропотребление в стране в 2021 году выросло на 5,4% - до 1,107 триллиона киловатт-часов, выработка - более чем на 6%, до 1,131 триллиона киловатт-часов. В 2022 году прогнозируется рост потребления на 2% [5]. На основании доклада первого зампреда правления Центра финансовых расчетов (ЦФР, специализируется на оказании комплексных услуг по расчету требований и обязательств участников оптового рынка, СО ЕЭС и ФСК ЕЭС) Дмитрия Чернова, задолженность населения России за электроэнергию за январь и февраль 2022 года увеличилась на 10,5 млрд рублей по сравнению с показателем на конец 2021 года. Показатель собираемости платежей в 2021 году демонстрировал положительную динамику: Промышленные потребители - 93,6%, непромышленные потребители - 90,4% и сельскохозяйственные потребители 91,6%. Суммарная задолженность на розничном рынке по состоянию на 28 февраля 2022 года составила 355,3 млрд рублей [6]. Текущая финансовая ситуация существенно вносит свои коррективы в программу модернизации оборудования подстанций.

В целом концепция модернизации включает мероприятия по замене деталей и компонентов на новые и обновление существующих систем или оборудования. Эти действия оптимизируют технические параметры системы, а также повышают ее стабильность и надежность. Предполагается, что частичная модернизация системы среднего напряжения (ЗРУ) на подстанциях

экономически выгодна, если затраты составляют до 60-65% стоимости нового распределительного устройства. Необходимо учитывать, что распределительные устройства состоят из компонентов с различными сроками службы и разной стоимостью обновления или замены [1]. Коммутационное оборудование подвергается воздействию электрических дуг, а их приводы быстро изнашиваются механически нагруженными и фрикционными деталями. Оборудование релейной защиты, систем контроля и сигнализации устаревает значительно быстрее, чем будет достигнут предельный срок их эксплуатации.[9-10] Цели проекта модернизации электроподстанции определяются индивидуально в зависимости от состояния существующей инфраструктуры, требований заказчика и действующих норм и правил эксплуатации электрических систем. Общие цели заключаются в увеличении пропускной способности, безопасности и надежности оборудования, что напрямую влияет на надежность электроснабжения потребителей. В рамках этого комплекса мероприятий может потребоваться дополнительное строительство расширение подстанции, замена устаревшего оборудования существующей подстанции, установка современных средств автоматизации, удаленного мониторинга и контроля. Исследования и расчеты в рамках технико-экономического обоснования проекта могут проводиться на местном, региональном и общенациональном уровне. Эти работы предполагают детальный анализ технических аспектов проекта, оценку расходов и финансово-экономических рисков, а также прогнозирование воздействия проекта на окружающую среду и население района. Эти исследования требуют привлечения широкого круга специалистов из разных областей, которые способны проанализировать всевозможные аспекты проекта [1].

Достижение высоких показателей надежности и безопасности возможно на основе системы требований и использования различных современных и инновационных технических решений, среди которых следует выделить применение:

- новейшего электротехнического оборудования повышенной надежности;
- цифровых технологий управления режимами работы основного электрооборудования;
- самодиагностики и мониторинга состояния электрооборудования, сбора, обработки и передачи данных;
- дистанционного управления коммутационными аппаратами;
- открытого или закрытого исполнения РУ;
- компактных ячеек и, как правило, жесткой ошиновки заводской комплектации;

- элегазовых и вакуумных коммутационных аппаратов для РУ-110 открытого и закрытого исполнения в населенных пунктах с плотной и старой застройкой, культурных и исторических центрах;
- необслуживаемого оборудования или оборудования со сниженным объемом регламентных работ;
- стратегии эксплуатации и ремонта оборудования по техническому состоянию;
- микропроцессорных терминалов защиты и противоаварийной автоматики;
- комплектов укрупненных функциональных блоков полной или повышенной заводской готовности;
- силовых кабелей из сшитого полиэтилена;
- решений по исключению и сведению к минимуму пожаров, взрывов и отрицательных воздействий на окружающую среду [7,11].

В примере программы по модернизации электрооборудования филиалов ОАО «МРСК» в основе лежит техническая политика, которая является основным документом, определяющим совокупность технических мероприятий и требований к оборудованию и технологическим процессам на ближайшую и долгосрочную перспективу, направленных на повышение эффективности, обеспечение передового технического уровня и безопасности распределительных электрических сетей на основе мировых передовых решений и технологий. Основой технической политики лежат: Федеральные Законы, Постановления Правительства Российской Федерации, Концепция стратегии ОАО РАО «ЕЭС России» до 2030 года, Положение о технической политике ОАО «ФСК ЕЭС», Программа действий по повышению надежности ЕЭС России, разработанная в соответствии с «Основными направлениями программы действий по повышению надежности ЕЭС России», Приказы ФСТ России и ряд других нормативных документов.

Выводы: Исходя из указанных выше факторов, модернизация оборудования подстанций в целях увеличения надежности электроснабжения, становится с одной стороны мерой вынужденной острой необходимостью, а с другой сильно ограниченной финансовой составляющей. Выходом является избирательное проведение работ по модернизации подстанций, выбор которых может определяться следующими критериями: степенью Федеральной и региональной важности потребителей, финансовыми возможностями энергокомпании, статистикой повреждаемости отдельных узлов подстанционного электрооборудования.

## **Источники**



1. Официальный сайт ESFC Investment Group [Электронный ресурс]. URL: <https://esfccompany.com/services/elektricheskie-podstantsii/modernizatsiya-elektricheskoy-podstantsii>. (дата обращения: 5.03.2022).

2. Бык Ф.Л., Какоша Ю.В., Мышкина Л.С. Фактор надежности при проектировании распределительной сети. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2020, Т. 22. № 6.43-54 с. doi:10.30724/1998-9903-2020-22-6-43-54.

3. Секретарев, Ю. А. Оценка влияния на надежность системы электроснабжения различного рода дефектов ее основных элементов / Ю. А. Секретарев, В. М. Левин. Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2019, Т. 11. № 4(44). 55-63 с.

4. Официальный сайт ООО «Газпром энергохолдинг» [Электронный ресурс]. <https://energoholding.gazprom.ru>. (дата обращения: 12.03.2022).

5. Официальный сайт Минэнерго Российской Федерации [Электронный ресурс]. [minenergo.gov.ru](http://minenergo.gov.ru) (дата обращения: 10.03.2022).

6. Официальный сайт Новости в России и мире - ТАСС [Электронный ресурс]. [https://tass.ru/ekonomika/14298229?utm\\_source=yandex.ru&utm\\_medium=organic&utm\\_campaign=yandex.ru&utm\\_referrer=yandex.ru](https://tass.ru/ekonomika/14298229?utm_source=yandex.ru&utm_medium=organic&utm_campaign=yandex.ru&utm_referrer=yandex.ru) (дата обращения: 20.03.2022).

7. Биктимиров Е. А., Рычкова А. С., Соколов В. Ю. Повышение надежности работы трансформаторной подстанции при замене основного оборудования. Траектория научно-технологического развития России с учетом глобальных трендов: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции 29 ноября 2019г.: Белгород: ООО Агентство перспективных научных исследований (АПНИ), 2019. 78-81 с. URL: <https://apni.ru/article/75-povishenie-nadezhnosti-raboti-transformatornoj>.

8. Валиуллина Д.М., Ильясова Ю. К., Козлов В.К. Качественные методы спектрального анализа в диагностике трансформаторных масел // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2019. Т. 21. № 1-2. 87-92 с.

9. Дремичева Е.С., Зверева Э.Р., Бурганова Ф.И., Зверев Л.О. Перспективы технологии совместного сжигания биомассы и угля на объектах энергетики // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 1. 119-130 с.

10. Липантьев, Р.Е., Тутубалина В.П. Влияние сжигания сернистых мазутов на окружающую среду // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2017. Т. 19. № 5-6. 144-148 с.

11. Козлов, В.К., Сабитов А. Х. Степень полимеризации бумажной изоляции силовых трансформаторов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2018. Т. 20. № 9-10. 34-38 с.

12. Пазушкина, О. В. Анализ работы деаэрационных устройств на производственной котельной / О. В. Пазушкина, М. В. Золин, И. А. Силкин // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 1. – С. 99-113. – DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-1-99-113. EDN ZWBYZI.

13. Применение генетического алгоритма при разработке программного обеспечения для перебора материалов при оптимизации синхронных двигателей / Т. И. Петров, А. Р. Сафин, М. Ф. Низамиев, В. Р. Басенко // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 2(54). С. 96-105. EDN NMIGYA.

УДК 621.311

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ НАКОПЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ПРОМЫШЛЕННОЙ АККУМУЛЯЦИИ

Абдреев Кирилл Андреевич<sup>1</sup>, Гарифуллин Марсель Шарифьянович<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>abdreev.kirill@mail.ru, <sup>2</sup>g\_marsels@mail.ru

В статье рассмотрены наиболее распространённые из современных технологий аккумулирования электроэнергии. Проанализированы возможности и текущие тенденции использования этих технологий для промышленной аккумуляции, а так же потенциально применимые из них в системах распределённой энергетики.

**Ключевые слова:** аккумулирование электроэнергии, ГАЭС, пневматические аккумуляторы, маховиковые накопители, саморазряд, удельная ёмкость, удельная стоимость, литий-ионные аккумуляторы.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF VARIOUS ELECTRIC POWER STORAGE SYSTEMS IN INDUSTRIAL STORAGE

<sup>1</sup>Abdreev Kirill Andreevich, <sup>2</sup>Garifullin Marsel Sharifyanovich.

The article discusses the most common of modern technologies of electricity storage. The possibilities and current trends of using these technologies for industrial accumulation, as well as potentially applicable ones in distributed energy systems, are analyzed.

**Keywords:** electric power storage, PSPP, pneumatic accumulators, flywheel storages, self-discharge, specific capacity, specific cost, lithium-ion batteries.

Развитие систем накопления электроэнергии всегда сопровождало развитие энергетики, связано это в первую очередь с неудобством подстраивать вырабатывающие станции к спросу потребителей, так как очевидно, что спрос величина непостоянная. Не менее важной причиной использования накопителей так же служит развитие возобновляемой энергетики. В этом случае переменным является не только потребитель, но и источник электроэнергии, дисбаланс между которыми могут сгладить накопительные

электростанции. Помимо этого накопительные станции очень полезны при использовании их в системах распределённой энергетики, микрогриды и смартгриды. Такие системы помимо наиболее эффективного энергоснабжения потребителя, способные обеспечить автономность каждой микросети, что крайне важно в районах удалённых и изолированных от основной энергосети [1]. В 2022-ом году Правительством была утверждена “дорожная карта” развития в России “Технологий создания систем накопления энергии, включая портативные”. Она направлена на ускорение и содействие государства в развитии этого направления [2]. Таким образом, проблема накопителей становится актуальной с различных точек зрения. В этой связи интересным представляется рассмотреть возможные варианты реализации этих систем. Для этой цели были выбраны технологии, имеющие какое либо влияние на формирование статистики накопителей энергии, иными словами имеющие применение в наше время. К таковым были отнесены: гидроаккумулирующие станции, пневматические аккумуляторы, маховиковые накопители, свинцовые, никель-кадмиевые, никель-металгидридные, литий-ионные, натрий серные аккумуляторы и суперконденсаторы. Рассмотрим более подробно указанные схемы накопителей.

Гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС) являются наиболее распространённым методом накопления энергии. Около 98,5% всего накопления энергии в мире производится с помощью ГАЭС. Они представляют из себя станции накопления электроэнергии, посредством переноса воды из более низкого резервуара в более высокий, в период низкой потребности электроэнергии, используя для этого избыточную мощность. Мощность таких станций может достигать 3600 МВт (Фэннин, Китай), это самый большой показатель среди всех накопительных станций [3]. КПД современных ГАЭС составляет от 72-74% до 79% (ГАЭС Вианден-1, Люксембург, 1296 МВт) [4]. Себестоимость энергии, например на Загорской ГАЭС — 289 р./кВт·ч [5]. ГАЭС являются эффективным способом накопления энергии в масштабах страны, имея большую мощность и хорошее КПД не зависящую на прямую от времени хранения энергии, а так же очень небольшую стоимость запаса энергии.

Пневматические аккумуляторы – устройства, использующие избыточную энергию для сжатия воздуха и последующего производства электроэнергии. Adele (немецкий консорциум) хранит сжатый воздух в соляной каверне, а использование керамобетонных теплоаккумуляторов должно поднять эффективность всей системы выше 60 процентов. Мощность их первого проекта должна будет составить 90 МВт. Компания SustainX (США) хранит энергию в специальных контейнерах мощностью до 2МВт и КПД 50-70%

зависящих от условий хранения [6]. Касательно уже работающих станций, их действительное КПД составляет до 53%, а стоимость строительства 360-650\$/кВт и более [7]. Низкий КПД и прямая зависимость между ценой и местом размещения этих станций, в отличии ГАЭС делают аккумуляторы подобного вида неактуальными на сегодняшний день.

Маховиковые накопители энергии. Накопление энергии в них происходит за счёт преобразования её в кинетическую энергию вращения маховика. Существуют две основные технологии производства таких маховиков. Первая технология, принадлежащая компании KEST и их партнёрам. Они производят накопители, маховики которых произведены из высокопрочной стальной ленты и смазываются маслонасосом. Их накопители имеют срок службы в 25 лет, диапазон рабочих температур от -40 до +80 градусов Цельсия, удельную энергоёмкость 6,25 Вт·ч /кг, КПД 80-95% [8,9]. Однако при использовании подшипников скольжения на масле, возникает проблема падения КПД с течением времени вследствие трения. Приведённые официально значения в 80-95%, скорее всего, говорят о таковых при проведение разрядки в первые 20-40 минут после зарядки. Вторая технология американской компании Beacon POWER. Она производит маховики из углеродистого волокна на магнитных подшипниках. Такая схема характеризуется большим количеством циклов, более 175 000. Обе технологии являются абсолютно экологичными и, по заверению производителей, безопасными. [10]. Минусы такой системы схожи с прошлой. Высокие потери, примерно 0.03 МВт·ч энергии, или около 30% за час работы [11]. Это так же ведёт к уменьшению времени хранения энергии, более 30 минут [10]. Несмотря на все преимущества маховиковых накопителей, этот минус, а именно высокие энергопотери являются причиной отказа большинства потребителей от их применения в качестве накопителя электроэнергии. По технологии компании Beacon POWER работают лишь 2 электростанции мощностью 90МВт построенные в 2011. Однако маховиковые накопители очень эффективны при использовании их для рекуперации энергии торможения.

Свинцово-кислотные аккумуляторы имеют удельную энергию 35-40 Вт·ч /кг [12]. Эффективность заряда/разряда 50-95%. Варьирование возникает не только от марки и вида аккумулятора, но и от температуры, продолжительности хранения и степени разряда в процессе разрядки. При 100% разрядке срок службы составит около 250 циклов, в то время как при разрядке на 30%(наиболее эффективно) он может составить 1100 циклов. Ёмкость падает при разных температурах хранения аккумуляторов, например за год работы, при 20 градусах на 40% в год, при 5 градусах на 15% в год, при 40 градусах 40% за 5 месяцев. Так в среднем в месяц саморазряд составляет от 3 до 20%

[13]. Срок службы в среднем до 800 циклов. Интервал рабочих температур от -40 до +40 градусов [14, 15]. Стоимость запаса энергии от 0.055 до 0.5 USD/Вт·ч [15,16,17]. Стоит отметить и канцерогенность свинцовых отходов. Отличительной чертой таких накопителей является дешевизна, но при этом и относительно небольшой срок службы. Станции на таких аккумуляторах до сих пор работают, однако считаются устаревшими.

Никель-кадмиевые аккумуляторы имеют рабочие температуры от -50 до +40 градусов, Удельную энергоёмкость до 65 Вт·ч/кг. Саморазряд от 8 до 30% в первый и около 10% каждый последующий месяц. Количество рабочих циклов от 100 до 1000(в некоторых до 2000). Срок эксплуатации в среднем 10 лет [18]. Внутреннее сопротивление 100-200 мОм (при 6В). Отходы таких батарей токсичны. Никель-кадмиевые батареи очень долговечны и неприхотливы в использовании и легко выдерживают как температурные, так и механические перегрузки, но и имеют большой саморазряд. В среднем стоимость варьируется от 0.33 до 1.6 USD/Вт·ч [16, 19, 20, 21]. Однако, несмотря на все плюсы именно высокая стоимость делает никель-кадмиевые аккумуляторы неконкурентоспособными с литий-ионными аккумуляторами при использовании в аккумулирующих станциях.

Никель-металгидридный аккумулятор. Энергетическая плотность таких накопителей 60-120 Вт·ч/кг с рабочим числом циклов от 300 до 1000, при этом срок службы 3-5 лет. Рабочий диапазон температур от -20 до 60 градусов Цельсия. Саморазряд в первый месяц составляет 20-30%, каждый последующий 3-7% [22]. Стоимость запаса энергии минимум 0.67 USD/Вт·ч [16, 23]. Как недостатки можно отметить большие энергопотери, Потеря работоспособности при температурах ниже -10 градусов или при полной разрядке аккумулятора. К плюсам можно отнести сохранение разрядной способности более 95% в температурном диапазоне от 5 до 35 градусов, отсутствие эффекта памяти, относительную лёгкость утилизации и высокую энергетическую плотность [22]. Основной недостаток никель-металгидридных такой же как и у никель-кадмиевых, высокая стоимость.

Литий-ионные аккумуляторы обладают удельной энергоёмкостью 110-270 Вт·ч/кг [24]. Внутреннее сопротивление 150-250 мОм при напряжении 3.6 В [25]. Рабочее число циклов заряда-разряда 600 (до 1000). Диапазон рабочих температур от -20 до +60 градусов [26]. Саморазряд 10-20% в год (в первый месяц 4-6%). Стоимость запаса энергии может начинаться с 0.1 USD/Вт·ч [16, 27]. Минусами таких накопителей являются плохая восприимчивость низких температур, токсичность отходов, огнеопасность и деградация аккумулятора даже в случаях, если он не используется. Преимущества – это очень низкое внутреннее сопротивление, низкий саморазряд, высокая энергетическая

плотность. Большое число рабочих циклов и высокая экономичность в расчёте USD/Вт·ч [26]. Литий-ионные аккумуляторы практически не имеют весомых недостатков, уступая в экономичности лишь свинцовым аккумуляторам и ГАЭС.

Натрий-серные аккумуляторы имеют удельную энергоёмкость 300-350 Вт·ч/кг, стоимость может быть менее 1 USD/Вт·ч. Работа таких батарей связана с ионными реакциями солевых расплавов, поэтому их рабочая температура примерно +300...350 градусов Цельсия. Это влечёт за собой тепловые потери, поэтому КПД таких накопителей может достигать 89% при примерно 6 часах хранения заряда. Стоит отметить, что они имеют высокую коррозионность, а так же их экономичность прямо пропорциональна размеру батареи, так как большой элемент медленнее охлаждается. Число рабочих циклов может достигать 4000 при рабочей разрядке в 80%. Именно большое число рабочих циклов является главным преимуществом таких накопителей, однако высокие рабочие температуры и относительная дороговизна ограничивают их применение [16, 28].

Суперконденсаторы имеют очень долгий срок службы, до 20 лет, и большое число циклов работы, до миллиона или до 30000 часов. Удельная энергоёмкость до 5 Вт·ч/кг, диапазон рабочих температур от -45 до +60 градусов Цельсия. КПД может достигать 95%, однако, саморазряд происходит на порядок быстрее, чем в литий-ионных. Стоимость от 16 до 25 USD/Вт·ч. Несмотря на преимущества в виде срока службы и неприхотливости в работе, суперконденсаторы остаются очень дорогим средством запаса энергии [16, 29, 30].

По перечисленным данным, можно составить таблицу основных характеристик некоторых из технологий накопления энергии.

Таблица 1.  
Характеристики различных схем накопления энергии.

технологии параметры	Срок службы	Рабочее число циклов	стоимость (USD/Вт·ч)	Саморазряд или кпд
ГАЭС	до 40 -50 лет	—	—	КПД до 79%
пневматические ак-ры	—	—	—	КПД 53%
маховиковые накопители	25 лет	175000	—	30% за час работы
свинцовые батареи	в среднем 2-3 года	до 1100	от 0.055 до 0.5	3-20% в месяц

никель-кадмиевые	около 10 лет	до 1000(порой до 2000)	От 0.33 до 1.6	8-30% в первый и около 10 каждый следующий месяц
Никель-металгидридный	3-5 лет	300-1000	минимум 0.67	20-30% первый, 3-7 каждый следующий месяц
Литий-ионные	10-12 лет	до 1000	Минимум 0.1	10-20% в год
Натрий-серные	—	до 4000	Менее 1	11% за 6 часов
Суперконденсаторы	до 20 лет	до миллиона	От 16 до 25	КПД до 95%

Стоит так же отметить существование станций хранения расплавленной соли. Однако такие станции являются слишком ситуативными и применяются лишь в очень жарких районах на солнечных электростанциях [16, 31-34].

Из вышеприведенных чисел и рассуждений можно подвести итоги. В промышленном накоплении энергии наиболее эффективными являются ГАЭС и литий-ионные аккумулирующие станции. ГАЭС имеют очень дешевую себестоимость запаса энергии, а литий-ионные очень большое кпд, мобильность и достаточно небольшую цену. Для использования в smartgridах наиболее перспективными будут опять же литий-ионные накопители, ГАЭС плохо подходят для разделения их на небольшие участки и работы на индивидуальных потребителей, а литий ионные превосходят все остальные виды накопления электроэнергии по большинству характеристик. Схожую статистику показывают и тенденции развития систем аккумулирования. Если брать статистику за исключением ГАЭС, тогда более 90% всех введенных в эксплуатацию станций накопления в 2020 году составляют литий-ионные. При всём этом, это число неуклонно растёт, с 35% в 2010 году до более чем 90% в 2020 году [1].

ГАЭС в наше время играют главную роль в промышленной аккумуляции электроэнергии, литий-ионные накопители являются главным приоритетом развития, так как они имеют ряд параметров, которыми не обладают ГАЭС. Это позволяет их использовать не только для сглаживания перепадов мощности потребителя и источников возобновляемой энергии, но и для поддержания автономных сетей и систем распределённой энергетики.

### Источники

1. Д.А. Россихин, Т.В. Выприцкая, А.В. Сидорова; Системы накопления электроэнергии: перспективы и потенциал развития –

Высоковольтные аппараты и оборудование – энергия единой сети № 3 (58) – 2021 – 19-26 с.

2. Правительство утвердило «дорожную карту» развития высокотехнологичной области систем накопления электроэнергии до 2030 года [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://government.ru/news/45424/> (дата обращения 22.05.2022)

3. Zhang Mingxin; Clean power plant online to use sound Beijing Winter Olympics [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.ecns.cn/news/2021-12-31/detail-ihauemxn3938662.shtml> (дата обращения 22.05.2022)

4. Коэффициент полезного действия ГАЭС: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: [https://studbooks.net/2134947/matematika\\_himiya\\_fizika/koeffitsient\\_poleznogo\\_deystviya\\_gaes](https://studbooks.net/2134947/matematika_himiya_fizika/koeffitsient_poleznogo_deystviya_gaes) (Дата обращения: 21.04.2022)

5. Особенности определения себестоимости электроэнергии на ГАЭС: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://helpiks.org/4-40431.html> (Дата обращения: 21.04.2022)

6. By Erica Gies - A Storage Solution Is in the Air – The New York Times – Oct. 1, 2012 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://www.nytimes.com/2012/10/02/business/energy-environment/a-storage-solution-is-in-the-air.html>

7. Compressed Air Energy Storage (CAES) — Пневматический аккумулятор): [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://habr.com/ru/post/378659/> (Дата обращения: 21.04.2022)

8. KEST: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://www.kest.energy/> (Дата обращения: 21.04.2022)

9. Kinetic-power: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://www.kinetic-power.com/technology> (Дата обращения: 21.04.2022)

10. Beacon POWER: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://beaconpower.com/history/> (Дата обращения: 21.04.2022)

11. WayBackMschine – Reports and Papers: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://web.archive.org/web/20130429185927/http://www.beaconpower.com/product-s/presentations-reports.asp> (Дата обращения: 21.04.2022)

12. Мэй, Джеффри Дж.; Дэвидсон, Алистер; Монахов, Борис (февраль 2018). "Свинцовые аккумуляторы для коммунального хранения энергии: обзор". Журнал хранения энергии. 15: 145–157

13. Свинцовые аккумуляторы (Pb): [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://energotrade.su/accumulator/plumbum-acb.htm> (Дата обращения: 21.04.2022)



14. PS Series – VRLA, AGM Battely, Valve Regulated: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.power-sonic.com/batteries/ps-series/> (Дата обращения: 21.04.2022)
15. Ivan Cowie; All About Batteries, Part 3: Lead-Acid Batteries: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://www.eetimes.com/all-about-batteries-part-3-lead-acid-batteries/> (Дата обращения: 21.04.2022)
16. Попель О.С., Тарасенко А.Б. Сравнительный анализ различных технологий аккумуляирования электроэнергии - Международный конгресс REENCON, МШУ Сколково, октябрь 2016 г.
17. Свинцово-кислотные аккумуляторные батареи: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.ebay.com/b/Lead-Acid-Rechargeable-Batteries/48619/bn\\_229425?\\_udlo=2%C2%A0760&rt=nc&mag=1](https://ru.ebay.com/b/Lead-Acid-Rechargeable-Batteries/48619/bn_229425?_udlo=2%C2%A0760&rt=nc&mag=1) (Дата обращения: 21.04.2022)
18. Никель-Кадмиевые аккумуляторы: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://istochnikipitaniy.ru/akkumulyatory/batarei/ni-cd.html> (Дата обращения: 21.04.2022)
19. Никель-кадмиевые аккумуляторные батареи: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.ebay.com/b/NiCd-Rechargeable-Batteries/48619/bn\\_224578?mag=1](https://ru.ebay.com/b/NiCd-Rechargeable-Batteries/48619/bn_224578?mag=1) (Дата обращения: 21.04.2022)
20. Всё о Ni-MH аккумуляторах: устройство, характеристики, плюсы и минусы: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://akbinfo.ru/shhelochnye/ni-mh-akkumuljatory.html#\\_Ni-MH](https://akbinfo.ru/shhelochnye/ni-mh-akkumuljatory.html#_Ni-MH) (Дата обращения: 21.04.2022)
21. Всё о никель-кадмиевых аккумуляторах: характеристики, эксплуатация, плюсы и минусы: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://akbinfo.ru/shhelochnye/nikel-kadmievye-akkumuljatory.html#\\_-\\_Ni-Cd-3](https://akbinfo.ru/shhelochnye/nikel-kadmievye-akkumuljatory.html#_-_Ni-Cd-3) (Дата обращения: 21.04.2022)
22. Всё о Ni-MH аккумуляторах: устройство, характеристики, плюсы и минусы: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://akbinfo.ru/shhelochnye/ni-mh-akkumuljatory.html#\\_Ni-MH](https://akbinfo.ru/shhelochnye/ni-mh-akkumuljatory.html#_Ni-MH) (Дата обращения: 21.04.2022)
23. Никель-металлгидридные аккумуляторы: устройство, характеристики, плюсы и минусы: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.ebay.com/b/NiMH-Rechargeable-Batteries/48619/bn\\_114828342?mag=1](https://ru.ebay.com/b/NiMH-Rechargeable-Batteries/48619/bn_114828342?mag=1) (Дата обращения: 21.04.2022)
24. Топовые аккумуляторы 21700: LG M50 5000мАч vs Samsung 48G 4800мАч / iXBT Live. iXBT Live (30 июня 2018): [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ixbt.com/live/supply/topovye-akkumulyatory-21700-lg-m50-5000mach-vs-samsung-48g-4800mach.html> (Дата обращения: 21.04.2022)

25. Внутреннее сопротивление аккумуляторов: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://zevs.by/vse\\_stati.shtml](https://zevs.by/vse_stati.shtml) (Дата обращения: 31.05.2022)
26. Устройство, эксплуатация и характеристики литий-ионных аккумуляторов: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://akbinfo.ru/litievye/litij-ionnyj-akkumuljator.html#\\_Li-Ion](https://akbinfo.ru/litievye/litij-ionnyj-akkumuljator.html#_Li-Ion) (Дата обращения: 21.04.2022)
27. Литий-ионные аккумуляторные батареи : [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.ebay.com/b/Li-Ion-Rechargeable-Batteries/48619/bn\\_224575?mag=1](https://ru.ebay.com/b/Li-Ion-Rechargeable-Batteries/48619/bn_224575?mag=1) (Дата обращения: 21.04.2022)
28. Sodium Sulfur (NaS) Batteries; ESA: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://energystorage.org/why-energy-storage/technologies/solid-electrode-batteries/> (Дата обращения: 01.06.2022)
29. Суперконденсаторы: принципы работы и алгоритмы выбора; ТЕРРА электроника: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://kazan.terraelectronica.ru/news/6295> (Дата обращения: 01.06.2022)
30. Суперконденсаторы вместо аккумуляторов: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://batteryzone.ru/accumulator/superkondensatory-vmesto-akkumuljatorov> (Дата обращения: 01.06.2022)
31. Валиуллина Д.М., Ильясова Ю. К., Козлов В.К. Качественные методы спектрального анализа в диагностике трансформаторных масел // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2019. Т. 21. № 1-2. 87-92 с.
32. Дремичева Е.С., Зверева Э.Р., Бурганова Ф.И., Зверев Л.О. Перспективы технологии совместного сжигания биомассы и угля на объектах энергетики // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 1. 119-130 с.
33. Козлов, В.К., Сабитов А. Х. Степень полимеризации бумажной изоляции силовых трансформаторов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2018. Т. 20. № 9-10. 34-38 с.
34. Липантьев, Р.Е., Тутубалина В.П. Влияние сжигания сернистых мазутов на окружающую среду // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2017. Т. 19. № 5-6. 144-148 с.

УДК 621.316

## **ВЫБОР КОНФИГУРАЦИИ СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ РЕКЛОУЗЕРОВ**

<sup>1</sup>Князева Юлия Владимировна, <sup>2</sup>Валиуллина Диля Мансурована

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

<sup>1</sup>kniazeva.yuliya2015@yandex.ru

Динамика потребления электроэнергии связанное с увеличением количества потребителей создает дополнительные изменения в структуре конфигурации сети существующих ЛЭП и ТП. Возникают вопросы связанные с оптимальным проектированием и реконструкцией электрических сетей наряду с сохранением высокой надежности и безаварийности электроснабжения. В данном тезисе исследуются аспекты необходимые для учета при проведении проектирования конфигурации электрических сетей.

**Ключевые слова:** надежность электроснабжения, реклоузер, изменение конфигурации сети

## SELECTING THE CONFIGURATION OF THE ELECTRIC NETWORK SCHEME USING RECLOSERS

<sup>1</sup>Knyazeva Yulia Vladimirovna, <sup>2</sup>Valiullina Diliya Mansurovana

The dynamics of electricity consumption associated with an increase in the number of consumers creates additional changes in the structure of the network configuration of existing transmission lines and transformer subs. There are questions related to the optimal design and reconstruction of electrical networks along with maintaining high reliability and trouble-free power supply. This thesis examines the aspects necessary to take into account when designing the configuration of electrical networks.

**Key words:** power supply reliability, recloser, network configuration change

Проблема потерь электроэнергии в распределительных сетях была и остается одной из наиболее сложных и актуальных задач электроэнергетики. Это связано с тем, что от уровня потерь электроэнергии зависит эффективность и надежность функционирования электрических сетей, тарифы на электроэнергию, прибыль сетевых компаний [1]. Конфигурация электрических сетей является одним из главных факторов, влияющих на показатели надёжности электроснабжения, качества электроэнергии, доступности электросетевой инфраструктуры. Актуальность управления конфигурацией электрических сетей, в первую очередь посредством их секционирования и резервирования, подтверждается большим количеством публикаций на эту тему в зарубежных источниках [2]. Вопросы поиска оптимальной режимной и схемной конфигурации сетей в условиях повышения требований к их надежности и управляемости, а также оценивания состояния режима их работы на основе потоковой модели рассмотрены в [3]. Согласно опубликованным данным потребление электроэнергии в ЕЭС России в 2021 году составило 1 090 437,0 млн кВт·ч, что выше факта 2020 года на 56 717,0

млн кВт·ч (+5,5%) (при сопоставимых температурных условиях прошлого года и с исключением влияния високосного года – рост оценивается 4,7 %). Относительно фактического объема потребления электроэнергии в 2019 году рост составляет 31 075,4 млн кВт·ч (+2,9%). Динамика потребления электроэнергии в ЕЭС России по месяцам 2021 года в сравнении с 2020 и 2019 годами представлена на рисунке 1 [4].

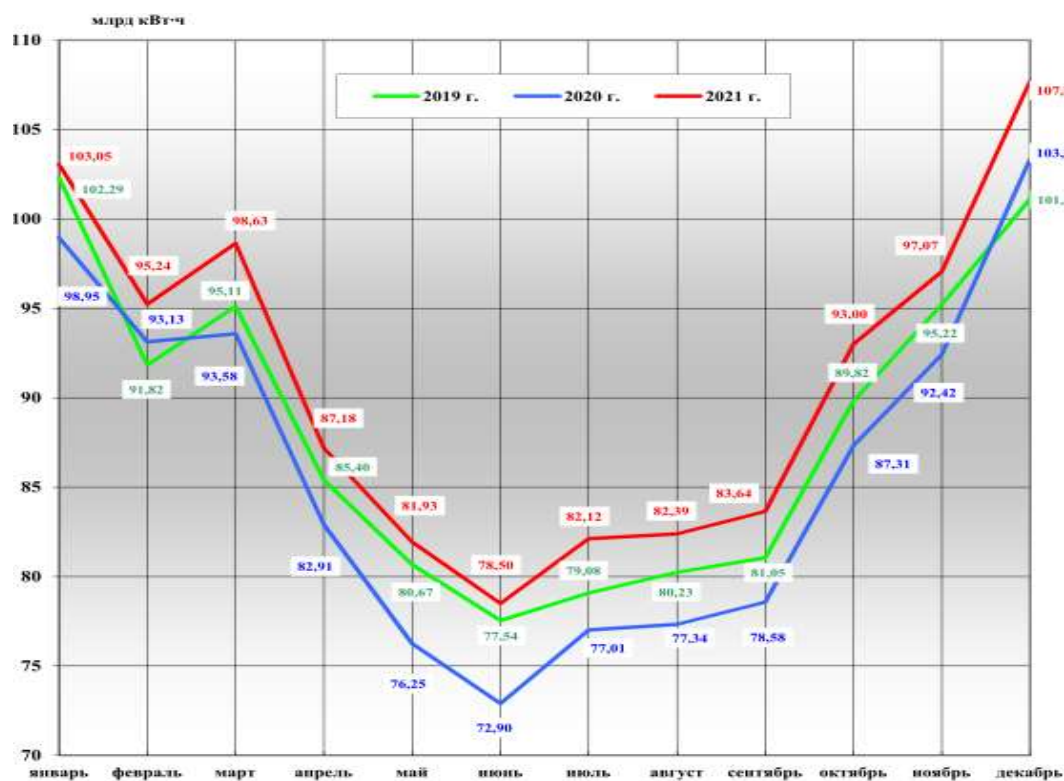


Рис. 1. Динамика потребления электроэнергии в ЕЭС России по месяцам 2021 года в сравнении с 2019, 2020 и 2021 годами [4].

Существенную долю в увеличении потребления мощности имеет и потребители в распределительных сетях 10-0,4 кВ и в дальнейшем динамика будет только возрастать. Возникает необходимость в увеличении строительства ЛЭП, ТП, изменения конфигурации существующих сетей с внедрением реклоузеров.

Реклоузер - это комплексное устройство, предназначенное для многократного АПВ с блокировкой в отключенном положении. Цели применения реклоузеров это устранение неустойчивых повреждений и оокализация устойчивых повреждений. Идеология применения: выделение магистральных участков, изменение режима работы фидера с радиального на кольцевой, выбор оптимального количества и мест установки реклоузеров.

Применение реклоузеров позволяет эффективно повышать надежность распределительной сети, значительно сокращая количество и длительность перерывов электроснабжения потребителей без глубокой модернизации сети.

Влияние реклоузеров на надежность распределительной сети достигается:

а) снижением количества отключений при неустойчивых повреждениях – применение реклоузеров с двукратным АПВ позволяет повысить вероятность устранения неустойчивых повреждений от 20% (если на головном выключателе однократное АПВ) до 80% (если на головном выключателе АПВ отсутствует).

б) сокращением зоны распространения аварии – применение реклоузеров позволяет отключать только потребителей поврежденного участка, сохраняя питание потребителям неповрежденных участков.

в) снижением времени ликвидации аварии – процесс восстановления электроснабжения потребителей после возникновения аварийной ситуации обычно состоит из следующих операций:

- поиск поврежденного участка;
- выделение поврежденного участка;
- восстановление электроснабжения потребителей, подключенных к неповрежденным участкам;
- поиск места повреждения;
- проведение ремонтных работ;
- восстановление исходной схемы электроснабжения.

По статистике 60% времени восстановления электроснабжения затрачивается на поиск, выделение поврежденного участка и восстановление электроснабжения потребителей, подключенных к неповрежденным участкам сети, а 40% – на поиск места повреждения, проведение ремонтных работ и восстановление исходной схемы [5,6,7]. Применение реклоузеров позволяет автоматизировать первый этап и таким образом сократить общее время восстановления электроснабжения в пределе на 60%.

Пример общего вида реклоузера установленного на 1-ой опоре представлен на рисунке 2.

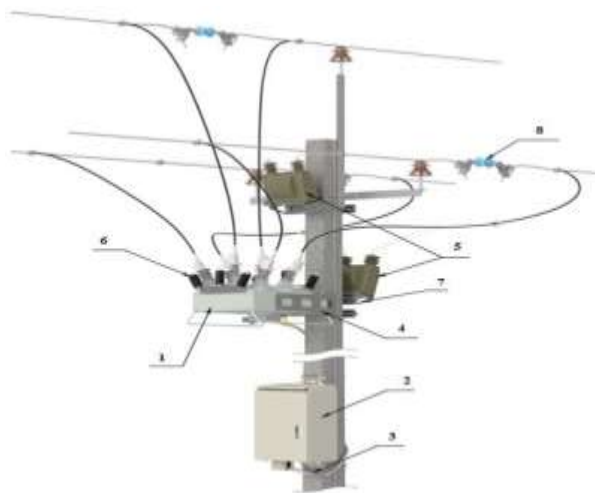


Рис. 2. Общий вид реклоузера установленного на 1-ой опоре [4,5].

1 - коммутационный модуль со встроенными датчиками тока и напряжения (1 шт), 2 - шкаф управления (1 шт), 3 - соединительное устройство (1 шт), 4 - монтажный комплект (1 шт), 5 - трансформатор собственных нужд (1 или 2 шт), 6 - ограничитель перенапряжений (6 шт), 7 - монтажный комплект трансформатора собственных нужд (1 или 2 шт), 8 – изолятор (3 шт).

Электрические сети в РФ имеют как радиальные фидеры, так и кольцевые фидеры. В распределительных сетях наблюдаются частые перерывы электроснабжения потребителей фидера в результате аварийных отключений. В случае радиального фидера, когда требуется повышение надежности электроснабжения отдельного ответственного потребителя или группы потребителей, установка реклоузеров для выделения ответственного потребителя (группы потребителей) от остальной части сети представлена на рисунке 3. Количество и места установки реклоузеров выбираются так, чтобы ответственный потребитель был подключен к участку сети наименьшей протяженности.



Рис. 3. Установка реклоузеров для повышения надежности ответственного потребителя на радиальном фидере [4,5]

В случае когда на кольцевых участках наблюдаются перерывы электроснабжения потребителей фидера в результате аварийных отключений для обеспечения повышения надежности электроснабжения отдельного ответственного потребителя (группы потребителей) используется схема представленная на рисунке 4. Здесь предусмотрена установка реклоузеров для выделения ответственного потребителя (группы потребителей) от остальной части сети (рисунок 4). В магистраль с обеих сторон от отпайки к ответственному потребителю устанавливается два реклоузера, на одном из реклоузеров делается нормальный разрыв. Таким образом, ответственный потребитель теряет питание только в случае повреждения на отпайке.

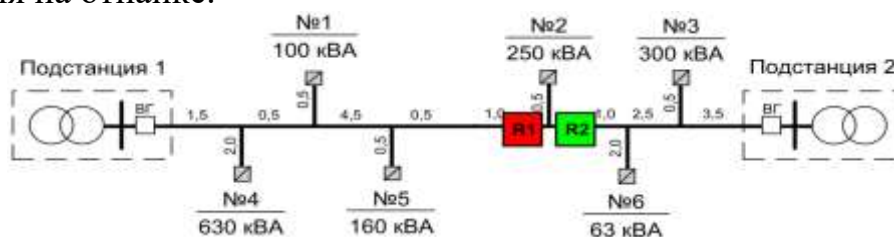


Рис. 4. Установка реклоузеров для повышения надежности ответственного потребителя на кольцевом фидере [5]

При выборе и проектировании распределительной сети с применением реклоузеров руководствуются техническими требованиями стандарта организации ПАО «РОССЕТИ» №34.01-3.2-004-2016 «Реклоузеры 6-35 кВ. Общие технические требования» [4,5].

Существуют определенные ограничения по оптимальному количеству реклоузеров, которое требуется для повышения надежности. Для демонстрации данных ограничений используются показатели RNRE - относительная эффективность реконструкции сети и ARAE - средняя эффективность инвестиций на реконструкцию. На рисунке 5 приведена зависимость показателей RNRE и ARAE от количества устанавливаемых реклоузеров для радиального фидера.

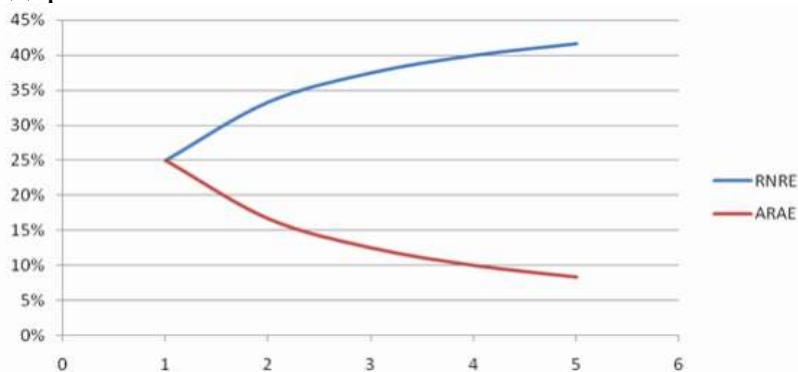


Рис. 5. Зависимость показателей RNRE и ARAE от количества устанавливаемых реклоузеров для радиального фидера [5].

Согласно рис. 5 средняя эффективность применения реклоузеров на радиальном фидере уменьшается начиная с одного аппарата. Наиболее оптимальным для радиального фидера является применение в общем случае 1-2 реклоузеров.

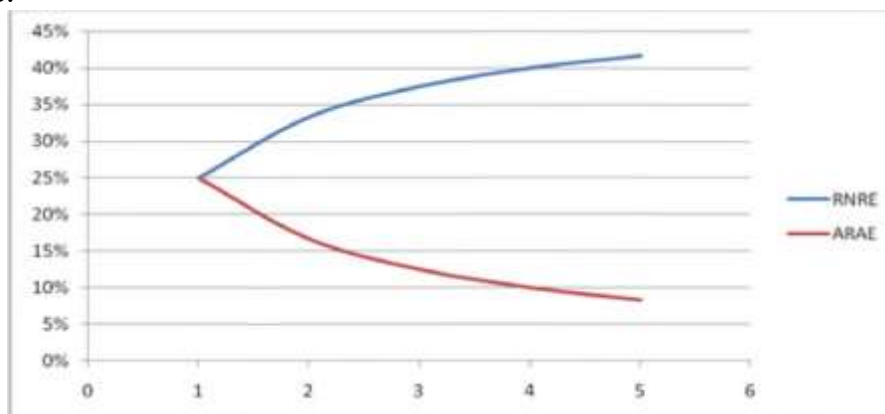


Рис. 6. Зависимость показателей RNRE и ARAE от количества устанавливаемых реклоузеров для кольцевого фидера [5].

Из рисунка 6 следует, что средняя эффективность применения реклоузеров на кольцевом фидере уменьшается, начиная с трёх аппаратов. Наиболее оптимальным для кольцевого фидера является применение в общем случае 3-4 реклоузеров. Также из рисунка 5 и 6 видно, что эффективнее применять реклоузеры на кольцевых фидерах [5].

Существует несколько методик оценки эффективности применения реклоузеров в зависимости от количества, длительности отключений, а также эффективности вложенных инвестиций на общий показатель надежности.[11-12]

*SAIFI* -- System Average Interruption Frequency Index (среднее число отключений потребителя фидера) - характеризует отношение общего количества отключений потребителей системы к общему количеству потребителей.

*SAIDI* -- System Average Interruption Duration Index (средняя продолжительность отключений) - характеризует отношение общей длительности отключений потребителей системы к общему количеству потребителей.

*RNRE* -- Relative Network Reconstruction Efficiency (относительная эффективность реконструкции сети) - характеризует, насколько улучшился SAIFI после реконструкции (в долях от начального значения SAIFI).

*ARIE* -- Average Reconstruction Investment Efficiency (средняя эффективность инвестиций на реконструкцию) - характеризует, сколько



требуется вложить инвестиций в реконструкцию для увеличения RNRE на 1-ну о.е [6].

Находящиеся в эксплуатации, в настоящее время в Российской Федерации ВЛ 6–10 кВ сельской местности выполнены практически одинаково. И только в ряде случаев учитываются местные особенности (вероятность ледообразования, налипания мокрого снега, ветровой нагрузки). Электрические сети пригородного района в отличие от сельских сетей имеют более разветвленную структуру. В сельском районе максимальные и средние длины ВЛ меньше чем в пригородном районе, с большим количеством ответвлений [8-10].

Выводы: в целом об эффективности применения реклоузеров, целесообразности вложений в изменение конфигурации электрической сети можно говорить только с учетом конкретного района местности расположения энергопотребителей, с учетом их дальнейшего количественного увеличения, принимая во внимание особенности сезонных климатических изменений. Возникает необходимость в накладывании дополнительных условий при оценке эффективности применения реклоузеров.

### **Источники**

1. Савина Н.В., Сцепуро К.И. Реконструкция схемы электрических сетей как средство снижения. Вестник КГЭУ. 2019, Т11. №2 сс. 91-102.

2. 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. сс. 34-46. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-3-34-46.

3. Мухлынин Н.Д. Управление распределительными сетями с использованием потоковой модели установившегося режима: Дис. канд. техн. наук. Екатеринбург; 2018. 218с.

4. . СТО 34.01-3.2-004-2016 Реклоузеры 6-35 кВ. Общие технические требования. Утвержден и введен в действие Распоряжением ПАО "Россети" от 07.04.2016 № 154р.

5. СТО 34.01-2.2-033-2017. Линейное коммутационное оборудование 6 - 35 кВ - секционированные пункты (реклоузеры) Том 1.2 Секционированные пункты (реклоузеры) Утвержден и введен в действие Распоряжением ПАО «Россети» от 19.05.2017 №264р.

6. Официальный сайт «СО ЕЭС». [Электронный ресурс]. <https://www.souups.ru>. (дата обращения: 1.04.2022).

7. Официальный сайт ООО «Таврида Электрик». [Электронный ресурс]. <https://www.tavrida.ru>. (дата обращения: 11.03.2022).

8. Мусаев Т.А. Повышение эффективности методов управления режимом работы системы электроснабжения городского района: Дис. ... канд. техн. наук. Чебоксары, 2015. 149 с.

9. Валиуллина Д.М., Ильясова Ю. К., Козлов В.К. Качественные методы спектрального анализа в диагностике трансформаторных масел // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2019. Т. 21. № 1-2. 87-92 с.

10. Дремичева Е.С., Зверева Э.Р., Бурганова Ф.И., Зверев Л.О. Перспективы технологии совместного сжигания биомассы и угля на объектах энергетики // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 1. 119-130 с.

11. Козлов, В.К., Сабитов А. Х. Степень полимеризации бумажной изоляции силовых трансформаторов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2018. Т. 20. № 9-10. 34-38 с.

12. Липантьев, Р.Е., Тутубалина В.П. Влияние сжигания сернистых мазутов на окружающую среду // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2017. Т. 19. № 5-6. 144-148 с.

13. 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. EDN SITIRV.

14. Ценовые характеристики источников электроэнергии мини и микрогрид / А. В. Паздерин, В.О. Самойленко, Н. Д. Мухлынин, П. А. Крючков // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 1(53). С. 122-139. EDN GFPVIZ.

УДК 621.315.615.2

## **ПРИМЕНЕНИЕ ОПТИЧЕСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ВОДЫ В ИЗОЛЯЦИОННОМ МАСЛЕ**

<sup>1</sup>Козлов Владимир Константинович, <sup>2</sup>Куракина Ольга Евгеньевна,

<sup>3</sup>Минегалиев Ильсур Маратович

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

<sup>1</sup>kozlov\_vk@bk.ru, <sup>2</sup>random\_jj@mail.ru, <sup>3</sup>minegaliev.1998@mail.ru

Представлен метод определения влагосодержания трансформаторного масла на основе данных спектра в ближней инфракрасной области. Построена корреляционная прямая, позволяющая с точностью 99 % определить количество воды в масле.

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

## APPLICATION OF OPTICAL SPECTROSCOPY TO DETERMINE WATER CONTENT IN INSULATING OIL

<sup>1</sup>Kozlov Vladimir Konstantinovich, <sup>2</sup>Kurakina Olga Evgenievna,  
<sup>3</sup>Minegaliyev Ilsur Maratovich

A method for determining the moisture content of transformer oil based on spectral data in the near infrared region is presented. A correlation straight line has been constructed, which makes it possible to determine the amount of water in oil with an accuracy of 99%.

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

Трансформаторное масло является важным элементом маслонеполненного электрооборудования. Служит электроизоляционным материалом, дугогасящей и теплоотводящей средой, а также средой, защищающей твердую изоляцию трансформатора (картон) от проникновения влаги и воздуха. Благодаря высоким значениям антиокислительных свойств трансформаторного масла поддерживается длительная работа электроэнергетического оборудования. В электрохозяйстве трансформаторное масло применяется для заливки силовых и измерительных трансформаторов, реакторного оборудования и масляных выключателей. Применение качественного трансформаторного масла гарантирует надежную и бесперебойную работу всей электроэнергетической системы. В зависимости от нефтяного сырья и процесса производства масла имеют различные физико-химические свойства и углеводородный состав [1].

В процессе эксплуатации трансформаторов залитые в них масла претерпевают глубокие изменения, которые обычно характеризуются понятием «старение», включающим изменения его химических и электрофизических свойств, а также структурно-группового состава [2-4,7,8]. Старение трансформаторного масла вызывают окислительные процессы, а также накопление загрязнений и прочих примесей. Наличие воды и кислорода в трансформаторном масле ускоряют процесс окисления, соответственно, ухудшая изоляционные качества масла.

Проанализировав применяемые на данный момент методы определения влагосодержания трансформаторного масла, можно отметить, что не

существует универсального, точного и малозатратного способа для объективного анализа содержания воды в различных ее состояниях.[9-10]

В данной работе предлагается метод определения влагосодержания в малых количествах трансформаторного масла спектральным методом.

Для получения спектров пропускания использовался спектрофотометр AvaSpec-2048XL. Длина оптического пути составляет 50 мм, ширина щели – 1 нм. Спектры пропускания записывались со спектральным разрешением 1 нм.

Для исследования были отобраны шесть образцов трансформаторного масла с различными значениями влагосодержания, определенными в лаборатории: образец 1 (влагосодержание – 5,3 г/т, кислотное число – 0,035 мг/КОН); образец 2 (влагосодержание – 8,94 г/т, кислотное число – 0,064 мг/КОН); образец 3 (влагосодержание – 12,9 г/т, кислотное число – 0,016 мг/КОН); образец 4 (влагосодержание – 15,08 г/т, кислотное число – 0,073 мг/КОН); образец 5 (влагосодержание – 17,53 г/т, кислотное число – 0,057 мг/КОН); образец 6 (влагосодержание – 20,25 г/т, кислотное число – 0,12 мг/КОН); образец 7 (вода).

Для каждого образца масла, помещенного в кварцевую кювету, освещаемого узконаправленным светом различной длины волны, были записаны спектры пропускания в интервале 400...1150 нм. Источник освещения – лампа прибора Ocean Optics LS-1, температура окружающей среды – 20 °С.

В ближнем инфракрасном диапазоне жидкая вода имеет полосы поглощения около 1950, 1450, 1200, 970 нм [5]. В качестве подтверждения данного факта были записаны спектры пропускания воды (рис. 1) и спирта (рис. 2) (который присутствует в состаренных маслах и присутствие ОН-группы которого проявляется в ближнем инфракрасном диапазоне) на длине волны 650...1150 нм с длиной оптического пути 50 мм.

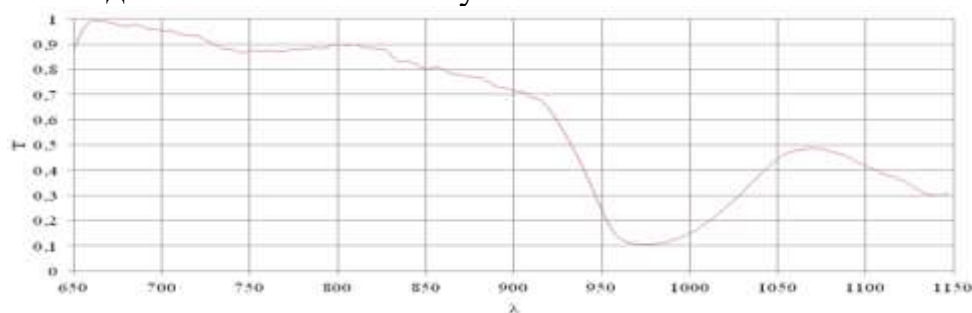


Рис. 1. Спектр пропускания воды (с длиной оптического пути 50 мм)

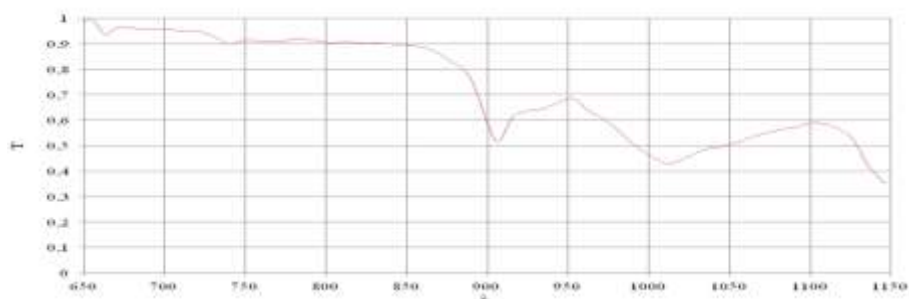


Рис. 2. Спектр пропускания этилового спирта (с длиной оптического пути 50 мм)

На рис. 3 приведены нормированные спектры пропускания для всех шести образцов трансформаторного масла с различным содержанием влаги, где четко проявляется полоса воды в районе 980 нм. Форма спектров зависит от структурно-группового состава и от концентрации воды в трансформаторном масле. Так как интенсивность сигнала от молекул воды значительно слабее, чем от углеводородной составляющей трансформаторного масла, для наглядности выделен и отображен (см. рис. 3) диапазон 900...1050 нм, в котором присутствует сигнал от молекул воды.

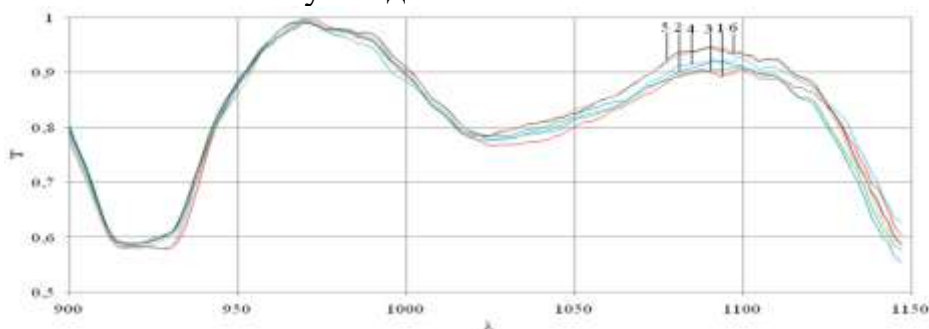


Рис. 3. Нормированные спектры пропускания (Т) трансформаторных масел: 1 – «образец 1»; 2 – «образец 2»; 3 – «образец 3»; 4 – «образец 4»; 5 – «образец 5»; 6 – «образец 6»

Затем с помощью формулы оптической плотности  $D = -\lg T$  были найдены значения оптической плотности для спектров образцов трансформаторного масла.

По методу базовой линии [6] для всех образцов масла найдена разница между значениями базовой линии и линии спектра в районе длин волн 980 нм.

В таблице приведены полученные значения  $\Delta D_{\max}$  для каждого из образцов трансформаторного масла.

Номер образца	Влагосодержание $C$ , г/г	$\Delta D_{\max} \cdot 10^3$
1	5,3	6
2	8,94	8

3	12,9	12
4	15,08	15
5	17,53	18
6	20,25	20

Зависимость значений оптической плотности от концентрации влагосодержания всех образцов

Согласно данным таблицы была построена линия тренда и проведена линейная аппроксимация. Получена корреляционная прямая для определения количества воды в трансформаторном масле (см. рис. 4).

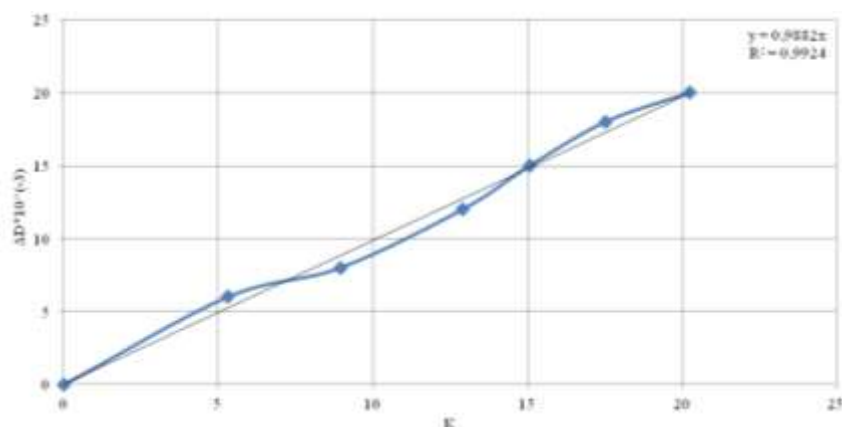


Рис. 4. Зависимость концентрации полосы воды в максимуме в районе 980 нм от оптической плотности

Предложенный метод позволяет с высокой точностью, без использования дополнительных реагентов и сложных вычислений при помощи полученной корреляционной прямой определить влагосодержание трансформаторного масла. Относительно низкая стоимость и доступность оптических спектрофотометров позволяет назвать данный метод общедоступным.

В работе установлена корреляционная зависимость между оптической плотностью трансформаторного масла в области 980 нм и концентрации воды в масле. Предложен метод определения влагосодержания трансформаторного масла для решения актуальной задачи электроэнергетики.

### Источники

1. Липштейн Р.А., Шахнович М.И. Трансформаторное масло. М.: Энергоатомиздат, 1983. 296 с.
2. Сборник распорядительных материалов по эксплуатации энергосистем. Электротехническая часть: в 2 ч. [Электронный ресурс]. URL:

<https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293819/4293819593.pdf> (дата обращения: 3.11.2021).

3. Wilson A.C.M. *Insulating Liquids: Their Uses, Manufacture and Properties*. London: Institution of Engineering & Technology, 1980. 221 p.

4. Валиуллина Д.М., Козлов В.К., Садыков Э.М. Исследование корреляций между характеристиками трансформаторного масла // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. 2021. № 1. 62–66 с.

5. Крищенко В.П. *Ближняя инфракрасная спектроскопия*. М.: КРОН-пресс, 1997. 638 с.

6. Коровкин М.В., Ананьева Л.Г. *Инфракрасная спектроскопия карбонатных пород и минералов*. Томск: ТПУ, 2017. 87 с.

7. Д. М. Валиуллина, Ю. К. Ильясова, В. К. Козлов [и др.] // Определение характеристик трансформаторного масла спектральным методом / Вестник Казанского государственного энергетического университета, 2021. Т. 13. № 1(49). 66-74 с.

8. Козлов В. К., Гарифуллин М. Ш. // Особенности оптических характеристик трансформаторных масел различных марок / Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2015. № 11-12. 11-19 с.

9. Козлов В.К., Гарифуллин М.Ш., Сабитов А.Х., Гиниатуллин Р.А. Люминесцентные свойства бумажной изоляции маслонаполненных трансформаторов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2018. Т. 20. № 11-12. 144-151 с.

10. Филимонова А.А., Чичиров А.А., Чичирова Н.Д. [и др.] Перспективы развития водородной энергетики в Татарстане // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2020. Т. 22. № 6. 79-91 с.

11. Калайда, М. Л. Водные биологические ресурсы в структуре экологических проблем энергетических объектов / М. Л. Калайда, А. Р. Саетов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 2. С. 175-185. DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-2-175-185. EDN WLOBWL.

12. Дремичева, Е. С. Эколого-экономические аспекты использования торфа в энергетике / Е. С. Дремичева, А. А. Эминов // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 1(53). С. 96-108. EDN ZSBYLN.

## ТЕХНОЛОГИИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И ЦИФРОВИЗАЦИИ В СИСТЕМАХ ОСВЕЩЕНИЯ

Королева Татьяна Геннадьевна<sup>1</sup>, Филатенко Максим Алексеевич<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенва», г. Орел, Россия

<sup>1</sup>tgkoroleva@mail.ru, <sup>2</sup>maksimf000@mail.ru

В данной статье выполнен анализ преимуществ и недостатков энергосберегающих и цифровых технологий применяемых в системах освещения больших общественных помещений и офисов, позволяющих сократить потребление электрической энергии.

**Ключевые слова:** осветительные установки, автоматизированные системы управления освещением, светодиодные источники света, световой поток.

## ENERGY SAVING AND DIGITALIZATION TECHNOLOGIES IN LIGHTING SYSTEMS

Koroleva Tatyana Gennadyevna<sup>1</sup>, Filatenko Maxim Alekseevich<sup>2</sup>

This thesis analyzes the advantages and disadvantages of energy-saving and digital technologies used in lighting systems of large public spaces and offices, which reduce the consumption of electric energy.

**Keywords:** lighting installations, automated lighting control systems, LED light sources, luminous flux.

Потребление электроэнергии (ЭЭ) в России начиная с 2000 года неуклонно растет и при этом наблюдается рост затрат на ее производство. На освещение приходится около 20 % от общего объема потребления ЭЭ [1]. По данным МЭА доля ЭЭ используемая для освещения офисных зданий составляет от 30 до 40 % от общего объема электропотребления. В общественных и административных зданиях этот показатель достигает 50 и более процентов. На наружное, декоративное и рекламное освещение приходится 8 % общего электропотребления [2]. Внедрение энергосберегающих технологий в освещение является одним из направлений государственной политики РФ. Решением данной задачи является внедрение энергоэффективных источников света и технологий энергосберегающего освещения. При этом недопустимо снижение уровня освещенности ниже нормируемых значений, так как ухудшение условий освещения влечет за собой потери несопоставимые со стоимостью сэкономленной ЭЭ [3].



В качестве источников света (ИС) в осветительных установках (ОУ) в общественных и административных зданиях используются: люминесцентные лампы (ЛЛ); компактные люминесцентные лампы (КЛЛ); светодиодные (СД) ИС [4]. СД ИС являются наиболее перспективными. В последние годы эффективность моделей СД светильников, выпускаемых серийно, достигла 150 лм/Вт и продолжает расти. Повышается комфорт искусственного освещения за счет увеличения индекса цветопередачи. В большинстве современных моделей светильников, применяемых для внутреннего освещения административных и общественных помещений, индекс цветопередачи составляет более 90 (colour rendering index, CRI или Ra). Замена устаревших типов ИС на СД позволяет значительно экономить ЭЭ, однако для дальнейшего снижения объема электропотребления необходимо принятие более сложных решений.

Системы освещения, применяемые в нашей стране, в большинстве своем морально и физически устарели. Использование эффективных систем управления освещением (СУО) с применением новейших цифровых технологий позволяет сократить время использования искусственного освещения и значительно сократить объем потребляемой мощности, а затраты свести к минимуму. По сути СУО - это интеллектуальная сеть, позволяющая обеспечивать требуемое количество света в нужном месте и в требуемое время. За счет автоматического регулирования параметров системы освещения достигается максимально высокая производительность труда, повышается концентрация внимания, создается позитивное настроение и улучшается самочувствие людей.

В системах освещения больших общественно-административных зданий и офисов целесообразно использовать современные автоматизированные СУО. Такие системы могут осуществлять контроль и регулирование уровня освещенности по определенному алгоритму, выполняя диммирование, включения/отключения ОУ в точно определенное время.

Рассмотрим алгоритмы управления, применяемые в автоматизированных СУО, выпускаемых промышленностью.

- Управление освещением с одновременным регулированием позволяет изменять световой поток источников света одновременно всех осветительных установок при получении сигнала от фотодиодов, установленных в помещении. В результате такого регулирования освещенность в разных точках помещения может быть неравномерной, а полученный объем сэкономленной ЭЭ, как правило, незначителен.

- Управление с последовательным расчетом световых потоков обеспечивается на основании сигналов фотодиодов с учетом уровня естественного освещения и регулированием светового потока последовательно в каждом ряду светильников.

- Управление с фиксированной разностью потоков обеспечивается путем сравнения измеренного и вычисленного с учетом нормативных требований светового потока одного или нескольких рядно расположенных светильников плюс добавочная величина, учитывающая световой поток от остальных ОУ или рядов. Надо отметить, что данный алгоритм является более трудоемким, а также не учитывает индивидуальные изменения светового потока каждого ИС с течением времени и в зависимости от условий эксплуатации.

Выше перечисленные алгоритмы позволяют регулировать уровень освещенности, создаваемый группой светильников в зависимости от уровня естественной освещенности, изменяя значения мощности ОУ.

- В случае, когда световой поток одной или ряда ОУ изменяется элементом управления без учета измерений фотодатчиков, установленных в других рядах, обеспечивается так называемое стихийное управление.

Можно расширить возможности систем освещения включив ее в единую систему автоматизации здания с последующей диспетчеризацией всех процессов, применив шинные СУО, работающие на разных протоколах и позволяющие с помощью специальных шлюзов интегрироваться в системы верхнего уровня. Чтобы автоматизированная СУО была экономически выгодной важно правильно подобрать протокол и элементы системы. Далее рассмотрим протоколы, по которым производится обмен данными и управление осветительной системой.

Автоматизированные СУО бывают проводные и беспроводные. В проводных системах ключевым элементом является контроллер, к которому с одной стороны подключаются датчики, а с другой исполнительные устройства на которые поступает управляющий сигнал с управляющим напряжением.

Самым простым является аналоговый протокол «0–10 В», закрепленный в международном стандарте ANSI E1.3 — 2001 [5]. Освещенность будет изменяться пропорционально напряжению, изменяющемуся в диапазоне от 0 до 10 В. Достоинствами таких систем является: простота использования, удобный процесс поиска неисправностей, возможность быстрого обнаружения и устранения неполадок. Большинство диммируемых электронных пускорегулирующих аппаратов поддерживает функцию управления по постоянному напряжению. Однако не обеспечивается достаточная стабильность и отсутствует возможность получения данных с сетевого контроллера.

Несколько позже был разработан протокол «1-10 В» (рис. 1).

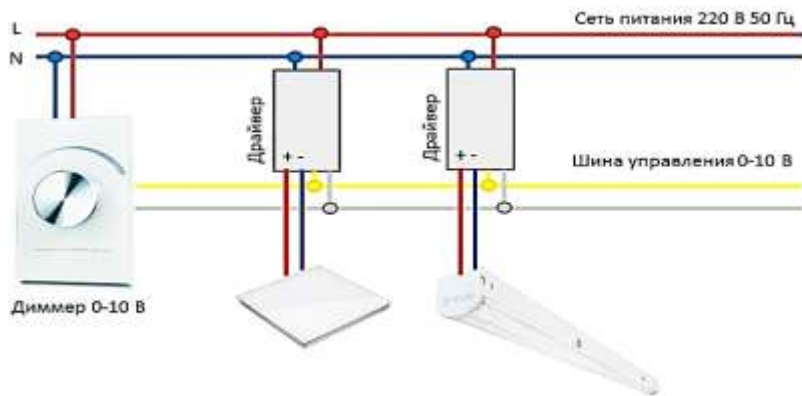


Рис. 1. Управление освещением по протоколу 1-10 В

СУО по протоколу 1-10 В имеет преимущества в тех случаях, когда общее количество светильников невелико. С увеличением числа светильников она становится дорогостоящей из-за большого количества проводов, сложной в монтаже, настройке и управлении. Невозможность управлять большим количеством светильников является основным недостатком аналогового управления.

На сегодняшний день в СУО достаточно активно применяются цифровые протоколы. Одним из цифровых является протокол DMX512, позволяющий по одной линии связи протяженностью до 1 км и подключением к каждой до 32 ОУ одновременно управлять работой 512 каналов. При этом линии передачи данных, построенные по протоколу DMX, обладают низкой помехозащищенностью и должны быть защищены от влияния силовых кабелей. Работа многих светотехнических систем основана на протоколе DMX несмотря на некоторые его недостатки.

Высокоэффективным и недорогим, разработанным специально для систем управления освещением является цифровой адресный протокол DALI (рис. 2). Он соответствует Европейскому стандарту IEC 62386 [6].

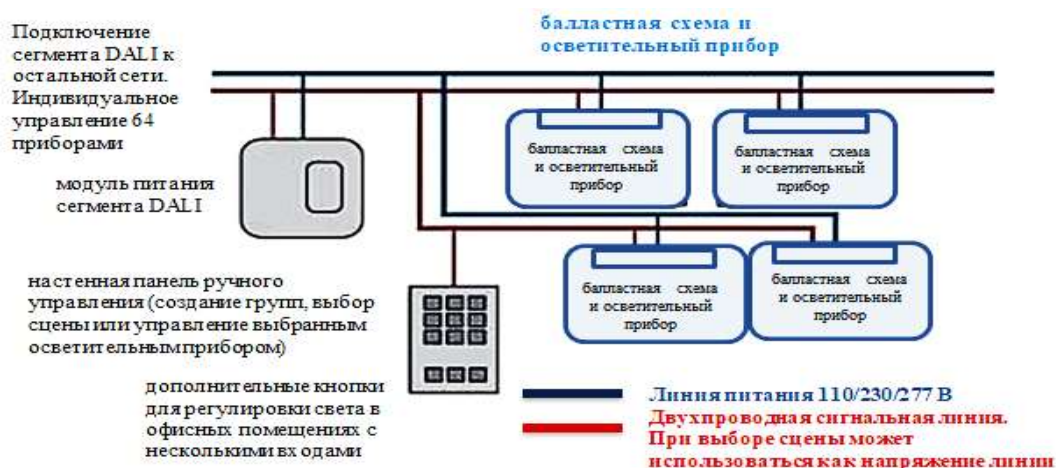


Рис. 2. Структурная схема протокола DALI

Одним из преимуществ протокола DALI является возможность эффективного управления всеми подключенными светотехническими устройствами независимо от особенностей конструкции и свойств ИС. DALI обеспечивает двунаправленную связь и упрощает управление несколькими устройствами, позволяя СУО запрашивать данные и получать информацию о состоянии каждого подключенного ОУ. В крупных системах несколько шин DALI могут быть подключены к контроллерам и интегрированы с помощью различных шлюзов с системами здания, работающими по другим протоколам, например, KNX. Такая система может обеспечивать удаленный контроль состояния и управление элементами СУО больших зданий.

Использование Ethernet позволило создавать «умные» системы освещения, основанные на технологии PoE, регламентируемой стандартом IEEE802.3bt. Технология PoE обеспечивает подключение светодиодных хабов и эффективное управление ими по локальным сетям [5]. Данная технология обеспечивает возможность производить регулирование яркости ОУ многоступенчато с учетом естественного освещения помещения. Так как питающие устройства PSE имеют запас мощности, сокращаются потери ЭЭ в сетевом кабеле. За счет того, что преобразование переменного тока в постоянный происходит не в устройствах-потребителях, а централизовано в сетевом коммутаторе, значительно снижается расход ЭЭ. К достоинствам PoE технологии также можно отнести: сокращение потерь на тепловыделение в элементах СУО [7-10]; меньший расход материалов; простоту проектирования, монтажа, настройки, обслуживания и эксплуатации, обеспечивающие общее сокращение затрат.

Активное внедрение высококачественных СД ИС, совершенствование и внедрение интеллектуальных СУО, технически грамотный выбор протокола и оборудования позволят получить антропоцентричную и энергоэффективную СУО помещений.

### **Источники**

1. Министерство энергетики РФ [Электронный ресурс] <https://minenergo.gov.ru/node/10277>
2. Light's labour's lost Policies for Energy-efficient Lighting In support of the G8 Plan of Action.
3. Айзенберг, Ю.Б. Энергосбережение в освещении/ Ю.Б. Айзенберг, Л.П. Варфоломеев// Дом света, издательство «Знак»,1999. 268 с.

4. Гвоздев С.М., Панфилов Д.И. Энергоэффективное электрическое освещение, под ред. Л.П. Варфоломеева. – М.: Издательский дом МЭИ, 2013. 288с.
5. Л.С. Казаринов, Д.А. Шнайдер, Т.А. Барбасова, Е.В. Вставская и др. под ред. Л.С. Казаринова. / Автоматизированные системы управления энергоэффективным освещением: монография – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, издатель Т. Лурье, 2011. –208 с., ил.
6. Борисов А.Н., Шириев Р.Р. Светодиодный источник света с повышенной светоотдачей. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2019.21(1-2).111-119 с.
7. 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. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. 23(4). 96-104 с.
8. Солуянов Ю. И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Солуянов В.И. Анализ фактических электрических нагрузок помещений общественного назначения, встроенных в жилые здания // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 6.134-147 с.
9. Абдуллазянов Э.Ю., Грачева Е.И., Горлов А.Н.[и др.] Исследование качества функционирования электрических аппаратов низкого напряжения в составе электротехнических комплексов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 6. 3-15 с.
10. Синюков А.В., Синюкова Т.В., Грачева Е. И. [и др.] Оптимизированные бездатчиковые системы управления механизмами перемещения грузов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 6. 87-98 с.
11. Цветков, А. Н. Исследования по оптимизации векторного управления асинхронным двигателем с применением системы аналитического контроля / А. Н. Цветков, Н. Ш. Доан, Д. А. Ярославский // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 3. С. 144-157. DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-3-144-157. EDN USMMDW.
12. Шенец, Е. Л. Комплексная оценка регулировочной способности энергоэффективности предприятия по производству листового стекла / Е. Л. Шенец // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 2(54). С. 59-70. EDN CQBRIT.

## ВЛИЯНИЕ ТРАНСФОРМАЦИИ ОТНОШЕНИЙ СОБСТВЕННОСТИ РАЗВИТИЕ ПРОМЫШЛЕННОСТИ РЕГИОНА

<sup>1</sup>Мадаминава Нигина Тимуровна, <sup>2</sup>Абдулла-заде Дилором Хуршедовна

<sup>1,2</sup>ГОО «ХГУ имени Б.Фафурова» г.Худжанд, Таджикистан

<sup>1</sup>nigina-m1986@mail.ru, <sup>2</sup>Dilorom.abdullozoda@mail.ru

В статье исследован процесс трансформации отношений собственности в промышленности региональной экономики. Трансформация отношений собственности и функционирование различных форм собственности в промышленности экономики Согдийской области привело к повышению эффективности региональной экономики и определила тенденции устойчивого роста как ВРП, так и всех макроэкономических показателей. Рост притока свободного предпринимательского капитала на рынок труда промышленности Согдийской области. По количественным темпам роста среднегодовой численности рабочих и служащих первенство удерживают предприятия и организации промышленности частного сектора.

**Ключевые слова:** трансформация, формы собственности, регион, промышленность.

## IMPACT OF TRANSFORMATION OF PROPERTY RELATIONS DEVELOPMENT OF REGIONAL INDUSTRY

<sup>1</sup>Madaminova Nigina Timurovna, <sup>2</sup>Abdulla-zade Dilorom Khurshedovna

The article studies the process of transformation of property relations in the industry of the regional economy. The transformation of property relations and the functioning of various forms of ownership in the industry of the economy of the Sughd region led to an increase in the efficiency of the regional economy and determined the trends of sustainable growth of both GRP and all macroeconomic indicators. The growth of free entrepreneurial capital inflow to the labor market of the industry of Sughd region. In terms of the quantitative growth rate of the average annual number of workers and office employees, private sector enterprises and organizations hold the lead.

**Key words:** transformation, forms of ownership, region, industry.

Трансформации отношений собственности в промышленности региональной экономики в рыночных условиях хозяйствования отражается на ее форме использования и механизме ее реализации в промышленности. Для повышения эффективности влияния трансформации отношений собственности на развитие промышленности экономики региона в новых условиях

хозяйствования, хозяйствование на принципах рыночной экономики и механизме хозяйствования следует проводить институциональную трансформации в контексте преобразования экономической системы в целом. Особенно, при ускоренной индустриализации т.е. модернизации и совершенствовании механизма развития региональной экономики и формирования частного капитала промышленности.

Это обусловлено функционированием промышленности Согдийской области на рыночных основах и принципах хозяйственной деятельности. Основу промышленности региона составляют предприятия с частной собственностью или же акционерной собственностью, что способствует повышению их эффективности. Вышесказанное подтверждается нижеследующими данными: на начало 2020 года в Согдийской области приватизированы и функционируют на частной собственности 6890 хозяйствующих субъектов (66,73%), а в государственном владении остаются 2228 хозяйствующих субъектов (21,57%). А общегосударственных предприятий составляет 10,4%.

Анализ деятельности промышленности региона показал, что за 1992-2020 года значение машиностроение и металлообработка снизилась и составил в 2020 общем объеме производства промышленности всего лишь 10,43% против 19% 1991 года.

Результатом функционирования промышленности региона на принципах рыночной экономики способствовали появлению положительного тренда роста экономики в целом.

Принципы функционирования рыночной экономики в промышленности изменили и органический состав капитала региона, и появились частные малые и средние предприятия промышленного характера, создан благоприятный инвестиционный климат для иностранных инвестиций. Исходя из вышесказанного следует и определиться и с оценкой эффективности производительности труда в промышленности региона Основываясь на общепринятой формуле эффективности предлагаемый метод оценки производительности труда промышленности экономики региона, как набора показателей для оценки различных субъективных показателей. Оценка эффективности промышленности на основе сочетания ее квалификационных возможностей.

Следовательно, показатель экономической эффективности промышленности

экономики региона (Т) будет:

$$T = T_{пр} + T_{ф}, \quad [1]$$

где  $T_{пр}$ -показатель эффективност и экономической деятельности отдельной

отрасли;

$T_{\phi}$ -индикатор эффективности взаимодействия субъектов производства в конкурентных рыночных условиях хозяйствования.

Здесь ключевое значение имеет трансформация отношений собственности в экономике регионе. Так, влияние трансформации отношении собственности можно оценить в эффективности промышленности, смешанной собственности, малом и среднем бизнеса экономики региона (не умаляя роль и значение других отраслей экономики региона). Промышленность является локомотивом экономики Согдийской области и трансформация отношений собственности привела к формированию оптимальной структуры ее отраслей, что отражено ниже.

Трансформация отношений собственности отразилась на эффективности промышленности различных форм собственности и форм хозяйствования Согдийской области способствовали росту его объемов производства.

Так, за 2019 год промышленными предприятиями произведено продукции на сумму 9883097,9 тысяч сомони, что по отношению к 2018 году с учетом индекса производства промышленной продукции составил 131,5%.

Из 593 отчитывающихся промышленных предприятий в 2019 года 379 или 64,0% предприятий превысили уровень 2016 года. В тоже время количество простаивавших предприятий в 2017 году, составило 75 (или 12,6%) или 139 (23,4%) предприятий уменьшили уровень производства с соответствующим периодом 2018 года.

Рост объема промышленной продукции 2019 года, по сравнению с 2018 годом, обусловлен, по нашему мнению 2 факторами:

1. Трансформацией собственности, появлением различных форм хозяйствования, предпринимательским капиталом и их влиянием на развитие экономики региона;

2. Основой эффективности прибыльности основного капитала промышленности и рынка труда является наличие рабочих мест. Создание новых и расширения существующих промышленных предприятий и организаций увеличивают рост занятости и рабочих мест, что, безусловно, связано с обновлением капитала.

В последние годы в связи с увеличением инвестиций, как в стране в целом, так и в кооперативных предприятиях и организациях потребность в промышленном секторе возрастает. Таким образом, объем инвестиционных вложений в промышленность, если в 2016 году в Согдийской области 1925043,1 тыс. сомони, в 2017 году составил 1658924,8 тыс. сомони и в 2011 году составил 902738,5 тыс. сомони. Этот рост происходит в основном в сферах промышленности, транспорта и связи, жилищного строительства и услуг связи в государственном образовании.



Следует отметить, что подавляющее большинство инвестиций направлено на развитие отрасли и, прежде всего, развитие электроэнергетики.

Это привело к увеличению роста свободной торговли на рынке труда Согдийской области. С учетом этого возросли и темпы роста среднегодовой численности наемных работников и работников предприятий и организаций частного сектора (52,0%) во первых и во-вторых, предприятия и организации коллективной собственности (31,1%).

Это в свою очередь вызвало некоторый рост притока свободного предпринимательского капитала на рынок труда промышленности Согдийской области. По количественным темпам роста среднегодовой численности рабочих и служащих первенство удерживают предприятия и организации промышленности частного сектора (52,0%). На втором месте - предприятия и организации коллективной формы собственности (31,1%).<sup>1</sup>

Однако, экономическая реформа, проводимая в стране наряду с трансформацией форм собственности и структурной перестройкой производств, привела к формированию ряда проблем, связанных со значительными структурными сдвигами в занятости предпринимательского капитала в подсферах промышленности.

Их главной целью была развитие рынка недвижимости и улучшение промышленного развития экономики региона.

Влияние трансформации отношений собственности на развитие промышленности региональной экономики отражается на уровне управления собственностью-владение, распоряжение и использование.

Эффективность развития промышленности региональной экономики как составной части национальной экономики во многом зависит от функционирования государственного и частного секторов экономики. Появление этих секторов является результатом трансформации отношений собственности и появления различных её форм.

Трансформация отношений собственности и функционирование различных форм собственности в промышленности экономики Согдийской области привело к повышению эффективности региональной экономики и определила тенденции устойчивого роста как ВРП, так и всех макроэкономических показателей.

Особенно, если учесть, что тенденции увеличения численности населения, ВРП постоянны, о чем свидетельствует нижеследующая таблица.

---

<sup>1</sup> Статистический ежегодник Согдийской области (Статистический сборник). Агентство по статистике при Президенте Республики Таджикистан в Согдийской области, 2018. С.73

Таблица 1.

Динамика и индекс увеличения численности населения и  
валового регионального продукта Согдийской области<sup>2</sup>

	2013	2014	2015	2016	2018	2019
Население (тыс. чел.)	2298,8	2349,0	2400,6	2455,5	2511,1	2560,8
В % к концу года	102,3	103,4	101,9	105,8	102,6	102,0
ВРП (млн. сомони)	7179,3	8961,1	10439,9	11530,5	11597,5	13876,0
В % к пред году	108,1	108,1	107,9	106,6	106,0	106,9

Из анализа таблицы следует, что численность населения и ВРП Согдийской области имеет линейную тенденцию роста.

Из таблицы видно, что с 2013 года темпы роста ВРП связаны с различными формами собственности, из года в год увеличиваются.

Этот рост обусловлен рядом факторов:

- учетом особенностей трансформацией отношений собственности;
- эффективностью управления;
- ростом внутренних и зарубежных инвестиций;
- улучшением инвестиционного климата.

Но темпы роста несколько замедлились. Поэтому, рост ВРП за последние несколько лет имеют тренд к развитию и это отражается в изменении соотношений частей бюджета области.

Так, на 1 января 2020 доходная часть областного бюджета исполнена на 104,0% от уточненного плана и составила 1607805,6 тыс. сомони. В тоже время, расходная часть «недовыполнила» намеченные планы т.е не освоены запланированные издержки. Расходная часть областного бюджета за этот период составила 1569807,2 тыс. сомони или 99,9%.

Таким образом, можно констатировать трансформация отношений собственности привело к росту производительности труда в отраслях экономики, особенно промышленности как локомотива экономики в целом.

### Источники

<sup>2</sup> Расчеты автора по: Статистический ежегодник Согдийской области 2017// Главное управление Агентства по статистике при Президенте Республики Таджикистан в Согдийской области.-2017.- С.11.

1. Главное управление Агентства по статистике при Президенте Республики Таджикистан в Согдийской области // Статистический ежегодник Согдийской области, 2017.
2. Агентство по статистике при Президенте Республики Таджикистан в Согдийской области, 2018. Статистический ежегодник Согдийской области (Статистический сборник). 73 с.
3. Институт экономики и торговли Таджикского государственного университета коммерции /Серия экономических наук. – Худжанд: «ЧДММ Андеша», 2014. Состояние и оценка управленческого потенциала молодых менеджеров (например города Чкаловска)// Послание и пути развитие экономики иктисод, (том 1XVI).464-466 с. (0,2-п/л).-«А»
4. Агентство по статистике при Президенте Республики Таджикистан. Таджикистан в цифрах. Душанбе, 2012. 57-58 с.
5. Уколов, В.Ф. Управление эффективностью услуг: Развитие общественного и частного предпринимательства Текст. / В. Ф. Уколов, П.И. Ситников. М.: Московский рабочий, 1991. 185 с.
6. Шакуров, И.Г. Соотношение рыночных и государственных регуляторов развития сферы услуг Текст. / Шакуров И. Г. СПб.: НГПС «РОСТ», 2006. 190 с.
7. Актуальные подходы к организации образовательного процесса для подготовки специалистов энергетических систем и комплексов / Р. Р. Хуснутдинов, Н. К. Мифтахова, И. В. Ившин, В. В. Максимов // Вестник Казанского государственного энергетического университета, 2017. № 3(35). 153-160 с.
8. Петрущенко В.А., Коршакова И.А. Качественный и количественный анализ тепловой энергетики малых мощностей в России.// Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2020. Т. 22. № 5. 52-70 с.
9. Афанасьева О.В., Галькеева А.А., Вафин А.Р., Мингалеева Г.Р. Региональные аспекты использования угля на объектах малой распределенной энергетики // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2017. Т. 19. № 9-10. 85-93 с.
10. Синюков А.В., Синюкова Т.В., Грачева Е. И. [и др.] Оптимизированные бездатчиковые системы управления механизмами перемещения грузов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 6. 87-98 с.
11. Герасименко, А. С. Особенности прямых измерений для оценки объемной активности радионуклидов в воздухе рабочей зоны / А. С. Герасименко, С. В. Дорохов, В. В. Криворотова // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 3. С. 3-14. DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-3-3-14. EDN NSHQAU.

12. Использование ферритовых магнитов в синхронных двигателях с постоянными магнитами / А. Р. Сафин, Е. И. Грачева, К. В. Ranjan, Т. И. Петров // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 1(53). С. 47-55. EDN FBPZWP.

УДК 621.316

## **АКТУАЛИЗАЦИЯ РАБОЧИХ ПРОГРАММ ПОДГОТОВКИ БАКАЛАВРОВ НАПРАВЛЕНИЯ «ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА»**

Миронова Елена Анатольевна  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия  
mironova.energo@yandex.ru

В данном тезисе исследуется актуализация и обновление контента содержания рабочих программ с учетом реального сектора цифровой экономики и применения цифровых технологий (сквозных, узкопрофильных и образовательных) в содержании профессиональных дисциплин.

**Ключевые слова:** рабочая программа, информационные и цифровые технологии, компетенции, индикаторы.

## **UPDATING OF THE BACHELOR'S DEGREE PROGRAMS IN THE FIELD OF "ELECTRIC POWER AND ELECTRICAL ENGINEERING"**

Mironova Elena Anatolyevna

This thesis examines the updating and updating of the content of the content of the work programs, taking into account the real sector of the digital economy and the use of digital technologies (end-to-end, narrow-profile and educational) in the content of professional disciplines.

**Keywords:** work program, information and digital technologies, competencies, indicators.

Наиболее проблемным в научно-методической работе преподавателей высшей школы является проектирование содержания обучения в системе «образовательное учреждение – производство»: выбор педагогических технологий, отбор содержания, методов и средств обучения, разработка учебно-методической базы для организации учебного процесса. Это связано в первую очередь с постоянным обновлением учебно-нормативной документации и уменьшением объема времени, отводимого на изучение конкретных дисциплин

и, следовательно, отбором и структурированием учебного материала в соответствии с новыми реалиями.

При этом требования к содержанию образования не изменяются: содержание образования должно позволить обеспечить подготовку специалистов широкого профиля, конкурентоспособных, обладающих профессиональной мобильностью, способностью к быстрой адаптации в условиях постоянного обновления техники, технологий, при одновременной дифференциации содержания обучения применительно к конкретным видам деятельности.

Реализация таких требований может быть осуществлена путем актуализации рабочих программ путем разработки и внедрения в контент учебных дисциплин сквозных цифровых технологий, таких как большие данные, нейротехнологии и искусственный интеллект, технологии виртуальной и дополненной реальности, компоненты робототехники и сенсорика, технологии беспроводной связи, промышленный интернет, новые производственные технологии на примерах конкретных цифровых инструментов.

Производство не может существовать отдельно от науки – оно быстро исчерпает свой научный потенциал. Современному производству необходимо постоянно обновлять технологии, нужны новые идеи, инновационные проекты, а для этого требуется наличие серьезной научной базы. Использование в контенте учебных дисциплин цифровых технологий, отраслевых и образовательных – уникальная возможность общения практических работников, имеющих производственный опыт и научных кадров образовательного учреждения. Такое общение позволяет ускорить процесс создания общей учебной, научной и производственной базы, взаимопроникновения в интересы партнеров и решения кадровых проблем. Конечно, как любая деятельность, подобный процесс, встречает затруднения и в вопросах организации и главное в реализации дидактических целей. Но главным является широкий педагогический и профессиональный ресурс в контенте рабочих и образовательных программ для эффективного и инновационного учебного процесса.

Но профессиональная подготовка в высшей школе должна не только соответствовать компетенциям, предусмотренным учебно-нормативной документацией, с необходимостью реализации которых специалист столкнется на производстве, но и обеспечивать готовность специалиста к изменению вида и характера профессиональной деятельности, осознанию необходимости повышения квалификации и формированию способностей к самостоятельному овладению дополнительными знаниями в области профессиональной деятельности. Специалист должен быть профессионально компетентен,

мобилен и конкурентоспособен, что требует соответствующего методико-методологического обеспечения учебного процесса.

Решение этой задачи может быть осуществлено путем применения информационных технологий, и проведения учебных занятий в условиях имитации технологического процесса. И здесь необходимо обратиться к широчайшему потенциалу реального производства с точки зрения инновационного образования. Инновационное образование опирается на учет реальных перемен в характере общественного запроса к личности и изменившейся роли личности в общественном процессе. Учитывая значительную длительность обучения в высшей школе обучающиеся должны иметь не только свободу выбора направления будущей деятельности, но и возможность определения собственной траектории обучения в рамках общего учебного процесса, а это возможно только в условиях реального представления об объекте профессиональной деятельности.

Профессионально направленное обучение в рамках использования цифровых технологий, в первую очередь, отраслевых, позволяет получить более достоверную информацию о состоянии оборудования, значительно сократить время принятия решения, повысить безопасность обслуживающего персонала. Кроме того, существует ряд аспектов применения отраслевых цифровых технологий в профессиональной деятельности, которые могут быть отражены и реализованы в учебной деятельности в качестве цифровых инструментов в лекционном курсе, на практических и лабораторных занятиях и организации самостоятельной учебной деятельности студентов.

Например, в лекционном курсе и на практических занятиях возможно рассмотрение в профессиональной деятельности обслуживающего персонала такого эффективного цифрового инструмента, как технология, опирающаяся на цифровые решения – реклоузеры, которые активно внедряются в электрических сетях в настоящее время, позволяя значительно улучшить показатели надежности электроснабжения. Одна из популярных задач в настоящее время, решаемая современными математическими методами – это нахождение оптимальной расстановки реклоузеров таким образом, чтобы максимально улучшить так называемые интегральные показатели надежности SAIFI и SAIDI, характеризующие частоту и длительность перерыва электроснабжения у потребителей.

Другая технология, использующая возможность передачи данных – индикаторы токов короткого замыкания (ИТКЗ). Использование ИТКЗ (желательно с функцией передачи данных) позволяет оперативно-выездной бригаде более быстро определить место повреждения линии.

Предиктивная диагностика и переход на риск - ориентированный подход при ремонте оборудования стали активно развиваться с появлением различных

датчиков, способных выполнять мониторинг состояния оборудования и передавать данные в режиме реального времени. Подобные системы сейчас начинают постепенно использоваться в электроэнергетике, в первую очередь, применительно к генераторам и трансформаторам.

Система поддержки принятия решений – это компьютерная автоматизированная система, целью которой является помощь людям, принимающим решение в сложных условиях для полного и объективного анализа предметной деятельности. Это означает, что она выдаёт информацию (в печатной форме, или на экране монитора, или звуком), основываясь на входных данных, помогающую людям быстро и точно оценить ситуацию и принять решение.

Работы по мониторингу линий электропередачи при помощи беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) показали перспективность применения метода для анализа состояния высоковольтных линий и прилегающей инфраструктуры ЛЭП при аварийно - восстановительных работах. При работе с труднодоступными участками ЛЭП наземное обследование может затянуться на несколько дней или даже недель в отличие от обследований с использованием БПЛА, которое уменьшает время обследования до нескольких часов.

Цифровая подстанция (ЦПС) – это подстанция с высоким уровнем автоматизации, в которой практически все процессы информационного обмена между элементами ПС, а также управление работой ПС осуществляются в цифровом виде на основе стандартов серии МЭК 61850. Термин «цифровая подстанция» используется по отношению к вторичному оборудованию подстанций (микропроцессорным терминалам), а также цифровому обмену данными между этими устройствами.

Также в настоящее время в электроэнергетике реализуются различные проекты, связанные с технологиями виртуальной и дополненной реальности VR/AR. Например, проект «цифровой электромонтер» предполагает использование шлема дополненной реальности для получения информации об электрической схеме.

Подготовка на тренажерах, с использованием образовательных технологий, значительно сокращает время адаптации на производстве. Например, при рассмотрении профессиональной деятельности оперативного персонала весьма эффективными являются методы моделирования, поскольку в условиях реального производства аналогичными приемами осуществляется подготовка персонала, занимающегося оперативными переключениями. Учебные тренажеры, с несколько облегченным программным обеспечением являются удачными объектами для сочетания учебной и производственной деятельности, поскольку не только имитируют деятельность персонала, но и

позволяют усилить мотивацию обучения и формировать умения принимать оптимальные решения в сложных ситуациях. Кроме того, эффективным является работа на тренажерах в мини-группах, формирующая умения работать в команде (компетенции – способность работать в коллективе, способность к решению задач в области организации и нормирования труда). Подготовка на тренажерах, с использованием образовательных технологий, значительно сокращает время адаптации на производстве.

Таким образом, в лекционном материале формируется общее представление о сквозных цифровых технологиях, а затем на практических и лабораторных занятиях и в самостоятельной работе студенты осваивают умения работы с цифровыми инструментами. В итоге, подразумевается перерастание тематики используемых отраслевых технологий в темы для выпускных квалификационных работ и магистерских диссертаций и защита работ непосредственно на базовом предприятии.

Реализация направленности цифровой актуализации учебной документации в рамках цикла профессионально ориентированных дисциплин должна осуществляться непрерывно и комплексно в течение всего срока обучения этим дисциплинам. Внедрять ее необходимо, системно и дозировано, с четкой организацией учебного процесса и постановкой и формированием основных компонент – учебных целей и задач, содержания, методов, средств и форм организации обучения, между которыми существуют закономерные связи.

В сегодняшних реалиях наиболее сложным для молодежи является выбор жизненных и профессиональных ориентиров при закладывании фундамента для своего дальнейшего развития и определения будущей профессии. Студент может быть сформирован как конкурентоспособный специалист, если, помимо освоения учебных программ, он получает представление о реалиях современного производства, таких как цифровые технологии, что снижает риски совершения ошибки в выборе профессии и конкретной специальности.

### **Источники**

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

2. Мотовилов А.И., Соловьев И.И. Онлайн оценка пропускной способности электрической сети. Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2020; 22(3):51-59.



3. Гребенщикова М.М., Миронова Е.А. Технология опережающей подготовки в высшей профессиональной школе. Научный альманах 2015 N 11-3(13) По материалам междунар. научн.- практ. конф. «Актуальные вопросы образования и науки», Россия, Тамбов, 2015.

4. Миронова Е.А. Система «Образовательное учреждение – производство» Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве. Материалы VI Национальной научно-практической конференции. Казанский государственный энергетический университет. 2020. С. 542-548.

5. Миронова Е.А. Сетевое взаимодействие высшей школы и энергопредприятий. Образовательные технологии в современном учебно-воспитательном пространстве. Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции. 2020. С. 11-16.

6. Миронова Е.А., Лопухова Т.В. Особенности организации учебного процесса профессиональной переподготовки электроэнергетиков. Образование и педагогика: перспективы развития. сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. БУ ЧР ДПО «Чувашский республиканский институт образования» Министерства образования и молодежной политики Чувашской Республики. Чебоксары, 2020. С. 211-216.

7. Гребенщикова М.М., Миронов М.М., Миронова Е.А. Профессиональная ориентация и формирование значимых компетенций в условиях интеграции образовательного учреждения и производства. Проблемы образования. Кадры решают все. Сборник материалов V Международной научно-практической конференции. Под редакцией Г.В. Кривцовой. 2019. С. 27-31.

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

9. Филимонова А.А., Чичиров А.А., Чичирова Н.Д.[и др.] Перспективы развития водородной энергетики в Татарстане // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2020. Т. 22. № 6. 79-91 с.

10. Петрущенко В.А., Коршакова И.А. Качественный и количественный анализ тепловой энергетики малых мощностей в России.// Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2020. Т. 22. № 5. 52-70 с.

11. Афанасьева О.В., Галькеева А.А., Вафин А.Р., Мингалеева Г.Р. Региональные аспекты использования угля на объектах малой распределенной энергетики // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2017. Т. 19. № 9-10. 85-93 с.

12. Иванов, Д. А. Особенности мониторинга сверхбольших частичных

разрядов в высоковольтных / Д. А. Иванов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 1. С. 151-163. DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-1-151-163. EDN HFHHWI.

УДК 621.316

## **ПРЕДЛОЖЕНИЕ О ВНЕСЕНИИ ИЗМЕНЕНИЙ В МЕТОДИКУ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПОДСТАНЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

<sup>1</sup>Мотыгуллин Ильяс Ильданович, <sup>2</sup>Максимов Виктор Владимирович

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

<sup>1,2</sup>gutusio4@gmail.com

На промышленных предприятиях находится в эксплуатации большое количество подстанционного оборудования напряжением 6, 10, 35 кВ с повышенным ресурсом износа. Основным и самым дорогим из оборудования являются силовые трансформаторы. Показателем зарождающихся дефектов является химический состав трансформаторного масла, эксплуатация которого сопровождается выделением газов. В условиях экономических реалий не представляется возможным быстрая замена данного оборудования. Возможным выходом является проведение диагностического контроля за остаточным ресурсом оборудования по анализу растворенных газов с внесением изменений во все федеральные и отраслевые стандарты о введении анализа газов во всех промышленных трансформаторах и изменением регламента об учащении сроков проведения анализов.

**Ключевые слова:** диагностика электрооборудования, аварийность трансформаторов 6, 10, 35 кВ, стандарты методик диагностики оборудования.

## **PROPOSAL TO AMEND THE METHODOLOGY FOR DIAGNOSTICS OF SUBSTATION EQUIPMENT AT INDUSTRIAL ENTERPRISES**

<sup>1</sup>Motygullin Ilyas Ildanovich, <sup>2</sup>Maksimov Viktor Vladimirovich

A large number of substation equipment with a voltage of 6, 10, 35 kV with an increased wear life is in operation at industrial enterprises. The main and most expensive of the equipment are power transformers. An indicator of emerging defects is the chemical composition of transformer oil, the operation of which is accompanied by the release of gases. In the conditions of economic realities, it is not possible to quickly replace this equipment. A possible solution is to carry out diagnostic monitoring of the residual life of equipment for the analysis of dissolved gases with the introduction of changes to all federal and industry standards on the introduction of gas analysis in all industrial transformers and a change in the regulation on increasing the timing of analyzes.

**Key words:** diagnostics of electrical equipment, accident rate of transformers 6, 10, 35 kV, standards for equipment diagnostics methods.

Современный уровень развития технологий в промышленности приводят к тому, что возникает потребность в улучшении качества и проведения учета потерь электрической энергии в системах электроснабжения промышленных предприятий. На предприятиях промышленности распределение и потребление электроэнергии должны производиться с высоким уровнем надежности и экономичности [1]. Надежность электроснабжения промышленного предприятия, непосредственно станков и электрооборудования, зависит как от надежности поставляемой сетевой компанией электроэнергии, так и от надежности функционирования электросетевого хозяйства самого предприятия [2].

На балансе каждого промышленного предприятия находятся трансформаторные подстанции (35, 10, 6 кВ), кабельные и воздушные линии, распределительные устройства, аппаратура и автоматика защиты. В РФ находятся в эксплуатации сотни тысяч ТП 35, 10 и 6 кВ, многие из которых находятся на балансе промпредприятий, однако единой базы о техническом состоянии трансформаторов промпредприятий нет. Поэтому представляется возможным использовать только статистические данные сетевых предприятий. На 2020 год в введении МРСК-Центра находилось трансформаторных подстанций РТП 6-10 (35)/0,4 кВ – 101140 шт, распределительных пунктов 6-10 кВ – 907 шт. Специалистами филиала было проведено в 2018г. – 1391, 2019 г. – 1438, 2020 г. – 1264 (при запланированных 1096) капитальных ремонтов силовых трансформаторов 10/0,4 кВ. На рисунке 1 и 2 показана таблица находящихся в введении ТП и программа ремонтов 2018-2020 г.г. соответственно [3].

Наименование актива	Единица измерения	2018	2019	2020	Изменение 2020/2019, %
Подстанции	шт.	102 472	103 553	104 425	0,8
Подстанции 35-110 кВ	шт.	2 370	2 378	2 378	0,0
Трансформаторные подстанции, РТП 6-10 (35) / 0,4 кВ	шт.	99 237	100 291	101 140	0,8
Распределительные пункты 6-10 кВ	шт.	865	884	907	2,5

Рис. 1 Электросетевые активы, находящиеся под управлением МРСК-Центра 2018-2021 гг [3].



Рис. 2 Программа ремонтов МРСК-Центра 201-2021 гг [3].

На рисунке 3 представлен уровень износа объектов электросетевого хозяйства составил 11,8% (Расчет по методике, утвержденной постановлением Правительства Российской Федерации от 19 декабря 2016 года № 1401).



Рис.3. Уровень износа объектов электросетевого хозяйства по состоянию на 31 декабря 2020 года [3].

Аналогичная ситуация складывается и в другом филиале ПАО Россети - МРСК Северо-Запад. В сетях 6–10 кВ филиала «МРСК Северо-Запада» «Комиэнерго» около 47% трансформаторов имеют срок эксплуатации свыше 30 лет, рисунок 4. При этом основная часть трансформаторов имеет срок эксплуатации от 26 до 40 лет, что указывает на достаточно активное развитие электросетевого комплекса Республики Коми в 1974–1988 гг. рисунок 4. Количество трансформаторов, устанавливаемых в распределительной сети, начиная с 1990 г. резко снижалось и в последние годы составляло около 50 единиц в год. На рисунке 5 показано распределение трансформаторов по срокам эксплуатации на 15 возрастных групп [4].



Рис. 4. Распределение трансформаторов по срокам эксплуатации на семь возрастных групп [4].



Рис. 5. Распределение трансформаторов по срокам эксплуатации на 15 возрастных групп [4].

Ориентировочный срок службы трансформатора в распределительных сетях достигает 45-50 лет, после которого возрастает вероятность отказа. Таким образом можно предполагать, что число отказов трансформаторов через 15–25 лет будет значительно увеличиваться. В настоящее время обновление парка силовых трансформаторов происходит в основном только в случае их повреждения. Уже через 15 лет возникнет необходимость вкладывать значительные финансовые средства в замену трансформаторов из-за их массового повреждения по причине старения изоляции.

Самым значимым и важным является находящийся в ТП предприятия силовой трансформатор – снабжающий электроэнергией всё предприятие, как по степени выявления возникающих и тяжело выявляемых дефектов, так и по тяжести последствий финансовых и технических, при выводе из строя на время ремонта. Наиболее слабым звеном в трансформаторе является трансформаторное масло, являющееся диэлектриком и теплоотводящей средой для обмоток трансформатора, изменяющее свои диэлектрические свойства под воздействием магнитного поля, температуры, режимов нагрузки. Это требует четкого выстраивания стратегии технического обслуживания на протяжении всего срока эксплуатации, основанного на технологии непрерывного мониторинга состояния в режиме реального времени. Деграция трансформаторного масла оказывает значительное влияние на сроки и условия эксплуатации маслонаполненного трансформатора [5]. Процессу изучению характера влияния, степени изменения на химический состав процессов деграции масла уделено значительное число научных работ. Оценка технического состояния маслонаполненного электрооборудования в процессе его эксплуатации проводится с учётом результатов измерений концентраций газов, растворенных в трансформаторном масле. Диагностика по методу ХАРГ включена в отраслевые стандарты промышленных предприятий, однако носит

рекомендуемый статус. Согласно Методическим указаниям по диагностике развивающихся дефектов трансформаторного оборудования по результатам хроматографического анализа растворенных газов [6] обслуживающий персонал выявляет скрытые и зарождающиеся дефекты. На многих промышленных предприятиях парк электросетевого хозяйства находится в изношенном состоянии или на грани выработки своего регламентированного ресурса. Сегодня имеется значительный парк аппаратуры ХАРГ диагностики трансформаторного масла, обладающие различными техническими параметрами, стоимостью, однако в силу проводимой менеджментом предприятий политики повсеместной экономии, диагностические работы проводятся с минимальными финансовыми затратами или же проводятся формально. Данное явление неминуемо приведет к значительным потерям как к техническим – повреждение оборудования из-за последствий аварий, простой производства так и к финансовым.

Согласно стандарту организации ПАО «Россети» СТО 34.01-23-003-2019 п. 8.3.1 «Во время эксплуатации АРГ (анализ растворенных газов) должен осуществляться в следующие сроки: - трансформаторы 35 кВ не реже 1 раза в 6 месяцев; - трансформаторы класса напряжения 110 кВ и выше не реже 1 раза в 6 месяцев» [7]. Данный пункт обязывающий раз в полгода проводить АРГ базируется на большом количестве парка трансформаторов 35 кВ и стратегическом планировании минимизации капвложений продления эксплуатации при текущем ресурсе изношенности трансформаторов. Стандарты промышленных предприятий в большинстве случаев базируются на пункты ПУЭ. Согласно ПУЭ 1.8.16. п.13 Испытание трансформаторного масла: у трансформаторов напряжением до 35 кВ масло рекомендуется испытывать по показателям пп. 1 - 7 табл. 1.8.33, допускается не производить испытания по пп. 3, 6 и 7 табл. 1.8.33 [8-9], таким образом испытание силовых трансформаторов до 35 кВ носят рекомендуемый статус, а АРГ полностью отсутствует. Поэтому возникает необходимость о внесении в регламент п.10 Газосодержание % (ХАРГ), дополненный в части изменения статуса из рекомендуемого в обязательный с ограничением по времени – не реже 1 раза в полгода. Следует отметить и о внесении данных дополнений в пункты сопроводительных документов о технической эксплуатации силовых трансформаторов и трансформаторного масла заводов изготовителей. Для реализации данных предлагаемых изменений с технической стороны на практике на основании проведенного обзора и анализа аппаратуры диагностики приведены ряд приборов мультигазовых анализаторов онлайн мониторинга с наиболее широким диапазоном измерений: Calisto9 Morgan Schaffer. DGA 900 GE, Serveron TM8 Qualitrol, отечественный промышленный хроматограф «7X» и ряд других. Также на рынке присутствует и мобильные приборы ХАРГ.

## Выводы:

На основании статистики износа и увеличения с каждым годом количества парка силовых трансформаторов 6, 10, 35 кВ с большим сроком эксплуатации предлагается:

Внести во все отраслевые стандарты эксплуатации трансформаторов 6, 10, 35 кВ и трансформаторных масел, а также технических инструкций заводов изготовителей трансформаторов и масел пункты диагностики анализа газов со статусом обязательного не менее раз в полгода.[10-11]

Внести дополнения в ПУЭ 1.8.16. п.13 дополнив в табл. 1.8.33 пунктом 10 и изменением статуса на обязательный.

## Источники

1. Грачева Е.И., Горлов А.Н., Алимова А.Н. Исследование и оценка потерь электроэнергии в системах внутрицехового электроснабжения. Вестник КГЭУ, 2019. № 4 (44). сс. 22-28

2. 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. сс. 14-26. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-4-14-26.

3. Официальный сайт МРСК-Центр. [Электронный ресурс]. <https://www.mrsk-1.ru> (дата обращения: 20.02.2022).

4. Официальный сайт МРСК Северо-Запад [Электронный ресурс]. <https://www.mrsksevzap.ru>. (дата обращения: 22.02.2022).

5. Ризванова Г.И., Гафиятуллин, Гарифуллин М.Ш., Козлов В.К., Туранов А.Н. Особенности старения трансформаторного масла в реальных условиях эксплуатации. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2015, № 9-10. 91-94 с.

6. РД 153-34.0-46.302-00 Методические указания по диагностике развивающихся дефектов трансформаторного оборудования по результатам хроматографического анализа растворенных газов. РАО «ЕЭС РОССИИ», М: 2001. 41с.

7. СТО 34.01-23-003-2019 Методические указания по техническому диагностированию развивающихся дефектов маслонаполненного высоковольтного электрооборудования по результатам анализа газов, растворенных в минеральном трансформаторном масле. Дата введения: 17.04.2019. Утвержден и введен в действие Распоряжением ПАО "Россети" от 17.04.2019 № 205р

8. ПУЭ: Правила устройства электроустановок 7-е издание.

9. Качанов А.Н., Коренков Д.А., Ревков А.А., Максимов В.В., Воркунов О.В. Моделирование процессов высокочастотной сушки деревянных опор в вакуумной камере // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2020. Т. 22. № 6. 130-142 с.

10. Солуянов Ю. И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Солуянов В.И. Анализ фактических электрических нагрузок помещений общественного назначения, встроенных в жилые здания // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 6. 134-147 с.

11. Валиуллина Д.М., Ильясова Ю. К., Козлов В.К. Качественные методы спектрального анализа в диагностике трансформаторных масел // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2019. Т. 21. № 1-2. 87-92 с.

12. Иванов, Д. А. Особенности мониторинга сверхбольших частичных разрядов в высоковольтных / Д. А. Иванов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 1. С. 151-163. DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-1-151-163. EDN HFHHWI.

13. Анализ доли потребителей разной мощности в структуре технологических присоединений в электросетевых компаниях / А. В. Виноградов, М. В. Бородин, А. А. Лансберг, Н. В. Махиянова // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 1(53). С. 86-95. EDN RUQJDS.

УДК 621.394.512.1

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ОШИБОК ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА С СИСТЕМОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ СКОРОСТИ**

Росляков Андрей Владимирович  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия  
roslyakov3987@gmail.com

В статье рассмотрено влияние различных вариантов стандартных настроек на ошибки двухконтурного электропривода постоянного тока с системой стабилизации скорости. Произведен анализ полученных результатов на предмет оптимального сочетания вариантов стандартных настроек для каждого из контуров. Проведено моделирование разработанного электропривода в среде Matlab/Simulink.

**Ключевые слова:** двухконтурный электропривод, двигатель постоянного тока, контур тока, контур скорости, настройка на оптимум по модулю, настройка на симметричный оптимум, система стабилизации скорости



# INVESTIGATION OF D.C. ELECTRIC DRIVE ERRORS WITH A SPEED STABILIZATION SYSTEM

Rosliakov Andrei Vladimirovich

The article considers the influence of various variants of standard settings on the errors of a double-circuit DC electric drive with a speed stabilization system. The obtained results were analyzed for the optimal combination of options for standard settings for each of the circuits. The simulation of the developed electric drive was carried out in the Matlab/Simulink environment.

**Keywords:** double-circuit electric drive, DC motor, current circuit, speed circuit, modulo optimum tuning, symmetrical optimum tuning, speed stabilization system

Существует два вида стандартных настроек.

Контур считается настроенным на оптимум по модулю, если его передаточная функция в разомкнутом состоянии имеет вид (1).

$$W(s) = \frac{1}{2T_{\Sigma}s(T_{\Sigma}s + 1)}, \tag{1}$$

Контур считается настроенным на симметричный оптимум, если его передаточная функция в разомкнутом состоянии имеет вид (2).

$$W(s) = \frac{(4T_{\Sigma}s + 1)}{8T_{\Sigma}^2 s^2 (T_{\Sigma}s + 1)}, \tag{2}$$

Поскольку рассматриваемый электропривод содержит контур тока и контур скорости (см. рисунок), то необходимо рассмотреть различные варианты сочетания стандартных настроек этих контуров.

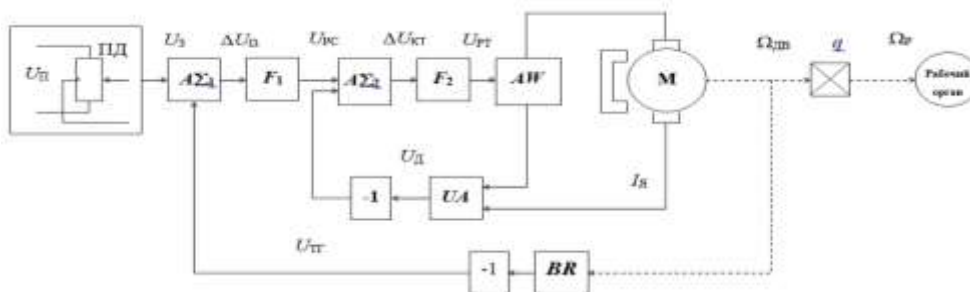


Рис. 1. Электрокинематическая функциональная схема двухконтурного скоростного следящего электропривода

В результате моделирования в программе Matlab получены графики ошибок двухконтурного электропривода с различными сочетаниями вариантов стандартных настроек при ступенчатом, линейно возрастающем и квадратично возрастающем задающем воздействии, которые представлены в таблице.

Таблица 1

Графики ошибок для различных комбинаций стандартных настроек

		Виды настройки контуров		
		1)КТ на ОМ КС на ОМ	2)КТ на ОМ КС на СО	3)КТ на СО КС на ОМ
Виды воздействия на систему	Ступенчатое			
	Линейно возрастающее			
	Квадратично возрастающее			

При ступенчатом задающем воздействии для всех вариантов настроек ошибка сводится к нулю [3].

При линейно возрастающем задающем воздействии вариант с настройкой контура тока на оптимум по модулю и контура скорости на симметричный оптимум является оптимальным, поскольку ошибка сводится к нулю.

В случае квадратично возрастающего задающего воздействия корректная работа системы будет обеспечена только при настройке контура тока на оптимум по модулю и контура скорости на симметричный оптимум. В остальных же случаях ошибка бесконечно увеличивается, и система работать корректно не будет.

По результатам исследований можно сделать вывод что настройка контура тока на оптимум по модулю и контура скорости на симметричный оптимум будет оптимальной для электропривода с системой стабилизации скорости, по причине отсутствия ошибок и стабильности работы системы.

## Источники

1. Чиликин, М. Г. Общий курс электропривода. Учебник / М.Г. Чиликин, А.С. Сандлер. – М.: Энергоиздат, 2016. 576 с.
2. Системы автоматического регулирования и управления: Ч 1. Практикум/ В.М. Бутаков, П.П Павлов. – Казань: Каз. гос. энерг. ун-т., 2017. 27 с.
3. Бутаков В.М., Гатин Б.Ф., Павлов С.В. Стандартные настройки и их применение // Актуальные вопросы науки и техники: Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. №3. – Самара, 2016. 141–144 с.
4. Бутаков В.М., Гатин Б.Ф., Хрисанов А.А. Настройка замкнутого электропривода на симметричный оптимум // Проблемы и достижения в науке и технике: Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. № 3. – Омск, 2016. 175–177 с.
5. Бутаков В. М., Павлов П. П., Юшин И. О. Настройка ПИД-регулятора преобразователя частоты Danfoss для вентиляторной установки. Методические указания по выполнению лабораторной работы – КГЭУ, 2017. 36 с.
6. Бурков А.Ф., Юрин В.Н., Аветисян В.Р. Исследование возможностей повышения энергоэффективности асинхронных двигателей. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2018. 20(9-10): 92-100 с.
7. Попов А.В. Исследование и совершенствование методов расчета надежности элементов электротехнических комплексов и систем. Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2015. (3-4):114-123 с.
8. Качанов А.Н., Коренков Д.А., Ревков А.А., Максимов В.В., Воркунов О.В. Моделирование процессов высокочастотной сушки деревянных опор в вакуумной камере // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2020. Т. 22. № 6. 130-142 с.
9. Солуянов Ю. И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Солуянов В.И. Анализ фактических электрических нагрузок помещений общественного назначения, встроенных в жилые здания // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 6.134-147 с.
10. Абдуллазянов Э.Ю., Грачева Е.И., Горлов А.Н.[и др.] Исследование качества функционирования электрических аппаратов низкого напряжения в составе электротехнических комплексов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 6. 3-15 с.
11. Особенности пробоподготовки водных вытяжек компонентов солнечных панелей в целях биотестирования / М. И. Семенова, А. В. Смирнов, И. В. Веженкова [и др.] // Известия высших учебных заведений. Проблемы

УДК 536.12.43.01

## ТЕПЛОЕМКОСТЬ ЭЛЕКТРОЛИТОВ NaCl ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ И КОНЦЕНТРАЦИИ КРЕМНИЕВЫХ ФУЛЛЕРЕНОВ

Сафаров Махмадали Махмадиевич<sup>1</sup>, Раджабова Саехат Сайфуллоевна<sup>2</sup>,  
Зарипова Мохира Абдусаломовна<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup>Таджикский технический университет имени акад. М.С.Осими,  
г. Душанбе, Таджикистан

<sup>2</sup>Таджикский государственный педагогический университет  
им. С.Айни, г. Душанбе, Таджикистан

<sup>1</sup>mahmad1@list.ru, <sup>2</sup>sayohat@mail.ru, <sup>3</sup>Zaripova.mohira@list.ru

В статье приводятся результаты экспериментального и теоретического исследования теплоемкости электролитов NaCl в зависимости от температуры при различной концентрации OCSiУНТ. Результаты исследования показали, что добавки кремниевых нанотрубок повышают теплоемкость электролитов NaCl. Для измерения удельной изобарной теплоемкости растворов электролитов использована экспериментальная установка – калориметр, работающий по методу монотонного разогрева. Общая относительная погрешность измерения теплоемкости составляет 3,2% при доверительной вероятности 0,95. На основе данных по теплоемкости наножидкостей системы электролитов NaCl и кремниевых нанотрубок получены эмпирические уравнения.

**Ключевые слова:** электролит, теплоемкость, концентрация, OCSiУНТ (кремниевые фуллерены), NaCl

## HEAT CAPACITY OF ELECTROLYTES NaCl AT DIFFERENT TEMPERATURES AND CONCENTRATIONS OF SILICON FULLERENES

<sup>1</sup>Safarov Makhmadali Makhmadievich, <sup>2</sup>Radzhabova Saekhat Saifulloevna, <sup>3</sup>Zaripova Mokhira  
Abdusalomovna

The article presents the results of an experimental and theoretical study of the heat capacity of NaCl electrolytes as a function of temperature at various concentrations of OSSiCNTs. The results of the study showed that the addition of silicon nanotubes increases the heat capacity of NaCl electrolytes. To measure the specific isobaric heat capacity of electrolyte solutions, an experimental calorimeter operating according to the method of monotonous heat. The total relative error of heat capacity measurement is 3.2% with a confidence level of 0.95. Based on the data on

the heat capacity of nanofluids in the NaCl electrolyte system and silicon nanotubes, empirical equations are derived.

**Keywords:** electrolyte, heat capacity, concentration, silicon nanotubes (silicon fullerenes)

Наноструктуры на основе кремния и диоксида кремния, нанопорошок, нанотрубки, кремниевые фуллерены и нанонити, наноккомпозиты имеют перспективу широкого применения в нанoeлектронике, оптоэлектронике, солнечной энергетике и нанотеплофизике.

В промышленности и технологиях достаточно часто применяется кремний. Кремний и его производные являются важными материалами для промышленности, например, в полупроводниках, оптоэлектронике и телекоммуникации. Линейные размеры наноалмазов колеблются от 10 нм до 50 нм. Диаметр углеродных нанотрубок колеблется от 4 нм до 20 нм, а их длина от 100 нм до 2 мкм [1, с.120].

Водные растворы - *NaCl*: №1-( $H_2O+5\%NaCl$ ); №2-( $H_2O+10\%NaCl$ ); №3-( $H_2O+12,5\% NaCl$ ); №4-( $H_2O+15\%NaCl$ ); №5-( $H_2O+24,26\%NaCl$ ) [2, с.130].

В 1985 году группа исследователей: Роберт Кёрл, Харольд Крото, Ричард Смолли, Хис и О'Брайен - исследовали масс-спектры паров графита, полученные при лазерном облучении твёрдого образца, и обнаружили пики с максимальной амплитудой, соответствующие кластерам, состоящим из 60 и 70 атомов углерода. Они предположили, что данные пики отвечают молекулам  $C_{60}$  и  $C_{70}$ , и выдвинули гипотезу, что молекула  $C_{60}$  имеет форму усечённого икосаэдра симметрии  $I_h$ . Полиэдрические кластеры углерода получили название фуллеренов, а наиболее распространённая молекула  $C_{60}$  – фуллерен-на (также ее называют англ. *buckyball*) по имени американского архитектора Бакминстера Фуллера, применявшего для постройки куполов своих зданий пяти- и шестиугольники, являющиеся основными структурными элементами молекулярных каркасов всех фуллеренов.

Механизм образования фуллеренов в дуге до сих пор остаётся неясным, поскольку процессы, идущие в области горения дуги, термодинамически неустойчивы, что сильно усложняет их теоретическое рассмотрение. Неопровержимо удалось установить только то, что фуллерен собирается из отдельных атомов углерода (или фрагментов  $C_2$ ). Для доказательства в качестве анодного электрода использовался графит  $^{13}C$  высокой степени очистки, другой электрод был из обычного графита  $^{12}C$ . После экстракции фуллеренов было показано методом ЯМР, что атомы  $^{12}C$  и  $^{13}C$  расположены на поверхности фуллерена хаотично. Это указывает на распад материала графита до отдельных атомов или фрагментов атомного уровня и их последующую сборку в молекулу фуллерена. Данное обстоятельство заставило отказаться от наглядной картины

образования фуллеренов в результате сворачивания атомных графитовых слоёв в замкнутые сферы.

Анализ электронной структуры фуллеренов показывает наличие  $\pi$ -электронных систем, для которых имеются большие величины нелинейной восприимчивости. Фуллерены действительно обладают нелинейными оптическими свойствами. Однако из-за высокой симметрии молекулы  $C_{60}$  генерация второй гармоники возможна только при внесении асимметрии в систему (например, внешним электрическим полем). С практической точки зрения привлекательно высокое быстродействие ( $\sim 250$ пс), определяющее гашение генерации второй гармоники. Кроме того, фуллерены  $C_{60}$  способны генерировать и третью гармонику.

Другой вероятной областью использования фуллеренов и, в первую очередь  $C_{60}$ , являются оптические затворы. Экспериментально показана возможность применения этого материала для длины волны 532нм. Малое время отклика даёт шанс использовать фуллерены в качестве ограничителей лазерного излучения и модуляторов добротности. Однако по ряду причин фуллеренам трудно конкурировать здесь с традиционными материалами. Высокая стоимость, сложности с диспергированием фуллеренов в стёклах, способность быстро окисляться на воздухе, далеко не рекордные коэффициенты нелинейной восприимчивости, высокий порог ограничения создают серьёзные трудности в борьбе с конкурирующими материалами [1, с.120].

Для обработки экспериментального значения теплоемкости системы водный раствор NaCl и его коллоидные растворы с кремниевыми фуллеренами от температуры при атмосферном давлении использовали следующие выражения [2,с.130] и [3,с.420]:

$$\frac{C_{p,T}}{C_{p,T}^*} = f\left(\frac{T}{T_1}\right) \quad (1)$$

где  $C_p$ - теплоемкость соответственно исследуемых образцов при различных температурах и давлениях  $C_{p,T}^*$ - значения теплоемкости при температурах  $T$  и  $T_1$ ;  $T_1=353$ К. Выполнимость выражения (1) показана на рисунке 1.

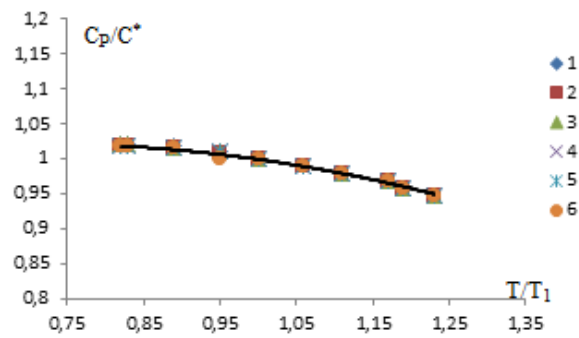


Рис. 1. Зависимость относительной теплоемкости от относительной температуры при атмосферном давлении

Уравнение кривой линии, приведенной на рисунке 1, имеет вид:

$$\frac{C_P}{C^*} = -0,2671 \left( \frac{T}{T_1} \right)^2 + 0,3802 \left( \frac{T}{T_1} \right) + 0,8861 \quad (2)$$

Анализ значения ( $C^*$ ) графически представлен на рисунке 2.

Уравнение кривой линии, показанной на рисунке 2, имеет вид:

$$C^* = \left( 0,548(n_{NaCl})^2 - 50,762(n_{NaCl}) + 4107 \right), \text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К}) \quad (3)$$

Далее результаты экспериментального исследования теплоемкости электролитов с внедренными в них кремниевых фуллеренов показали, что добавки в электролите кремниевых фуллеренов повышают теплоемкость растворов системы ( $\text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$ ). Полученные данные в виде таблиц приведены ниже (рисунок 3).

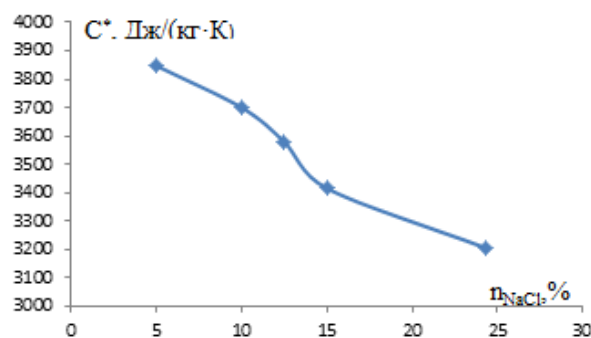


Рис. 2. Зависимость теплоемкости ( $C^*$ ) от концентрации ( $\text{NaCl}$ ) внедренных в воде ( $\text{H}_2\text{O}$ ) при температуре ( $T_1=353\text{K}$ ) и атмосферном давлении (0,101) МПа.

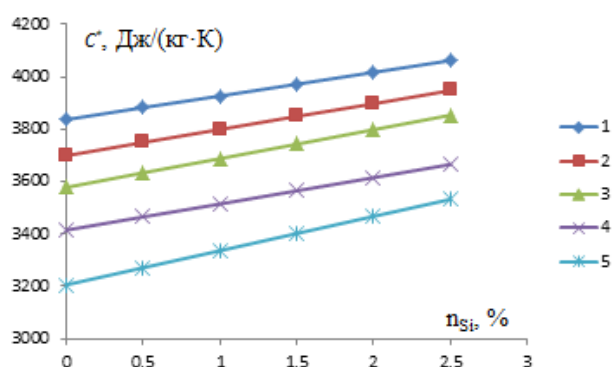


Рис. 3. Зависимость теплоемкости ( $C^*$ ) от концентрации фуллерена  $n_{Si}$ ,% внедренных в электролит NaCl, при температуре ( $T_1=353K$ ) и атмосферном давлении (0,101)МПа: (Образец №1- ( $H_2O+5\%NaCl$ )+(от 0 до 2,5%Si); Образец №2- ( $H_2O +10\%NaCl$ )+(от 0 до 2,5%Si); Образец №3- ( $H_2O +12,5\%NaCl$ )+(от 0 до 2,5%Si); Образец №4- ( $H_2O +15\%NaCl$ )+(от 0 до 2,5% Si); Образец №5- ( $H_2O +24,26\%NaCl$ )+(от 0 до 2,5%Si).

Как видно из графика, показанного на рисунке 3, удельная изобарная теплоемкость электролитов с внедренными в них кремниевых фуллеренов с повышением концентрации фуллеренов во всем диапазоне температуры растет на основе закона прямой линии.

Уравнение прямой линии, показанной на рисунке 3, имеет вид:

$$C^* = F(n_{Si}) + D \quad \text{Дж/(кг·К)} \quad (4)$$

Коэффициенты уравнения (4), F и D приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Коэффициенты F и D уравнения (4) для исследуемых электролитов при температуре  $T_1=353K$  и атмосферном давлении.

№	Образцы	F, Дж/(кг·К·%)	D, Дж/ (кг·К)
1	( $H_2O+5\%NaCl$ )+(от 0 до 2,5%Si)	90,063	3837,3
2	( $H_2O +10\%NaCl$ )+(от 0 до 2,5%Si)	99,166	3699,8
3	( $H_2O +12,5\%NaCl$ )+(от 0 до 2,5%Si)	110,11	3578,3
4	( $H_2O +15\%NaCl$ )+(от 0 до 2,5% Si)	100,14	3415,2
5	( $H_2O +24,26\%NaCl$ )+(от 0 до 2,5%Si)	130,62	3206,2



С помощью уравнения (2) с учетом значений таблицы 1 и выражений (3) и (4) можно численно рассчитать удельную изобарную теплоемкость коллоидных электролитов системы (NaCl+H<sub>2</sub>O) при различных температурах, концентрации кремниевых фуллеренов и концентрации воды в атмосферном давлении.

### Источники

1. Калеева А.А., Тимеркаев Б.А., Шамсутдинов Р.С., Сайфутдинов А.И., Шакиров Б. Р. Микродуговой способ синтеза наноструктур кремния. / 1-ая Всероссийская конференция с международным участием. «Газоразрядная плазма и синтез наноструктур», «КНИТУ-КАИ », Казань, 2020. 120-123 с.

2. Ковалевская Н.С. Теплоемкость водных растворов NaCl. /Н.С.Ковалевская// Дис ...к.т.н., М.: МЭИ, 1954. 198 с.

3. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей /Н.Б. Варгафтик, Л.П.Филиппов и др.// Изд-во стандартов, М., 1963. 708с

4. Чиликин, М. Г. Общий курс электропривода. Учебник / М.Г. Чиликин, А.С. Сандлер. – М.: Энергоиздат, 2016. 576 с.

5. Системы автоматического регулирования и управления: Ч 1. Практикум/ В.М. Бутаков, П.П Павлов. – Казань: Каз. гос. энерг. ун-т., 2017. 27 с.

6. Бутаков В.М., Гатин Б.Ф., Павлов С.В. Стандартные настройки и их применение // Актуальные вопросы науки и техники: Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. №3. – Самара, 2016. 141–144 с.

7. Бутаков В.М., Гатин Б.Ф., Хрисанов А.А. Настройка замкнутого электропривода на симметричный оптимум // Проблемы и достижения в науке и технике: Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. № 3. – Омск, 2016. 175–177 с.

8. Басенко В.Р., Владимиров О.В., Ившин И.В., Низамиев М.Ф. Бесконтактный лазерный контрольно-измерительный комплекс для определения уровня прессовки обмоток и магнитопровода силового трансформатора // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 3. 140-153 с.

9. Козлов В.К., Гарифуллин М.Ш., Сабитов А.Х., Гиниатуллин Р.А. Люминесцентные свойства бумажной изоляции маслонаполненных трансформаторов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2018. Т. 20. № 11-12. 144-151 с.

10. Яруллин Р.С., Салихов И.З., Черезов Д.З., Нурисламова А.Р. Перспективы водородных технологий в энергетике и в химической

промышленности // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 2. 70-83 с.

11. Филимонова А.А., Чичиров А.А., Чичирова Н.Д.[и др.] Перспективы развития водородной энергетики в Татарстане // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2020. Т. 22. № 6. 79-91 с.

12. Герасименко, А. С. Особенности прямых измерений для оценки объемной активности радионуклидов в воздухе рабочей зоны / А. С. Герасименко, С. В. Дорохов, В. В. Криворотова // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2022. – Т. 24. – № 3. – С. 3-14. – DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-3-3-14. – EDN NSHQAU.

13. Колибаба, В. И. Стоимостные модели в контроллинге устойчивого развития электроэнергетических компаний и кластеров / В. И. Колибаба, А. А. Морозова // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2022. – Т. 14. – № 2(54). – С. 106-119. – EDN WLWPNQ.

УДК 621.315.1

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЛЭП НА ПАРАМЕТРЫ СИГНАЛА ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА**

Смирнов Даниил Андреевич<sup>1</sup>, Хузяшев Рустэм Газизович<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>99daniil1999@mail.ru, <sup>2</sup>142892@mail.ru

В статье рассмотрена модель линии электропередачи при плановой коммутации с целью измерения скорости распространения сигналов переходного процесса и выявления ее зависимости от параметров линии в программе PSCAD. Представлены результаты моделирования в виде осциллограмм напряжения.

**Ключевые слова:** периодическая дискретизация, плановая коммутация, вычислительная погрешность, грозозащитный трос

## **INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF POWER LINE PARAMETERS ON THE SIGNAL PARAMETERS OF THE TRANSIENT PROCESS**

Smirnov Daniil Andreevich<sup>1</sup>, Khuzyashev Rustem Gazizovich<sup>2</sup>

The article considers a model of a power line during scheduled switching in order to measure the propagation speed of transient signals and identify its dependence on the line parameters in the PSCAD program. The simulation results are presented in the form of voltage oscillograms.

**Keywords:** periodic discretization, scheduled switching, computational error, ground wire

В материальной среде, каковыми являются провода ЛЭП, скорость распространения электромагнитного поля значительно меньше 300000 км/с. Следовательно, и длина волны на частоте основной гармонической составляющей электромагнитного поля, распространяемого по линейным проводам ЛЭП, меньше 6000 км [1].

Одной из серьезных проблем надежного функционирования энергосистем является нарушение работоспособности воздушных и кабельных ЛЭП, вызванное различными причинами: выходом из строя компонентов энергосистемы из-за старения оборудования, ошибок персонала и другими причинами [2-3].

Обнаружение неисправностей и их локализация на линиях электропередачи является проблемой, которая давно известна и хорошо изучена. Сокращение времени поиска и точного обнаружения места повреждений имеет большое значение для повышения надежности энергосистем [4].

Результаты экспериментальных измерений и численного моделирования [5, 6] показывают, что сигнал ПП, рождаемый как ОЗЗ, так и нормальными коммутационными процессами, описывается комбинацией гармонических колебаний дискретных частот, значения которых находятся в диапазоне от единиц до сотен килогерц [7].

Для проведения теоретических исследований влияния параметров ЛЭП на скорость распространения сигнала переходного процесса (ПП) была составлена однофазная модель 100-километровой линии без нагрузки.

Путем варьирования параметров ЛЭП (наличие/отсутствие грозозащитного троса (ГТ), изменение величины стрелы провеса провода, изменение расстояния между фазным проводом и землей) определяются изменения параметров сигнала переходного процесса на 100-м км (см. рисунок 1).

Численным моделированием в пакете PSCAD показано, что величина периода сигнала переходного процесса зависит от параметров линии электропередачи.

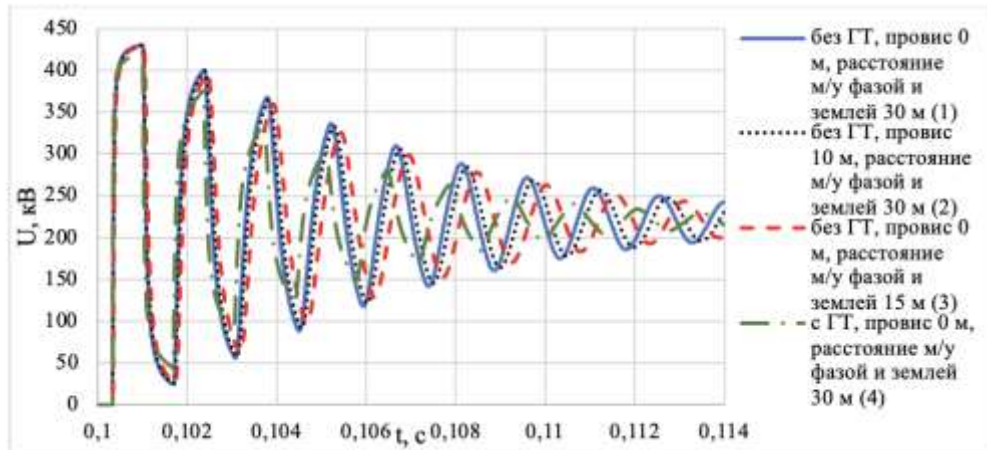


Рис. 1. Осциллограммы сигналов ПП на 100-м км при различных параметрах ЛЭП

Используя результаты моделирования, скорость распространения сигнала переходного процесса можно определить двумя способами:

1. По времени, за которое скачок напряжения доходит до конца линии.

На рисунке 2 разница между моментом замыкания выключателя и началом свободных колебаний будет представлять собой время прохождения сигнала ПП.

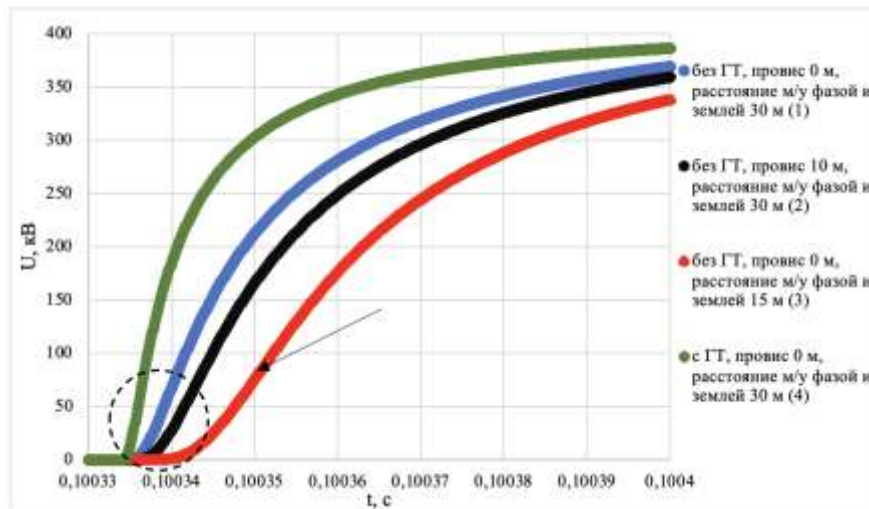


Рис. 2. Осциллограммы сигналов ПП после прохождения одной длины ЛЭП

$$v = \frac{L}{t_2 - t_1},$$

где  $L$  — длина линии,  $t_1$  и  $t_2$  — время амплитудных значений в периоде.

$$v_1 = \frac{100}{0,100336 - 0,1} = 297,6 \frac{\text{км}}{\text{мс}}; v_2 = \frac{100}{0,100337 - 0,1} = 296,7 \frac{\text{км}}{\text{мс}};$$

$$v_3 = \frac{100}{0,100342 - 0,1} = 292,4 \frac{\text{км}}{\text{мс}}; v_4 = \frac{100}{0,100335 - 0,1} = 298,5 \frac{\text{км}}{\text{мс}}.$$

2. По одному периоду свободных колебаний.

Электромагнитные волны, по мере их распространения в ЛЭП, испытывают отражения от концов линии, это явление характеризуется коэффициентом отражения.

Коэффициент отражения — общее название безразмерных величин, характеризующих отражение волн от неоднородности в среде распространения.

Коэффициент отражения по напряжению в линии передачи однозначно связан с её волновым сопротивлением  $\rho$  и импедансом  $Z_{нагр}$  нагрузки:

$$K_U = \frac{Z_{нагр} - \rho}{Z_{нагр} + \rho}$$

Так как к рассматриваемой модели не подключена нагрузка, то в начале линии  $Z_{нагр} = 0$ , а в конце  $Z_{нагр} = \infty$ . Следовательно, коэффициенты отражения в начале и в конце линии будут равны:

$$K_{U_n} = \frac{0 - \rho}{0 + \rho} = -1; K_{U_k} = \frac{\infty - \rho}{\infty + \rho} = \frac{1 - \frac{\rho}{\infty}}{1 + \frac{\rho}{\infty}} = 1$$

Исходя из полученных значений коэффициентов отражения и пренебрегая затуханием сигнала, форма сигнала переходного процесса примет следующий вид (см. рисунок 4).

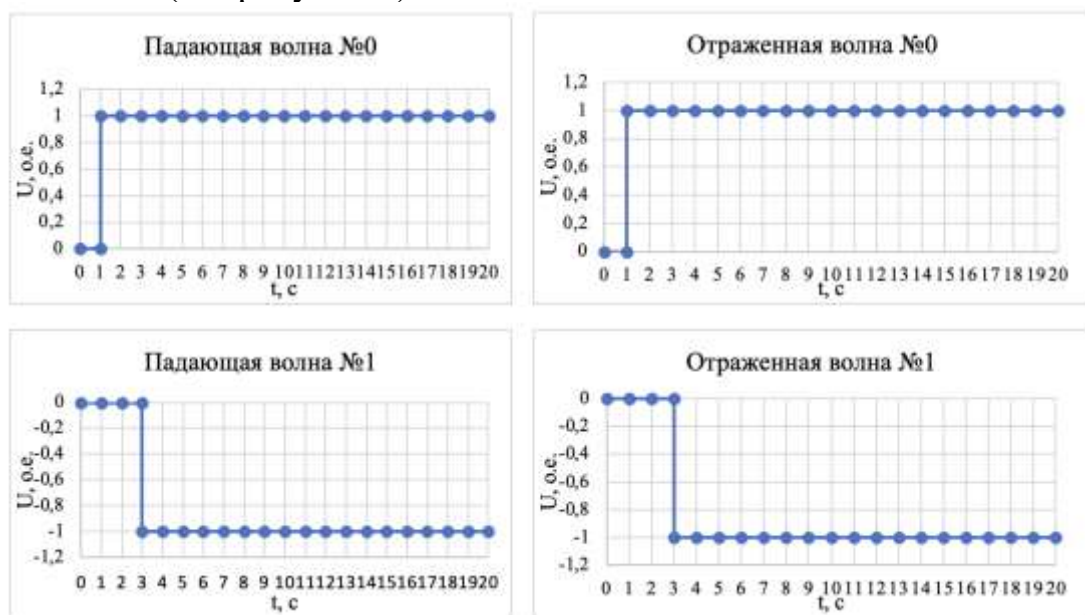


Рис. 3. Скачки напряжения в конце линии

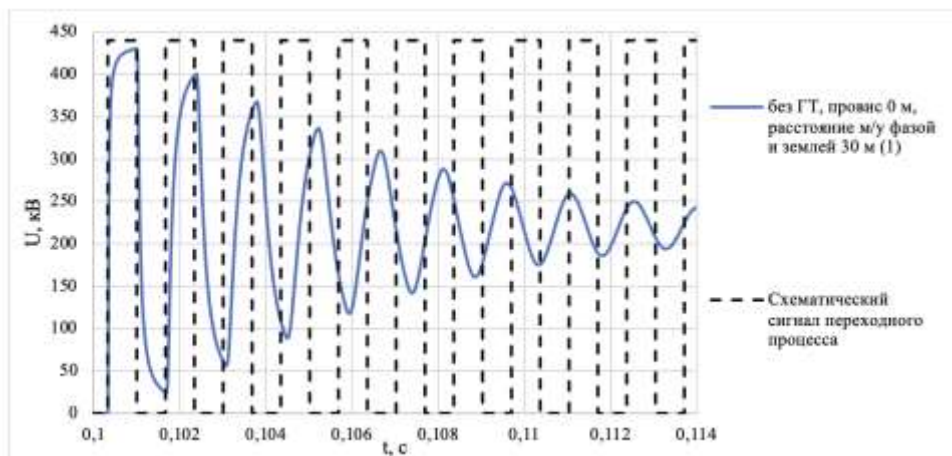


Рис. 4. Сопоставление экспериментального и схематического сигнала ПП

Из диаграммы на рисунке 4 видно, что один период свободных колебаний формируется путем 4-х кратного прохождения всей длины линии, поэтому скорость распространения сигнала будет выражена в виде формулы

$$v = \frac{4L}{t_2 - t_1},$$

где  $L$  — длина линии,  $t_1$  и  $t_2$  — время амплитудных значений в периоде. Полученные данные представлены в таблице 1.

Таблица 1

Параметры сигналов ПП

Параметры	Вид ЛЭП	базовая модель			
		(1)	(2)	(3)	(4)
$T$ , мс		1,497	1,581	1,593	1,516
$f$ , Гц		668,00	632,51	627,75	659,63
$v$ , км/мс		267,2	253,0	251,1	263,8
Уменьшение скорости относительно базовой модели, %		0	5,3	6,0	1,3

### Выводы:

1. Исследовали зависимость скорости распространения скачка напряжения от геометрических и конструктивных параметров линии.
2. Представили визуальный образ формирования свободных колебаний при распространении скачка напряжения.

### Источники

1. Большанин Г.А. Методика определения электрических параметров с учетом волновой теории передачи электрической энергии // Вестник ИрГТУ. 2019. №1 (144).
2. Wang Z., Zhao P. Fault location recognition in transmission lines based on Support Vector Machines // 2009 2nd IEEE International Conference on Computer Science and Information Technology.
3. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Халтурин В.А. Энергосберегающие решения в распределительных электрических сетях на основе анализа их фактических нагрузок // Электроэнергия. Передача и распределение № 5 (62), 2020. 68-73 с.
4. Повышение точности определения места повреждения в линиях электропередачи / К. В. Суслов, Н. Н. Солонина, З. В. Солонина, А. Р. Ахметшин // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2020. Т. 12. № 3(47). 3-13 с.
5. Качесов В. Е., Лавров В. Ю., Черепанов А. Б. Параметрический способ определения мест повреждения в распределительных сетях // Электрические станции, 2003. №8. 37–43 с.
6. Качесов В. Е. Метод определения зоны однофазного замыкания в распределительных сетях под рабочим напряжением // Электричество. 2005. №6. 9–19 с.
7. Новиков, С. И. Простейшие алгоритмы обнаружения сигналов переходного процесса напряжения в линиях электропередач / С. И. Новиков, И. Л. Кузьмин, Р. Г. Хузяшев // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2017. Т. 19. № 7-8. 114-125 с.
8. Качанов А.Н., Коренков Д.А., Ревков А.А., Максимов В.В., Воркунов О.В. Моделирование процессов высокочастотной сушки деревянных опор в вакуумной камере // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2020. Т. 22. № 6. 130-142 с.
9. Солуянов Ю. И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Солуянов В.И. Анализ фактических электрических нагрузок помещений общественного назначения,

встроенных в жилые здания // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 6. 134-147 с.

10. Абдуллазянов Э.Ю., Грачева Е.И., Горлов А.Н.[и др.] Исследование качества функционирования электрических аппаратов низкого напряжения в составе электротехнических комплексов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 6. 3-15 с.

11. Синюков А.В., Синюкова Т.В., Грачева Е.И. [и др.] Оптимизированные бездатчиковые системы управления механизмами перемещения грузов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 6. 87-98 с.

12. Вафин, Д. Б. Тепловые и аэродинамические параметры камеры радиации печи пиролиза углеводородов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 3. С. 198-210. DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-3-198-210. EDN JGSNXX.

13. 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 621.315

## **ВИЗУАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА**

Суханова Светлана Павловна<sup>1</sup>, Валиуллина Диля Мансуровна<sup>2</sup>,  
Козлов Владимир Константинович<sup>3</sup>, Валиуллин Сабит Рамилевич<sup>4</sup>,  
Маслов Игорь Николаевич<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>sveta.sukhanova.99@mail.ru, <sup>2,4</sup>valiullinadiliya@mail.ru, <sup>3</sup>kozlov\_vk@bk.ru,

<sup>5</sup>ig-mas@mail.ru

Трансформаторные масла выполняют важные функции в электроэнергетике, они являются изолирующей средой в трансформаторах. Поэтому при обслуживании трансформатора значительное внимание уделяется контролю физико-химических показателей и эксплуатационных свойств трансформаторных масел. Целью данной работы является определение кислотного числа трансформаторного масла методом спектроскопии, т.е. освещение масла узконаправленным светом.



**Ключевые слова:** трансформатор, трансформаторное масло, кислотное число, ток на фотокатоде

## VISUAL DEFINITION OF QUALITY PARAMETERS TRANSFORMER OIL

Sukhanova Svetlana Pavlovna<sup>1</sup>, Valiullina Diliya Mansurovna<sup>2</sup>,  
Kozlov Vladimir Konstantinovich<sup>3</sup>, Valiullina Sabit Ramilevich<sup>4</sup>,  
Maslov Igor Nikolaevich<sup>5</sup>

Transformer oils perform important functions in the electric power industry, they are an insulating medium in transformers. Therefore, when servicing the transformer, considerable attention is paid to the control of physico-chemical parameters and operational properties of transformer oils. The purpose of this work is to determine the acid number of transformer oil by spectroscopy, i.e. illumination of the oil with narrowly directed light.

**Key words:** transformer, transformer oil, acid number, current on the photocathode

Изоляционное масло является неотъемлемой частью изоляции высоковольтного маслонаполненного оборудования. Из-за влияния большого количества разных негативных факторов (таких как, работа в режиме повышенной нагрузки и температуры, попадание влаги и кислорода воздуха) состояние диэлектрических жидкостей начинает заметно ухудшаться, что в впоследствии неизбежно приведет к поломке трансформатора, а в самых худших случаях – даже к аварии. Вследствие этого в трансформаторе может произойти электрический пробой масляной изоляции, что приведет к его выходу из строя. Поэтому в электроэнергетике необходим периодический контроль за качеством трансформаторного масла. Для этого с определенной частотой из маслонаполненного оборудования берется проба масла и отправляется для исследования в химическую лабораторию. По полученным показателям делается заключение о качестве трансформаторного масла, о возможности его дальнейшей эксплуатации, в противном случае к его замене.

Опираясь на данные статистики, на несколько сотен единиц маслонаполненного оборудования приходится одна лаборатория, которая проводит исследование и химический анализ изоляционных масел. Определение многих показателей трансформаторного масла основано на химических методах, для которых необходимо специальное дорогостоящее оборудование.

Отсюда следует, что методы определения показателей качества изоляционного масла в лаборатории являются трудоемкими и обладают высокой себестоимостью. Поэтому необходимо искать другие способы определения качества трансформаторного масла.

Наиболее простой альтернативой химическим методам, с точки зрения проведения измерений, является метод спектроскопии. При этом точность, полученная при спектральном анализе изоляционного масла, сопоставима с точностью химических методов. Также к его достоинствам можно отнести быстроту получения результата исследования, значительно меньшие по сравнению с химическими методами исследования трудоемкость и себестоимость.

Для проведения данного исследования были взяты образцы трансформаторного масла марок, приведенных в таблице 1 с различным значением кислотного числа.

Таблица 1

№ пробы	Кислотное число мг КОН/г	Класс чистоты	Упр	H <sub>2</sub> O	Ток на выходе из кюветки, мкА
Нитро 10	0		89,7	12,5	1,02532
10	0,0042	8	55,5	32,59	1,02532
75	0,015	12	28,9	30,38	1,03093
Буй 1Г	0,019	10	88,4	11,2	1
1	0,0217	10	67,1		0,93671
Буй 2Г	0,025	10	77,3	13,14	0,9875
73	0,032	10	43,8	38,93	0,9075
5	0,0372	9	56,7		0,89873
0	0,049	10	84	15,29	0,89114
3	0,0539	10	29,6		0,92152
71	0,084	15	41	46,15	0,84304
4	0,1037	9	90		0,85385
72	0,108	10	69,1	66,72	0,77975
74	0,113	10	65,5	46,56	0,79487
76	0,14	9	67,6	39,46	0,75949
2	0,1778	10	79,4		0,78481

В таблице 1 приведены следующие показатели: кислотное число, класс чистоты (кл. чист.), пробивное напряжение ( Упр ), влагосодержание в г/т (H<sub>2</sub>O) Для исследования цветовых характеристик изоляционных масел была собрана установка, блок-схема которой приведена на рис. 1.

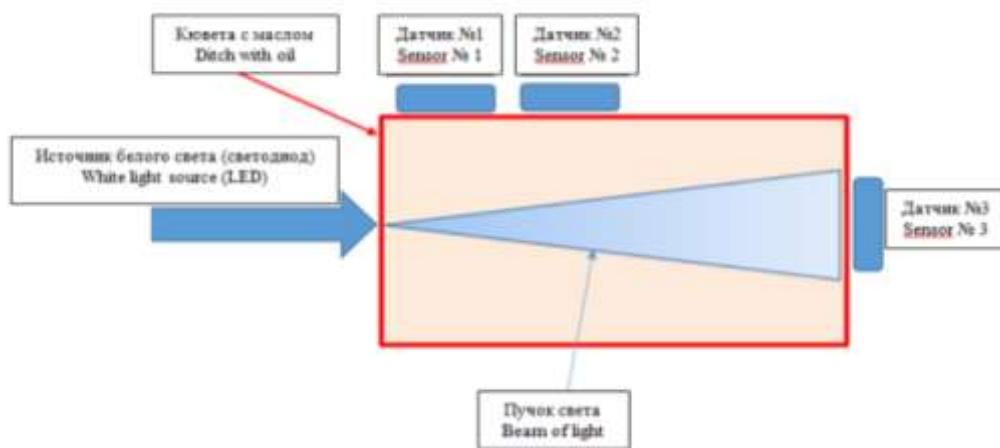


Рис. 1. Схема установки.

При освещении указанных в таблице образцов масел узконаправленным белым светом ( $\lambda \approx 400 - 800$  нм), масло с малым значением кислотного числа (первые образцы, чистое масло) будет иметь ярко-голубой цвет рассеяния. Это означает, что у испытуемого образца масла отсутствуют крупные частицы, на которых происходит рассеивание. При освещении образцов с более высоким значением кислотного числа, по сравнению с первыми образцами, цвет луча рассеяния будет изменяться и становится желтее, что будет свидетельствовать о том, что данные пробы изоляционного масла более окислены и в них присутствуют коллоидные частицы и ароматические соединения. При освещении проб масла с высоким значением кислотного числа будет явно выражен ярко-желтый луч. Это означает, что данные образцы обладают наибольшей степенью окисления, чем все остальные исследуемые образцы, в них присутствует значительное количество крупных коллоидных частиц и ароматических соединений. Иначе говоря, имеет место и явление рассеяния на коллоидных частицах, и явление люминесценции молекул ароматических соединений. Ниже представлен график (рис.2) зависимости кислотного числа от тока, измеряемого на выходе из кюветки.

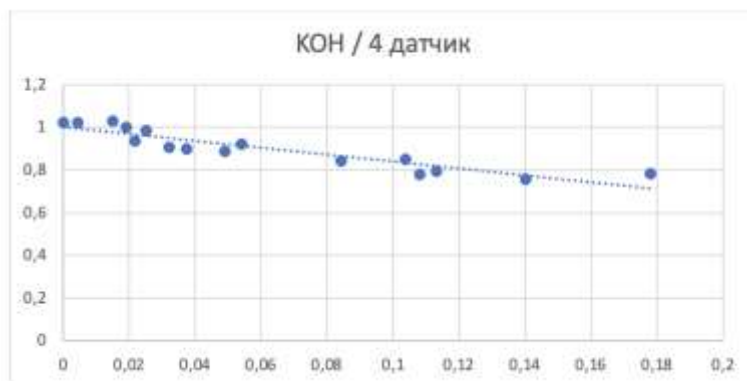


Рис 2. Зависимость кислотного числа от тока на выходе из кюветки

По графику видно, что чем больше кислотное число, тем меньше ток, тем больше он поглощается и меньше проходит. По этой зависимости, измеряя прошедший ток на выходе из кюветки, можно определить кислотное число неизвестного образца масла.

Из всего вышеизложенного следует, что спектральный анализ изоляционных масел в диапазоне 400 - 800 нм, т.е в узконаправленном белом свете, позволяет определять их химический состав, знание которого необходимо для принятия решения о дальнейшей эксплуатации изоляционного масла, либо его замене.

Таким образом, мы предлагаем простую и наглядную методику для диагностики трансформаторных масел, которая является менее затратной и на начальном этапе позволяет определить степень деградации масла.

Результаты проделанной работы свидетельствуют о перспективности применения спектрального метода определения кислотного числа в видимой и ближней ИК-области для сведений о качестве изоляционных масел.

### **Источники**

1. Козлов В.К., Гарифуллин М.Ш. Способ контроля технического состояния высоковольтного маслонаполненного электроэнергетического оборудования // Пат. 2461812 РФ, МПК G01N 21/27. Заявл. 26.04.2011; опубл. 20.09.2012. Бюл. № 26.

2. Валиуллина Д.М., Козлов В.К., Ильясова Ю.К. и др. Определение характеристик трансформаторного масла спектральным методом / Вестник казанского государственного энергетического университета. 2021; дата обращения: 04.04.2022).

3. Menkiti, M.C. Chemically improved Terminalia catappa L. oil: A possible renewable substitute for conventional mineral transformer oil [Text] / M.C. Menkiti, C.M. Agu, P.M. Ejikeme, O.E. Onyelucheya // Journal of Environmental Chemical Engineering. – 2017. – Vol. 5. – Is.1. – P. 1107 – 1118. – (DOI: doi.org / 10.1016 / j.jecce.2017.01.037).

4. Юсупов, Д.Т. Влияние механических примесей на эксплуатационные характеристики трансформаторного масла / Текст: непосредственный // Молодой ученый. 2019. № 22 (260). 144-146 с. URL: <https://moluch.ru/archive/260/59704/> (дата обращения: 04.04.2022).

5. Ризванова Г.И., Гафиятуллин Л.Г. и др. Особенности старения трансформаторного масла в реальных условиях эксплуатации. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2015;(9-10): 91-94 с.

6. Козлов В.К. Исследование зависимости коэффициента пропускания и цвета изоляционных масел от их кислотного числа / В.К. Козлов, Д.М.

Валиуллина, М.Ш. Гарифуллин // Материалы докл. IV Междунар. Молодежной школы-семинар БИКАМП'03. СПб., 2003. 309–313 с.

7. Гарифуллин М.Ш. Оценка диагностической ценности показателей качества изоляционного масла для систем мониторинга состояния трансформаторов // Известия вузов. Проблемы энергетики, 2013. 131–134 с.

8. Козлов В.К., Гарифуллин М.Ш. Методы оптической спектроскопии в диагностике состояния изоляции маслонаполненного электрооборудования / В.К. Козлов, М.Ш. Гарифуллин. Казань: Казан.гос. энерг. ун-т, 2013. 192 с.

9. Юсупов, Д.Т. Влияние механических примесей на эксплуатационные характеристики трансформаторного масла / Текст: непосредственный // Молодой ученый. 2019. № 22 (260). 144-146 с. (дата обращения: 05.04.2022).

10. Валиуллина Д.М., Ильясова Ю. К., Козлов В.К. Качественные методы спектрального анализа в диагностике трансформаторных масел // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2019. Т. 21. № 1-2. 87-92 с.

11. Дремичева Е.С., Зверева Э.Р., Бурганова Ф.И., Зверев Л.О. Перспективы технологии совместного сжигания биомассы и угля на объектах энергетики // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 1. 119-130 с.

12. Козлов, В.К., Сабитов А. Х. Степень полимеризации бумажной изоляции силовых трансформаторов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2018. Т. 20. № 9-10. 34-38 с.

13. Липантьев, Р.Е., Тутубалина В.П. Влияние сжигания сернистых мазутов на окружающую среду // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2017. Т. 19. № 5-6. 144-148 с.

14. 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 ZIJECR.

УДК 629.064.5:629.48(574)(045)

## **STUDY OF IMPROVING THE RELIABILITY OF THE POWER SUPPLY SYSTEM ON THE EXAMPLE OF A GAS-OXYGEN WORKSHOP**

Tatkeyeva Galina<sup>1</sup>, Mubarak Birzhan Sattaruly<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Department "Power Supply", Faculty of Energy, Kazakh Agrotechnical University named after S. Seifullin, Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan

<sup>1</sup>tatkeeva@mail.ru, <sup>2</sup>bmubarak@mail.ru

The article analyzes modern methods of improving the reliability of power supply of the gas and oxygen workshop of JSC "Akmola Car Repair Plant" Nur-Sultan.

The basis of this article is to increase the category of reliability of power supply from the third to the second. It proposed to check the results of the methods used using a special software package ETAP.

**Keywords:** method, gas-oxygen shop, increasing the reliability of power supply

The gas-oxygen workshop designed to generate oxygen and compressed air for the entire car repair plant. The availability of own equipment makes it possible to produce products on a large scale for the supply of finished products. The main application of oxygen is welding, cutting and leveling of metals, and compressed air is purging, cleaning of dust and contamination of equipment, painting works, starting systems, pneumatic drives of machines and mechanisms, etc. Violation of the supply of oxygen or compressed air will stop the activity of not only the site or workshop, but also the entire production of the enterprise. Therefore, improving reliability is a top priority.

Improving the reliability of power supply is one of the most common problems in the electric power industry. There are a huge number of ways to solve this issue, namely:

- using the overload capacity of electrical equipment;
- rational redundancy of electrical networks;
- withdrawal of electrical equipment for repair not according to the planned preventive, but according to the actual condition;
- application of modern technologies and improvement of existing equipment;
- installation of automated protection devices;
- reliable operation of relay protection and automation;
- improving the quality of electrical energy;
- professional development of the working staff.

However, these methods are outdated. There are many modern ways to improve the reliability of power supply based on:

- Fourier transform method;
- approximate methods;
- algorithm for calculating the network state search;
- universal generating function method;
- counting method (enumeration);
- analytical method;
- Monte Carlo method;
- the ANN method.

Let us take a closer look at the modern methods of improving reliability proposed below. One of the most common methods is the fast Fourier transform method. This method was created by a group of scientists Renuga P., Ramaraj N., Primrose A. and described in detail in the work "A time-frequency method for assessing the reliability of

a large-scale power generation system using a fast Fourier transform". The method makes it possible to evaluate the reliability of the electric power production system based on the frequency and duration of system failures. This method is applicable mainly for category 1 consumers with large power systems, and it is not relevant for shop consumers [1].

Benidris M. and Mitra J. in the work "Assessing the reliability of a composite power system using a maximum power flow and directed optimization of a swarm of binary particles", they described in detail the development of a special algorithm for calculating the search for states of successful or unsuccessful operation of the power system. The algorithm called "Optimization of a swarm of binary particles" [2].

Bao M, Ding I, Singh S, Shao S. in the work "A multi-state model for assessing the reliability of integrated gas and energy systems using the methods of the universal generating function" used a universal method necessary to create several states of the natural gas system model to assess the reliability of integrated gas and energy systems. This method, like the previous one, is widely popular in improving and evaluating the efficiency and reliability of power supply [3].

To develop the necessary probability distribution functions, the system models use a group of methods – approximate methods. The main vector of these methods is the calculation of the approximate reliability of the system evaluated. However, these methods have rarely developed recently due to a very model-specific function. Reliability assessment methods do not contain suggestions for improving the design of the system to improve it, but only evaluate and report whether this system is reliable. Therefore, it is necessary to create a basis for the design of the energy system [4].

The reliability assessment based on the method of counting (enumeration). This method based on matrix vectorization to compare the power, reliability and operating conditions of equipment in the energy system. In addition, the reliability of the power supply system is calculated a result of assessing the reliability of the main equipment in the power system relative to the reliability categories. Then backup power supplies distribute electricity to other consumers. Subsequently, the new design of the energy system with backup power is re-evaluated to determine the satisfaction of energy demand with the desired reliability of energy supply. Then this approach will allow you to place backup equipment of the necessary reliability of any size. The advantage of this method is that it can used not only in the electric power system [4].

Since the second category of reliability of power supply assumes the presence of a backup power source, for example, take the generator block. The location of this unit in the distribution network will affect the voltage profile, reliability, harmonics and many other parameters of the distribution system.

Two main methods used to assess reliability, namely the analytical method and the Monte Carlo method. The Monte Carlo method selects failures of network

components to calculate the probabilities of reliability indicators, while analytical methods use various mathematical expressions to calculate reliability indicators [5].

Based on the analytical method, reliability indicators calculated: SAIFI, SAIDI, ENS and ASAI. These indicators are necessary to find the optimal location of the generator unit, which plays an important role in improving the reliability of power supply. Verification of the results of the methods used carried out by the ANN (INS) method through a special Electric Transient and Analysis Program (ETAP). ETAP is the best electric power-modeling tool with which you can perform many analyses and calculations related to power systems. Thanks to the use of combined analytical and ANN methods, it is possible to determine the installation location of the generator set by reducing the indicators of the SAIDI, SAIFI, EENS system. The introduction of the ANN method is a completely new approach to choosing the locations of the backup generator, which confirms that the use of such computing technology reduces human errors, as well as reduces the complexity of calculations [5].

To improve the reliability of power supply to consumers of the second category, it is best to use combined analytical and ANN methods. ANN suggests the use of special computer programs such as MATHLAB, MATHCAD, ANSYS, RastrWin3 and ETAP. The combination of these methods allows you to most accurately reduce the reliability of systems and determine the correct location of backup power sources. To calculate the increase in the reliability of the power supply system, the ETAP program is applicable, since it is possible to investigate a short circuit, load flow, set parameters of a transformer, relays, cables, as well as renewable energy devices.

## References

1. Renuga P, Ramaraj N, Primrose A. Frequency and Duration Method for Reliability Evaluation of Large Scale Power Generation System by Fast Fourier Transform ... 2015;(January 2006).

2. Benidris M, Mitra J. Composite power system reliability assessment using maximum capacity flow and directed binary particle swarm optimization. 45th North American Power Symposium, NAPS 2013. Manhattan, USA: IEEE; 2013. <https://doi.org/10.1109/NAPS.2013.6666951>

3. Bao M, Ding Y, Singh C, Shao C. A multi-state model for reliability assessment of integrated gas and power systems utilizing universal generating function techniques. IEEE Trans Smart Grid. 2019;10(6):6271-6283. <https://doi.org/10.1109/TSG.2019.2900796>

4. Ling, W.C., Andiappan, V., Chew, I.M.L. Design of energy systems with redundancy allocation for unit operations based on supply reliability. International Journal of Energy Research 45(15), c. 21114-21139.2021



5. Ahmad, S., Asar, A.U. Reliability enhancement of electric distribution network using optimal placement of distributed generation. Sustainability (Switzerland) 13(20),11407.2021

6. Konstantinov A., Sultanov M. Development of a methodology for assessing and predicting the level of reliability of tpp power equipment based on technical condition indicators. Bulletin of the Kazan state energy university. Founders: Kazan State Power Engineering University. ISSN: 2072-6007.

7. V. B. Romanova, S. V. Khromov, K. V. Suslov. Analysis of influencing factors affecting the operational reliability of low-voltage asynchronous electric motors. Power engineering: research, equipment, technology. 2021;23(3):80-89. (In Russ.) <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2021-23-3-80-89>.

8. Alzakkar, A. Estimation of load angle of synchronous turbo-generator model TGH-32 / A. Alzakkar, N. Mestnikov, Yu. Samofalov // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2022. – Vol. 14. – No 2(54). – P. 40-47. – EDN EMMACU.

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

УДК 621.311.4:621.316.925(045)

## **АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ ПОДСТАНЦИЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 35/10кВ**

Таткеева Галина Галимзяновна<sup>1</sup>, Бурумбаев Талгат Жолдыбаевич<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>«КазАТУ» им. С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, Республика Казахстан

<sup>1</sup>tatkeeva@mail.ru, <sup>2</sup>naristle@gmail.com

В статье анализируются работа электрических сетей в режиме повышенной нагрузки, когда нет возможности работать без устройств релейной защиты и автоматики (РЗА). Влияние этих устройств на надежность, безопасность и безаварийность электроснабжения и качество передаваемой электроэнергии непрерывно увеличивается, так например скорость срабатывания системы РЗА, в современных приборах, 0,1 секунды, при сравнении скорость отработки персонала начинается от 2 минут и более.

**Ключевые слова:** РЗА, релейная защита, системы защиты электрических установок.

## **ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF RELAY PROTECTION AND AUTOMATION OF SUBSTATIONS WITH A VOLTAGE OF 35/10 kV**

The article analyzes the operation of electrical networks in high-load mode, when it is not possible to work without relay protection and automation devices (RPA).

The influence of these devices on the reliability, safety and trouble-free power supply and the quality of the transmitted electricity is continuously increasing, so for example, the response rate of the RPA system, in modern devices, is 0.1 seconds, when comparing the speed of personnel working starts from 2 minutes or more.

**Keywords:** RPA, relay protection, protection systems for electrical installations.

Система электроснабжения характеризуется специфической особенностью, которая заключается в неизбежности возникновения аварийных режимов. Аварийные режимы, как правило, сопровождаются токами короткого замыкания, которые значительно превышают рабочие токи, и глубоким понижением напряжения.[1]

Аварийный режим должен быть своевременно обнаружен, а поврежденный элемент отключен от системы электроснабжения действием релейной защиты.

Важным требованием, характеризующим эффективность действия защит, является быстрота действия. Время действия токовых защит выбирается по условию согласования с предыдущей защитой, которое предусматривает увеличение времени последующей защиты на ступень селективности больше предыдущей.

Одним из основных требований, предъявляемых к эксплуатируемым, модернизированным проектируемым средствам защиты и автоматики, является высокая надежность. Однако, достигнуть этого можно только при тщательном анализе устройств релейной защиты и автоматики (РЗА), учете технологии производства и распределения электроэнергии, схем электрических соединений объектов, специфики работы потребителей, физических процессов прохождения токов при нормальных режимах, перегрузках и коротких замыканиях в первичных и вторичных цепях измерительных трансформаторов и в цепях приборов.

В настоящее время устройства РЗА распределительных сетей в основном выполнены на электромеханических реле. Опыт эксплуатации таких устройств показал их низкую надежность и ограниченные функциональные возможности в сравнении с современными микропроцессорными аналогами.

Часто действия релейной защиты и автоматики не реализуются из-за неудовлетворительного состояния первичного оборудования, которое исполняет команды РЗА, это электромагниты включения и отключения и

главным образом системы контактов привода выключателя. В связи с этим необходимо вести исследования по разработке устройств, реализующих новые способы, которые ограничивают использование в схемах РЗА электромеханических реле и ненадежных систем контактов привода выключателя.

В современных условиях развития промышленности в Республики Казахстан и странах СНГ, когда парк энергетического оборудования изношен на 75% от нормативного срока эксплуатации, анализу работы и частоте отказов элементов системы РЗА (релейной защиты и автоматики), которая является наиболее технической эффективной системой защиты, уделяется повышенное внимание.

Так, согласно проведенным анализом причиной отказа систем РЗА и их элементов, можно заметить общее снижение надежности основных элементов конструкции, при одновременном усложнении конструкции РЗА и переход на новую элементную базу. Так, например, 83% случаев срабатывания систем РЗА представляют собой ложные отработки алгоритма, подобные срабатывания наносят максимальный вред всей системе и снижают общую надежность системам РЗА.

Таким образом, наиболее актуальной задачей, стоящей перед специалистами обслуживающими энергосистемы является повышение надежности и повышение работоспособности систем РЗА как во вновь вводимых энергообъектах, так и модернизируемых существующих. Однако, недостаточное полноценное исследование общей работы всех элементов систем РЗА на разно-элементной базе, не позволяет создать полноценную модель надёжности.

Существенным недостатком электромеханических реле является использование в схеме защиты большого числа электромеханических реле с их контактами и вспомогательных контактов привода выключателя, а также невозможности резервирования предыдущих ступеней защиты при отказе. Поэтому она не нашла практического применения. В настоящее время вопрос снижения выдержки времени защит остается актуальным требующим дальнейших исследований.

Известно, что более 50 % всех коротких замыканий на воздушных линиях самоустраняются после отключения их действием защиты, поэтому после их повторного включения линия остается в работе обеспечивая бесперебойное питание потребителей электроэнергии и функцию выполняют устройства автоматического повторного запуска (АПВ).[4]

Заключение. Согласно отчета Министерства энергетики Республики Казахстан степень изношенности современных систем электро-распределения составляет порядка 65,73% от нормативной, что можно отслеживать по

участившимся случаям крупных аварийных ситуаций. Среди описанного количества морально и технически устаревшего оборудования, большую часть составляют системы РЗА, которые в свою очередь должны обеспечивать купирование аварийных ситуаций и случаев. Таким образом, имеются предпосылки для масштабной реконструкции, и указанную реконструкцию необходимо начинать с систем РЗА. Современные системы РЗА позволяют снижать количество отказов, тем самым повышая эффективность энергетической службы.

### Источники

1. Шалин А.И. О расчете показателей надёжности релейной защиты / А.И. Шалин, А.С. Трофимов // Материалы докладов девятой всероссийской научнотехнической конференции «Энергетика: экология, надёжность, безопасность» Т. 1 Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2004. 114 — 117 с.

2. Намитоков К.К. Испытания аппаратов низкого напряжения. - М.: Энергоавтомиздат, 1985. 248 с.

3. Ванин В.К., Павлов Г.М. Релейная защита на элементах вычислительной техники. - Л.: Энергоатомиздат, 1991. 336 с.

4. Никитин А.А., Шалимов А.С. Оценка поведения цифрового дистанционного органа при отклонениях частоты / Региональная энергетика и электротехника: проблемы и решения: сб. науч. тр. Вып. 11. - Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2015.

5. Ершов А.М., Релейная защита в системах электроснабжения напряжением 0,38-110 кВ / Москва-Вологда.: Инфра-Инженерия, 2020. – 608 с.

6. Nikos Hatziargyriou, Iony Patriota de Siqueira, CIGRE: Electricity Supply Systems of the Future / Springer Nature Switzerland AG 2020. - 450 p.

7. Дьяков А.Ф., Овчаренко Н.И., Микропроцессорная автоматика и релейная защита электроэнергетических систем / М.: Издательский дом МЭИ, 2010. 336с.

8. Omar Salah Elsayed Atwa, Practical Power System and Protective Relays Commissioning / Elsevier Inc., 2019. 390 p.

9. Дмитриченко В.И., Ни Д.А., Джетписов М.А., Бауржан Б., Комбинированная релейная защита от замыкания на землю в электросетях 6-10 кВ: Вестник Казанского государственного энергетического университета. Казань.: 2021. 51 с.

10. Тошходжаева М.И., Каримов И.Р., Грачева Е.И., Моделирование и сравнение основных параметров электроэнергетической системы в нормальном

и аварийном режимах с помощью прикладной программы МатЛаб: Вестник Казанского государственного энергетического университета. Казань.: 2022. 122 с.

11. Басенко В.Р., Владимиров О.В., Ившин И.В., Низамиев М.Ф. Бесконтактный лазерный контрольно-измерительный комплекс для определения уровня прессовки обмоток и магнитопровода силового трансформатора // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 3. 140-153 с.

11. Козлов В.К., Гарифуллин М.Ш., Сабитов А.Х., Гиниатуллин Р.А. Люминесцентные свойства бумажной изоляции маслонаполненных трансформаторов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2018. Т. 20. № 11-12. 144-151 с.

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

13. Филимонова А.А., Чичиров А.А., Чичирова Н.Д. [и др.] Перспективы развития водородной энергетики в Татарстане // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2020. Т. 22. № 6. 79-91 с.

15. Н.В. Буякова, А.В. Крюков, К.В. Суслов, Д.А. Середкин Моделирование электромагнитных полей, создаваемых тяговыми сетями 25 кВ на многопутных участках // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 2(54). С. 3-14. EDN JIMGMZ.

16. Спектральный анализ газодинамических характеристик пульсирующих потоков газа в выпускной системе поршневого двигателя / Л. В. Плотников, Ю. М. Бродов, Б. П. Жилкин [и др.] // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 1. С. 114-125. DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-1-114-125. EDN MRBUUE.

UDC 621.315.027.8.019

## **ELECTRICITY LOSSES ON DISTRIBUTION NETWORKS OF INDUSTRIAL ENTERPRISES AND METHODS OF ITS REDUCTION**

M. Toshkhodzhaeva<sup>1</sup>, M. Homidova<sup>2</sup>, A. Mamurov<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Power Supply and Automation, Khujand Polytechnic Institute of the Tajik Technical University Named after

<sup>2</sup>Department of Power Supply, Faculty of Electromechanics, Mining and Metallic Institute of Tajikistan, city of Buston, 735730, Tajikistan

The article deals with the problems of loss of active and reactive power in distribution networks of an industrial enterprise. The factors influencing the structure of electrical energy losses are identified: technical losses, network configuration, load and operating modes, quality of electrical energy, climatic conditions. Consequences of excess losses in distribution networks are given. The features of the power supply system of industrial enterprises are revealed. The characteristics and basic data of the power supply system of the Kairakkum carpet plant are given. A simplified power supply scheme is considered, taking into account the losses of active and reactive power in individual nodes of the enterprise's power supply system. The main technical and organizational measures to reduce losses of active and reactive power in distribution networks are stated. The conditions for the implementation of technical and organizational measures to reduce electricity losses have been determined.

**Keywords:** active and reactive power, network configuration, power losses, voltage regulation

When electricity is transported through power grids, losses are one of the most important indicators of the energy and economic efficiency of the power grid complex of the Republic of Tajikistan. Electricity losses are determined by the following factors: technical parameters and configuration of electrical networks, load and modes of their operation, quality of electricity, reliability of equipment operation, intersystem and inter-network flows of power and electricity, weather conditions, time of year and day, metering systems and data collection on electricity supply, useful vacation, etc. [1-3]. Excessive losses of electricity in power grids is determined by direct financial losses of power grid companies. It is advisable to direct the savings from reducing losses to the technical re-equipment of networks; increase in staff salaries; improvement of the organization of transmission and distribution of electricity; improving the reliability and quality of power supply to consumers; reduction of electricity tariffs, improvement of diagnostic systems in supply and distribution networks [4 and 5].

The problem of reducing electricity losses is relevant in the networks of industrial enterprises. The power supply system of industrial enterprises has a number of features: the nature of the load of industrial enterprises is active-inductive, the schedule of electrical loads is uneven, and reactive power of an inductive nature prevails in distribution networks [6 and 7]. The Kairakkum carpet factory is considered as an object of research. The work determines the losses of active, reactive power in individual power supply units of the plant and finding optimal ways to reduce these indicators, taking into account the technological features of the plant [8 and 9]. The installed capacity of the plant is 15 MVA, the rated power in the maximum mode is 10.85 MVA, the calculated current in the maximum mode is 1045.28 A, the power factor is 0.73. The enterprise has 15 transformer substations, 13 of them with a capacity of 1000 kVA, 1 with a capacity of 1600 kVA and 1 400 kVA. The supply and distribution network is made with ASB cable lines, which are laid in

trenches. The passport data of the step-down transformers installed at the plant are shown in Table 1.

Table 1

Passport data of transformers						
Transformer power	$U_{HV}$ kV	$U_{LV}$ kV	$\Delta P_i$ kW	$\Delta P_{SC}$ kW	$i_i$ %	$U_{sc}\%$
1000	6	0.4	3.3	11.6	3	5.5
1600	6	0.4	4.5	16.5	1.3	5.5
400	6	0.4	1.45	5.5	2.1	4.5

The loss of active and reactive power in reducing transformer is determined from the expression:

$$\Delta P_{Tr} = n\Delta P_i + k_{if}^2 \frac{\Delta P_{sc}}{n} \Delta P_{Tr} = n\Delta P_i + k_{if}^2 \frac{\Delta P_{sc}}{n} \quad (1)$$

$$\Delta Q_{Tr} = \frac{i_i\%}{n100} S_{nT} + \frac{U_{sc}\%}{n100} S_{nT} \Delta Q_{Tr} = \frac{i_i\%}{n100} S_{nT} + \frac{U_{sc}\%}{n100} S_{nT} \quad (2)$$

where  $\Delta P_i$  is idling losses of the transformer due to eddy currents in the magnetic circuit of the transformer, kW;  $k_{if}$  is  $k_{if}$  – load factor of the transformer;  $\Delta P_{sc} - \Delta P_{sc}$  is short-circuit losses of the transformer due to losses in the transformer windings, kW;  $i_i$  is idle current of the transformer, %;  $U_{sc} U_{sc}$  – is short-circuit voltage, %;  $S_{nT} S_{nT}$  – is nominal power of the transformer, kVA;  $n - n$  is number of transformers operating in parallel.

Losses of active and reactive power in distribution networks are determined from the expression:

$$\Delta P_l = \Delta P_{nom} \cdot l \cdot T_{max} \quad \Delta P_l = \Delta P_{nom} \cdot l \cdot T_{max} \quad (3)$$

$$\Delta Q_l = \Delta P_l \cdot tg\varphi \quad \Delta Q_l = \Delta P_l \cdot tg\varphi \quad (4)$$

where  $\Delta P_{nom} \Delta P_{nom}$  – is nominal losses in power lines; kW/km;  $l$  is length of power lines, km;  $T_{max}$  is time of use of the maximum time, hour;  $tg\varphi tg\varphi$  – is reactive power factor of an electricity consumer.

A simplified diagram of the power supply of the plant, taking into account the losses of active and reactive power, is shown in Fig. 1.

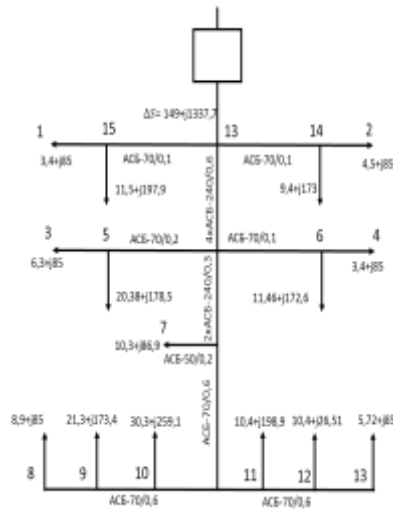


Fig. 1. Simplified diagram of the 6 kV electrical network of the pla  $149 + j1337.7$  kVA.

According to the calculation results, there is a shortage of reactive power at the enterprise. This does not take into account the correction factor that takes into account the method of laying the cable and their number in the trench [10 and 11]. The above formulas do not take into account the change in load over time, climatic conditions and convective heat transfer between individual parts of electrical installations [12-15]. Taking into account the above indicators, the loss of active and reactive power will be an order of magnitude greater than the calculated one [16-18].

Thus, in order to reduce losses in the supply and distribution networks of industrial enterprises, it is necessary to introduce the following organizational and technical measures:

- install reactive power compensating devices on low voltage buses of step-down transformers to eliminate reactive power deficit;
- transfer of the electrical network (network sections) to a higher voltage class, i.e. supply the supply network for a voltage of 10 kV;
- voltage regulation in power lines. Voltage regulation at power centers should be carried out according to the principle of counter regulation. On extended feeders - in order to reduce electricity losses and ensure the proper voltage level, it is necessary to install capacitor banks with automatic regulation or booster transformers with automatic voltage regulation as voltage regulators;
- introduction of modern electrical equipment that meets modern energy saving requirements;
- when developing working projects for reconstruction and technical re-equipment, equipment that meets the requirements of energy saving should be laid. The use of transformers with amorphous steel cores will also reduce losses;
- the use of measuring current and voltage transformers with a high accuracy class and the replacement of induction meters with electronic ones will



allow obtaining more objective information on losses in electrical distribution networks, thereby reducing the amount of commercial electricity losses;

- introduction of automation and remote control of 6-20 kV electrical distribution networks;

- ensures timely detection of unfavorable network operation modes and prompt elimination of these modes in unfavorable situations of load schedules, allows avoiding emergency situations of mass shutdown of consumers;

- switching devices, switches, load break switches should be used on the basis of vacuum switches with programmable microprocessor control, providing the functions of automatic reclosure, automatic transfer switch, fixation of changes in power flows;

- the use of its own source of electricity at the enterprise to reduce the flow of power in the power system.

### References

1. Al-Mahroqi Y. et al. Reduction of power losses in distribution systems //World Academy of Science, Engineering and Technology. – 2012. – T. 6. – C. 498-505.

2. Shvedov GV, Sipacheva OV, Savchenko OV Electricity losses during its transport through electric networks: calculation, analysis, regulation and reduction. - 2013.

3. Tellez A. A., Galarza D. F. C., Matos L. O. Analysis of power losses in the asymmetric construction of electric distribution systems // IEEE Latin America Transactions. 2015. T. 13. №. 7. C. 2190-2194.

4. Toshkhodzhaeva, M.I. Features of diagnostics of 110 kV overhead transmission lines in conditions of sharply continental climate / M.I. Toshkhodzhaeva, A.A. Khodzhiev // Bulletin of the Tula State University. Technical science. 2019.No. 2.P. 364-369.

5. Vorotnitsky, V. E. Reducing power losses is the most important way of energy saving in electrical networks / V. E. Vorotnitsky // Energy saving. - 2014. - No. 3. - P. 61.

6. Tolibjonovich, D.S., Islomovna, T.M., Saidulloevna, M.D. (2020). Modeling of starting transition processes of asynchronous motors with reduced voltage of the supply network. European Journal of Electrical Engineering, Vol. 22, No. 1, pp. 23-28.

7. Khasanov, S.R., Gracheva, E.I., Toshkhodzhaeva, M.I., Dadabaev, S.T. and Mirkhalikova, D.S. Reliability modeling of high-voltage power lines in a sharply continental climate. E3S Web Conf., 178 (2020) 01051.

8. Gracheva, E., Toshkhodzhaeva, M., Rahimov, O., Dadabaev, S., Mirkhalikova, D., Ilyashenko, S., Frolov, V., 2020. Modeling the Reliability of High-

Voltage Power Transmission Lines Taking into Account the Influence of the Parameters of a Sharply Continental Climate. *International Journal of Technology*. Volume 11(8), pp. 1557-1569

9. Toshkhodzhaeva M, Gracheva E, Rahimov O and Dadabaev S. Problems of Electric Power System Management taking into account Sources Distributed Generation. E3S Web Conf., 220 (2020) 01034.

10. Toshkhodzhaeva M.I., Gracheva E.I., Dadabaev S.T., Odirmatova U.B. (2021) Impact of Climatic Factors on Electricity Losses on Aerial Power Lines. In: Sinitsyn A. (eds) Sustainable Energy Systems: Innovative Perspectives. SES 2020. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 141. Springer, Cham.

11. Toshkhodzhaeva M.I., Gracheva E.I., Mirzoakhmedev A.A., Dadabaev S.T. (2021) Some Issues of the Functioning of Electric Power Systems with Distributed Generation Sources. In: Sinitsyn A. (eds) Sustainable Energy Systems: Innovative Perspectives. SES 2020. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 141. Springer, Cham.

12. Barker, P. P., Determining the impact of distributed generation on power systems. I. Radial distribution systems/P. P. Barker, R. W. De Mello // Power Engineering Society Summer Meeting. IEEE. IEEE, (2000). V. 3. P. 1645–1656.

13. Benini, L., A survey of design techniques for system-level dynamic power management/L. Benini, A. Bogliolo, G. De Micheli // IEEE transactions on very large scale integration (VLSI) systems. – (2000). – V. 8. – No. 3. – P. 299–316.

14. Gregorio, P. Design, control, and energetics of an electrically actuated legged robot/P. Gregorio, M. Ahmadi, M. Buehler // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics). (1997). V. 27. No. 4. P. 626–634.

15. Henkel, J. A low power hardware/software partitioning approach for core-based embedded systems/ J. Henkel // Proceedings of the 36th annual ACM/IEEE Design Automation Conference. – Berlin: ACM, (1999). P. 122–127.

16. Kiessling, F. et al. Overhead power lines: planning, design, construction/F. Kiessling et al. Springer. 2014. P. 321.

17. Lakervi, E. Electricity distribution network design/E. Lakervi, E. J. Holmes. IET, (1995). No. 21.P.130–142.

18. Li, W. et al. Reliability assessment of electric power systems using Monte Carlo methods./W. Li et al. – Springer Science & Business Media. – (2013). – P. 540.

19. Трещева, М.А. Обоснование мощности теплового насоса, используемого в системе охлаждения конденсатора паровой турбины ПГУ-ТЭЦ / М. А. Трещева, И. Д. Аникина, Д. А. Трещев // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 1. С. 61-73. DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-1-61-73. EDN CNZZDX

## FAILURE DISTRIBUTION LAWS FOR 110 KV OVERHEAD POWER LINES IN A SHARPLY CONTINENTAL CLIMATE

M. Toshkhodzhaeva<sup>1</sup>, I. Karimov<sup>2</sup>, Sh. Dadadaev<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Department of Power Supply and Automation, Khujand Polytechnic Institute of the Tajik Technical University Named after Academician M.S. Osimi, Khujand 735700, Tajikistan

The article discusses the problems of increasing the reliability of 110 kV overhead power lines in a sharply continental climate, the law of distribution of failures of overhead lines operating in specific conditions is determined.

**Keywords:** power lines, climate, law of distribution of failures of overhead lines

In the Sughd region of the Republic of Tajikistan, more than 65% of the consumed electricity is transmitted through 110 kV overhead power lines (OPL) and their level of operational reliability largely determines the development of the power system in the future. The share of 110 kV OPL of the regional electric power system accounts for 35-50% of failures and outages. As shown in the table 1, the lowest reliability is for 110 kV OPL operating in a sharply continental climate, since they have a territorial length and are always under the influence of natural factors [1-3].

By means of the laws of the distribution of the probability density of failures, the mathematical expectation and the admissible interval of change with a given reliability are established, and also used in predicting failures in the future period. Statistical data processing was carried out using the software packages: Matlab Simulink and Microsoft Excel 2007. The number of shutdowns of 110 kV OPL caused by natural and operational factors, from 2014 to 2019, are presented in Table 1 [4-9].

Table 1

The number of shutdowns of 110 kV overhead power lines caused by natural and operational factors,  
from 2014 to 2019

Years	2014				2015				2016			
Quarter	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
Number of failures	6	2	2	4	5	1	1	5	3	1	1	6
Years	2017				2018				2019			
Quarter	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV

Number of failures	3	4	2	2	1	2	0	4	6	1	2	5
--------------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

To determine the distribution law of failures on the basis of the obtained statistical data on failures of the 110 kV OPL, a histogram was constructed by intervals and the distribution law of a random variable was established by its appearance [10-12]. If it is not possible to fit the distribution law by external parameters, an approximation or mathematical smoothing of the failure histogram is used. The statistical distribution function is formed:

$$F(X) = P(X < x), \quad (1)$$

where  $X$  is a random value;  $P$  is the frequency of events  $X < x$  in a series.

In this case, the frequency of occurrence of events of a random variable is determined by the expression [5]:

$$P = \frac{X_i}{N}, \quad (2)$$

where  $N$  is the total number of observations.

The formation of elements by digits was performed for each sample, using the Sturges formula, [4]

$$\lceil 1 + 3.3 \cdot \lg N \rceil + 1 = k, \quad (3)$$

where  $k$  is the length of the grouping interval.

The frequency that corresponds to the discharge has been determined:

$$p_i = \frac{n_i}{N}, \quad (4)$$

where  $n_i$  is the number of failures of the 110 kV OPL, which corresponds to each  $i$ -th category;  $N$  is the total number of observations.

According to Table 1, a histogram is built, where the smooth curve limiting the histogram reflects the distribution density (Fig. 1).

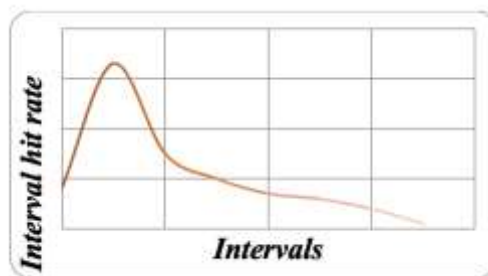


Fig. 1. Density of distribution of failures caused by natural and climatic factors

After the selection of the distribution function, the optimal distribution parameters are determined. These parameters include: sample size of the parameter under study, standard deviation, mean value, median, dispersion, range of variation, minimum and maximum values [13-15].

The average statistical value of the investigated parameter is determined from the expression

$$M[X] = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}, \quad (5)$$

where  $x_i$  - is the value of a random variable;  $N$  is the number of observations.

According to the law of large numbers, with an increase in the number of experiments, the average statistical value is determined by the value of the mathematical expectation. Since the number of experiments in the investigated parameter is limited, the mathematical expectation is determined.

The dispersion is determined by the formula:

$$D[X] = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - M[X])^2}{n}. \quad (6)$$

To test the hypothesis about the distribution law of the investigated quantity, the following criteria are applied: Kolmogorov, Pearson. In appearance, the studied curve refers to the normal distribution law.

For the number of samples  $n = 84$ , the grouping of its elements is determined, with an interval length  $n = 1$ , the frequency that corresponds to this category, which is given in Table 2.

Table 2

Accumulated frequencies of hitting the number of data in the intervals

Intervals	The number of hits in the interval	Accumulated hits	The frequency of hitting to interval, %	Accumulated frequencies, %
$0 < x \leq 1$	8	8	9.52381	9.52381
$1 < x \leq 2$	33	41	39.28571	48.80952
$2 < x \leq 3$	15	56	17.85714	66.66667
$3 < x \leq 4$	10	66	11.90476	78.57143
$4 < x \leq 5$	7	73	8.333333	86.90476
$5 < x \leq 6$	6	79	7.142857	94.04762
$6 < x \leq 7$	4	83	4.761905	98.80952
$7 < x \leq 8$	1	84	1.190476	100

According to Table 2, a histogram is built, which is a graph of the distribution density  $f(X)$ . For technological violations of 110 kV OPL, the distribution density graph is shown in Fig. 2.

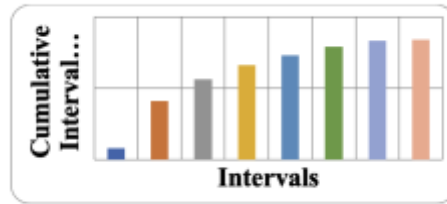


Fig. 2. Histogram of accumulated hit rates in intervals

When choosing a distribution function, the known distribution laws are analyzed and, in accordance with the selected distribution law, are checked by the Kolmogorov and Pearson criteria [5, 16].

As shown by the analysis of sources, for electrical networks, in particular for OPL 110 kV, mean-time between failures is subject to an exponential distribution law and the Weibull distribution is a special case of this distribution [7, 17].

Consequently, a distribution law with the best indicators is selected, which is satisfied by the logarithmic normal distribution law of a random variable with the Kolmogorov agreement criterion  $D = 0.072$  with a significance level of  $p = 0.83$ ,  $X^2 = 7.9$  and with a significance level of  $p = 0.11$ . The distribution density function of the lognormal distribution law has the following form:

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi \cdot \sigma \cdot x}} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{\ln x - m}{\sigma} \right)^2}, \quad (7)$$

where  $x > 0$ ,  $\sigma > 0$ ,  $m \in \mathbb{R}$ .

Verification of sample values of failures of 110 kV overhead transmission lines according to Pearson's criterion is presented in Table 3.

Table 3

Checking sample data of failures of 110 kV OPL according to Pearson  $X^2$  criterion

$\Delta t$	$m_i$	$p_i$	$N_{pj}$	$\frac{[m_i - N_{pi}]^2}{N_{pi}}$
0 - 1	8	0.95	79.8	0.06460
1 - 2	33	0.39	32.76	0.0175
2 - 3	15	0.18	15.12	0.0095
3 - 4	10	0.12	10.08	0.0063
4 - 5	7	0.083	6.972	0.0011
5 - 6	6	0.071	5.964	0.0217
6 - 7	4	0.048	4.032	0.0253

7 - 8	1	0.012	1.008	0.0063
Total	84			0.15

Since the distribution density function is determined, it becomes necessary to determine the main distribution parameters. The main numerical characteristics and distribution parameters are presented in Table 4.

Comparison of the calculated value of the goodness-of-fit criterion with the tabular data shows that they meet the requirements. Thus, the theoretical values do not contradict the experimental data, i.e. satisfy the sample conditions. Consequently, failures of 110 kV OPL in the conditions of the sharply continental climate in the north of the Republic of Tajikistan change according to a lognormal law. Taking into account the above forecast, based on observations, makes it possible to plan the repair and maintenance of power lines.

Table 4

Basic numerical characteristics and parameters of distribution of failures of OPL 110 kV

Variabe	Sample size	Mathrematical expectation	Dispersion	Max	Min	Median	Standard deviation	Confidence interval	Mode
N	84	3.596	3.72	6	0	2	00.9 3	7.79	1

1. A lognormal distribution law of the causes of failures of 110 kV OPL in a sharply continental climate was established and their parameters were determined: mathematical expectation, variance, median, standard deviation, confidence interval.

2. The adequacy of theoretical values and empirical data was verified using the Pearson and Kolmogorov criteria. The values of theoretical and actual experimental data on failures of 110 kV OPL do not exceed the table value. For a lognormal distribution law, the confidence level of the calculation is 0.92, the relative error is 0.1 at a significance level of 0.01.

3. The constructed mathematical model is recommended for use in planning overhauls and maintenance of OPL.

## References

1. Gracheva, Ye. I. *Primeneniye analiticheskogo metoda rascheta nadezhnosti elementov sistem elektrosnabzheniya na osnove veroyatnostnykh modeley* /Ye.I. Gracheva, A.R. Safin, R.R. Sadykov // *Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki*. 2017. T. 1. № 1. S. 48-52
2. Toshkhodzhaeva, M.I. *Analiz povrezhdeniy vozduzhnykh liniy elektroperedach 35-220 kV na primere Sogdiyskoy elektricheskoy seti* / M. I. Toshkhodzhaeva // *Vestnik Chuvashskogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki*. – 2016. – № 1. – S. 105–111.
3. Khasanov, S.R., Gracheva, E.I., Toshkhodzhaeva, M.I., Dadabaev, S.T. and Mirkhalikova, D.S. *Reliability modeling of high-voltage power lines in a sharply continental climate*. E3S Web Conf., 178 (2020) 01051.
4. *Dannyye sluzhby nadezhnosti i tekhniki bezopasnosti Sogdiyskikh elektricheskikh setey*, OAKHK «Barki tochik».
5. Venttsel', Ye. S. *Teoriya sluchaynykh protsessov i yeyo inzhenernyye prilozheniya* / Ye. S. Venttsel', L. A. Ovcharov. – M.: Nauka. gl. red. fiz.-mat. lit., 1991. – 137 s.
6. Venttsel', Ye.S. *Issledovaniye operatsiy, zadachi, printsipy, metodologiya* [Tekst] / Ye. S. Venttsel'. – M.: Nauka, 1988. – 208 s.
7. Gmurman, V. Ye. *Rukovodstvo k resheniyu zadach po teorii veroyatnostey i matematicheskoy statistike: ucheb. posobiye dlya vuzov*. – Izd. 5-ye, ster. / V. Ye. Gmurman. – M.: Vyssh. shk. 2000. – 400 s., il.
8. Toshkhodzhaeva, M.I. *Features of diagnostics of 110 kV overhead transmission lines in conditions of sharply continental climate* / M.I. Toshkhodzhaeva, A.A. Khodzhiev // *Bulletin of the Tula State University. Technical science*. 2019.No. 2.P. 364-369.
9. Henkel, J. *A low power hardware/software partitioning approach for core-based embedded systems*/ J. Henkel // *Proceedings of the 36th annual ACM/IEEE Design Automation Conference*. – Berlin: ACM, (1999). – P. 122–127.
10. Tolibjonovich, D.S., Islomovna, T.M., Saidulloevna, M.D. (2020). *Modeling of starting transition processes of asynchronous motors with reduced voltage of the supply network*. *European Journal of Electrical Engineering*, Vol. **22**, No. **1**, pp. 23-28.
11. Gregorio, P. *Design, control, and energetics of an electrically actuated legged robot*/P. Gregorio, M. Ahmadi, M. Buehler // *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*. – (1997). – V. **27**. – No. **4**. – P. 626–634.
12. Gracheva, E., Toshkhodzhaeva, M., Rahimov, O., Dadabaev, S., Mirkhalikova, D., Ilyashenko, S., Frolov, V., 2020. *Modeling the Reliability of High-Voltage Power Transmission Lines Taking into Account the Influence of the*



Parameters of a Sharply Continental Climate. *International Journal of Technology*. Volume 11(8), pp. 1557-1569 .

13. Toshkhodzhaeva M, Gracheva E, Rahimov O and Dadabaev S. Problems of Electric Power System Management taking into account Sources Distributed Generation. E3S Web Conf., 220 (2020) 01034.

14. Lakervi, E. Electricity distribution network design/E. Lakervi, E. J. Holmes. – IET, (1995). – No. 21. – P.130–142.

15. Toshkhodzhaeva M.I., Gracheva E.I., Dadabaev S.T., Odirmatova U.B. (2021) Impact of Climatic Factors on Electricity Losses on Aerial Power Lines. In: Sinitsyn A. (eds) Sustainable Energy Systems: Innovative Perspectives. SES 2020. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 141. Springer, Cham.

16. Li, W. et al. Reliability assessment of electric power systems using Monte Carlo methods./W. Li et al. – Springer Science & Business Media. (2013). P. 540.

17. Toshkhodzhaeva M.I., Gracheva E.I., Mirzoakhmedev A.A., Dadabaev S.T. (2021) Some Issues of the Functioning of Electric Power Systems with Distributed Generation Sources. In: Sinitsyn A. (eds) Sustainable Energy Systems: Innovative Perspectives. SES 2020. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 141. Springer, Cham.

18. Пазушкина, О.В. Анализ работы деаэрационных устройств на производственной котельной / О. В. Пазушкина, М. В. Золин, И. А. Силкин // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 1. – С. 99-113. DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-1-99-113. EDN ZWBYZI.

УДК 621.311.338

## **СИСТЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ И ИХ ЭКОНОМИЧЕСКАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ**

М.И. Тошходжаева<sup>1</sup>, А.А. Ходжиев<sup>2</sup> У.Б. Одирматова<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup>Политехнический институт Таджикского Технического Университета имени академика

М.С. Осими

<sup>2</sup>Горно-металлургический институт Таджикистана

Статья излагает разные стороны использования систем распределенной генерации, показывает главные различия централизованной и децентрализованной систем снабжения электроэнергией, выявляет факторы строительства гидроэлектростанций, такие как экологические, геологические и экономические. Определены сегменты территориального и функционального назначения централизованной системы электроснабжения. Указаны отрицательные стороны систем централизованного электроснабжения, в частности, потери электрической энергии в распределительных сетях, потери напряжения со стороны

потребителей энергии. Определен порядок выбора мощности источников генерации. Показаны экономические особенности перехода из централизованной к децентрализованной системе электроснабжения: усложнение надзора за энергосистемой, строгое поддержание баланса мощности между источником и потребителем, особенности ввода резервных генераторов. Приведена принципиальная схема подсоединения системы распределенной генерации. Описаны новые технологии совершенствования систем распределенной генерации. Отмечен зарубежный опыт устранения проблем по внедрению систем распределенной генерации с точки зрения экономики. Указаны главные принципы внедрения систем распределенной генерации.

**Ключевые слова:** энергетическая система, экономические особенности, распределенная генерация, мощность, централизованное электроснабжение, стимулирование, инвестиция.

## **DISTRIBUTED GENERATION SYSTEMS AND THEIR ECONOMIC COMPONENT**

M.I. Toshkhodzhaeva<sup>1</sup>, A.A. KHodzhiyev<sup>2</sup>, U.B. Odirmatova<sup>3</sup>

The article outlines the different aspects of using distributed generation systems, shows the main differences between centralized and decentralized power supply systems, and identifies factors in the construction of hydroelectric power plants, such as environmental, geological and economic ones. Segments of territorial and functional purpose of the centralized power supply system are defined. The negative aspects of centralized power supply systems are indicated, in particular, the loss of electrical energy in distribution networks, the loss of voltage on the part of energy consumers. The procedure for choosing the power of generation sources is determined. The economic features of the transition from a centralized to a decentralized power supply system are shown: the complication of supervision over the power system, strict maintenance of the power balance between the source and the consumer, the features of commissioning backup generators. A schematic diagram of the connection of a distributed generation system is given. New technologies for improving distributed generation systems are described. Foreign experience in eliminating problems in the implementation of distributed generation systems from the point of view of the economy is noted. The main principles for the implementation of distributed generation systems are indicated

**Key words:** energy system, economic features, distributed generation, power, centralized power supply, stimulation, investment.

На данной стадии развития электроэнергетических систем, ей требуются изменения, обусловленные переходом от централизованной системы электроснабжения к децентрализованной. На сегодняшний день, практически весь объем электроэнергии вырабатывается централизованно, в подавляющем

большинстве на гидравлических электростанциях. Централизованная система электроснабжения, благодаря “эффекту масштаба” есть экономически целесообразна и передается на дальние расстояния. Выбор месторасположения для возведения гидроэлектростанций обусловлен определенными факторами, таких как: экономические, экологические, геологические, географические, требования защиты окружающей среды и безопасности. Исходя из этого, в централизованной энергетике по функциональному назначению и территориальному расположению можно выделить четыре сегмента:

- центры выработки электроэнергии;
- высоковольтные воздушные линии электропередачи;
- регионы потребления электрической энергии;
- местные распределительные сети.

На сегодняшний день данный подход не лишен ряда недостатков: ощутимые потери электрической энергии, активной и реактивной мощностей в распределителях, потери напряжения непосредственно у потребителей электроэнергии и так далее.

В целях снижения влияния отмеченных ранее факторов, целесообразно внедрение систем распределенной генерации, сущность которых состоит в строительстве дополнительных источников электроэнергии недалеко от ее непосредственных потребителей. Мощность данных дополнительных генерирующих источников устанавливается, исходя из необходимой для потребителей мощности, с учётом возможных ограничений (технологических, экологических, правовых и т. д.). Границы величин мощностей могут изменяться достаточно широко (от двух-трех до сотен киловатт). Важно отметить, что потребитель в данном случае остается в общей сети электроснабжения. Рассматриваемая система «местный источник энергии - потребитель» имеет определенный дисбаланс между выработкой и потреблением электроэнергии или надобностью в её различных видах, например:

- мощность ветряных генераторов и солнечных панелей непостоянна в зависимости от изменения погодных условий, а потребление электроэнергии, в свою очередь, от погоды может и не зависеть или изменяться в противоположную сторону;
- в осенне-зимний период потребление электрической энергии остается стабильно высоким;
- график расхода электроэнергии меняется в течении суток.

Включение дополнительных источников генерации к централизованной электрической сети дает возможность компенсировать недостаток электроэнергии за счет её потребления от общей сети, а в случае избыточного

производства электроэнергии собственным источником — выдавать её в сеть, с получением соответствующего бонуса, который формируется за счет:

- снижения потерь электрической энергии при транспортировке за счет максимального приближения источников генерации к потребителям электроэнергии, вплоть до установки их в одном здании;
- уменьшения числа, длины и необходимой пропускной способности магистральных линий;
- смягчения последствий внештатных ситуаций и аварий на основных электростанциях и главных ЛЭП за счет наличия собственных источников электроэнергии;
- обеспечения взаимного резервирования электрогенерирующих мощностей;
- снижения негативного воздействия на окружающую среду и экологию путем внедрения установок альтернативной энергетики;
- участия в решении вопросов управления спросом на электроэнергию.

Вопрос о полном отказе от мощных центральных электростанций и окончательной децентрализации систем электроснабжения на данный момент не стоит как по соображениям экономически, так и с проблемами по управлению большим количеством объектов и их техническим обслуживанием, необходимостью систематического регулирования баланса генерации и потребления, необходимостью содержания резервных мощностей.

Положительными сторонами внедрения устройств распределённой генерации являются такие факторы, как возможность их использования для обеспечения потребителей качественной энергией в период критических нагрузок, изолируя их от возмущений, возникающих в сети. Также, эти устройства можно применять в качестве резервных генераторов при длительных отключениях электроснабжения с целью обеспечения питания критических нагрузок. Для снижения пикового потребления они могут применяться для регулирования нагрузки. Принципиальная схема подключения РГ приведена на рисунке 1.

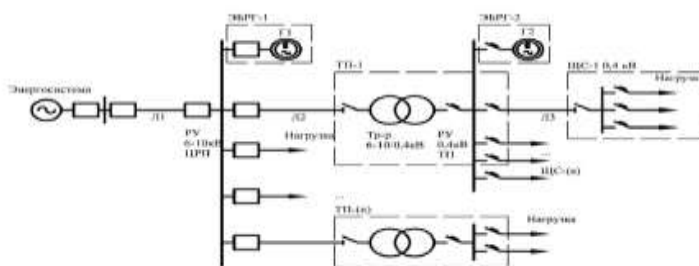


Рис. 1. Принципиальная схема подключения РГ

На данный момент времени основной технологией распределённой генерации являются поршневые машины, но с развитием науки и техники становятся более перспективными и иные технологии, например, топливные элементы и микротурбины, информация о которых представлена в таблице 1.

Таблица 1

Развитие технологий распределённой генерации

Поршневые машины		Микротурбины	Топливные элементы
<b>Период времени</b>	продолжают использоваться	начинают внедряться	С 2000-х
<b>Применение</b>	аварийное/резервное питание	ограничение пиков нагрузки и качество электроэнергии	Основное питание и качество электроэнергии
<b>Экономические факторы</b>	300 – 600 \$/кВт КПД – 33 - 45% утилизация – менее 5% 15 – 30 центов/кВт·ч	750 \$/кВт КПД – 20 - 30% утилизация ~ 20% 10 - 15 центов/кВт·ч	1000*- 4000\$/кВт КПД - 45-60% утилизация – более 80% 5*центов/кВт·ч <b>*прогнозируется</b>

В случае, если устройство распределённой генерации предусмотрено для использования в качестве резервного источника питания, тогда в промежуток времени между отсутствием питания и вводом в действие аварийного генератора для питания нагрузки, должно использоваться устройство аккумулирования энергии.

Потребность в существенном реформировании энергетики Республики Таджикистан вызвана наличием совокупности серьезных проблем в отрасли, связанных, с одной стороны, с постоянно растущим уровнем и характером требований к результатам ее деятельности всех заинтересованных сторон, а с другой -внутренними проблемами функционирования энергетики, главными из которых являются:

- падение эффективности, надежности и темпов развития энергетической отрасли за счет роста уровня износа энергооборудования и, как результат, спад общего уровня надежности электроснабжения потребителей, слабой энергетической эффективности применяемых технологий на большинстве электростанций и электрических сетей, значительного уровня потерь при транспорте и распределении электрической энергии;

- непрерывное повышение стоимости электрической энергии в течение последних двадцати лет при одновременном отсутствии необходимого роста качества электроснабжения;

- «уход» потребителей от централизованной системы генерации в распределённые системы, и как следствие, - изменение их роли и требований к энергетике;

- практическое отсутствие рыночных отношений на уровне розницы и др.

Поиск путей решения вышеперечисленного набора проблем (подобные проблемы зарубежные страны имели до десяти лет назад) привел к появлению и ускоренному развитию определенного пакета вызовов (драйверов):

- масштабное развитие распределенной генерации – научно-технический прогресс практически сравнивал по влиянию и эффективности малую и большую генерацию, что привело к сравнимой и равноправной конкуренции между крупной и малой генерацией;

- появление и развитие новых продуктов и услуг требуют необходимости появления новых рынков, механизмов и сервисов в энергетической отрасли, первым делом «интернета вещей» - энергообеспечение гаджетов, сенсоров, датчиков;

- вхождение потребителей электроэнергии непосредственно в сам процесс ее купли-продажи и появление возможности потребителями права выбора поставщиков энергии реформирует привычную систему взаимоотношений в отрасли и в корне меняет роль и место потребителя;

- непрерывный рост требований к качеству электроэнергии и надежности процессов энергоснабжения потребителей и работы энергетической системы на основе перехода от системно-ориентированного подхода (system-based approach – англ.) к обеспечению этих свойств к клиенто-ориентированному (user (customer-based –англ.);

- новые требования к надёжности и качеству со стороны цифрового спроса, а также поддержанию различных уровней надежности и качества электроэнергии в различных ценовых сегментах.

Суммируя все вышеизложенное с экономической точки зрения, для широкого внедрения систем распределенной генерации, на наш взгляд необходимо выполнение следующих основных условий:

- разработка национальной программы в сфере альтернативных источников энергии и распределенной генерации (постановка цели и задачи);

- принятие нормативно-правовой и законодательной базы (установление структуры и правил деятельности на энергетическом рынке);

- наличие прозрачности отношений и добросовестной конкуренции со стороны традиционной энергетике;

- широкое привлечение инвестиций в энергетическую отрасль.

### Источники

1. Barker P. Overvoltage considerations in applying distributed resources on power systems/ P. Barker //IEEE Power Engineering Society Summer Meeting. IEEE, 2002. 109-114 с.

2. Cossent R., Gómez T., Frías P. Towards a future with large penetration of distributed generation: Is the current regulation of electricity distribution ready? Regulatory recommendations under a European perspective //Energy Policy, 2009. 1145-1155 с.

3. Hernandez J. A., Velasco D., Trujillo C. L. Analysis of the effect of the implementation of photovoltaic systems like option of distributed generation in Colombia //Renewable and sustainable energy reviews, 2011. 2290-2298 с.

4. Stewart, J. R., High phase order transmission-a feasibility analysis part II-overvoltage's and insulation requirements/ J.R. Stewart, D.D. Wilson //IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 1978. 2308-2317 с.

5. Ерошенко С. А. и др. Научные проблемы распределенной генерации //Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2010. 11-12 с.

6. Ратнер С. В. Управление качеством энергоснабжения в энергосистемах со смешанным типом генерации: организационно-экономические аспекты //Финансовая аналитика: проблемы и решения, 2016. – №. 19 (301).

7. Фуско В. СВЧ цепи. Анализ и автоматизированное проектирование: Пер. с англ. - М.: Радио и связь, 1990. - 288 с.

8. Качанов А.Н., Коренков Д.А., Ревков А.А., Максимов В.В., Воркунов О.В. Моделирование процессов высокочастотной сушки деревянных опор в вакуумной камере // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2020. Т. 22. № 6. 130-142 с.

9. Солуянов Ю. И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Солуянов В.И. Анализ фактических электрических нагрузок помещений общественного назначения, встроенных в жилые здания // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 6.134-147 с.

10. Абдуллазянов Э.Ю., Грачева Е.И., Горлов А.Н.[и др.] Исследование качества функционирования электрических аппаратов низкого напряжения в составе электротехнических комплексов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 6. 3-15 с.

11. Синюков А.В., Синюкова Т.В., Грачева Е. И. [и др.] Оптимизированные бездатчиковые системы управления механизмами перемещения грузов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 6. 87-98 с.

11. Спектральный анализ газодинамических характеристик пульсирующих потоков газа в выпускной системе поршневого двигателя / Л. В. Плотников, Ю. М. Бродов, Б. П. Жилкин [и др.] // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 1. С. 114-125. DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-1-114-125. EDN MRBUUE.

УДК 621.316.1

## ПАРАМЕТРЫ ПЕРЕХОДНОГО СИГНАЛА В ЛИНИИ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ И В ЭКВИВАЛЕНТНОМ RLC КОНТУРЕ

Тухфатуллин И. Р.<sup>1</sup>, Хузяшев Р. Г.<sup>2</sup>

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

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

определяются и сравниваются основные параметры сигнала переходного процесса в модели линии с распределенными параметрами и эквивалентной ей модели линии с сосредоточенными параметрами.

**Ключевые слова:** PSCAD, сигнал переходного процесса, RLC-параметры, постоянная времени затухания, период свободных колебаний, волновое сопротивление

## PARAMETERS OF A TRANSIENT SIGNAL IN A DISTRIBUTED CONSTANT LINE AND IN RLC EQUIVALENT CIRCUIT

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

the main constants of transient signal in line's model with distributed parameters and its equivalent line's model with concentrated parameters are defined and compared.

**Keywords:** PSCAD, transient signal, RLC-constants, oscillation's period, decay time constant, wave resistance

Моделирование распространения СПП отражено в работах [1, 2]. В КГЭУ практическое развитие волнового метода определения места повреждения началось в 2009 г. с оформления соответствующего патента [3]. Модель линии с распределенными параметрами (МЛРП) представляет собой сложный для анализа участок, так как токи и напряжения являются функциями не только времени, но и координаты. Актуальной является проблема замены МЛРП простой моделью линии с сосредоточенными параметрами (МЛСП), что позволит делать всё более очевидные и точные выводы касательно параметров



переходных сигналов при аварийных и плановых коммутациях. На данный момент не имеются публикаций, в которых рассматривается данная тема. Для линии с распределенными параметрами (удельное сопротивление земли –  $10'000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ; внутреннее сопротивление источника –  $0 \text{ Ом}$ ; высота линии над землей –  $8,85 \text{ м}$ ; датчик E11, длина линии –  $100 \text{ км}$ ) были вычислены параметры сигнала переходного процесса (СПП) при переключении ключа на линии без нагрузки: период свободных колебаний и постоянная времени затухания. В отдельной схеме линии с нагрузкой определялось волновое сопротивление линии. Волновое сопротивление определяется по форме осциллограммы в МЛРП с варьируемой величиной нагрузки. Величина сопротивления нагрузки, при которой колебательный процесс минимален, полагается равной волновому сопротивлению. Из Рис. 1 нужное значение находится в диапазоне  $400\text{--}600 \text{ Ом}$ , когда экстремальное амплитудное значение равно установившемуся. Наблюдаются “выемки”, возникновение которых связано с наличием переотраженных волн от конца, а потом от начала линии и снова от конца. При дальнейшем увеличении сопротивления нагрузки появятся вторые и третьи выемки, что объясняется увеличением доли переотраженной энергии над долей ослаблении энергии. Наличие отражения даже при согласованной нагрузке является новой информацией, нигде в литературе не отмеченной. Таким образом, волновое сопротивление примерно равно  $575 \text{ Ом}$ . Постоянная времени затухания и период свободных колебаний определяются визуально из Рис. 2:

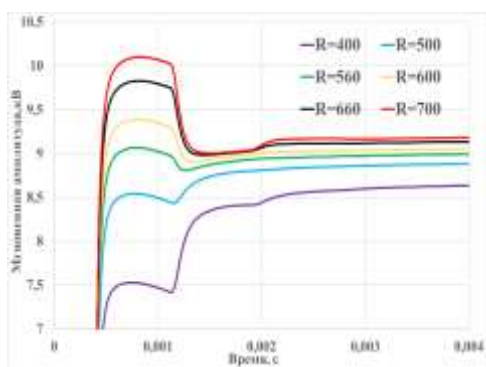


Рис. 1. Диаграмма зависимости мгновенной амплитуды напряжения от волнового сопротивления

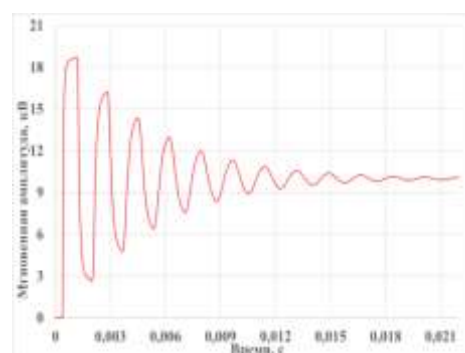


Рис. 2. Осциллограмма напряжения модели линии с распределенными параметрами

В эквивалентной МЛСП при коммутации формируется переходной сигнал с параметрами тождественными, как и в МЛРП: период свободных колебаний, постоянная времени затухания и волновое сопротивление. Для нахождения RLC параметров МЛСП по переходным сигналам, полученным в МЛРП, составим систему уравнений с тремя неизвестными RLC. Решим данную систему относительно искомым RLC-параметров:

$$\left\{ \begin{array}{l} T = 2\pi\sqrt{LC} = 1,7 \text{ мс} \\ \tau = \frac{2L}{R} = 4,4 \text{ мс} \\ R_B = \sqrt{\frac{L}{C}} = 575 \text{ Ом} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} R = \frac{TR_B}{\tau\pi} = 73 \text{ Ом} \\ L = \frac{TR_B}{2\pi} = 0,16 \text{ Гн} \\ C = \frac{T}{2\pi R_B} = 48,2 \text{ мкФ} \end{array} \right. \quad (1)$$

Запишем продольные сопротивления и поперечную проводимость ЛЭП при частоте 50 Гц, взятые из проекта МЛРП в программном комплексе PSCAD, а именно в “PSCAD LINE CONSTANTS PROGRAM OUTPUT FILE” (выходной файл параметров линии) [4]. Примечание: данные выражения не учитывают сопротивление источника. Запишем погонные сопротивления через емкость и индуктивность:

$$Z_0 = R_0 + jX_{L0} = 0,65 + j0,87 \frac{\text{Ом}}{\text{км}} \quad R_0 = 0,65 \frac{\text{Ом}}{\text{км}}; X_{L0} = \omega L_0 = 0,87 \frac{\text{Ом}}{\text{км}} \quad (2)$$

$$Y = g_0 + jY_{C0} = 10^{-9} + j0,2 * 10^{-6} \frac{\text{См}}{\text{км}} \quad Y_{C0} = \omega C_0 = 0,2 * 10^{-6} \frac{\text{См}}{\text{км}}$$

Вычислим погонные индуктивность и ёмкость. Запишем итоговые значения RLC-параметров МЛРП для линии длиной 100 км:

$$\left\{ \begin{array}{l} L_0 = \frac{X_{L0}}{\omega} = \frac{X_{L0}}{2\pi f} = \frac{0,87 \text{ Гн}}{314 \text{ км}} = 2,76 \frac{\text{мГн}}{\text{км}} \\ C_0 = \frac{Y_{C0}}{\omega} = \frac{Y_{C0}}{2\pi f} = \frac{0,2 * 10^{-6}}{314} = 7,64 \frac{\text{нФ}}{\text{км}} \\ R_B = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}} = \sqrt{\frac{2,76 \text{ мГн}}{7,64 \text{ нФ}}} = 601,44 \text{ Ом} \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} R = R_0 l = 65 \text{ Ом} \\ L = L_0 l = 0,276 \text{ Гн} \\ C = C_0 l = 0,764 \text{ мкФ} \end{array} \right. \quad (3)$$

Для сравнения осциллограмм СПП двух моделей линии с распределенными и сосредоточенными параметрами получим выражение для напряжения на конденсаторе. Оно является аналогом фазного напряжения между фазным проводом и землей.

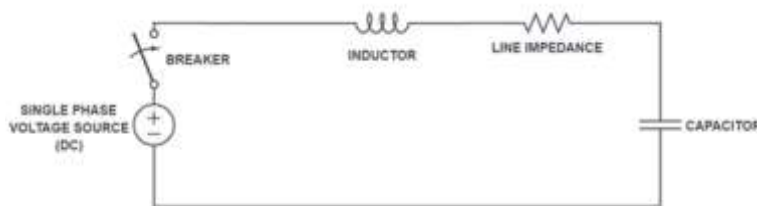


Рис. 3. Схема замещения одноконтурной RLC-цепи при коммутации.

Напряжение на конденсаторе является интегралом от тока в одноконтурной RLC-цепи при коммутации (рис. 3). Характер процесса – колебательный, поскольку коэффициент затухания меньше, чем резонансная частота последовательной RLC-цепи: Таким образом, уравнение для тока будет иметь вид [5, с. 148]:

$$i(t) = \frac{E}{\omega_{св} L} e^{-\delta t} \sin \omega_{св} t \quad (4)$$

Уравнение напряжения на конденсаторе как общее решение интегро-дифференциального уравнения Кирхгофа:

$$U(t) = E + \frac{1}{C} \int_0^t i(t) = E - \frac{E e^{-\delta t} (\delta \sin(\omega_{св} t) + \omega_{св} \cos(\omega_{св} t))}{LC \omega_{св} (\omega_{св}^2 + \delta^2)} = E - \frac{E e^{-\delta t} \sin(\omega_{св} t + \varphi)}{LC \omega_{св} \sqrt{\omega_{св}^2 + \delta^2}} \quad (5)$$

Рассматривается однопроводная линия, однако согласно методу зеркальных отражений у этой линии, есть зеркальное отражение в земле. Они вместе составляют двухпроводную линию. Из [6, стр. 7; 7, стр. 45] следует, что для двухпроводной линии время распространения волны по линии есть корень произведения индуктивности и ёмкости. Четырехкратный пробег по линии бегущей волны формирует один период СПП [8, С. 383]. При четырехкратном пробеге по длине линии период колебаний учетверённому времени пробега. Применяя данную формулу для нахождения RLC-параметров МЛСР возникает несоответствие моделей. Связано это с наличием высших спектральных составляющих в начале сигнала.

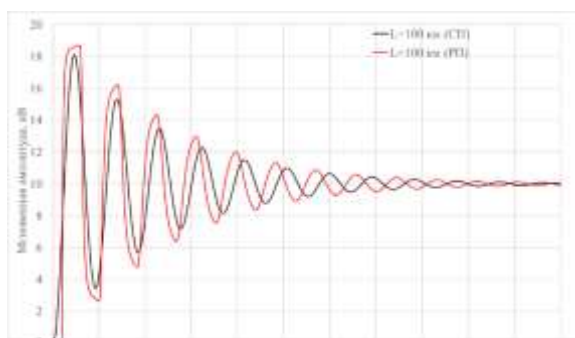


Рис. 4. Осциллограммы напряжений для МЛРП и МЛСП, период колебаний которой был вычислен по формуле.

Сопротивление, грубо определяемое по постоянной времени, уступает по точности по сравнению со следующим методом определения сопротивления: для проверки совпадения моделей нужно сосчитать сумму модулей разности мгновенных амплитуд обеих моделей на интервале от начала 6 до конца 12-го периодов, где визуально не видно присутствие высших спектральных составляющих в сигнале МЛРП. Первые периоды содержат высшие спектральные составляющие, что проявляется в прямоугольной форме колебаний. Соответственно эти периоды увеличат сумму модулей разности. Была составлена таблица зависимости суммы модулей разности мгновенных амплитуд обеих моделей от результирующего сопротивления линии. Сопротивление подбиралось таким образом, чтобы разность достигала наименьшего значения.

Таким образом, в ходе проведения научно-исследовательской работы было установлено соответствие МЛСР и МЛРП. В дальнейшем будет рассматриваться влияние высоты траверсы на RLC-параметры.

### Источники

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. 46–50 с.
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. 24–31 с.
3. Способ определения места однофазного замыкания на землю в разветвленной воздушной линии электропередач: пат. 2372624 Рос. Федерация № 2008109491/28; заявл. 12.03.08; опубл. 10.11.09, Бюл. 31.
4. PSCAD [Электронный ресурс]. <https://www.pscad.com> (дата обращения: 28.03.22)
5. Основы теории цепей: учебное пособие для вузов/В.А. Матвиенко. – Екатеринбург: УМЦ УПИ, 2016. 162 с.
6. Родионов С.А. Основы оптики. Конспект лекций. – СПб: СПб ГИТМО (ТУ), 2000. - 167 с.
7. Фуско В. СВЧ цепи. Анализ и автоматизированное проектирование: Пер. с англ. - М.: Радио и связь, 1990. 288 с.
8. Зевеке, Г.В. Основы теории цепей. / Г.В. Зевеке, П.А. Ионкин, А.В. Нетушил и др. – М.: Энергия, 1989. – 530 с.

9. Новиков, С.И., Кузьмин И.Л., Хузяшев Р.Г. Простейшие алгоритмы обнаружения сигналов переходного процесса напряжения в линиях электропередач // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2017. Т. 19. № 7-8. 114-125 с.

10. Гарифуллин М.Ш., Гиниатуллин Р.А., Козлов В.К. [и др.] Определение технологии производства и марки минеральных трансформаторных масел по их оптическим спектрам // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2017. Т. 19. № 9-10. 59-64 с.

11. Петрущенко В.А., Коршакова И.А. Качественный и количественный анализ тепловой энергетики малых мощностей в России // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2020. Т. 22. № 5. 52-70 с.

12. Афанасьева О.В., Галькеева А.А., Вафин А.Р., Мингалеева Г.Р. Региональные аспекты использования угля на объектах малой распределенной энергетики // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2017. Т. 19. № 9-10. 85-93 с.

13. 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.

14. 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. EDN XYITGG.

УДК 621.316

## **ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ**

Тухфетулло Ильназ Ришатович<sup>1</sup>, Воркунов Олег Владимирович<sup>2</sup>

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

<sup>1,2</sup>agal73rus@gmail.com

В условиях постоянно увеличивающегося количества абонентов энергокомпаний и заявленных ими мощностей, влияющего на изменение конфигурации электрической сети, возникают вопросы об оптимизации режимов работы электрических сетей. Необходимо рассматривать и учитывать нормальные режимы и главное учитывать влияние

послеаварийных режимов на всех смежных абонентов распределительной сети с учетом обеспечения надежности и качества электроэнергии.

**Ключевые слова:** аварийность электрооборудования, оптимизация режимов работы электрических сетей, надежность электропитания потребителей, цифровая трансформация, секционирование сетей

## OPTIMIZATION OF OPERATION MODES OF ELECTRIC NETWORKS OF MEDIUM VOLTAGE

Tukhfetulloev Ilnaz Rishatovich<sup>1</sup>, Vorkunov Oleg Vladimirovich<sup>2</sup>

In the context of an ever-increasing number of subscribers of energy companies and their declared capacities, which affects the change in the configuration of the electrical network, questions arise about optimizing the modes of operation of electrical networks. It is necessary to consider and take into account normal modes and, most importantly, take into account the impact of post-emergency modes on all adjacent subscribers of the distribution network, taking into account ensuring the reliability and quality of electricity.

**Key words:** accident rate of electrical equipment, optimization of operating modes of electrical networks, reliability of consumer power supply, digital transformation, network partitioning

Согласно ПУЭ 1.2.9 [1] в электрических сетях присутствуют термины нормальный и послеаварийный режимы. Последствия аварий в электрических сетях приводят к выходу из строя электрооборудования, нарушению или изменению режимов работы электрической сети, отражающейся на потребителях электроэнергии. По данным Ростехнадзора с 1 января по 31 декабря 2021 года по направлению государственного энергетического надзора произошло 29 аварий [2]. За аналогичный период 2020 года произошла 21 авария (18 аварий на объектах электроэнергетики). Таким образом, отмечается значительный рост общего количества аварий на 47 % (10 аварий) по сравнению с аналогичным периодом 2020 года. Анализ показателей аварийности в динамике 2015-2021 гг. приведен на рисунке 1.

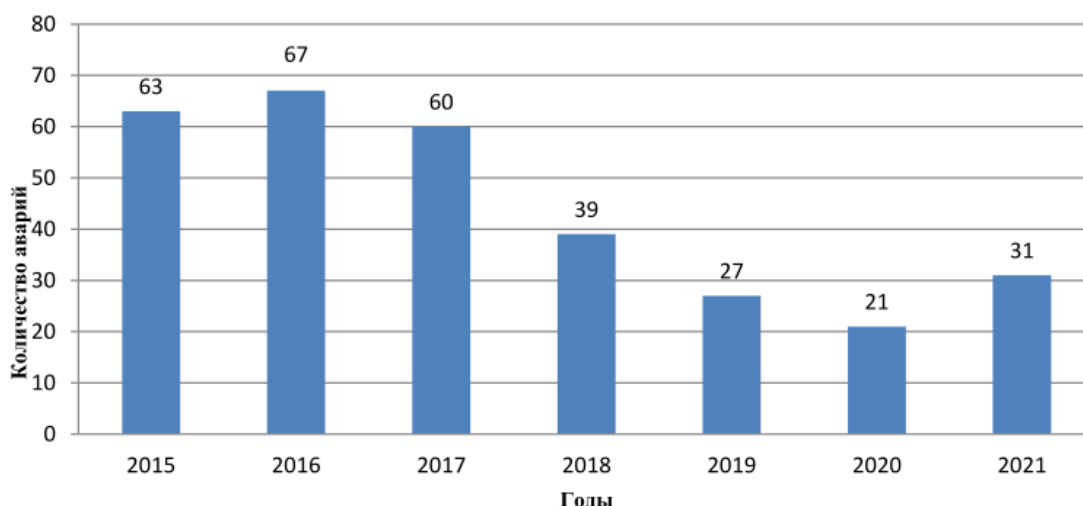


Рис. 1. Анализ показателей аварийности в динамике 2015-2021 гг [2].

На рисунке 2 показано распределение аварий (аварийных ситуаций), произошедших при эксплуатации электростанций, электрических сетей, в 2021 году по федеральным округам Российской Федерации.

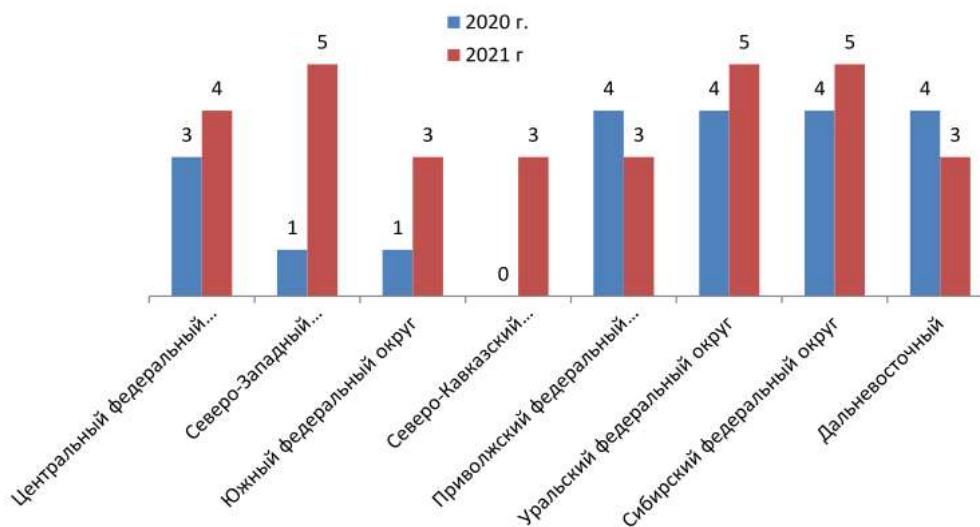


Рис. 2. Распределение аварий в 2021 году по федеральным округам Российской Федерации [2].

На рисунке 3 Представлены причины аварий классифицируемых по признакам за 2021 год.



Рис. 3. Причины аварий классифицируемых по признакам за 2021 год [2].

С 1 января по 31 декабря 2021 года происходили аварии, классифицируемые по следующим признакам: 8 аварий (26,0%), в результате которых произошло отключение генерирующего оборудования или объекта электросетевого хозяйства, приводящее к снижению надежности энергосистемы; 7 аварий (22,5%), в результате которых произошло нарушение работы средств диспетчерского и технологического управления, приводящее к прекращению связи (диспетчерской связи, передачи телеметрической информации или управляющих воздействий противоаварийной или режимной автоматики) продолжительностью более 1 часа; 5 аварий (16,0%), в результате которых произошли нарушения в работе противоаварийной или режимной автоматики, в том числе обусловленные ошибочными действиями персонала, вызвавшие отключение объекта электросетевого хозяйства (высший класс напряжения 110 кВ и выше); 5 аварий (16,0%), в результате которой произошло отключение объектов электросетевого хозяйства (высший класс напряжения 110 кВ и выше), прекращение электроснабжения продолжительностью более 30 минут.

Основными причинами аварий на электрооборудовании субъектов электроэнергетики за 12 месяцев 2021 года явились: неисправность релейной защиты и автоматики; износ оборудования в процессе длительной эксплуатации; неправильная работа средств режимной и аварийной автоматики из-за проектных ошибок, отклонений от проектов в процессе монтажа и эксплуатации оборудования; нарушение в работе противоаварийной или режимной автоматики, обусловленное ошибочными действиями персонала; низкое качество технического обслуживания, приводящее к последующими отказам оборудования из-за сбоев в работе релейной защиты и автоматики, коротких замыканий, перекрытия фарфоровых



изоляторов; производственные дефекты оборудования, приводящие к механическим повреждениям, разрушениям оборудования и возможному возгоранию [2].

Статистика аварийных ситуаций требует принятия неотложных мер в надежности функционирования электрооборудования и оптимизации режимов работы электрических сетей. Уменьшением числа аварийных режимов является оптимизация режимов работы электрических сетей, внедрение новых проектных решений. Возникает необходимость в ускорении исполнения пунктов внедренной ПАО «Россети» Концепции «Цифровая трансформация 2030», включающая в себя внедрение цифровых подстанций. ЦПС является основным элементом электрической сети. ЦПС – это высокоавтоматизированная ПС, функционирующая, без присутствия постоянного дежурного оперативного персонала, и оснащенная взаимодействующими в режиме единого времени цифровыми информационными и управляющими системами: автоматизации, контроля, мониторинга и диагностики состояния, учета, местного и удаленного управления технологическими процессами, связи, обеспечивающими единое информационное пространство и выполненными на основе единых протоколов передачи данных (SV-поток, GOOSE-сообщений, MMS). Отличительными характеристиками цифровой подстанции (ЦПС) являются: наличие интеллектуальных электронных устройств, применение локальных вычислительных сетей для коммуникаций, цифровой способ доступа к информации, её передаче и обработке, автоматизация работы подстанции и процессов управления ею. В числе целей создания цифровой подстанции являются: обеспечение наблюдаемости параметров функционирования ЛЭП, оборудования и устройств подстанции; унификация механизмов конфигурирования подстанции; формирование единой системы диагностики. Переход к выполнению удаленной функциональной диагностики; - переход к необслуживаемым подстанциям [3]. Важной частью является также увеличение надежности электроснабжения путем широкого применения дополнительного секционирования и автоматического резервирования ВЛ 6-35 кВ в том числе магистральные с помощью реклоузеров. Данное решение обязательно согласно СТО 34.01-21.1-001-2017 (с изменениями от 28.09.2021) ПАО «Россети» 9.9.2 9.9.5, А1.3, А2.3.2.2 и др [4]. Необходимо отметить также и о совершенствовании методологии оценки цифровой трансформации объединенной энергетической системы [5]. Применение реклоузеров, путем оптимизации режимов сети позволяет значительно увеличить надежность и уменьшить влияние тяжелых последствий аварийных ситуаций [6]. Важным фактором для проектирования и расчета режимов электрических сетей является и учитывание влияния процессов происходящих в вакуумных выключателях

(реклоузерах) при возникновении коммутационных перенапряжений, сказывающихся на качестве электроэнергии [7].

Внедрение проекта Концепции «Цифровая трансформация» подразумевает отсутствие человека на подстанции, но остаются вопросы пока нерегламентированные в связке с действующими стандартами: связанные с надежностью функционирования переключений при визуальном контроле состояния оборудования (особенно на мощных подстанциях с большим количеством оборудования), влияние второстепенных эффектов, фиксирование нестандартного шумового воздействия, размывание ответственности в случае нештатных ситуаций - переноса ответственности на не идеальность программного обеспечения в конечном итоге ведущего к снижению надежности и переноса финансовых издержек на потребителя.

Выводы на основании данных исследований и анализа:

1. При оптимизации режимов работы сети необходимо учитывать влияние измененных конфигураций сети (повышение надежности путем дополнительного секционирования и резервирования реклоузерами) внедряя пункты Концепции «Цифровая трансформация» в каждом конкретном регионе отдельно с учетом специфики и перспективы потребностей потребителей, атмосферных влияний.

2. В целях увеличения надежности и последующей оптимизацией режимов сети необходимо незамедлительно вводить изменения в положения и регламенты интегрированные с Концепцией «Цифровая трансформация», связанные с необходимым визуальным контролем функционирования оборудования и четко распределенной ответственностью за последствия от ошибочных действий «цифровых подстанций и сетей».

### **Источники**

1. Правила устройства электроустановок. 7 издание. Издательство Моркнига. 2007. 584 с.

2. Официальный сайт Ростехнадзора. [Электронный ресурс]. <http://szap.gosnadzor.ru/activity/> (дата обращения: 20.03.2022).

3. Официальный сайт ПАО «Россети». Концепция «Цифровая трансформация 2030» . [Электронный ресурс]. <https://rosseti.ru/> (дата обращения: 5.03.2022).

4. СТО 34.01-21.1-001-2017 Распределительные электрические сети напряжением 0,4 - 110 кВ. Требования к технологическому проектированию. АО "Институт Энергосетьпроект" при участии ПАО "Россети" и ДЗО. Утвержден и введен в действие Распоряжением ПАО "Россети" от 02.08.2017. 400 с.

5. Зорина Т. Г., Прусов С.П. Совершенствование методологии оценки цифровой трансформации объединенной энергетической системы Республики Беларусь. Проблемы и перспективы. Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Т. 13. № 3(51). сс. 99-113.

6. Соловьев В.О., Воркунов О.В. Электрическая подстанция 35/10 кВ на реклоузерах. Молодой исследователь: вызовы и перспективы: сб. ст. по материалам СLI Международной научно-практической конференции «Молодой исследователь: вызовы и перспективы». Изд. «Интернаука», № 4(151), 2020. 89-92 с.

7. Воркунов О.В., Афанасьева Т.И. Физические процессы в вакуумных выключателях при возникновении коммутационных перенапряжений. Международный технико-экономический журнал, 2021. № 5, 7-17 с.

8. 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. 184-194 с.

9. Басенко В.Р., Владимиров О.В., Ившин И.В., Низамиев М.Ф. Бесконтактный лазерный контрольно-измерительный комплекс для определения уровня прессовки обмоток и магнитопровода силового трансформатора // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 3. 140-153 с.

10. Козлов В.К., Гарифуллин М.Ш., Сабитов А.Х., Гиниатуллин Р.А. Люминесцентные свойства бумажной изоляции маслонаполненных трансформаторов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2018. Т. 20. № 11-12. 144-151 с.

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

12. Филимонова А.А., Чичиров А.А., Чичирова Н.Д. [и др.] Перспективы развития водородной энергетики в Татарстане // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2020. Т. 22. № 6. 79-91 с.

13. Анализ доли потребителей разной мощности в структуре технологических присоединений в электросетевых компаниях / А. В. Виноградов, М. В. Бородин, А. А. Лансберг, Н. В. Махиянова // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 1(53). С. 86-95. EDN RUQJDS.

## ВЛИЯНИЕ ФУЛЛЕРЕНА-60 НА ИЗМЕНЕНИЕ ТЕПЛОЕМКОСТИ О-КСИЛОЛА

Умарализода Мансури Умарали<sup>1</sup>, Сафаров Махмадали Махмадиевич<sup>2</sup>, Абдуллоев М.А.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Таджикский государственный педагогический университет им. С. Айни,

г. Душанбе, Таджикистан

<sup>2</sup>Таджикский технический университет им. Акад.М.С.Осими, г. Душанбе, Таджикистан

mansur@mail.ru

В статье приводятся результаты расчетно-экспериментального исследования теплоемкости жидкого о-ксилола в зависимости от температуры при атмосферном давлении. Результаты исследования показали, что добавки фуллерена-60 повышают теплоемкость жидкого о-ксилола. Для измерения теплоемкости коллоидных растворов системы жидкого о-ксилола и фуллерена-60 использована экспериментальная установка, работающая по методу монотонного разогрева (разработки профессоров Маджидова Х. и Сафарова М.М.). Общая относительная погрешность измерения теплоемкости составляет 3,2% при доверительной вероятности 0,95. На основе данных по теплоемкости исследуемых систем получены эмпирические уравнения.

**Ключевые слова:** о-ксилол, удельная изобарная теплоемкость, концентрация, фуллерен-60, калориметр, метод монотонного разогрева.

## EFFECT OF FULLERENE-60 ON CHANGES IN THE HEAT CAPACITY OF O-XYLENE

Umaralizoda Mansuri Umarali<sup>1</sup>, Safarov Makhmadali Makhmadievich<sup>2</sup>, Abdulloev M.A.<sup>3</sup>

The article presents the results of a computational and experimental study of the heat capacity of liquid o-xylene as a function of temperature at atmospheric pressure. The results of the study showed that additions of fullerene-60 increase the heat capacity of liquid o-xylene. To measure the heat capacity of colloidal solutions of the system of liquid o-xylene and fullerene-60, an experimental setup operating by the method of monotonic heating (developed by professors Madjidov Kh. and Safarov M.M.) was used. The total relative error in measuring the heat capacity is 3.2% with a confidence level of 0.95. Empirical equations were obtained on the basis of data on the heat capacity of the systems under study.

**Keywords:** o-xylene, specific isobaric heat capacity, concentration, fullerene-60, calorimeter, monotonic heating method.

Одной из наиболее важных областей исследования в современном наномасштабном материаловедении является систематическое исследование материалов на основе углерода, в частности, различных веществ с бензоидной структурой, таких как фуллерены, нанотрубки, графит и графен. Овладение знаниями в области нанохимии, химии фуллеренов, нанотрубок, современных подходов к синтезу органических производных фуллеренов для создания наноматериалов и медицинских нанопрепаратов на основе научных и практических навыков позволяет выполнить целенаправленную задачу [1,с.695]. Фуллерен-молекулярное соединение представляет собой выпуклые замкнутые многогранники, состоящие из трёх координированных атомов углерода. Своим названием фуллерены обязаны инженеру и архитектору Ричарду Бакминстеру Фуллеру, чьи геодезические конструкции построены по этому принципу.

Фуллерены также могут быть использованы в качестве добавок для получения искусственных алмазов методом высокого давления. При этом выход алмазов увеличивается на  $\approx 30\%$ . Кроме того, фуллерены нашли применение в качестве добавок в интумесцентные (вспучивающиеся) огнезащитные краски.

Молекулы фуллерена, содержащиеся в смазочных веществах Bardahl серии С60 введены в уникальную антифрикционную формулу Bardahl Polar Plus - и фуллерен С60.

Растворимость функциональных производных фуллерена в воде определяется наличием в их молекулах достаточного количества полярных гидрофильных групп, которые и удерживают гидрофобный остаток фуллерена в растворе. Кроме того, наличие ионных групп в заместителях может препятствовать ассоциации молекул (хотя и не всегда, как показано, например, в [1,с.695]), что также увеличивает их растворимость. Одной из главных проблем химии фуллеренов является получение индивидуальных соединений. Это связано с тем, что в молекуле имеется несколько реакционных центров, по которым могут протекать реакции присоединения, что приводит, как правило, к образованию смеси продуктов. Более того, в некоторых случаях строение продукта сильно зависит от изменений реакционных условий, на первый взгляд, незначительных. Так, известно несколько методов получения полигидроксилированных производных фуллерена С60, называемых фуллеренолами и отличающихся по числу гидроксильных групп. В работе [2,с.357] было проведено сравнение последних четырех методов и показано, что все они дают различные продукты. Так, был получен фуллеренол молекулярной формулы С60(ОН) равна 26,5кг/кмоль, по другому методу в молекулу фуллерена С60 включилось 14-15 гидроксильных групп, в результате чего был получен

$C_{60}(OH)_{18}$  м.м. 1074, также  $-C_{60}(OH)_{12}$ , м.м. 924, и  $-C_{60}(OH)_{16}$ , м.м.  $\approx 99$ . [3, с.131].

О-ксилол: Молекулярный вес 106,16 кг/кмоль,  $T_{кип} = 417,4$  К,  $T_{плав} = 247,82$  К,  $T_{кр} = 632$  К,  $P_{кр} = 3,69$  МПа,  $\rho_{кр} = 280$  кг/м<sup>3</sup>.

Для измерения теплоемкости растворов использована установка, работающая по методу монотонного разогрева, которая состоит из измерительной ячейки, грузопоршневого манометра типа МП-60 и МП-2500, класс точности которых равен 0.001. Пережимной сосуд высокого давления, хромель-алюмелевые термопары для измерения температуры опыта и секундомер. Измерение проводится следующим образом: Измеряется зависимость температуры пустой измерительной ячейки от времени, затем измерительная ячейка заполняется исследуемым раствором, опыт выполняется аналогично приведенному для пустой ячейки. На плоской координате вычерчивается график зависимости температуры от времени для пустого калориметра и заполненного калориметра. Зная массы растворов в калориметре, время нагрева пустого и заполненного калориметра по расчетной формуле определяем удельную изобарную теплоемкость растворов при заданном интервале температуры и давления. Затем с помощью грузопоршневого манометра изменяется давление раствора, а с помощью манометров фиксируется. Опыты проводим повторно для данного зафиксированного давления как при атмосферном давлении [4, с.490].

Теплофизические характеристики о-ксилола, в том числе и его теплоемкость приведены в Справочнике Чувашского государственного университет имени И.Н. Ульянова, который опубликован в 2016г. [5, с.54]. В частности приводятся данные по теплоемкости чистого о-ксилола в интервале температуры (293-473)К и давления (0,101)МПа (таблица 1). Как видно из таблицы 1., удельная изобарная теплоемкость химически чистого жидкого о-ксилола с ростом температуры растет почти по экспоненциальному закону. Например, при изменении интервала температуры от 293 до 473К теплоемкость растет на 42,94%.

Таблица 1.

Теплоемкость ( $C_p$ , Дж/(кг·К)) химически чистого жидкого о-ксилола в зависимости от температуры при атмосферном давлении ( $p=0.101$  МПа) [6, с.883].

T, К	250	260	270	280	290	300
$C_p$ , Дж/(кг·К)	1700	1740	1770	1810	1850	1890

Для выявления вклада фуллерена-60 на изменение теплоемкости коллоидных растворов системы о-ксилола и фуллерена-60 при различных температурах на линии насыщения проведено расчетно-экспериментальное исследование, результаты которого представлены в виде таблиц ниже (таблица 3). В иссле-

двух растворах концентрация фуллерена-60 изменялась от 0 до 2,5%. Интервал изменения концентрации в исследуемых растворах составлял 0,5%.

Таблица 3.

Теплоемкость ( $C_p$ , Дж/(кг·К)) о-ксилола с внедрением в него фуллерена-60 в зависимости от температуры

Т, К	Образец №1	Образец №2	Образец №3	Образец №4	Образец №5
293	1720	1745	1767	1789	1813
313	1780	1800	1820	1839	1858
323	1830	1850	1870	1890	1909
333	1865	1885	1905	1924	1943
353	1946	1965	1985	2005	2025
373	2026	2046	2066	2085	2105
393	2106	2126	2146	2166	2186
413	2177	2197	2217	2237	2256
423	2216	2236	2256	2275	2295
443	2300	2320	2340	2348	2366
463	2399	2419	2439	2459	2479
473	2439	2453	2473	2493	2513

Образец №1- химически чистый жидкий о-ксилол+0,5% $C_{60}$ ; Образец №2- химически чистый жидкий о-ксилол+1,0% $C_{60}$ ; Образец №3- химически чистый жидкий о-ксилол +1,5% $C_{60}$ ; Образец №4- химически чистый жидкий о-ксилол+2,0% $C_{60}$ ; Образец №5- химически чистый жидкий о-ксилол+2,5% $C_{60}$ .

Как видно из таблицы 3, с повышением температуры удельная теплоемкость коллоидных растворов системы о-ксилола и фуллерена -60 растет по линейному закону, т.е. добавка фуллерена-60 приводит к росту теплоемкости растворов во всем интервале температуры. Например, при температуре 293К теплоемкость наножидкости системы о-ксилол и фуллерен-60 растет на 5,41%, при температуре 393К теплоемкость растет на 3,79% и при температуре 473К это изменение доходит до 5,03%.

Для обработки и обобщения данных по теплоемкости растворов нами использован закон термодинамического подобия и на его основе получены аппроксимационные уравнения.

### Источники

1. Guldi, D. Prato M. Excited-state properties of  $C_{60}$  fullerene derivatives/ D.Guldi // Acc. Chem. Rec. – 2000. – Vol.33. – P.695–703.
2. Schinazi. R.F. Antihuman immunodeficiency virus activity of polyhydroxy fullerenes in vitro /R.F. Schinazi. L.Y. Chiang. L.J Wilson. D.W. Cage, C.L. Hill// Electro-chemical society Proceedings, 1977. Vol.97-14. –P. 357–360.
3. Шарипова Д.А. Синтез и исследование аминокислотных производных фуллерена- $C_{60}$ , обладающих противовирусными свойствами в отношении вируса

птичьего гриппа А/Н5N1- Специальность 02.00.03- Органическая химия./ Дилрабо Азизбековна Шарипова // Дисс... на соискание ученой степени кандидата химических наук, Душанбе, 2020. 131 с.

4. Сафаров М.М. Теплофизические свойства простых эфиров и водных растворов гидразина в зависимости от температуры и давления./ Махмадали Махмадиевич Сафаров // Дисс. ... д-ра т.н. Душанбе, 1933. 985 с.

5. Справочное пособие к курсовому проектированию по процессам и аппаратам химической технологии «Чувашский государственный университет имени И.Н.Ульянова» Химико-фармацевтический факультет, «Теплофизические свойства жидких веществ и растворов», 2016. 54 с.

6. Физико-химические свойства индивидуальных углеродов. Справочник под. Ред. Татевского В.М., М., 1980, 883 с.

7. Фойгт И. Стабилизация синтетических полимеров против действия света и тепла. Л.: Химия, 1978, 394 с.

8. Качанов А.Н., Коренков Д.А., Ревков А.А., Максимов В.В., Воркунов О.В. Моделирование процессов высокочастотной сушки деревянных опор в вакуумной камере // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2020. Т. 22. № 6. 130-142 с.

9. Солуянов Ю. И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Солуянов В.И. Анализ фактических электрических нагрузок помещений общественного назначения, встроенных в жилые здания // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 6. 134-147 с.

10. Абдуллазянов Э.Ю., Грачева Е.И., Горлов А.Н.[и др.] Исследование качества функционирования электрических аппаратов низкого напряжения в составе электротехнических комплексов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 6. 3-15 с.

11. Синюков А.В., Синюкова Т.В., Грачева Е.И. [и др.] Оптимизированные бездатчиковые системы управления механизмами перемещения грузов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 6. 87-98 с.

12. Дремичева, Е. С. Эколого-экономические аспекты использования торфа в энергетике / Е. С. Дремичева, А. А. Эминов // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 1(53). С. 96-108. EDN ZSBYLN.



## ВЛИЯНИЕ ЗАРЯДНЫХ СТАНЦИЙ НА ПОТРЕБЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

Уткина Вероника Николаевна  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г.Казань  
2701064216@mail.ru

В данном тезисе рассматриваются типы и принцип работы зарядных станций, их влияние на потребление электрической сети.

**Ключевые слова:** электрические сети, электромобили, энергосистема, влияние на энергосистему, зарядные станции, электроэнергетическая система.

## INFLUENCE OF CHARGING STATIONS ON THE CONSUMPTION OF THE ELECTRIC NETWORK

Utkina Veronika Nikolaevna

This thesis discusses the types and principle of operation of charging stations, their impact on the consumption of the electrical network.

**Keywords:** electrical networks, electric vehicles, power system, impact on the power system, charging stations, power system

В последнее десятилетие электрические автомобили завоевывают все большую популярность во всем мире. В 2020 году в России насчитывалось порядка 150 зарядных станций, 100 из которых приходилось на Москву и 40 на Санкт-Петербург.[1] Правительство Российской Федерации в лице Министерства экономического развития планирует создать к 2030 году зарядную инфраструктуру для электрического транспорта (ЭТ), в рамках которой будет установлено порядка 14 000 зарядных станций с поддержкой DC-зарядки(поддерживают зарядку по постоянному току)[2].

Электромобили питаются исключительно от энергии, накопленной в аккумуляторной системе автомобиля. В нем нет резервного источника питания поэтому, когда аккумулятор разряжается, его необходимо подзарядить перед повторной работой. Подзарядка электромобилей осуществляется посредством подключения к зарядному оборудованию для электромобилей [3]

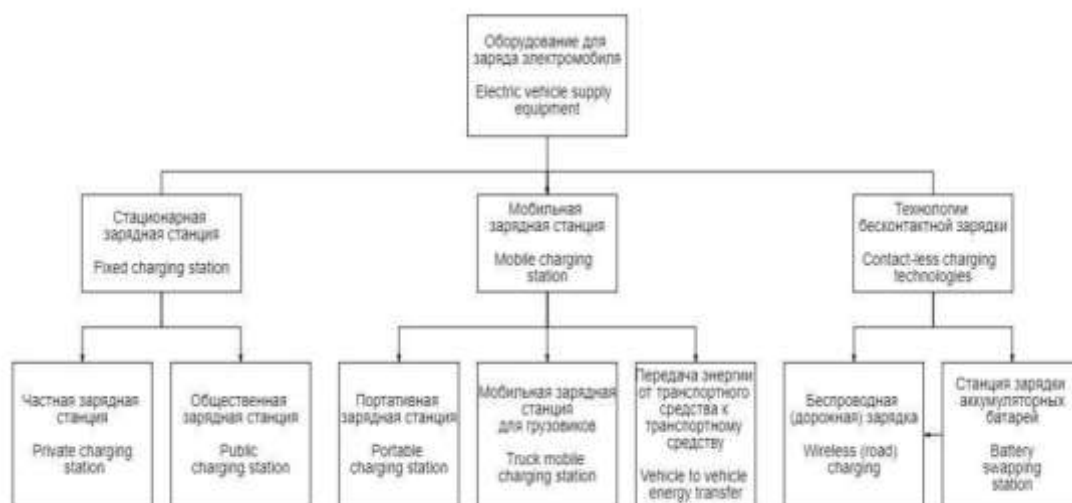


Рис 1. Классификация способов зарядки электромобилей

Первые стандарты для электрических зарядных станций появились в Соединённых Штатах. В этой стране зарядные станции делят на три типа – Level 1, 2 или 3.

Электрозаправки первого уровня – обычные устройства, похожие на бытовые зарядки переменного тока. Медленная зарядная станция (стандартная) на переменном токе. Время заряда может достигать 10 ч. Преобразование тока в постоянный и его регулирование осуществляет встроенное в автомобиле зарядное устройство[4].

Зарядки типа AC Level 2 представляют собой станции, которые подключаются к обычной электросети. Скорость примерно вдвое выше по сравнению с первым уровнем.

Среднее время восстановления заряда аккумулятора – 4-6 часов. К этому типу относится большая часть современных американских станций. Оборудование повышенной мощности от 6,2 до 7,6 кВт при работе от переменного тока напряжением 208-240 В (до 32 А). Как и зарядка первого уровня, может подключаться к бытовой 40-амперной розетке 220 В. Хотя чаще всего устанавливается стационарно с подключением к централизованному электроснабжению.

Наиболее распространённый тип оборудования в домашней и частной категориях, заряжает современный электромобиль в течение 8 часов. От наиболее мощных коммерческих моделей зарядников — за три часа.

Тип Level 3 – быстрая зарядка постоянного тока с напряжением 480В и мощностью до 135 кВт встречается в европейских странах, в том числе, в России. Она предназначена, в первую очередь, для автомобилей Tesla, аккумулятор которых заряжается всего за 30-40 минут на 80%. Оборудование высокой мощности до 250 кВт с быстрой зарядкой от постоянного тока с

напряжением до 480 В. Оснащается большим силовым модулем, чтобы преобразовывать ток и контролировать безопасность процесса. Устанавливается стационарно (выглядит как большой «шкаф-холодильник» с кабелями большого сечения), подключается к промышленной трёхфазной электросети. Лучше всего она подходит на роль общественной электрозаправки или частной под обслуживание большого коммерческого парка электротранспорта. Время зарядки современных тяговых батарей до 100% около 30 минут. Управление чаще всего идентично оборудованию уровня 2 (Level 2).

В Российской Федерации эксплуатация электрических транспортных средств имеет ряд особенностей, которые связаны с высокой долей выполняемых зарядных сессий в частных домовладениях, длительным периодом низких температур, большими средними суточными пробегами транспортных средств и другие [5]. К перспективным местам установки зарядных станций относятся места массового скопления людей, жилые районы, места в которых владельцы электромобилей могут проводить время в целях развлечения, покупок. Наряду с городом и междугородние трассы будут оборудоваться пунктами зарядки. При этом резерв мощности трансформаторных подстанций везде разный.

Исследование, проведенное в 2013 г. в США [6], показало, что общественные зарядные станции, подключенные к частным сетям в районе мест массового скопления людей, не оказывают существенного влияния на сеть, т. к. первичное оборудование подстанций рассчитаны на большие нагрузки. Проблемы возникают тогда, когда владельцы электромобилей устанавливают зарядные станции в своих частных домах, проживая в небольших населенных пунктах, состоящих из 5–10 домов. Там зачастую сети не рассчитаны на значительное повышение нагрузки.

Чтобы лучше понять о каких нагрузках идет речь, можно привести следующий пример. В Санкт-Петербурге установленный норматив потребления электроэнергии для семьи из трех человек, проживающей в двухкомнатной квартире, составляет 63 кВт·ч на человека, т. е. на всех вместе 189 кВт·ч в месяц, т. е. около 6,3 кВт·ч в день. Чтобы оценить потребление электромобиля, проведем небольшой анализ [7].

Существующие на рынке типы электромобилей по емкости батареи можно условно разделить на 4 типа: малоемкие, среднеемкие, высокоемкие и сверхъемкие. Емкость аккумуляторной батареи и мощность зарядных станций определяют время зарядки электромобилей. Например, при зарядке переменным током время зарядки составляет от 2 ч до 33 ч, с потреблением от 2 до 22 кВт·ч, в зависимости от марки автомобиля. При этом при заряде постоянным током время идет на минуты, от 25 до 110 мин и потребляемой

мощностью от 50 кВт·ч и выше [7]. Некоторые производители предлагают уже более мощные зарядные станции. В 2017 г. в Берлине установили зарядную станцию мощностью 350 кВт. Таким образом, потребление сверхъёмкого автомобиля, например, Xpeng P7 с емкостью аккумулятора 90 кВт·ч, при заряде полностью разряженной батареи на станции быстрой зарядки 50 кВт, за два часа будет сопоставимо с не менее 15 дней потребления электроэнергии семьей в Санкт-Петербурге. Именно поэтому в некоторых районах и населенных пунктах может потребоваться замена или расширение мощности трансформаторных подстанций.

Чтобы уменьшить потребление в пиковые часы, в ряде стран разработали для владельцев электромобилей специальные тарифы, стимулирующие зарядку в ночные часы, но для владельцев электромобилей, использующих их в городе, удобна зарядка ночью и без специальных тарифов. Так или иначе, для большинства водителей, за исключением водителей транспортных компаний и такси, того запаса энергии, который предусмотрен полным зарядом батареи, вполне достаточно для нормальной езды по городу в течение дня.

Использование зарядных станций в некоторых районах и населенных пунктах может привести к серьезным перегрузкам. Для предупреждения этого следует, например, вести учет числа зарядных станций, электромобилей, а также в перспективе создавать методы стимулирования зарядки в непииковые часы.

### **Источники**

1. Перспективы развития структуры зарядных станций электромобилей / Д.А.Григорьев // Инновации. Наука. Образование, 2021. – №3. 249-251 с.
2. Инициатива (Проект) "Высоко автоматизированный электротранспорт в городах". Министерство экономического развития Российской Федерации, 2021.
3. Развитие технологии мобильных зарядных станций для электромобилей / А. Р. Сафин, И. В. Ившин, А. Н. Цветков [и др.] // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. – Т. 23. – № 5. 100-114 с.
4. Разъемы для зарядных станций электромобилей/ М. Руско // Силовая электроника, 2019 – №4. 34-36 с.
5. Изучение конструктивных особенностей мобильных установок заряда электротранспорта для разработки эскизной конструкторской документации / А. Р. Сафин, И. В. Ившин, А. Н. Цветков [и др.] // Вестник Казанского государственного энергетического университета, 2021. – Т. 13. – № 3(51). 15-24 с.
6. Z. Jiang, H. Tian, M.J. Beshir, M. Hsieh: Analysis of Electric Vehicle Charging Impact on the Electric Power Grid; IEEE Transmission & Distribution Latin America (T&D LA) 2016 Conference; 2016.

7. Ахмадеев А.Р. Влияние электромобилей и зарядных станций на электрические сети // Энергоэксперт 2018 №1 (65). 24-28 с.

8. Басенко В.Р., Владимиров О.В., Ившин И.В., Низамиев М.Ф. Бесконтактный лазерный контрольно-измерительный комплекс для определения уровня пресовки обмоток и магнитопровода силового трансформатора // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 3. 140-153 с.

9. Козлов В.К., Гарифуллин М.Ш., Сабитов А.Х., Гиниатуллин Р.А. Люминесцентные свойства бумажной изоляции маслонаполненных трансформаторов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2018. Т. 20. № 11-12. 144-151 с.

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

11. Филимонова А.А., Чичиров А.А., Чичирова Н.Д. [и др.] Перспективы развития водородной энергетики в Татарстане // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2020. Т. 22. № 6. 79-91 с.

12. 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 004.92(076.5)

## **МОНИТОРИНГ ЛИНИЙ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ**

Хабибуллин Рустем Маратович<sup>1</sup>, Воркунов Олег Владимирович<sup>2</sup>.

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

rustamhabibullin451@gmail.com

В данном тезисе рассматривается эффективность работы беспилотных летательных аппаратов при диагностике линий электропередач. Проведен технико-экономический анализ при контроле обычными методами и с помощью беспилотных летательных аппаратов.

**Ключевые слова:** БАС, мониторинг линий электропередач, воздушная линия электропередач.

## **MONITORING OF POWER LINES**

Khabibullin Rustem Maratovich<sup>1</sup>, Vorkunov Oleg Vladimirovich<sup>2</sup>.

This thesis examines the effectiveness of unmanned aerial vehicles in the diagnosis of power lines.

**Keywords:** BAS, monitoring of power lines, overhead power line.

Визуальный мониторинг состояния воздушных линий электропередачи занимает важное место в современной электроэнергетической отрасли, что диктуется, прежде всего, необходимостью продления срока службы или интервала времени безаварийной работы высоковольтных линий. В течении последних нескольких лет во многих странах дальнего зарубежья активно внедряется система контроля воздушных линий электропередачи с помощью беспилотных летательных аппаратов (БАС).

Мониторинг воздушных линий электропередачи (ЛЭП) при помощи беспилотных авиационных систем (БАС) – это достаточно новое, но перспективное направление. Есть труднодоступные места, где наземный мониторинг может занять несколько дней или даже недель, а с помощью БАС - это займет несколько часов.

Мониторинг линий электропередач с помощью БАС безопасен, так как полет осуществляется на малых высотах и без экипажа на борту. Кроме того, есть ряд преимуществ: возможность проводить съемку в сложных погодных условиях, исследовать ЛЭП на всем протяжении, с разных ракурсов (рис. 1).

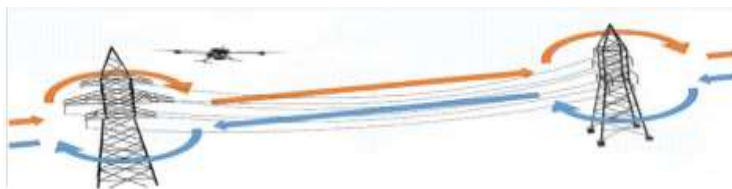


Рис. 1 Схема мониторинга ЛЭП с помощью БАС мультироторного типа

По результатам аэрофотосъемки воздушных линий электропередачи с помощью БАС могут быть получены изображения с высоким разрешением, на которых четко различимы опоры, провода, изоляторы, состояние растительности и подстилающей поверхности в защитной зоне трассы линии электропередачи.

Автоматическая беспилотная комплексная диагностика протяженных объектов, оснащенная информационной системой, включает в себя дистанционно управляемый летательный аппарат, силовую установку, систему автоматического управления бортовыми системами, бортовую систему диагностики состояния обширных объектов, а также мобильная наземная станция, радиотелеметрическая система двунаправленной связи и его мобильный наземный пункт управления. Технический результат достигается тем, что при работе автоматического беспилотного комплекса диагностики

высоковольтных воздушных линий электропередачи в летательный аппарат устанавливают систему автоматического управления, в блок памяти которого записывают весь маршрут полета. При облете воздушной линии электропередачи бортовая система диагностики аппарата изучает ее состояние, определяет координаты летательного аппарата с помощью приемника спутниковой навигационной системы. На БАС возможно установить измеритель напряженности электрического поля, при помощи которого непрерывно производят измерения вертикальной, горизонтально-продольной и горизонтальной-поперечной составляющей электрического поля. По величине напряженности вертикальной компоненты электрического поля стабилизируют высоту полета летательного аппарата над воздушной линией электропередачи, по величине напряженности горизонтальной-поперечной компоненты электрического поля стабилизируют положение летательного аппарата относительно линии электропередачи, по фазе напряженности горизонтальной-продольной компоненты электрического поля определяют направление полета летательного аппарата.

Существует мнение, что мониторинг с помощью БАС – это слишком дорого. Однако согласно проведенным расчетам затрат на мониторинг воздушных ЛЭП, приведенным в табл. 1, использование БАС гораздо эффективнее по сравнению с традиционными методами.

Таблица 1

Технико-экономический расчет применения БАС

Наименование параметра	Наземные методы	БАС
Количество исполнители в рабочей группе	3	2
Зарботная плата сотрудника в месяц, руб.	30000	45000
ЗП группы в день, руб	3913	3913
Количество часов в день	8	5
Скорость обследования, км/ч	2	85
Скорость обследования ,км/день	16	191
ЗП сотрудника на обследование 1 км ЛЭП, руб.	245	20
Стоимость БАС,руб.	-	1 500 000
Стоимость эксплуатации БАС,руб. -500 взлетов/посадок	-	500 000
Стоимость эксплуатации БАС,руб. В течение 1 дня	-	4000
Стоимость эксплуатации БАС,руб. При обследовании 1 км	-	21
Общая стоимость обследования 1 км ЛЭП		

	245	41
Время обследования 1 тыс. км ЛЭП дней	63	5
Стоимость обследования 1 тыс. Км ЛЭП руб.	244 565	41 375
Срок окупаемости БАС, лет	-	6 лет

Таким образом, общая стоимость обследования 1 км ЛЭП сокращается в 6 раз, время на обследования 1 тыс. км ЛЭП сокращается на 58 дней. Срок окупаемости одного беспилотного аппарата составляет около 5 лет.

### Источники

1. Барбасов В.К., Гречищев А.В. Мультироторные беспилотные летательные аппараты, представленные на российском рынке: обзор // Инженерные изыскания. 2014. № 8. С. 27–31.
2. ГК «Геоскан». [www.geoscan.aero](http://www.geoscan.aero). (дата обращения 08.04.2022).
3. Группа компаний «Беспилотные системы». — <http://unmanned.ru>. (дата обращения 08.04.2022).
4. Компания «АФМ\_Серверс». <http://ptero.ru>. (дата обращения 08.04.2022).
5. Компания «СЪЕМКА С ВОЗДУХА». <http://съемкасвоздуха.рф>. (дата обращения 08.04.2022).
6. 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). 30-36 с.
7. Секретарев, Ю. А. Оценка влияния на надежность системы электроснабжения различного рода дефектов ее основных элементов / Ю. А. Секретарев, В. М. Левин // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2019. Т. 11. № 4(44). 55-63 с.
8. Новиков, С.И., Кузьмин И.Л., Хузяшев Р.Г. Простейшие алгоритмы обнаружения сигналов переходного процесса напряжения в линиях электропередач // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2017. Т. 19. № 7-8. 114-125 с.
9. Гарифуллин М.Ш., Гиниатуллин Р.А., Козлов В.К. [и др.] Определение технологии производства и марки минеральных трансформаторных масел по их оптическим спектрам // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2017. Т. 19. № 9-10. 59-64 с.
10. Петрущенко В.А., Коршакова И.А. Качественный и количественный анализ тепловой энергетики малых мощностей в России // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2020. Т. 22. № 5. 52-70 с.



11. Афанасьева О.В., Галькеева А.А., Вафин А.Р., Мингалеева Г.Р. Региональные аспекты использования угля на объектах малой распределенной энергетики // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2017. Т. 19. № 9-10. 85-93 с.

12. Ценовые характеристики источников электроэнергии мини и микрогрид / А. В. Паздерин, В.О. Самойленко, Н. Д. Мухлынин, П. А. Крючков // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 1(53). С. 122-139. EDN GFPVIZ.

13. 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.

УДК 621.3.053

## **МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗАЩИТНОГО ЗАЕМЛЕНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ПОДСТАНЦИЙ ПОСРЕДСТВОМ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА**

Хамидуллина Карина Ренатовна<sup>1</sup>, Воркунов Олег Владимирович<sup>2</sup>

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

karinamailfs@gmail.com

В данной работе будет поднята проблема контроля состояния защитного заземления, а так же рассмотрены некоторые методы, используемых для измерения сопротивления грунта, проводимые с помощью переменного тока.

**Ключевые слова:** защитное заземление, удельное сопротивление грунта, метод перенапряжения.

## **METHODS OF MEASURING THE RESISTANCE OF PROTECTIVE EARTHING OF ELECTRICAL EQUIPMENT OF HIGH-VOLTAGE SUBSTATIONS WITH INTERMEDIATE ALTERNATING CURRENT**

Khamidullina Karina Renatovna<sup>1</sup>, Vorkunov Oleg Vladimirovich<sup>2</sup>

This article will raise the problem of monitoring the condition of protective earthing, and will discuss some of the methods used to measure the resistance of earthing conducted using alternating current.

**Keywords:** protective grounding, ground resistivity, overvoltage method.

Проверка технического состояния электроустановок на соответствие требованиям по защите от поражения электрическим током требует измерения сопротивления заземления. Измерение сопротивления заземления является основным измерением при оценке эффективности защиты от непрямого контакта в системе электрической сети, использующей автоматическое отключение питания в качестве меры защиты. Это также необходимо при оценке эффективности молниезащиты.

Защитное заземление служит для обеспечения безопасного для людей потенциала на электрических частях установок, рабочее служит для заземления нейтрали трансформаторов, заземления фазы при использовании земли в качестве рабочего провода и др. Заземление либо нейтральной точки, либо проводов РЕ (PEN), выполненных в сетях типа TN, и заземление нейтрали в сетях типа TT, и в то же время выполняют обе функции.

Правильно функционирующее заземление гарантирует, что на его сопротивлении поддерживается низкое значение падения напряжения во время разряда токов в почву, что сводится к условию низкого сопротивления этого заземления. Заземление может разряжать постоянный, переменный или импульсный ток, возникающий от молнии. Поскольку времена явлений, возникающих при протекании токов с промышленными частотами, измеряются в миллисекундах, а для ударных токов - в микросекундах, поэтому необходимо использовать различные методы измерения для оценки качества заземлений, предназначенных для работы в таких разных условиях.

Метод измерения можно в широком смысле определить как набор действий, выполняемых при выполнении измерения для определения значения измеряемой величины (результата измерения).

Основным параметром для оценки эффективности заземления является сопротивление заземления, измеряемое между точкой отсчета заземления и заземленным объектом (рис. 1). Измерения сопротивления заземления производятся с помощью переменного тока. Методы измерения сопротивления заземления постоянным током не используются из-за электролитической природы проводимости грунта. В статье были рассмотрены следующие методы:

- технический способ;
- метод компенсации;
- метод перенапряжения.

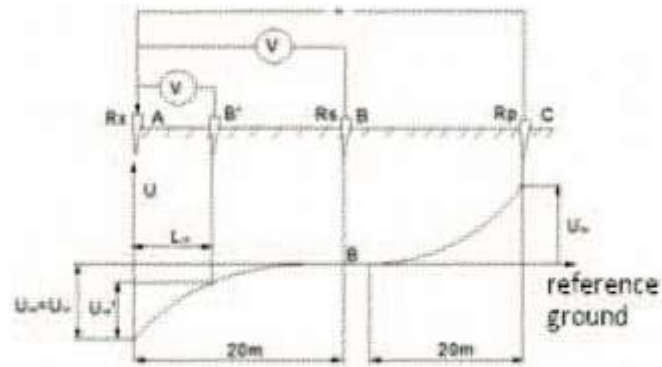


Рис. 1. Распределение падения напряжения между испытательным и вспомогательным заземляющим электродом

Технический метод, иногда называемый методом вольтметра и амперметра, позволяет определить сопротивление заземления по формуле:

$$R_E = \frac{U_E}{I_E}$$

Принцип измерения сопротивления заземления с использованием этого метода показан на рис. 2.

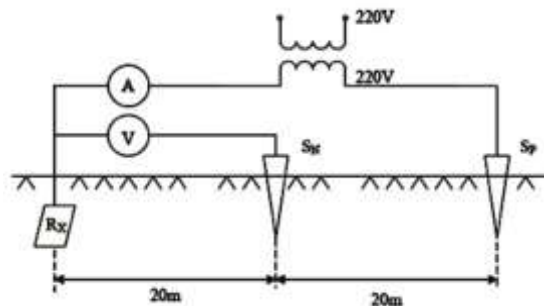


Рис. 2. Схема измерения сопротивления заземления техническим способом

Для того чтобы измерить сопротивление заземления  $R_E$ , создается система, состоящая из двух цепей:

- токовая цепь, которая включает в себя тестовое заземление ( $R_x$ ), источник питания, амперметр (A) и токовый электрод (SP);
- цепь напряжения, образованная тестовым заземлением ( $R_x$ ), вольтметром (V) и электродом напряжения ( $S_n$ ).

Обычно для форсирования тока заземления (в цепи тока) используются источники переменного тока частотой 50 Гц, позволяющие форсировать ток, во много раз превышающий токи помех той же частоты. Существуют также источники переменного тока частотой до 150 Гц. Источники, вызывающие

протекание измерительного тока в форме ударной волны, используются для определения сопротивления перенапряжению.

Правильные результаты измерений статического сопротивления получаются при воздействии измерительного тока частотой 50 Гц и амплитудой, примерно в 20 раз превышающей амплитуду мешающего тока той же частоты. Недостатком технического способа является необходимость использования дополнительного источника питания с относительно высокой мощностью и необходимость сборки измерительной системы.

Метод компенсации называется нулевым методом. Этот метод заключается в сравнении напряжения заземления с падением напряжения на резисторе с регулируемым сопротивлением и непосредственном считывании сопротивления заземления, когда вышеупомянутые значения напряжения равны. Упрощенная принципиальная схема системы измерения сопротивления заземления компенсирующим методом приведена на рис. 3. Преимущество компенсационного метода заключается в том, что измерения э.д.с. элемента точны и свободны от ошибок, связанных с сопротивлением элемента или его поляризацией.

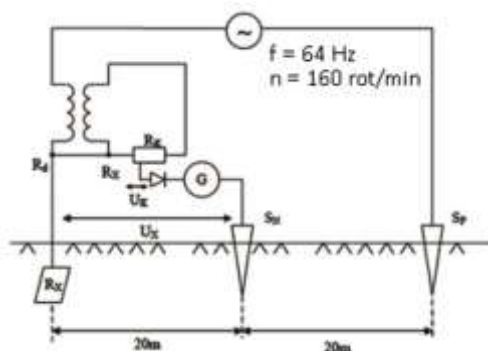


Рис. 3. Принцип измерения сопротивления заземления компенсирующим методом

Метод перенапряжения предназначен для определения импеданса перенапряжения (сопротивления), которое характеризует заземляющие электроды, и его не следует использовать для управления защитным и рабочим заземлением (т.е. заземлением, работающим на частоте сети). Поскольку токи молнии характеризуются значительной крутизной нарастания (до  $100 \text{ кА/мкс}$ ), индуктивные перепады напряжения на отдельных элементах системы заземления часто определяют эффективность заземления. Импеданс заземления, по которому проходят импульсные токи, зависит либо от крутизны нарастания тока, либо от его интенсивности, а также от длины заземляющего электрода.

Рассмотрение некоторых из методов, используемых для измерения сопротивления грунта, проводимые с помощью переменного тока, показывает,

что не существует единого универсального метода, подходящего для измерения любого типа заземления. Но чтобы избежать типичных ошибок измерений, можно выделить следующие рекомендации: методы измерения, используемые для контроля состояния заземления, должны выбираться в соответствии с условиями, при которых заземление должно выполнять свою задачу; измерения сопротивления контура заземления следует рассматривать как приблизительные, особенно если результаты кажутся, это указывает на идеальное состояние заземления; сопротивление перенапряжению (с компонентом индуктивности заземления) наилучшим образом характеризует заземление молниезащиты. Так же, стоит учитывать, что в данной статье мы рассмотрели только одну из проблем защитного заземления, не стоит забывать о существовании множество и других: сезонные изменения электрических параметров заземлителей, выбор грозозащитных заземлителей с учетом дополнительных факторов (например, совместно с линейной изоляцией или с учетом защитной функции заземления) и др.

### **Источники**

1. Афонский А.А., Дьяконов В.П. Измерительные приборы и массовые электронные измерения. М.: Солон-пресс, 2011.
2. Карапетян М.К., Воркунов О.В., Афанасьева Т.И. Методы и устройства контроля измерения сопротивления изоляции электроэнергетических объектов. Вестник современных исследований, 2018. 459-460 с.
3. Киселёв В.Г., Калютник А.А. Влияние удельного сопротивления грунта в зоне расположения подземного трубопровода на коэффициент полезного действия катодной защиты. Известия высших учебных заведений. Проблемы Энергетики, 2015.22-12 с.
4. Хуснутдинов Р.Р., Мифтахова Н.К., Ившин И.В., Максимов В.В. Актуальные подходы к организации образовательного процесса для подготовки специалистов энергетических систем и комплексов/Вестник Казанского государственного энергетического университета, 2017. – № 3(35). 153-160 с.
5. Смагин В.Г. Основания и фундаменты. Проектирование и устройство: Учебное пособие, 2008. 496 с.
6. Быстрицкий Г.Ф. Основы энергетики, 2007. 288 с.
7. Цытович Н. А. Механика грунтов (краткий курс). 2-е изд., доп. Учебн. Для вузов. М., «Высш. Школа», 1973. 280 с.
8. Валиуллина Д.М., Ильясова Ю. К., Козлов В.К. Качественные методы спектрального анализа в диагностике трансформаторных масел // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2019. Т. 21. № 1-2. 87-92 с.

9. Дремичева Е.С., Зверева Э.Р., Бурганова Ф.И., Зверев Л.О. Перспективы технологии совместного сжигания биомассы и угля на объектах энергетики // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 1. 119-130 с.

10. Козлов, В.К., Сабитов А. Х. Степень полимеризации бумажной изоляции силовых трансформаторов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2018. Т. 20. № 9-10. 34-38 с.

11. Липантьев, Р.Е., Тутубалина В.П. Влияние сжигания сернистых мазутов на окружающую среду // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2017. Т. 19. № 5-6. 144-148 с.

УДК 621.311.014.3

## ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕХОДНОГО СИГНАЛА ВОЗНИКАЮЩИХ В ОДНОКОНТУРНОЙ RLC-ЦЕПИ

Хафизов Линар Адэльевич<sup>1</sup>, Хузяшев Рустэм Газизович<sup>2</sup>

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

linarlinar14@gmail.com

В работе рассмотрены причины возникновения коммутационных переходных сигналов в простейших моделях линий электропередач, представлены схемы замещения линий электропередач для разных видов коммутаций, и отображены параметры переходного сигнала в виде изолиний.

**Ключевые слова:** модели линий электропередач, переходной процесс, коммутация, сигнал, параметры.

## VISUALIZATION OF TRANSITION SIGNAL PARAMETERS ARISING IN A SINGLE-LOOP RLC CIRCUIT

Khafizov Linar Adelevich<sup>1</sup>, Khuziashev Rustem Gazizovich<sup>2</sup>

The paper considers the causes of the occurrence of switching transient signals in the simplest models of power lines, presents the equivalent circuits of power lines for different types of switching, and displays the parameters of the transient signal in the form of isolines.

**Key words:** power line models, transient process, switching, signal, parameters.

Основными причинами возникновения переходных сигналов [1, 2, 3] в линиях электропередач являются: плановая коммутация, частичные разряды, аварийная коммутация, грозовые перенапряжения. Параметры переходных

сигналов, соответствующих разным причинам их возникновения, отличаются. Актуальным для классификации причин возникновения переходных сигналов по их регистрируемым параметрам является визуализация связи между числовыми параметрами простейшей модели линии в виде RLC-контра.

Схемы замещения линий электропередач для разных видов коммутаций:

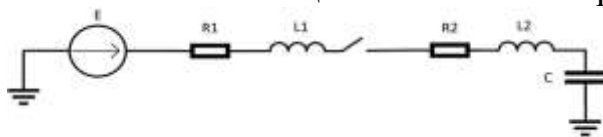


Рис.1. Схема замещения при плановой коммутации.

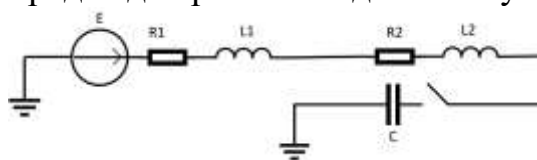


Рис.2. Схема замещения при частичном разряде.

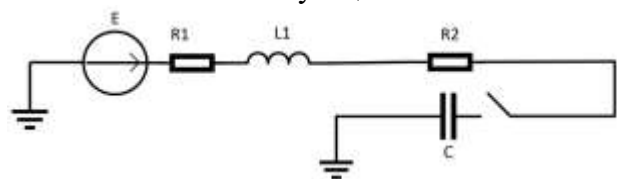


Рис.3. Схема замещения при аварийной коммутации (ОЗЗ на 10 кВ).

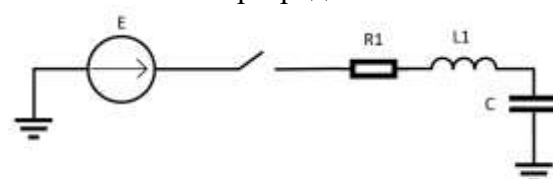


Рис.4. Схема замещения при грозном перенапряжении.

Запишем уравнение для исследуемого контра, опираясь на второй закон Кирхгофа [4].

$$E = u_R + u_L + u_C = iR + L \frac{di}{dt} + u_C \quad 1) \quad i = C du_C / dt \quad (2)$$

$$LC \frac{d^2 u_C}{dt^2} + RC \frac{du_C}{dt} + u_C = E \quad (3)$$

Общее решение неоднородного дифференциального уравнения (5) равно сумме общего или свободного решения однородного уравнения и частного или вынужденного решения неоднородного уравнения. Сумма свободного решения  $u_{CB}$  и частного решения  $u_{CP}$  составляет общее решение этого уравнения [6]:

$$u_C = u_{CB} + u_{CP} \quad (4) \quad \frac{d^2 u_{CB}}{dt^2} + \frac{r du_{CB}}{L dt} + \frac{u_{CB}}{LC} = 0 \quad (5)$$

Характеристическое уравнение запишется в виде следующего уравнения [6].

$$p^2 + \frac{r}{L} p + \frac{1}{LC} = 0, \quad (6)$$

$$p_{1,2} = -r / 2L \pm \sqrt{r^2 / 4L^2 - 1 / LC} \quad (7)$$

Запишем напряжение  $u_C$  и ток  $i$ , связанные с запасами энергии в цепи:

$$u_C(t) = A_1 e^{p_1 t} + A_2 e^{p_2 t} + u_{C_{\text{нр}}}(t) \quad (8) \quad i = dq / dt = C du_C / dt \quad (9)$$

$$i(t) = C du_{C_{\text{св}}} / dt = i_{\text{нр}}(t) + C(A_1 p_1 e^{p_1 t} + A_2 p_2 e^{p_2 t}) \quad (10)$$

Граничные условия для напряжений и тока как равенства общего решения ( $t = 0$ ) [5].

$$\begin{cases} u_C(0) = A_1 + A_2 + u_{C_{\text{нр}}}(0) = 0 \\ i(0) = i_{\text{нр}}(0) + Cp_1 A_1 + Cp_2 A_2 = 0; \end{cases} \quad u_{C_{\text{нр}}} = E, \quad i_{\text{нр}} = 0;$$

Определим постоянные интегрирования  $A_1$  и  $A_2$ .

$$A_1 = \frac{Ep_2}{p_1 - p_2}; \quad A_2 = \frac{-Ep_2 - Ep_1 + Ep_2}{p_1 - p_2} = -\frac{Ep_1}{p_1 - p_2}. \quad (11) \quad (12)$$

После подстановки постоянных интегрирования (11,12) получим выражения для напряжения и тока [6]:

$$u_C = \frac{E}{p_1 - p_2} (p_2 e^{p_1 t} - p_1 e^{p_2 t}) + E; \quad i = i_{\text{св}} = \frac{Cp_1 p_2 E}{p_1 - p_2} (e^{p_1 t} - e^{p_2 t}); \quad (13) \quad (14)$$

Подставляем в уравнения (13,14) корни разных режимов переходного процесса [7].

Апериодическое решение ( $R > 2\sqrt{L/C}$ ):

$$u_C = \frac{-E}{2} (e^{(-\delta + \sqrt{\delta^2 - \omega_0^2})t} + e^{(-\delta - \sqrt{\delta^2 - \omega_0^2})t}) + E;$$

$$i = i_{\text{св}} = \frac{E}{2L \cdot \sqrt{\delta^2 - \omega_0^2}} (e^{(-\delta + \sqrt{\delta^2 - \omega_0^2})t} - e^{(-\delta - \sqrt{\delta^2 - \omega_0^2})t});$$

$$I_{\text{макс}} = i(t) \Big|_{t = \frac{\ln\left(\frac{\delta + \omega}{\delta - \omega}\right)}{\omega}} = \frac{E}{2L\omega} e^{-\delta \frac{\ln\left(\frac{\delta + \omega}{\delta - \omega}\right)}{\omega}} \left[ \sqrt{\frac{\delta + \omega}{\delta - \omega}} - \sqrt{\frac{\delta - \omega}{\delta + \omega}} \right]$$

$$\Delta t_{\text{п.фр}} = \frac{\ln\left(\frac{\delta + \omega}{\delta - \omega}\right)}{\omega}; \quad \Delta t_{3, \text{фр}} = \left( \ln \frac{\frac{I}{A} + \sqrt{\left(\frac{I}{A}\right)^2 + 4}}{2} - \ln\left(\sqrt{\frac{\delta + \omega}{\delta - \omega}}\right) \right) \cdot \frac{1}{\omega}$$

Колебательный характер ( $R < 2\sqrt{L/C}$ ):

$$u_C = E - \frac{E}{\omega_{\text{св}} \cdot \sqrt{LC}} e^{-\delta t} \sin(\omega_{\text{св}} t + \gamma); \quad \gamma = \arctg\left(\frac{\omega_{\text{св}}}{\delta}\right)$$



$$i = i_{c\delta} = \frac{Ee^{-\delta t}}{L\omega_{CB}} \sin(\omega_{CB}t); \quad \Delta t_{п.фр} = \frac{acr \tan\left(\frac{\omega_{c\delta}}{\delta}\right)}{\omega_{c\delta}}; \quad \Delta t_{3,фр} = \frac{1}{\delta} = \frac{2L}{R}$$

$$I_{мак} = i(t)\Big|_{t=\frac{acr \tan\left(\frac{\omega_{c\delta}}{\delta}\right)}{\omega_{c\delta}}} = E \cdot \sqrt{\frac{C}{L}} \cdot e^{-\frac{acr \tan\left(\sqrt{\frac{4L}{CR^2}-1}\right)}{\sqrt{\frac{4L}{CR^2}-1}}}$$

Изобразим параметры переходного процесса при разных R в виде изолиний (рис. 5 - 8), для этого воспользуемся *Python* и *Matplotlib* [8].

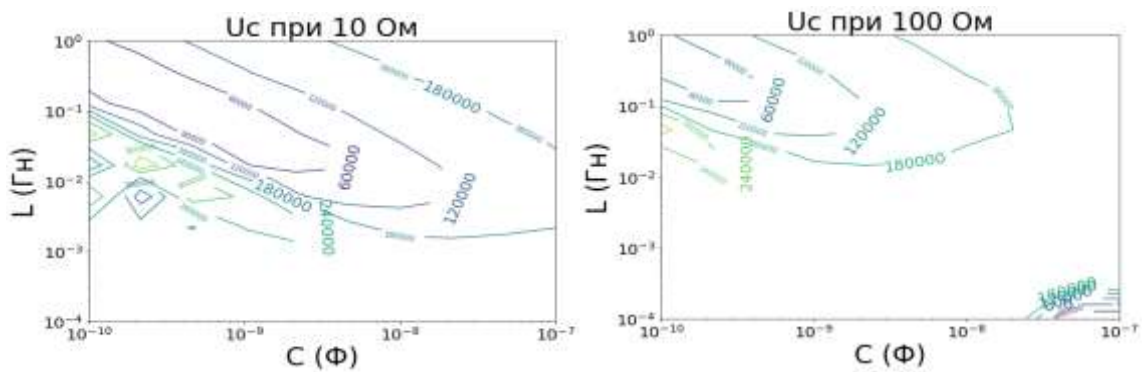


Рис.5. Параметры U-я на конденсаторе в виде изолиний E = 220 кВ.

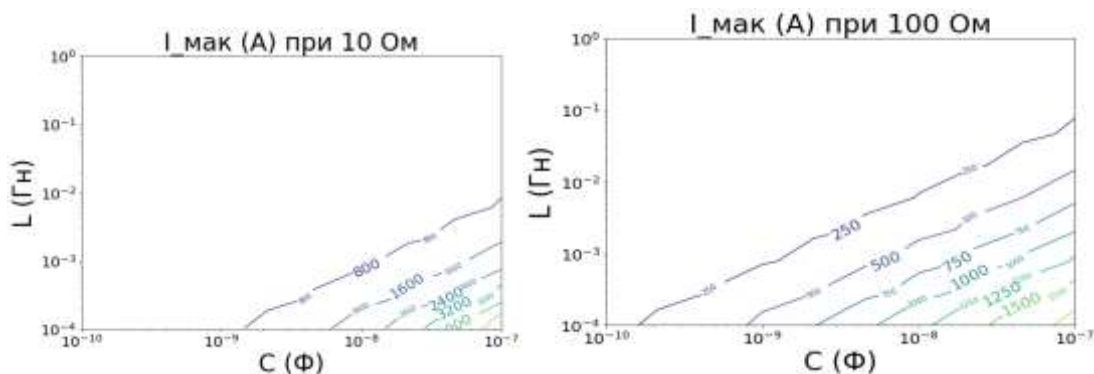


Рис.6. Параметры I<sub>мак</sub> в контуре в виде изолиний (E = 220 кВ).

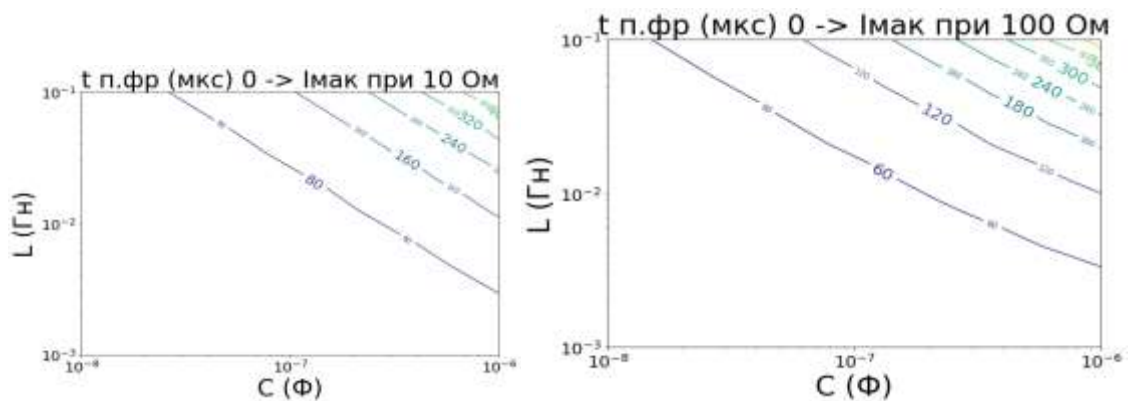


Рис.7. t перед. фр 0->I<sub>мак</sub> в виде изолиний E = 220 кВ.

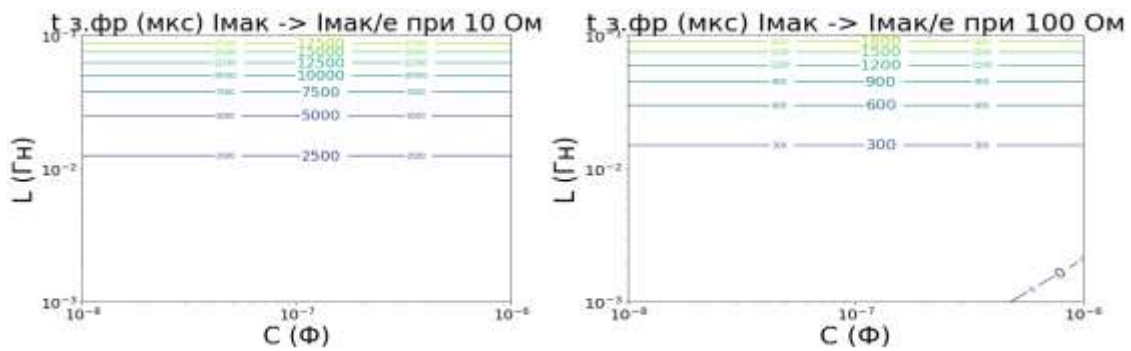


Рис.8.  $t_{3, \text{фр}}$  (мкс)  $I_{\text{мак}} \rightarrow I_{\text{мак}}/e$  в виде изолиний  $E = 220$  кВ.

Таблица 1

Параметры схем замещения (рис. 1 - 4) и соответствующие им параметры ПП

	Плановая коммутация	Частичные разряды	Аварийная коммутация	Грозовые перенапряжения
$E$ , кВ	110	220	10	110
$R_1$ , Ом	14,66	12,34	0,64	11,8
$R_2$ , Ом	0,244	0,118	0,7774	—
$L_1$ , Гн	0,7	0,606	0,0109	0,113
$L_2$ , мГн	1,36	1,385	1,28	—
$C$ , нФ	84,7	0.00357	84,7	0,00625
Параметры переходного процесса им соответствующие				
$I_{\text{МАХ}}$ , А	7,38	17,59	7,05	9,307
$U_c$ , кВ	163,83	327,75	14,43	159,4
$\Delta t_{\text{П.ФР}}$ , мкс	0,588	0,365	0,101	0,081
$\Delta t_{\text{3.ФР}}$ , мкс	0,317	1,015	0,88	0,963

Параметры схем замещения (рис. 1 – 4) были получены из справочных данных трансформатора и соответствующих их марки проводов.

Рассмотрим например параметры для плановой коммутации  $E = 110$  кВ:

Трансформатор ТМТН-6300 / 110:  $R_T = 14,66$  Ом;  $X_T = 220,42$  Ом;  $L_1 = 0,7$  Гн. Провод АС/120/19:  $R_0 = 0,244$  Ом/км;  $X_0 = 0,427$  Ом/км;

$L_2 = 1,36$  мГн. Емкость провода  $C$ , погонная емкостная проводимость  $b_0 = 2,66 \cdot 10^{-6}$  См/км (для линии 10 км).  $C = 84,7$  нФ.

Полученные визуальные зависимости между параметрами RLC-контура и параметрами переходного сигнала направлены на решение задачи классификации причин их возникновения, что важно при практическом использовании волновых методов определения места повреждения.

## Источники

1. Новиков, С. И. Простейшие алгоритмы обнаружения сигналов переходного процесса напряжения в линиях электропередач / С. И. Новиков, И. Л. Кузьмин, Р. Г. Хузяшев // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2017. – Т. 19. – № 7-8. 114-125 с.
2. Ба Бораик, А. М. 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. 127-136 с.
3. Алгоритмы определения существенных признаков бегущей волны для локализации разломов / И. Л. Кузьмин, Р. Г. Хузяшев, И. И. Иркагалиева, А. М. Маклецов // 3-я Международная молодежная конференция по радиоэлектронике, электротехнике и энергетике (РЕЕPE), 2021.
4. Student Circuit - Transient processes in linear circuits [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://clck.ru/enXB8> (дата обращения: 5.04.2022).
5. Основы теории цепей: учебное пособие для вузов / В.А. Матвиенко. – Екатеринбург: УМЦ УПИ, 2016. 162 с.
6. Основы теории цепей: Учебник для вузов/Г. В. Зевеке, О-75 П. А. Ионкин, А. В. Нетушил, С. В. Страхов. 5-е изд., перераб. М.: Энергоатомиздат, 1989. 528 с.
7. «Адаптивный структурный анализ электрических сигналов / теория и ее приложения в интеллектуальной электроэнергетике». Издательство Чувашского госуниверситета – Антонов В. И. г. Чебоксары 2018. 334 с.
8. Jenuay.net. - Изолинии в Matplotlib [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://jenuay.net/Matplotlib/Contour> (дата обращения: 4.04.2022).
9. Качанов А.Н., Коренков Д.А., Ревков А.А., Максимов В.В., Воркунов О.В. Моделирование процессов высокочастотной сушки деревянных опор в вакуумной камере. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2020. Т. 22. № 6. 130-142 с.
10. Солуянов Ю. И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Солуянов В.И. Анализ фактических электрических нагрузок помещений общественного назначения, встроенных в жилые здания. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 6.134-147 с.
11. Абдуллазянов Э.Ю., Грачева Е.И., Горлов А.Н.[и др.] Исследование качества функционирования электрических аппаратов низкого напряжения в составе электротехнических комплексов. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 6. 3-15 с.
12. Синюков А.В., Синюкова Т.В., Грачева Е. И. [и др.] Оптимизированные бездатчиковые системы управления механизмами

перемещения грузов. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 6. 87-98 с.

13. Басенко В.Р., Владимиров О.В., Ившин И.В., Низамиев М.Ф. Бесконтактный лазерный контрольно-измерительный комплекс для определения уровня прессовки обмоток и магнитопровода силового трансформатора // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 3. 140-153 с.

14. Козлов В.К., Гарифуллин М.Ш., Сабитов А.Х., Гиниатуллин Р.А. Люминесцентные свойства бумажной изоляции маслонаполненных трансформаторов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2018. Т. 20. № 11-12. 144-151 с.

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

16. Филимонова А.А., Чичиров А.А., Чичирова Н.Д.[и др.] Перспективы развития водородной энергетики в Татарстане // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2020. Т. 22. № 6. 79-91 с.

УДК 621.31

## ТЕПЛОВИЗИОННОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ КОНДЕНСАТОРОВ СВЯЗИ

Хафизов Линар Адэльевич<sup>1</sup>, Камалиева Лилия Ильгизовна<sup>2</sup>, Куракина Ольга Евгеньевна<sup>3</sup>

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

<sup>1</sup>linarlinar14@gmail.com, <sup>2</sup>lily\_lam@mail.ru

Рассмотрена общая конструкция, стойкость к воздействиям и важность конденсаторов связи, а также представлена тепловизионная диагностика этого оборудования. Проведен расчет электрической ёмкости и тангенса угла диэлектрических потерь  $\text{tg}\delta$ , результаты сведены в таблицу.

**Ключевые слова:** тепловизионная диагностика, конденсатор связи, дефекты, воздействие, термограмма

## THERMAL IMAGING DIAGNOSTICS OF COMMUNICATION CAPACITORS

Khafizov Linar Adelevich<sup>1</sup>, Kamaliev Liliya Ilgizovna<sup>2</sup>, Kurakina Olga Evgenevna<sup>3</sup>

The general design, resistance to impacts and the importance of coupling capacitors are considered, as well as thermal imaging diagnostics of this equipment is presented. The calculation of the electric capacitance and the tangent of the dielectric loss angle  $\text{tg}\delta$  was carried out, the results are summarized in the table

**Key words:** thermal imaging diagnostics, coupling capacitor, defects, impact, thermogram

От исправности элементов оборудования зависит надежность высокочастотного тракта. Одним из ведущих ролей занимают конденсаторы связи, которые отделяют аппаратуру связи от высокого напряжения частоты 50 Гц, пропуская сигналы высокой частоты по каналам связи [1].

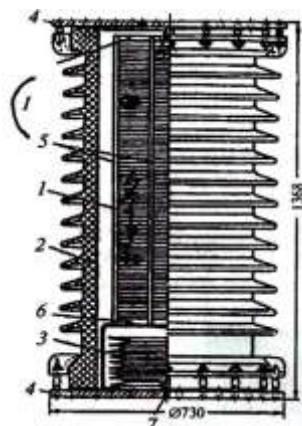


Рис.1. Устройство конденсатора связи с номинальным напряжением  $110\sqrt{3}$ .

На (рис. 1.) представлен конденсатор связи, на котором изображено:

1. Пакет из секций бумажных конденсаторов;
2. Фарфоровая крышка;
3. Сильфон;
4. Фланец;
5. Изоляционные планки;
6. Металлическая плита;
7. Выходное отверстие сильфона.

Конденсаторы связи безопасного исполнения состоят из фарфорового корпуса, внутри которого находятся параллельно соединенные пакеты из последовательно соединенных конденсаторных секций рулонного типа. Тепловое расширение масла скомпенсировано в нижней части фарфоровой крышки. За счёт использования новых прогрессивных материалов и экологически безопасной жидкости данные конденсаторы имеют высокую стойкость к воздействиям энергий внутреннего короткого замыкания и взрывам, что обеспечивает безопасность для других оборудования [2].

Среди дефектов конденсаторов связи, которые можно выявить с помощью тепловизионного оборудования, относят:

- обрыв между пакетами внутри конденсатора;
- пробой отдельных секций;
- повреждения открытых контактов.

При выполнении тепловизионной диагностики открытых контактных соединений следует выполнять нормативные указания.

Предельные значения температуры нагрева контактных соединений силовых конденсаторов, отдельно стоящих или соединенных в батарею, не должны превышать нормативных значений.

Неисправности, связанные с нарушением внутренних элементов конденсатора могут сопровождаться появлением на поверхности фарфоровой крышки температурных аномалий, так как у деформированного конденсатора номинальное рабочее напряжение может уменьшиться.

На (рис.2), можно рассмотреть термограмму одной из фаз конденсатора, которая состоит из двух элементов. Если провести оценку нижнего и верхнего элемента можно разглядеть изменение температуры на поверхности крышки (огибающая термопрофилограммы расположена выше, чем у верхнего элемента и резко поднимается в верхней части элемента) [3].

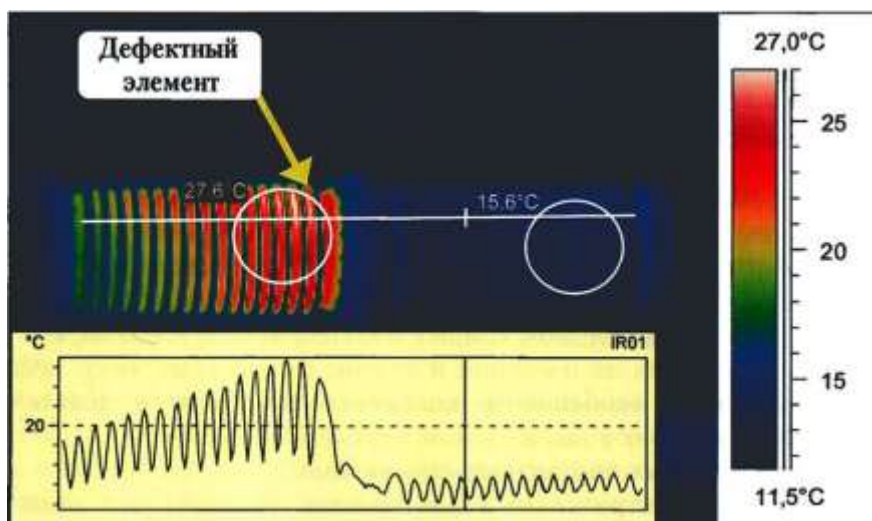


Рис.2. Термограмма одной из фазы конденсатора связи 330 кВ.

Результаты измерений диэлектрических характеристик конденсатора до и после возникновения дефекта

Нижний элемент				Верхний элемент			
Данные при T=23°		Данные при T=21°		Данные при T=23°		Данные при T=21°	
$tg\delta$ , %	C, пф	$tg\delta$ , %	C, пф	$tg\delta$ , %	C, пф	$tg\delta$ , %	C, пф
0,33	34987	0,18	14300	0,48	16578	0,15	14000

Из таблицы видно, что у нижнего элемента тангенс угла диэлектрических потерь, который характеризует активные потери энергии в конденсаторе, увеличился. Следовательно, это выявляет частичный пробой последовательно соединенных секций конденсаторов, расположенных внутри нижнего элемента и старение изолятора [3].

Ниже на (рис. 3) приведен пример проведения тепловизионного контроля конденсатора связи 110 кВ [5].



Рис.3. Термограмма конденсатора связи воздушной линии электропередачи напряжением 110 кВ.

Восстановление конденсаторов с внешними дефектами не представляет трудностей, но при выявлении на поверхности покрышки разности температурных значений у других элементов того же присоединения на 3°С и более, нужно убедиться не является ли данный фактор подтверждающий неисправность [6].

При обнаружении внутренних дефектов проводят дополнительные высоковольтные испытания и измерения, чтобы решить возможность эксплуатации оборудования.

Выявлено, что в конденсаторах связи может возникнуть внутренний дефект, если температура фарфоровой крышки приблизительно близка к температуре окружающего воздуха. Температурные дефекты делительных конденсаторов воздушных высоковольтных выключателей следует выявить только при отключенном положении выключателя.

Тепловизионный контроль конденсаторов связи необходим для надёжного и бесперебойного обеспечения питания электрической энергией. Так как при возникновении дефектов у конденсаторов в системе электроснабжения в электрической сети могут возникнуть пульсации высших гармонических составляющих тока, что приведет к остановке питания сложного технологического процесса.

### Источники

1. Электрические сети. Проектирование вч каналов по лэп, конденсаторы связи [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://leg.co.ua/arhiv/raznoe-arhiv/proektirovanie-vch-kanalov-po-lep/Page-6.html> (дата обращения: 6.04.2022).

2. Школа для электрика [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://electricalschool.info/main/drugoe/1568-princip-raboty-i-naznachenie-vch.html> (дата обращения: 6.04.2022).

3. Forca. Тепловизионное диагностирование высоковольтных конденсаторов [Электронный ресурс]. (дата обращения: 7.04.2022).

4. «Типовые технические решения по системам ВЧ связи» Стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС» Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ», 2012 г. 63 с.

5. Тепловизионный контроль конденсаторов и высокочастотных заградителей. А. Н. Шпиганович, А. Н. Мамонтов, А. В. Бойчевский // ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

6. Оборудование высокочастотной связи ООО «РОСЭНЕРГОСЕРВИС» [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://rosenergoserwis.ru/hf\\_1.pdf](http://rosenergoserwis.ru/hf_1.pdf) (дата обращения: 7.04.2022).

7. Системы автоматического регулирования и управления: Ч 1. Практикум/ В.М. Бутаков, П.П Павлов. – Казань: Каз. гос. энерг. ун-т., 2017. 27 с.

8. Качанов А.Н., Коренков Д.А., Ревков А.А., Максимов В.В., Воркунов О.В. Моделирование процессов высокочастотной сушки деревянных опор в вакуумной камере // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2020. Т. 22. № 6. 130-142 с.

9. Солуянов Ю. И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Солуянов В.И. Анализ фактических электрических нагрузок помещений общественного назначения,



встроенных в жилые здания // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 6. 134-147 с.

10. Абдуллазянов Э.Ю., Грачева Е.И., Горлов А.Н.[и др.] Исследование качества функционирования электрических аппаратов низкого напряжения в составе электротехнических комплексов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 6. 3-15 с.

11. Синюков А.В., Синюкова Т.В., Грачева Е. И. [и др.] Оптимизированные бездатчиковые системы управления механизмами перемещения грузов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 6. 87-98 с.

621.316.11

## **ПОСТРОЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ МЕТОДОВ НЬЮТОНА-РАФСОНА И ГАУССА-ЗЕЙДЕЛЯ ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ С N УЗЛАМИ**

Р. Г. Хузяшев<sup>1</sup>, Нгуен Дык Хоан<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>142892@mail.ru, <sup>2</sup>ndh.sfy@gmail.com

<sup>1</sup>к.ф.-м.н., доцент кафедры ЭСИС КГЭУ, <sup>2</sup>студент кафедры ЭСИС КГЭУ

В данной статье представлены исследования и разработаны алгоритмы для методов Ньютона-Рафсона и Гаусса для расчета параметров распределительной электрической сети с n узлами. Результаты исследования (блок-схемы) используются для разработки и создания специализированного программного обеспечения для расчета параметров распределительной электрической сети с n узлами, что служит для проектирования, эксплуатации и управления электрической сетью.

**Ключевые слова:** энергосистема, распределительная энергосистема, поток мощности, метод Ньютона-Рафсона, метод Гаусса – Зейделя, блок-схема.

## **CONSTRUCTION AND STUDY OF ALGORITHMS FOR THE NEWTON-RAPHSON AND GAUSS-SEIDEL METHODS FOR CALCULATING THE PARAMETERS OF A DISTRIBUTION ELECTRICAL NETWORK WITH N NODES**

Khuziashev Rustem Gazizovich<sup>1</sup>, Nguyen Duc Hoan<sup>2</sup>

This article presents research and developed algorithms for the Newton-Raphson and Gauss methods for calculating the parameters of a distribution electrical network with n nodes. The results of the study (block diagrams) are used to develop and create specialized software for calculating the parameters of an electrical distribution network with n nodes, which serves to design, operate and manage an electrical network.

**Keywords:** power system, distribution power system, power flow, Newton-Raphson method, Gauss-Seidel method, block diagram.

Расчет потока мощности позволит найти потери мощности в ветвях и всей сети, тем самым определив потери мощности, как основу для оценки экономико-технических критериев. Расчет распределения напряжения в узлах распределительной сети позволит определить потери напряжения на ответвлениях и напряжение в узлах нагрузки. Результаты расчетов используются при проектировании и эксплуатации электросети. Кроме того, расчет потока мощности также определяет распределение тока по ветвям. Ток ответвления также является важным параметром, используемым для проверки проводов и оборудования в аварийных условиях [1].

Если сеть имеет n узлов, система узловых уравнений имеет вид [2]:

$$\begin{bmatrix} \dot{i}_1 \\ \dot{i}_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \dot{i}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{Y}_{11} & \dot{Y}_{12} & \dots & \cdot & \cdot & \dot{Y}_{1n} \\ \dot{Y}_{21} & \dot{Y}_{22} & \dots & \cdot & \cdot & \dot{Y}_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \dot{Y}_{n1} & \dot{Y}_{n2} & \dots & \cdot & \cdot & \dot{Y}_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{U}_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \dot{U}_n \end{bmatrix}$$

$$\text{Где: } \dot{Y}_{ij} = \frac{1}{\dot{z}_{ij}} = \frac{1}{r_{ij} + jx_{ij}}$$

$$\text{Или } \dot{i}_{\text{шин}} = \dot{Y}_{\text{шин}} \cdot \dot{U}_{\text{шин}} \quad (1)$$

Если мы знаем вектор  $\dot{I}_{\text{шин}}$  когда  $\dot{Y}_{\text{шин}}$  уже присутствует, мы рассчитаем напряжение в узлах методом инверсии матрицы:

$$\dot{U}_{\text{шин}} = [\dot{Y}_{\text{шин}}]^{-1} \cdot \dot{I}_{\text{шин}} \quad (2)$$

Для энергосистемы ток  $\dot{i}_{\text{шин}}$  в (1) также является неизвестной переменной и связан с напряжением в узлах ( $\dot{S} = \dot{U} \cdot \dot{i}$ ), поэтому невозможно определить решение  $\dot{U}_{\text{шин}}$  согласно (2). Использование итерационных методов решит проблему поиска  $\dot{U}_{\text{шин}}$  решений системы. В процессе исследования наиболее подходящими итерационными методами расчета распределения мощности являются метод Ньютона – Рафсона и метод Гаусса – Зейделя.

Построим уравнение распределения мощности следующим образом:

Закон Кирхгофа для электрического тока:

$$\begin{aligned}
 I_i &= y_{i0}U_i + y_{i1}(U_i - U_1) + y_{i2}(U_i - U_2) + \dots + y_{in}(U_i - U_n) \\
 &= (y_{i0} + y_{i1} + y_{i2} + \dots + y_{in})U_i - y_{i1}U_1 - y_{i2}U_2 - \dots - y_{in}U_n \\
 &= U_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij}U_j \quad (j \neq i)
 \end{aligned}$$

Закон распределения мощности [3]:

$$\begin{aligned}
 P_i + jQ_i &= U_i I_i^* \rightarrow I_i = \frac{P_i + jQ_i}{U_i^*} \\
 \frac{P_i + jQ_i}{U_i^*} &= U_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij}U_j \quad (j \neq i)
 \end{aligned}$$

Все используемые итерационные методы имеют точное значение ( $\epsilon$ ) для остановки итерации, алгоритм будет вычислять и повторять до тех пор, пока не будет выполнено указанное условие. В зависимости от метода и процесса итерации время итерации и количество повторений будут разными.

Основываясь на изложенной выше теории и итерационных методах Ньютона и Гаусса в математике, мы проводим исследования и строим алгоритмы этих методов для расчета распределительной сети [4]. После изучения мы можем строить алгоритмы в виде блок-схем следующим образом (Рис. 1).

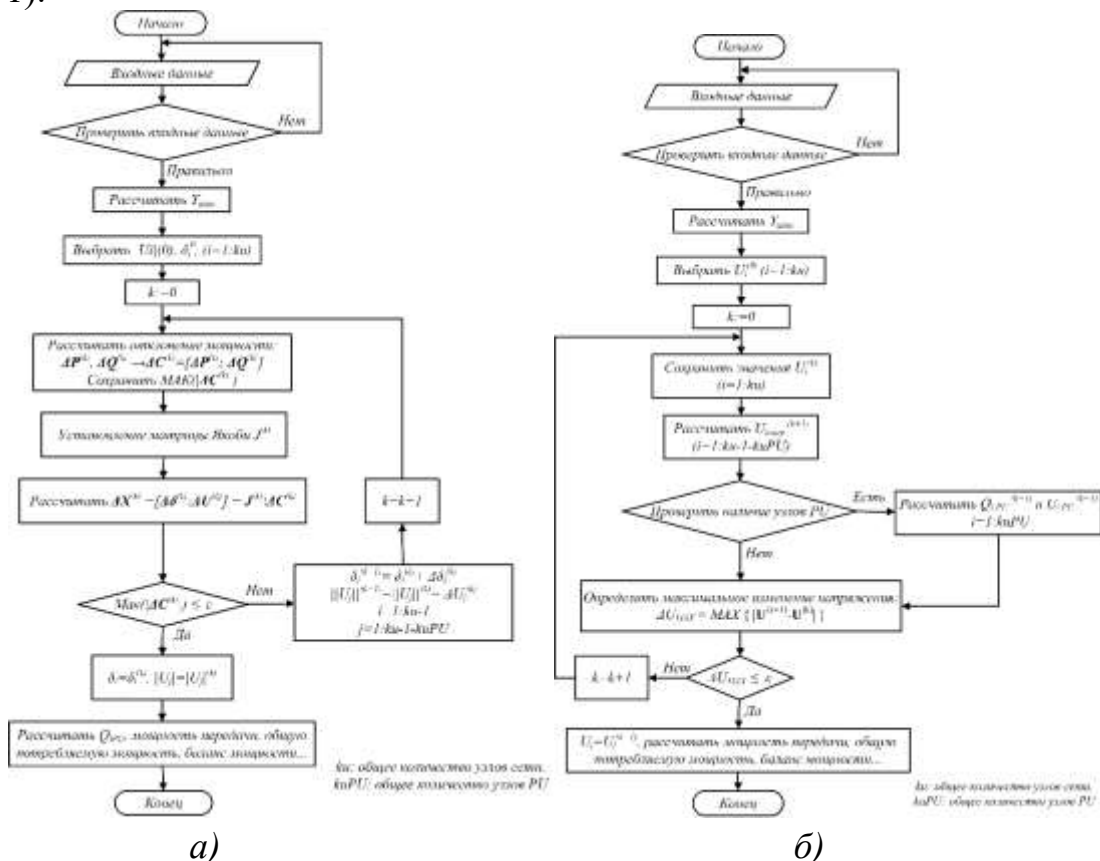


Рис. 1. Программная модель анализа электросетей (блок-схема)

а) Метод Ньютона – Рафсона; б) Метод Гаусса – Зейделя

Классификация узлов [5]:

- Узел PQ (узел нагрузки) – узел, в котором известны активная и реактивная мощности (при условии, что влияние частоты и напряжения на нагрузку не учитывается).

- Узел PU (узел регулировки напряжения) – узел с известной активной мощностью, величина напряжения поддерживается постоянной за счет излучения в узел реактивной мощности.

- Узел Uq (узел баланса мощности – узел системы), в этом узле напряжение известно как по величине, так и по углу фазы. Активная мощность и реактивная мощность в узле Uq не фиксированы, это также узел с наибольшей мощностью передачи.

Имея вышеперечисленные алгоритмы, приступаем к программированию программ расчета распределительной сети с  $n$  узлами, используя 2 метода Ньютона – Рафсона и Гаусса – Зейделя. Алгоритмы программирования программы позволяют находить параметры для энергосистем с  $n$  узлами ( $n$  не ограничено, но  $n$  не должно быть слишком большим, чтобы система давала быстрые результаты).

Глядя на приведенную выше матрицу, мы также видим, что, просто увеличивая на 1 узел, количество строк и столбцов матрицы также увеличивается аналогичным образом, поэтому время вычисления также увеличивается. Однако самым сложным моментом является увеличение количества узлов, тогда на каждой итерации нам приходится повторять еще 1 раз для каждого узла, поэтому, если мы вычисляем его вручную, увеличение хотя только 1 или 2 узлов также влияет на время расчета, при количестве узлов от 10 и более ручной расчет занимает очень много времени. Программное обеспечение будет выполнять вычисления с любыми  $n$  узлами, вычисления будут очень полезны для систем с большим количеством узлов.

Сегодня на рынке есть программное обеспечение для расчета энергосистем, в котором также используются аналогичные методы. Однако у этих программ есть определенные недостатки:

- Сложный в использовании, требует знания, обучения использованию и наличия определенных навыков в использовании; заполнение входных параметров, рисование схем занимает много времени (особенно когда узлов слишком много, тогда будет занимать очень много времени); за использование важных функций взимается плата; требуются определенные навыки чтения выходных данных; (Matlab Simulink, Симулятор Powerworld, ...). Есть программы, которые намного проще, отвечают требованиям времени и удобны в использовании, но эти программы могут решать только электрические системы с малым количеством узлов (от 3 до 6 узлов), с любым количеством узлов, эти программы еще не ответили.

Таким образом, программа, которую мы построили, решает вышеуказанные недостатки, а именно: бесплатно; любой может использовать (даже если они ничего не знают о Matlab или Matlab Simulink или Симулятор Powerworld); ввод данных чрезвычайно быстр, прост и удобен; интуитивность в том, как легко отображать и изменять данные. результаты отображаются в соответствии с личными пожеланиями, легко понять, легко читать в файле Excel; алгоритмы могут использоваться как подпрограммы, служащие позже для разработки других программ; программа позволяет выбрать метод расчета в соответствии с вашими потребностями; используйте программу для сравнения преимуществ и недостатков двух методов, результаты этого сравнения покажут, какой метод лучше в каждом случае; программное обеспечение также подходит для обучения благодаря своей интуитивности.

Обычно в области энергосистема обычно имеет от 50 до 80 узлов, программа проверяется на эффективность на основе расчета параметров для электрической сети с 82 узлами в области во Вьетнаме, результаты показывают, что эффективность программы положительна и реалистично, погрешность невелика, а данные очень близки к региональным реалиям.

### **Источники**

1. Сидорова В.Т., Карчин В.В. Перераспределение потоков мощностей в сложноразветвленных воздушных сетях 10 кВ для уменьшения потерь и улучшения качества электроэнергии. Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2016;(11-12):51-55.

2. Мотовилов А.И., Соловьев И.И. Онлайн оценка пропускной способности электрической сети. Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2020;22(3):51-59.

3. Шатова Ю. А. Передача и распределение электроэнергии: учебное пособие / Шатова Ю. А., Бростилова Т. Ю. Пенза : Изд-во ПГУ, 2017. 42–46 с.

4. Медведева С.Н. "Математические задачи в электроэнергетике". - Пенза: Изд-во ПГУ, 2019. 25–31 с.

5. Любченко В. Я., Родыгина С. В. Применение математического моделирования в задачах электроэнергетики: учебное пособие. – Пенза : Изд-во НГТУ, 2018. 48–53 с.

6. Волков Л.Т. Математические задачи энергетики. Типовые задачи: Учеб. пос. / Энергия, 2003.

7. Гордиевский И.Г., Лордкипанидзе В.Д. Оптимизация параметров электрических сетей – М.: Энергия, 1978. 114 с.

8.Валиуллина Д.М., Ильясова Ю. К., Козлов В.К. Качественные методы спектрального анализа в диагностике трансформаторных масел // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2019. Т. 21. № 1-2. 87-92 с.

9.Дремичева Е.С., Зверева Э.Р., Бурганова Ф.И., Зверев Л.О. Перспективы технологии совместного сжигания биомассы и угля на объектах энергетики // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 1. 119-130 с.

10.Козлов, В.К., Сабитов А. Х. Степень полимеризации бумажной изоляции силовых трансформаторов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2018.Т. 20. № 9-10. 34-38 с.

11.Липантьев, Р.Е., Тутубалина В.П. Влияние сжигания сернистых мазутов на окружающую среду // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2017. Т. 19. № 5-6. 144-148 с.

12. Стимулирование развития электротранспорта как инструмент развития территории / Ю. С. Валеева, М.В. Калинина, Т. Г. Зорина, И. Г. Ахметова // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 1(53). С. 155-172. EDN UCKMFG.

УДК 621.317.791

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ГОРОДСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА ПУТЕМ АНАЛИЗА КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ СИСТЕМЫ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

Черепенькин Иван Вячеславович<sup>1</sup>, Хуснутдинов Азат Назипович<sup>2</sup>

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

iwan.tcherepenkin@yandex.ru

В данном тезисе исследуется проблема повышения эффективности работы электроподвижного состава городского электрического транспорта, путем оценки показателей качества электрической энергии. Приводятся характеристики основных показателей качества электрической энергии, рассмотрен уровень их воздействия на тяговую электрическую сеть. В результате анализа показателей качества электрической энергии предложена структурная схема микроконтроллерного устройства регистрации исследуемых величин, позволяющая в режиме реального времени произвести оценку качества тяговой сети, а также имеющая возможность хранения данных полученных измерений.

**Ключевые слова:** показатели качества, напряжение, тяговая сеть, электроподвижной состав.

# IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE URBAN ELECTRIC TRANSPORT SYSTEM BY ANALYZING THE QUALITY OF ELECTRICAL ENERGY OF THE TRACTION POWER SUPPLY SYSTEM

Cherepenkin Ivan Vyacheslavovich<sup>1</sup>, Khusnutdinov Azat Nazipovich<sup>2</sup>

This thesis explores the problem of improving the efficiency of electric rolling stock of urban electric transport, by assessing the quality indicators of electrical energy. The characteristics of the main indicators of the quality of electrical energy are given and the level of their impact on the traction electric network is considered. As a result of the analysis of electric power quality indexes the structural diagram of microcontroller device for registration of researched values, allowing in real time mode to make estimation of traction network quality, as well as having a possibility to store the data of received measurements, is offered.

**Keywords:** quality indexes, voltage, traction network, electric rolling stock.

Скорость движения электроподвижного состава ГЭТ постоянного тока в первую очередь зависит от значения напряжения на его токоприемнике.

Тяговые расчеты, определяющие основные условия работы электроподвижного состава и контактной сети производятся для номинальных значений напряжений соответствующего вида городского электрического транспорта. Однако условия работы электроподвижного состава таковы, что под влиянием некоторых негативных природных и технических факторов, напряжение на токоприемнике имеет постоянно изменяющуюся тенденцию работы, исходя из чего, времена хода в большей степени отличаются от значений, полученных в тяговых расчетах.

Существует 11 показателей качества электрической энергии, сюда относятся:

- установившееся значения отклонений напряжения;
- значение коэффициента временного перенапряжения;
- величина размаха проведенного изменения напряжений;
- величина дозы фликера;
- синусоидальность кривой напряжения с описывающим ее коэффициентом искажения;
- значение коэффициента  $n$ -ой гармоники напряжения;
- значение длительности провала напряжений;
- значение коэффициент несимметрии напряжения (по отношению к нулевой составляющей последовательности);
- зависимость отклонения частоты от номинального значения;
- значение коэффициента несимметрии напряжения (по отношению к обратной составляющей последовательности);

- импульсная составляющая напряжения.

Каждый показатель качества характеризуется двумя установленными ГОСТом видами норм: предельно допустимыми и нормально допустимыми. Качество электроэнергии для каждого показателя считается удовлетворительным лишь в том случае, если в течении 95% суточного времени действующие значения показателей качества не превосходят нормально допустимого значения, а в остальной промежуток времени его предельного значения.

Одним из наиболее значимых показателей качества электрической энергии для ЭПС является значение установившегося отклонения напряжения.

В численном виде отклонение напряжения представляет собой разность между действительным  $U$  и номинальным  $U_{ном}$  значениями напряжения на токоприемниках подвижного состава.

$$\delta U = \frac{U - U_{ном}}{U_{ном}} \cdot 100\%$$

Если номинальное напряжение выше действительного, то отклонение отрицательно и наоборот. Предельно допустимые и нормально допустимые значения установившегося уровня отклонения напряжения на входах приемников электрической энергии равны соответственно  $\pm 10$  и  $\pm 5$  % от номинального значения напряжения питающей сети.

Провал напряжения характеризуется длительностью  $\Delta t_n$  и глубиной  $\delta U_n$  провала. Предельно допустимое значение длительности провала составляет 30с. Глубина провала определяется по выражению:

$$\delta U_n = \frac{|U_{ном} - U_{min}|}{U_{ном}} \cdot 100\%$$

Под колебанием напряжения понимается изменение напряжения, происходящее со скоростью 1...2% в секунду и более. Подразумевается, что при данном процессе скорость поезда измениться не успевают, так как промежутки протекания процесса ничтожно малы.

Импульсу напряжения соответствует резкое изменение напряжения в точке электрической сети за которым следует восстановление напряжения до первоначального. Импульс напряжения нормируется его максимальным значением  $U_{max}$  и длительностью  $\Delta t_{имп0,5}$ . При этом длительность фронта не должна превышать 5мс.

Длительность импульса оценивается выражением:



$$\Delta t_{имп0,5} = t_{к0,5} - t_{п0,5}$$

Где  $t_{к0,5}$  и  $t_{п0,5}$  - начальный и конечный момент времени, соответствующие пересечению кривой импульса напряжения горизонтальной линией, проведенной на половине амплитуды импульса.

Работа системы тягового электроснабжения ГЭТ имеет свои существенные особенности относительно других систем энергоснабжения. Для средств ГЭТ, в частности, трамвая, троллейбуса и системы метрополитена, ГОСТ 6962—75 «Транспорт электрифицированный с питанием от контактной сети. Ряд напряжений» от 01.01.1977 года, установлены номинальные значения напряжений постоянного тока на токоприемнике электроподвижного состава. (таблица 1).

Для полноценной правильности понимания данного ГОСТа следует ввести такие термины, как «наибольшее» и «наименьшее напряжение».

Наибольшее напряжение - максимально допускаемая величина значения напряжения на питающих шинах тяговой подстанции и токоприемнике электроподвижного состава при любых условиях процесса эксплуатации. Исключением является только работа в коммутационных режимах.

Наименьшее напряжение – минимально допустимая величина значения напряжения на питающих токоприемниках электроподвижного состава при любых условиях процесса эксплуатации. Как и для наибольшего значения напряжения, исключением является лишь работа в коммутационных режимах.

Таблица 1

ГОСТ 6962-75 «Транспорт электрифицированный с питанием от контактной сети. Ряд напряжений»

Вид электрифицированного транспорта	Напряжение, В				
	На шинах тяговой подстанции		На токоприемнике электроподвижного состава		
	номинальное	наибольшее	номинальное	наибольшее	наименьшее
Для городского электрифицированного транспорта					
Трамвай	600	975	550	700	400
Троллейбус	600	700	550	700	400
Метрополитен	825	700	750	975	550
При процессе рекуперации	-	720	-	720	400

Одним из самых опасных для электроподвижного состава скачков параметров сети является возникновение в тяговой сети перенапряжений, в связи с влиянием определенных внешних и внутренних факторов.

Среди перечисленных факторов одним из наиболее негативно оказывающих влияние на техническое и эксплуатационное состояние электроустановок является возникновение значительных перенапряжений. Несмотря на то, что длительность протекания перенапряжений значительно мала, сугубо негативный характер его воздействия обуславливается наличием высокой кратности относительно значений длительного номинального напряжения, а так же способностью воздействовать на все электрически взаимосвязанные элементы энергосистемы, несмотря на место его приложения.

Исходя из вышесказанного, любое положительное отклонение величины мгновенного значения напряжения от амплитуды наибольшего предельно допустимого значения рабочего напряжения следует обозначать как перенапряжение.

Надежная и стабильная энергообеспеченность процесса пассажироперевозок средствами ГЭТ в данное время полностью не возможна в связи со значительными скачками параметров сети в определенные моменты времени или на определенном участке цепи.

Для создания системы контроля параметров системы тягового электроснабжения в первую очередь требуется создание прибора регистрации напряжения сети при различных режимах работы ПС, в разные промежутки времени.

Данный прибор должен позволять измерять напряжения и перенапряжения с последующей реализацией процесса сбора и передачи информации в диспетчерскую службу, а так же быть простым в использовании, точным и не дорогим по себестоимости и обслуживанию.

Простейшая схема подобного устройства выглядит следующим образом (Рис.1).

В зависимости от способа передачи данных, структурная схема прибора может отличаться.

Спроектированное по данной схеме устройство позволит определять различные параметры сети ГЭТ, а в частности перенапряжения сети, вызванные различными факторами, которые приводят к аварийным ситуациям на электроподвижном составе, что в свою очередь может принести угрозу жизни и здоровью пассажиров, а так же привести к полному выводу ПС из строя.

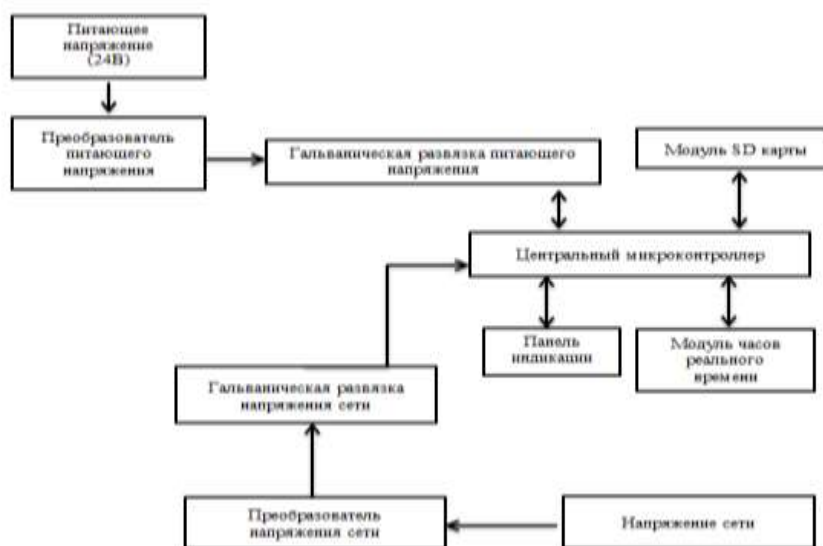


Рис. 1 Структурная схема системы регистрации напряжения сети работы ЭПС

Качественно проанализированные данные, полученные в результате работы системы, позволят определить природу и характер перенапряжений сети. Что в свою очередь способствует устранению данной проблемы в целом.

### Источники

1. Библия электрика. ПУЭ, МОПОТ, ПТЭ. Новосибирск: Изд-во Сибирского университета, 2009. 688 с.
2. Новое поколение тяговых подстанций горэлектротранспорта / пол ред. Б.С. Финкельштейна. М., 2002. 41 с.
3. Нормы и правила проектирования систем электроснабжения трамваев и троллейбусов. М.: ОНТИ АКХ, 1983. 56 с.
4. Правила устройства систем тягового электроснабжения железных дорог РФ. – М., 1997. 688 с.
5. ГОСТ 6962-75. Транспорт электрифицированный с питанием от контактной сети. Ряд напряжений.
6. Бородин М.В., Виноградов А.В., Букреев А.В., Панфилов А.А. Структура времени определения источника искажений показателей качества электрической энергии и программно-аппаратный комплекс для его сокращения. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021;23(6):29-41.
7. Крюков А.В., Любченко И.А. Улучшение качества электроэнергии в системах электроснабжения стационарных объектов железнодорожного транспорта. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021;23(6):53-65.

8. Качанов А.Н., Коренков Д.А., Ревков А.А., Максимов В.В., Воркунов О.В. Моделирование процессов высокочастотной сушки деревянных опор в вакуумной камере // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2020. Т. 22. № 6. 130-142 с.

9. Солуянов Ю. И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Солуянов В.И. Анализ фактических электрических нагрузок помещений общественного назначения, встроенных в жилые здания // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 6. 134-147 с.

10. Абдуллазянов Э.Ю., Грачева Е.И., Горлов А.Н.[и др.] Исследование качества функционирования электрических аппаратов низкого напряжения в составе электротехнических комплексов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 6. 3-15 с.

10. Синюков А.В., Синюкова Т.В., Грачева Е. И. [и др.] Оптимизированные бездатчиковые системы управления механизмами перемещения грузов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 6. 87-98 с.

УДК 621.316.1.1:311

## **ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ СИГНАЛИЗИРОВАНИЯ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ НА ОПОРАХ ВЛ 6-10 кВ**

Чернышов В.А.<sup>1</sup>, Коренков Д.А.<sup>2</sup>, Чернышова Л.А.<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Россия, г. Орёл, ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева»

<sup>1</sup>blackseam78@mail.ru, <sup>2</sup>dimas.corenkov@yandex.ru, <sup>3</sup>lyudmilamyskina@mail.ru

**Аннотация:** Обоснована целесообразность применения способа сигнализации однофазных замыканий на землю на опорах ВЛ 6-10 кВ при помощи светодиодных источников света, реализующих режимы дежурного освещения и стробоскопа. Рассмотрены специфика функционирования предлагаемого способа и инженерные решения для его реализации.

**Ключевые слова:** ВЛ 6-10 кВ, однофазные замыкания на землю, шаговое напряжение, электротравматизм, дежурное освещение, стробоскопическая сигнализация.

## **RATIONALE OF THE FEASIBILITY OF SIGNALING SINGLE-PHASE FAULT TO EARTH ON SUPPORTS OF VL 6-10 kV**

Chernyshov V.A.<sup>1</sup>, Korenkov D.A.<sup>2</sup>, Chernyshova L.A.<sup>3</sup>

**Abstract:** The expediency of using the method of signaling single-phase ground faults on poles of 6-10 kV overhead lines using LED light sources that implement standby lighting and strobe modes is substantiated. The specifics of the functioning of the proposed method and engineering solutions for its implementation are considered.

**Key words:** 6-10 kV overhead lines, single-phase earth faults, step voltage, electrical injury, emergency lighting, stroboscopic alarm.

Несмотря на тот факт, что с момента введения в эксплуатацию воздушных распределительных электрических сетей с изолированной нейтралью прошло более века, они так и не избавились от присущих им хронических недостатков, таких как низкая надежность функционирования и высокая степень опасности [1].

Для каждого специалиста электроэнергетического профиля, данные электрические сети ассоциируются, прежде всего, с такими терминами и понятиями как, пробой изоляторов, затяжной поиск повреждения, однофазное замыкание на землю (ОЗЗ), двойное замыкание на землю (ДЗЗ), перенапряжение в сети, опасное шаговое напряжение и электротравматизм [2].

Согласно требованиям [3], безопасность воздушных электрических сетей 6-10 кВ и любого другого класса напряжения обеспечивается наличием охранной зоны. Основное назначение которой – устранить негативное воздействие электромагнитного поля на организм человека, а также потенциальную угрозу его жизни вследствие электротравматизма, т.к. жизнедеятельность человека в охранной зоне строго регламентирована. [11]. Вместе с тем, собственники и пользователи участков, попадающих в охранную зону ВЛ 6-10 кВ имеют право использовать их под сельскохозяйственные нужды и даже кратковременно осуществлять выпас или перегон сельскохозяйственных животных. При этом, недальновидными последствиями такой хозяйственной деятельности может являться:

- потеря части урожая или иной материальный ущерб при возникновении аварийной ситуации, на проходящей по участку ВЛ 6-10 кВ, в связи с выполнением на ней ремонтно-восстановительных работы, в том числе и с применением различной спецтехники;

- гибель или электротравма человека или животного, оказавшихся в охранной зоне аварийного участка ВЛ 6-10 кВ, вследствие воздействия шагового напряжения или напряжения прикосновения.

Нельзя забывать и о том, что для оперативной выездной бригады (ОВБ), процесс обнаружения ОЗЗ на ВЛ 6-10 кВ также является весьма опасным и сложным процессом, особенно в плохих погодных условиях (ветер, дождь, туман, метель), а также в темное время суток [2].

Ситуация такова, что после появления ОЗЗ в 1-й из фаз ВЛ 6-10 кВ, напряжение на 2-х остальных, неповрежденных фазах во всей электрически связанной сети, увеличится по отношению к земле в  $\sqrt{3}$ . Это в свою очередь может стать причиной возникновения в 1-й из них повторного пробоя изоляции – ДЗЗ, при котором сработает автоматическая токовая отсечка на 1-й или 2-х ВЛ 6-10 кВ, реагирующая на ток ДЗЗ, который в отличие от тока ОЗЗ представляет собой гораздо большую опасность для людей и животных, находящихся вблизи места его кратковременного стекания на землю. В условиях ограниченной видимости персонал ОВБ не всегда успевает оперативно обнаруживать место возникновения ОЗЗ, и поэтому оно в большинстве случаев переходит в ДЗЗ с автоматическим отключением только 1-й из ВЛ 6-10 кВ, а 2-я ВЛ 6-10 кВ с ОЗЗ продолжает свою работу. Рассмотренная ситуация может неоднократно повторяться, что приводит к снижению надежности электроснабжения потребителей и увеличению потенциальной опасности их электропоражения.

В настоящее время для ускорения процесса отыскания места ОЗЗ на ВЛ 6-10 кВ применяются регистраторы и индикаторы короткого замыкания разных модификаций, в том числе интегрируемые в систему телемеханики воздушной распределительной электрической сети [4, 5]. Однако световой указательный и индикаторный режимы их работы в условиях ограниченной видимости не всегда позволяет оперативно определять место возникновения ОЗЗ, а соответственно не обеспечивает должного уровня безопасности ведения поисковых работ, что весьма ограничивает масштабы их применения. [9].

Таким образом, разработка и апробация новых способов и устройств, обеспечивающих высокий уровень безопасности и надежности ВЛ 6-10 кВ, имеет крайне важное значение, не только для электросетевых компаний, но и для предприятий агропромышленного сектора [6].

Авторы данной публикации имеют основания полагать, что применение на железобетонных опорах ВЛ 6-10 кВ стационарных светотехнических приборов, реализующих режимы дежурного освещения и световой стробоскопической сигнализации ОЗЗ на потенциально опасных участках ВЛ 6-10 кВ, может стать весьма эффективным решением существующей проблемы. Так как это позволит в условиях ограниченной видимости в значительной степени повысить безопасность и эффективность процесса обнаружения ОЗЗ работниками ОВБ, а также повысит безопасность работников агропромышленного сектора, выполняющих свои трудовые функции в охранной зоне ВЛ 6-10 кВ (посев, обработка и уборка сельскохозяйственных культур, а также выпас и перегон животных и др.).

На рисунке 1 отображена работа дежурного освещения и световой стробоскопической сигнализации, направленная на обеспечение безопасной и надежной эксплуатации ВЛ 6-10 кВ [7].

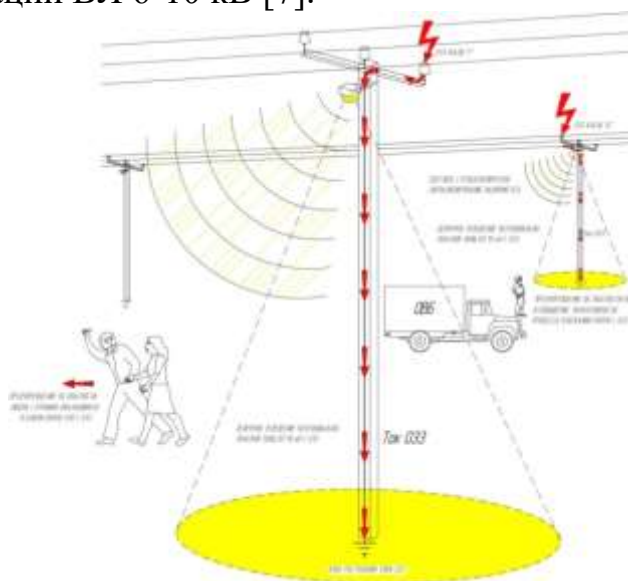


Рис. 1. Работа дежурного освещения и световой стробоскопической сигнализации, направленная на обеспечение безопасной и надежной эксплуатации ВЛ 10 кВ

Для выбора осветительного прибора (светодиодного прожектора), устанавливаемого на опоре необходимо знать параметры охранной зоны. Охранная зона ВЛ 6-10 кВ представляет территорию в виде земельного участка и воздушного пространства, которые ограничиваются параллельными плоскостями, отстоящими по обе стороны от линии на расстоянии 10 метров от ее крайних проводов. Расстояние между опорами с неизолированными проводниками для разных ветровых нагрузок и толщиной корки обледенения до 25 мм принимается: в населенных пунктах 45-72 метра, вне населенных пунктов 54-87 метров. Таким образом, площадь потенциально опасной зоны между двумя соседними опорами ВЛ 6-10 кВ в среднем составляет 600 м<sup>2</sup>.

Учитывая, что на каждой из опор ВЛ 6-10 кВ предполагается устанавливать только один светодиодный прожектор, формирующий пучок светового потока с углом рассеивания 120°, по разные стороны от опоры, площадь поверхности, охватываемая им, составит 300 м<sup>2</sup>.

Экспертный опрос специалистов позволил установить, что освещенность в потенциально-опасной зоне в 10 люкс позволит человеку комфортно находиться и ориентироваться в темное время суток, таким образом, мощность светодиодного прожектора составит  $W=300 \times 10=3000$  Лм. Из практики известно, что светодиодные прожекторы обеспечивают на 1 Ватт мощности 100 Люмен яркости светильника при высоте подвеса светильника 10 м, таким образом, мощность светодиодного прожектора принимается равной 30 Вт [8].

Чтобы определить на каком расстоянии от источника света световой поток образует площадь, равную 300 м<sup>2</sup> с освещенностью в 10 люкс воспользуемся формулой:

$$R=5,65\sqrt{W/L}, \quad (1)$$

где  $W$  – это мощность осветительного прибора;


$L$  – это стандартная освещенность, Лм.

$R=5,65 \times \sqrt{30/10}= 9,8$  м. Округляем до 10 м.

Таким образом, для формирования нормального дежурного освещения и стробоскопической сигнализации на потенциально опасных участках ВЛ 6-10 кВ на каждой опоре на высоте 10 метров необходимо установить один светодиодный прожектор мощностью 30 Вт.

Учитывая, что осветительные приборы, устанавливаемые на опорах ВЛ 6-10 кВ, должны длительно выдерживать воздействие неблагоприятных погодноклиматических факторов и быть недорогими в ремонте и эксплуатации [6], выбираем светодиодный прожектор GALAD Эверест-30Р-Н, основные технические характеристики которого представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Основные технические характеристики светодиодного прожектора GALAD Эверест -30Р-Н

№ п/п	Наименование показателя, характеристики	Значение показателя, характеристики
1	Потребляемая мощность	30 w
2	Температура цвета, К	6500
3	Входное напряжение	AC85-265V/переменного тока, 50-60 Гц
4	Цветовая температура	2700-7500 К
5	Световой луч	120 °
6	Ip-рейтинг	IP65 IP67
7	Внешний вид	

Для эффективной реализации дежурного освещения и световой стробоскопической сигнализации ОЗЗ на потенциально опасных участках ВЛ 6-10 кВ, потребуется решить еще ряд технических задач, в числе которых разработка: системы электропитания, системы автоматического включения соответствующего режима (от датчиков тока, освещенности, движения), системы дистанционного включения, выключения и переключения режимов



работы (с использованием собственной инфраструктуры сети, беспроводных каналов связи), дублирующей сигнализации (звуковой, ультразвуковой) [7-14].

В заключении следует отметить, что предлагаемое мероприятие может существенно повысить надежность работы и электробезопасность ВЛ 6-10 кВ, что позволит изменить укоренившееся негативное отношение специалистов и обывателей к распределительным сетям данного класса напряжения.

### **Источники**

1. Качанов, А.Н. Теоретические аспекты краткосрочного прогнозирования однофазных замыканий на землю в воздушных распределительных сетях 10 кВ / А.Н. Качанов, В.А. Чернышов, Е.А. Печагин, А.В. Кобелев // Вести высших учебных заведений Черноземья. 2020. № 2 (60). 28-38 с.

2. Чернышов В.А. Повышение электробезопасности и эффективности функционирования воздушных электрических сетей 6-10 кВ в густонаселенных сельскохозяйственных районах / В.А. Чернышов, Л.А. Чернышова // Охрана труда и техника безопасности в сельском хозяйстве. 2011. №3. 37-39 с.

3. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). 7-е изд. – М.: Изд-во ЕЦ «ЭНАС», 2013.

4. Тарасов К.В. Использование индикаторов короткого замыкания в воздушных распределительных сетях 6 – 10 кВ / К.В. Тарасов// Электроэнергия. Передача и распределение. –2014. – №4 (25). 73-74 с.

5. Пат. 2457595 РФ, МПК H02H003/16, G01R031/08. Регистратор величины тока замыкания на землю для опор линии электропередачи / Чернышов В.А. Чернышова Л.А.; патентообладатель Орловский государственный аграрный университет. № 2011117395/07; заявл. 29.04.2011; опубл. 27.07.2012, Бюл. № 21. 7 с.

6. Чернышов В.А. Обоснование комплексной целесообразности применения дежурного освещения и световой стробоскопической сигнализации на потенциально опасных участках ЛЭП 10 кВ/ В.А. Чернышов// Вестник аграрной науки. – 2018. - №2(71). 65-73 с.

7. Пат. 2320062 РФ, МПК H02J13/00, G01R 31/08. Способ повышения безопасности при возникновении замыканий на землю в электрических сетях с изолированной нейтралью / Гавриченко А.И., Чернышов В.А., Чернышова Л.А., Чернышов А.А.; патентообладатель Орловский государственный аграрный университет. № 2006138514/09; заявл. 31.10.2006; опубл. 20.03.2008, Бюл. № 8. 5 с.

8. Федотов А. И. Методики оценки устойчивости синхронных двигателей при трехфазных коротких замыканиях в системе внешнего электроснабжения / А. И. Федотов, Р. Э. Абдуллазянов, Р. М. Мударисов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2019. Т. 21. № 3-4. 102-112 с.

9. Бурянина Н. С., Васильева К. П., Королюк Ю. Ф. Определение места короткого замыкания на линиях электропередачи 110 КВ и выше по мгновенным значениям токов и напряжений // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2017. – Т. 19. – № 3-4. 107-118 с.

10. Закарюкин, В. П. Анализ применимости упрощенных моделей внешней сети для определения токов короткого замыкания в системах тягового электроснабжения железных дорог / В. П. Закарюкин, А. В. Крюков, Е. А. Алексеенко // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2017. Т. 19. № 11-12. 12-20 с.

11. Арестова, А. Ю. Алгоритм расчета показателей энергоэффективности оборудования нефтегазодобывающего предприятия / А. Ю. Арестова, В. Н. Ульянов, М. Ю. Фролов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 6. 16-28 с.

12. Козлов В.К., Гарифуллин М.Ш., Сабитов А.Х., Гиниатуллин Р.А. Люминесцентные свойства бумажной изоляции маслонаполненных трансформаторов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2018. Т. 20. № 11-12. 144-151 с.

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

14. Филимонова А.А., Чичиров А.А., Чичирова Н.Д. [и др.] Перспективы развития водородной энергетики в Татарстане // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2020. Т. 22. № 6. 79-91 с.

УДК 621.517.4

## **ПРИМЕНЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ СТРЕЛЫ ПРОВЕСА ПРОВОДОВ НА ЛЭП 6-10 кВ**

Чернышов В.А.<sup>1</sup>, Лошкарев М.О<sup>2</sup>

Россия, г. Орёл, <sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева»

blackseam78@mail.ru<sup>1</sup>, maxim.loshkarev@mail.ru<sup>2</sup>

**Аннотация:** Обоснована целесообразность применения нового способа дистанционного автоматического контроля и регулирования стрелы провеса проводов на ЛЭП 6-10 кВ. Рассмотрены специфика функционирования предлагаемого мероприятия и схемотехнические решения для его реализации.

**Ключевые слова:** воздушные ЛЭП 6-10 кВ, стрела провеса, обрыв провода, схлестывание провода, пережог провода, дистанционный контроль, автоматический контроль и регулирование.

## **APPLICATION OF REMOTE AUTOMATIC CONTROL AND REGULATION OF THE WIRE SLAG ON 6-10 kV PTL**

Chernyshov V.A.<sup>1</sup>, Loshkarev M.O.<sup>2</sup>

**Abstract:** The expediency of using a new method of remote automatic control and regulation of the wire sag on a 6-10 kV power transmission line is substantiated. The specifics of the functioning of the proposed measure and circuit solutions for its implementation are considered.

**Key words:** overhead transmission lines 6-10 kV, sag, wire break, wire whipping, wire burn, remote control, automatic control and regulation.

На современном этапе развития Российской энергетики общая протяженность распределительных сетей среднего класса напряжения 6-10 кВ, составляет более одного миллиона километров.

Можно с уверенностью считать, что надежность, безопасность и экологичность воздушных линий электропередачи (ВЛЭП) напряжением 6-10 кВ, являются одними из основных показателей, существенным образом влияющих на стабильное развитие Российской экономики, т.к. они непосредственным образом определяют эффективность функционирования агропромышленных предприятий. Вместе с тем, обзор статистических данных, указывает на высокий уровень аварийности ВЛЭП 6-10 кВ, достигающий 70 % от общего объема повреждений возникающих в электросетевом комплексе РФ.

Анализ аварийных повреждений на ВЛЭП 6-10 кВ указывает на то, что наиболее распространённой причиной их возникновения являются обрывы проводов, которые в большинстве случаев обусловлены недопустимым уровнем стрелы провеса.

Основными причинами, приводящими к недопустимому провисанию проводов на ВЛЭП 6-10 кВ являются: влияние погодно-климатических факторов [1, 2], воздействие флоры и фауны [3, 4], технические просчеты на стадиях проектирования и строительства [5, 6], а также нарушения правил технической эксплуатации электроустановок.

Комплексное влияние вышеперечисленных причин со временем приводит к увеличению стрелы провеса проводов на участках ВЛЭП 6-10 кВ до критических значений. При этом возникают обрывы проводов, вследствие большой амплитуды их перемещения, обуславливающей их схлестывание и пережог, а также повреждение в местах их крепления к изоляторам. Кроме того,

вероятность обрыва провисших проводов ВЛЭП 6-10 кВ значительно повышается при передвижении под ними крупногабаритной автотракторной техники.

Несмотря на то, что научным сообществом предлагаются все новые варианты решения существующей проблемной ситуации, аварийность на ВЛЭП 6-10 кВ, вызванная обрывами проводов неуклонно растет, при этом динамика роста проявляет все более заметный негативный характер. Данная ситуация обусловлена рядом объективных причин, к числу которых относятся нехватка финансовых средств, а также недостаток инженерных кадров [7, 8].

Распространенная практика проведения ремонтно-восстановительных работ на участках ВЛЭП 6-10 кВ, характеризующаяся выездом электромонтажной бригады для осуществления непосредственного визуального контроля и ручного регулирования стрелы провеса проводов, на современном этапе развития науки и техники является малоэффективным мероприятием [9, 10, 11].

Авторы данной публикации предполагают, что наиболее простым и вместе с тем действенным мероприятием, направленным на поддержание стрелы провеса проводов в оптимальном диапазоне, может служить новое инженерно-техническое решение, обеспечивающее дистанционный автоматический контроль и регулирование стрелы провеса проводов [12].

Схемотехническая реализация предлагаемого инженерно-технического решения основана на комплексном использовании микропроцессорного контроля и управления, пневматического позиционирования, вибрационного воздействия, а также беспроводных каналов связи.

Специфика функционирования предлагаемого инженерно-технического решения поясняется рисунком 1, на котором представлен внешний вид железобетонной опоры ВЛЭП 6-10 кВ, оборудованной устройством дистанционного автоматического контроля и регулирования стрелы провисания проводов.

Предлагаемое устройство работает следующим образом (см. рис. 1).

Необходимый уровень поднятия траверсы 2, относительно земли, обеспечивается системой пневматического позиционирования 1, которая состоит из следующих элементов: раздвижного металлического корпуса; пневматической камеры; компрессора; электродвигателя.

Микропроцессорный блок управления 5 посредством ультразвуковых датчиков, смонтированных на его корпусе, контролирует стрелу провисания проводов 3 и в случае необходимости активизирует в работу электродвигатель компрессора, подающего воздух в пневматическую камеру, а также электропривод вибратора, распространяющего по проводам 3 механические колебания, способствующие более эффективному проскальзыванию провода в

вязке изолятора. При расширении пневматической камеры происходит перемещение секции раздвижного металлического корпуса, приводящее к изменению высоты подъема траверсы 2 относительно земли до тех пор, пока датчики не зафиксируют оптимальную стрелу провеса проводов 3, после чего блок управления 5 отключит электродвигатели компрессора и вибратора 6.

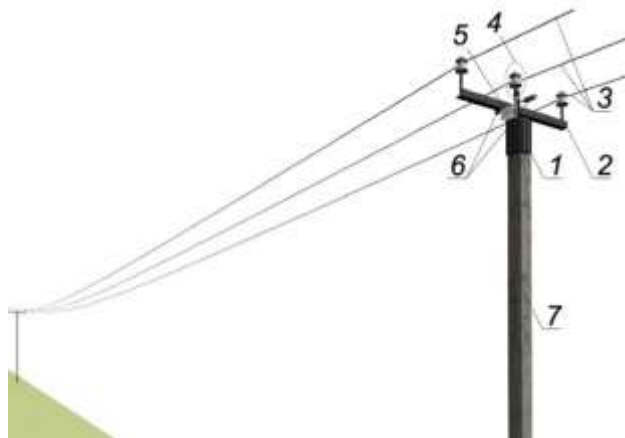


Рис. 1. Внешний вид железобетонной опоры ВЛЭП 6-10 кВ, оборудованной устройством дистанционного автоматического контроля и регулирования стрелы провисания проводов

При возникновении неблагоприятных погодных факторов (снегопад, гололед, ветер и др.) микропроцессорный блок управления 5 может получать команду по беспроводному каналу связи с диспетчерского пункта управления на принудительное изменение стрелы провеса (в большую или меньшую сторону) и включение электропривода вибратора 6.

Для питания системы дистанционного автоматического контроля и регулирования стрелы подвеса проводов 3 используется источник питания 3, использующий принцип работы кабельного трансформатора [12, 13].

На основании вышеизложенного, авторами рассмотрены теоретические аспекты использования нового инженерно-технического мероприятия, способного существенным образом повысить эффективность функционирования воздушных распределительных сетей 6-10 кВ не требующего при этом серьезных капитальных вложений на реализацию [14-17].

### Источники

1. Качанов, А.Н. Теоретические аспекты краткосрочного прогнозирования однофазных замыканий на землю в воздушных распределительных сетях 10 кВ / А.Н. Качанов, В.А. Чернышов, Е.А. Печагин, А.В. Кобелев // Вести высших учебных заведений Черноземья. 2020. № 2 (60). С.28-38

2. Кабашов, В.Ю Влияние параметров пролета на аварийные отключения сельских ВЛ 6-10 кВ при воздействии ветра / В.Ю. Кабашов // Электротехнические и информационные комплексы и системы. № 4, т. 10, 2014
3. Чернышов, В.А. Результаты экспериментальных исследований в области экологии биотехнической системы "ЛЭП-Человек-Природа", их анализ и графическая интерпретация / Чернышов В.А., Чернышова Л.А.// Агротехника и энергообеспечение. 2014. № 1 (1). С. 515-521.
4. Чернышов, В.А. Проблема зарастания трассы ЛЭП в удаленных сельскохозяйственных районах и альтернативный вариант ее разрешения / В.А. Чернышов, Л.А. Чернышова // Менеджер-эколог. 2011. № 5-6. С. 55-59.
5. Хорольский, В.Я. Техничко-экономические расчеты распределительных электрических сетей / В.Я. Хорольский, М.А. Таранов, Д.В. Петров. – Ростов-на-Дону: изд. "Терра Принт", 2009. 132 с.
6. Мешков, Б.Н. Диагностика повреждений воздушных линий электропередачи в распределительном сетевом комплексе 10 кВ/Б.Н. Мешков, В.А., Чернышов // Инновации в сельском хозяйстве. 2015. № 2 (12). С. 87-91.
7. Мешков, Б.Н. Анализ влияния инвестиций в техническое обслуживание на частоту аварийных отказов ВЛ 6-10 кВ/ Б.Н. Мешков, В.А. Чернышов //Агротехника и энергообеспечение. 2014. № 3 (3). С. 54-63.
8. Чернышов, В.А. Способ мониторинга технического состояния элементов воздушной линии электропередач / Чернышов В.А., Виноградов А.В., Семенов А.Е., Мороз А.О. // Агротехника и энергообеспечение. 2014. № 3 (3). С. 64-68.
9. Хорольский, В.Я. Эксплуатация систем электроснабжения: Учебное пособие / В.Я. Хорольский, М.А. Таранов. – Издательство: Инфра-М, 2018. – 288 с.
10. Куценко, Г.Ф. Монтаж, эксплуатация и ремонт электроустановок: практическое пособие/ Г.Ф. Куценко. - Мн.: Дизайн ПРО, 2006. -472 с.
11. Типовая инструкция по техническому обслуживанию и ремонту воздушных линий электропередачи напряжением 0,38 - 20 кВ с неизолированными проводами. РД 153-34.3-20.662-98. инструкция введена в действие с 1 декабря 1998 г. – Москва: изд. НЦ Энас, 2003. 64 с.
12. Афанасьев, В.В. Трансформаторы тока. Л.: Энергоатомиздат, 1989. 416 с.
13. Казанский, В.Е. трансформаторы тока в схемах релейной защиты. – М.: Энергия, 1969. – 183 с.
14. Чернышов, В.А. Обоснование целесообразности функционирования дистанционного автоматического контроля и регулирования стрелы провеса проводов на ЛЭП 10 кВ / В.А. Чернышов, М.О. Лошкарев, А.А. Рыков // Энерго- и ресурсосбережение – XXI век.: материалы XIX международной

научно-практической конференции (8 – 10 декабря 2021 г., г. Орел) – Орел: ОГУ им. И.С. Тургенева, 2021. С. 63-68

15. Козлов В.К., Гарифуллин М.Ш., Сабитов А.Х., Гиниатуллин Р.А. Люминесцентные свойства бумажной изоляции маслонаполненных трансформаторов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2018. Т. 20. № 11-12. 144-151 с.

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

17. Филимонова А.А., Чичиров А.А., Чичирова Н.Д. [и др.] Перспективы развития водородной энергетики в Татарстане // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2020. Т. 22. № 6. 79-91 с.

18. Гусева, Ю. В. Лабораторная модель ротора Савониуса / Ю. В. Гусева, С. А. Кострюков, А. Р. Васильев // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 3. С. 83-90. DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-3-83-90. EDN TESZWI.

УДК 681.5.044

## **ОБУЧЕНИЕ ОСНОВАМ ПРОГРАММИРОВАНИЯ ЛОГИЧЕСКОГО РЕЛЕ ONI PLR-S**

Шарафутдинов Ришат Гумарович<sup>1</sup>, Валиев Айрат Маратович<sup>2</sup>,

Воркунов Олег Владимирович<sup>3</sup>

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

<sup>1</sup>Rishat10022000@mail.ru, <sup>2</sup>Airat\_valiev2000@mail.ru, <sup>3</sup>vorcunov\_oleg@mail.ru

В тезисе рассмотрены некоторые образовательные аспекты программирования логических реле, способных автоматизировать работу некоторого электрооборудования. На платформе Центра Прикладных Квалификаций «ElectroSkills» КГЭУ применены и использованы знания, полученные во время освоения профессии 19812 «Электромонтажник по силовым сетям и электрооборудованию».

**Ключевые слова:** программируемый логический контроллер, ONI PLR-S, алгоритм работы, освещение, автоматизация некоторых функций

## **LEARNING THE BASICS OF PROGRAMMING A LOGIC RELAY ONI PLR-S**

Sharafutdinov Rishat Gumarovich<sup>1</sup>, Valeev Ayrat Maratovich<sup>2</sup>, Vorkunov Oleg Vladimirovich<sup>3</sup>

The thesis discusses some educational aspects of programming logic relays capable of automating the operation of some electrical equipment. On the platform of the Center for Applied Qualifications "ElectroSkills" of KSPEU, the knowledge gained during the development of the profession 19812 "Electrician for power networks and electrical equipment" was applied and used

**Keywords:** programmable logic controller, ONI PLR-S, operation algorithm, lighting, automation of some functions

В современном мире всё большее применение обретают многофункциональные системы автоматизации, которые могут выполнять различные циклические операции без участия человека. Как правило, такая автоматика питается от однофазного электроснабжения – 220 В.

Данное исследование несёт в себе очень обширное практическое применение, такая автоматика позволяет запрограммировать абсолютно любое устройство. Под программированием подразумевается выполнение определённой функции электроприбора, подключённого к программируемому логическому контроллеру (логическому реле) [1-3].

Программируемый логический контроллер (ПЛК) – это микропроцессорное устройство, предназначенное для приёма, обработки, хранения и выполнения команд управления каким-либо устройством. ПЛК имеет определённое количество входов-выходов, позволяющих работать в режиме реального времени (Рис.1) [4].



Рис.1. Схема работы логического реле

В рамках образовательной программы 19812 «Электромонтажник по силовым сетям и электрооборудованию» обучающемуся необходимо воссоздать цикл работы внешнего и внутреннего освещения на платформе логического реле *ONI PLR-S* (Рис.2) [5-7].



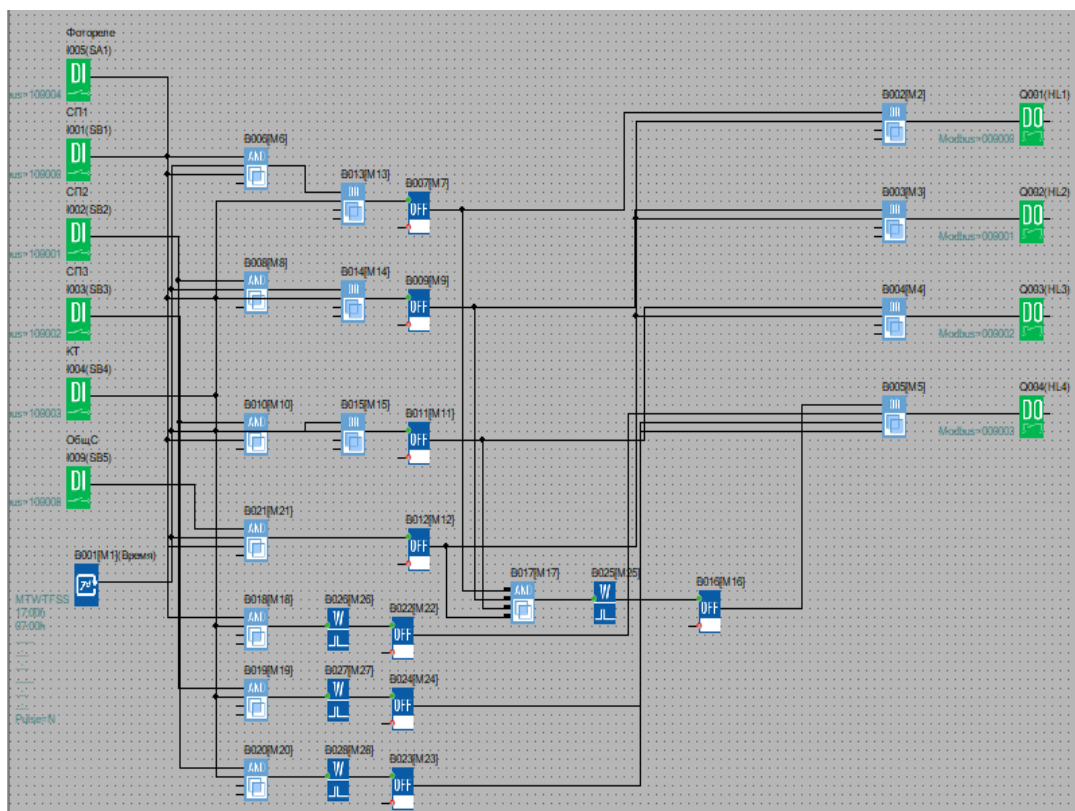


Рис.2. Блок-схема программы работы внутреннего и внешнего освещения

Ключевыми алгоритмами данной работы являлись важные контрольные точки выполнения задания:

- С 7:00 до 17:00 отсутствие реакции системы и в светлое время суток кроме сигнала тревоги;
- С 17:00 до 7:00 при срабатывании сигнала тревоги включаются все внешние источники освещения на 10 секунд;
- После отключения внешнего освещения внутреннее светит ещё 5 секунд;
- Каждый из источников внешнего освещения по отдельности включается на 10 секунд.

Данный алгоритм можно выполнить как в официальном приложении – ONI PLR Studio, так и создать программу, позволяющую осуществлять управление автоматикой (Рис.3).

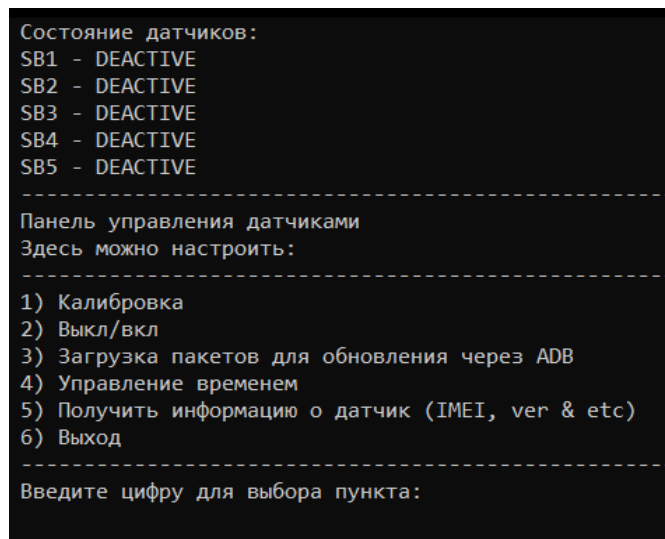


Рис.3. Панель управления системой освещения (сенсорами)

Во время экзамена использовалось официальное программное обеспечение – ONI PLR Studio. Экзаменуемые успешно выполнили задание на платформе Центра прикладных квалификаций «ElectroSkills» КГЭУ. Усвоена одна необходимая для электромонтажника компетенция: Работа с вычислительной микропроцессорной техникой.

Подводя итоги, можно сказать, что автоматизация различных технологических процессов носит актуальный характер в век цифровизации.

### Источники

1. Миннибаев, А. В. Актуальные вопросы инженерного образования / А. В. Миннибаев, В. В. Максимов // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве: Материалы VI Национальной научно-практической конференции, в 2 т., Казань, 10–11 декабря 2020 года. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2020. – С. 142-144.

2. Андреев В.А. Релейная защита и автоматика систем энергообеспечения. М.: Высшая школа, 1991.

3. Линт Г.Э Серийные реле защиты, выполненные на интегральных микросхемах. – М.: Энергоатомиздат, 1990.

4. 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. 71-85 с.

5. 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.

6. Ванин В.К., Павлов Г.М. Релейная защита на элементах вычислительной техники. – 2-е изд, пере. И доп. – Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. Отделение, 1991.

7. Басенко В.Р., Владимиров О.В., Ившин И.В., Низамиев М.Ф. Бесконтактный лазерный контрольно-измерительный комплекс для определения уровня прессовки обмоток и магнитопровода силового трансформатора // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 3. 140-153 с.

8. Козлов В.К., Гарифуллин М.Ш., Сабитов А.Х., Гиниатуллин Р.А. Люминесцентные свойства бумажной изоляции маслонаполненных трансформаторов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2018. Т. 20. № 11-12. 144-151 с.

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

10. Филимонова А.А., Чичиров А.А., Чичирова Н.Д.[и др.] Перспективы развития водородной энергетики в Татарстане // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2020. Т. 22. № 6. 79-91 с.

11. Нейросетевые технологии в системах управления механизмами перемещения грузов / А. В. Синюков, Т. В. Синюкова, Е. И. Грачева, М. Колцун // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 2. С. 107-118. DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-2-107-118. EDN HEBSXQ.

УДК 621.316

## **ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ПОДСТАНЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Шарифуллин Равиль Рамильевич<sup>1</sup>, Валиуллина Дилия Мансуровна<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

sharifrivil@mail.ru

Техническое обслуживание подстанционного электрооборудования является надежным и экономически оправданным набором мероприятий регламентированных

Федеральным и отраслевыми стандартами , направленными на увеличение сроков службы и надежности частей всего электрического оборудования на высокой и низкой стороне на период эксплуатации трансформаторной подстанции. Работа по обслуживании электрооборудования, выполненная в соответствии со стандартами согласно подстанции, являющейся одной из основных составляющих системы электроснабжения потребителей [1]

**Ключевые слова:** техническое обслуживание электроподстанций, изношенность и модернизация электрооборудования, надежность электроснабжения

## SUBSTATION EQUIPMENT MAINTENANCE

Sharifullin Ravil Ramilevich<sup>1</sup>, Valiullina Diliya Mansurovana<sup>2</sup>

Maintenance of substation electrical equipment is a reliable and economically viable set of measures regulated by Federal and industry standards aimed at increasing the service life and reliability of parts of all electrical equipment on the high and low sides for the period of operation of the transformer substation. Work on the maintenance of electrical equipment, performed in accordance with the standards and according to the schedule, allows you to ensure safety during the operation of the transformer substation, which is one of the main components of the consumer power supply system [1].

**Keywords:** maintenance of electrical substations, depreciation and modernization of electrical equipment, reliability of power supply

Для обеспечения функционирования подстанционного оборудования подстанций необходимо проводить его обслуживание и ремонт согласно общероссийским и стандартам энергокомпаний. Основными целями технического обслуживания и ремонта электрооборудования являются:

- Обеспечение исправного и работоспособного состояния объектов электросетевого хозяйства;
- Соответствие объектов электросетевого хозяйства требованиям ремонтной и иной, обязательной к исполнению документации;
- Обеспечение эффективного функционирования системы управления технического обслуживания и ремонта технической диагностики [2]. Объектами технического обслуживания и ремонта подстанций является:

ПС, ВЛ, КЛ, ТП, СП, РП, устройства РЗА и АСУ ТП и ССПИ, СДТУ, средства измерений, АСУЭ,ЗИС и другие объекты [2]. Оценка технического состояния электрооборудования производится при формировании и актуализации многолетних планов и годовых графиков ТОиР, и ТПиР, а также после технического воздействия, которое привело к изменению технического состояния данных объектов. Данная оценка технического состояния производится ежегодно. Значение отдельных параметров технического

состояния объектов электросетевого хозяйства, которые не могут быть актуализированы ввиду отсутствия в течение года технического воздействия, обследований, технического освидетельствования, а также результатов испытаний, принимаются такими же, как в предыдущем году. Оценка технического состояния устройства РЗА, СДТУ, АСУ ТП и ССПИ, средств измерений и метрологического обеспечения, АСКУЭ не производится [3].

Для проведения технического обслуживания необходимо чтобы компания обладала соответствующей лицензией и допуском СРО, у специалистов компании имелись соответствующие группы допуска по электробезопасности, а также спецсредства и испытательное оборудование [4].

Согласно годовому отчету ПАО «Россети» за 2020 год отпуск электроэнергии уменьшился на 4,07%, а уровень потерь увеличился на 0,06%, рисунок 1.



Рис. 1. Графики отпуска и потерь электроэнергии за 2018-2020 года [4].

Основными причинами снижения отпуска электроэнергии послужили ограничения, вводимые вследствие распространения COVID-19 и реализации сделки ОПЕК+[5]. На рисунке 2 показаны основные причины нарушений работы в 2018-2020 годах.

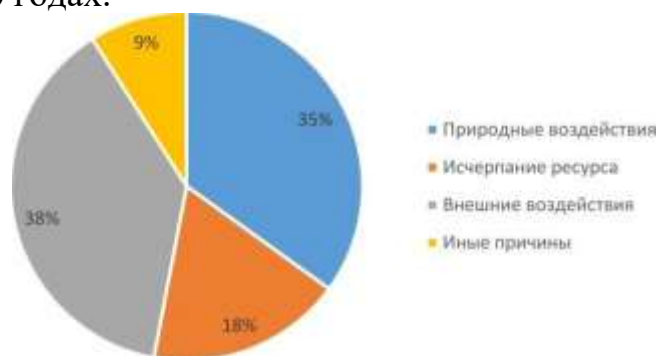


Рис. 2. Основные причины нарушений работы в 2018-2020 годах [4].

Значительную долю в нарушениях работы имеют внешние воздействия и исчерпание ресурса электрооборудования.

Согласно данным представленным на рисунке 3 наглядно видна динамика

уменьшения источников финансирования инвестиционной программы ПАО «Россети» в 2021-2025 гг [5].



Рис. 3. Источники финансирования инвестиционной программы в 2021-2025 гг. [5].

Из представленной диаграммы, рисунка 5, структуры капитальных расходов в 2021-2025 годах существенную долю занимают расходы на реконструкцию и в трансформаторные подстанции, 51% и 28% соответственно.

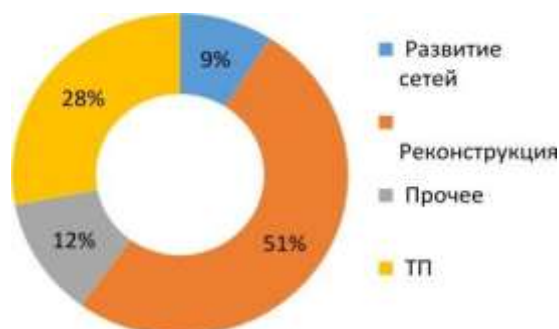


Рис. 4. Структура капитальных расходов в 2021-2025 годах [5].

На подстанциях наиболее уязвимым звеном являются силовые трансформаторы, в которых особому контролю должны подвергаться силовые маслонаполненные трансформаторы [6]. Согласно представленным данным [7] ОАО «СО ЕЭС» только за весь 2018 год зафиксировано порядка 16000 аварий в электрических сетях напряжением 110 кВ и выше. Учитывая присутствие в данной отрасли наличие и других энергокомпаний эти показатели значительно выше.

Исходя из официальных данных по значительным значениям износа, большому значению затрат на реконструкцию сетей и ТП в условиях уменьшения инвестиций остро стоит вопрос о дальнейшей надежности электроснабжения потребителей.

В ПАО «Россети» утверждена программа «Стратегия 2020–2030 гг.», в

которой намечены цели по снижению уровня потерь и увеличению наблюдаемости сети (контроль в режиме реального времени за состоянием оборудования) [5]:

Таблица 1

Показатели Стратегии 2020–2030 гг ПАО «Россети»

Показатели Стратегии 2020–2030 гг.	Целевые значения 2024	Целевые значения 2030
Уровень потерь электрической энергии, %	7,8	7,34
Наблюдаемость сети, %	40–50	90–100
Рост производительности труда, %. К базовому значению на конец 2018г.	10	на 40

Достижение данных целей в условиях экономических санкций и ограничений внешних инвестиций, а также ограничений связанных с поставкой и лицензионным выпуском электрооборудования и комплектующих представляется единственно возможным это изменение регламента как в Федеральном стандарте так и в стандартах энергокомпаний. В стандарте ПАО «Россети» СТО 34.01-24-002-2021 необходимо внести изменения в пункт 10.1

«оценка технического состояния производится ежегодно», на «оценка технического состояния производится не реже 2 раз в год». Также внести изменения в пункте 10.1 предложение «Значение отдельных параметров технического состояния объектов электросетевого хозяйства, которые не могут быть актуализированы ввиду отсутствия в течение года технического воздействия, обследований, технического освидетельствования, а также результатов испытаний, принимаются такими же, как в предыдущем году» фразы «принимаются такими же, как в предыдущем году» на «производится ежегодно». Данные изменения в стандартах потребуют незначительных финансовых издержек на оплату труда привлечённого дополнительно обслуживающего персонала, однако позволит решить задачи стратегического плана: существенно повысить надежность электроснабжения, уменьшить аварийность путем дополнительно контроля за оборудованием, а также улучшить показатели занятости населения в каждом из регионов Российской Федерации. Внесенные изменения во внутреннем стандарте ПАО «Россети» с учетом изменившейся политической санкций позволят добиться поставленных целей в утвержденной Стратегии 2020–2030 гг ПАО «Россети».

Новизна работы:

1. В стандарте ПАО «Россети» СТО 34.01-24-002-2021 необходимо внести изменения в пункт 10.1 «оценка технического состояния производится ежегодно», на «оценка технического состояния производится не реже 2 раз в

год».

2. В стандарте ПАО «Россети» СТО 34.01-24-002-2021 необходимо внести изменения в пункте 10.1: предложение «Значение отдельных параметров технического состояния объектов электросетевого хозяйства, которые не могут быть актуализированы ввиду отсутствия в течение года технического воздействия, обследований, технического освидетельствования, а также результатов испытаний, принимаются такими же, как в предыдущем году» фразы «принимаются такими же, как в предыдущем году» на «производится ежегодно».

### Источники

1. Валиуллина Д.М., Енюшин В.Н. Применение тепловизионной съемки для выявления дефектов строительных ограждающих конструкций и энергетического оборудования. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2015. №(9-10). 29-33 с.

2. Официальный сайт Мегаватт-сервис [Электронный ресурс]. <https://мегаватт-сервис.рф/uslugi/kapitalniy-remont-transformatorov/obslugivanie-podstanciy> (дата обращения: 20.03.2022).

3. СТО 34.01-24-002-2021. Организация технического обслуживания и ремонта объектов электросетевого хозяйства. Утвержден и введен в действие Распоряжением ПАО "Россети" от 29.07.2021. 110с.

4. Официальный сайт компании «ЭЛТКОМ» [Электронный ресурс]. <https://eltcom.ru/info/articles/interval-i-meropriyatiya-obslyuzhivaniya-transformatornykh-podstantkiy/> (дата обращения: 6.04.2022).

5. Официальный сайт ПАО «Россети» компании. Годовой отчет ПАО «Россети» за 2020 год. [Электронный ресурс]. <https://rosseti.ru/> (дата обращения: 1.04.2022).

6. Валиуллина Д.М., Загустина И.Д., Козлов В.К. Определение качественного состава примесей в отработанном трансформаторном масле. Вестник КГЭУ, 2018. №4 (40). 25-32 с.

7. Официальный сайт ОАО «СО ЕЭС» [Электронный ресурс]. <https://so-ups.ru/> (дата обращения: 6.03.2022).

8. Новиков, С.И., Кузьмин И.Л., Хузяшев Р.Г. Простейшие алгоритмы обнаружения сигналов переходного процесса напряжения в линиях электропередач // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2017. Т. 19. № 7-8. 114-125 с.

9. Гарифуллин М.Ш., Гиниатуллин Р.А., Козлов В.К. [и др.] Определение технологии производства и марки минеральных трансформаторных масел по их оптическим спектрам // Известия высших учебных заведений. Проблемы



энергетики, 2017. Т. 19. № 9-10. 59-64 с.

10. Петрущенко В.А., Коршакова И.А. Качественный и количественный анализ тепловой энергетики малых мощностей в России // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2020. Т. 22. № 5. 52-70 с.

11. Афанасьева О.В., Галькеева А.А., Вафин А.Р., Мингалеева Г.Р. Региональные аспекты использования угля на объектах малой распределенной энергетики // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2017. Т. 19. № 9-10. 85-93 с.

12. 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.

УДК 621.316

## **О ДОПОЛНЕНИИ В СИСТЕМЕ ЦИФРОВОГО МОНИТОРИНГА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ТРАНСНЕФТЬЭНЕРГО**

Ялалдинов Рашит Расимович<sup>1</sup>, Сафиуллин Булат Максумович<sup>2</sup>, Муратаева Галия Амировна<sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия  
Rashit395@yandex.ru

В современных условиях перехода технологических и производственных процессов в ООО «Транснефть по направлению «Цифровой трансформации» рассмотрение вопросов расширения возникающих потребностей «Программы энергосбережения и повышения энергоэффективности» становятся наиболее актуальными. Существенным по значимости является внедрение системы работ по ремонту и диагностики используемого электрооборудования ПАО «Транснефть» с использованием машинного интеллекта.

**Ключевые слова:** программа энергоэффективности электрооборудования, машинный интеллект, организация ремонтов.

## **ON THE ADDITION TO THE SYSTEM OF DIGITAL MONITORING OF ELECTRICAL EQUIPMENT OF TRANSNEFTENERGO FACILITIES**

Yalaldinov Rashit Rasimovich<sup>1</sup>, Safiullin Bulat Maksumovich<sup>2</sup>, Murataeva Galia Amirovna<sup>3</sup>

In the current conditions of the transition of technological and production processes to Transneft LLC in the direction of Digital Transformation, consideration of the issues of expanding the emerging needs of the Energy Saving and Energy Efficiency Improvement Program becomes

the most relevant. Of significant importance is the introduction of a system for repairing and diagnosing the used electrical equipment of Transneft using machine intelligence.

**Key words:** energy efficiency program for electrical equipment, machine intelligence, organization of repairs.

Группа ПАО «Транснефть» – крупнейшая трубопроводная Компания в мире по транспортировке нефти и нефтепродуктов по магистральным трубопроводам. ПАО «Транснефть» это транспортировка более 82% добываемой в России нефти. ПАО «Транснефть» обслуживает более 67 тыс. км магистральных нефтепроводов и более крупных 500 перекачивающих станций, 24 млн. м<sup>3</sup> резервуарных емкостей, энергоснабжение и обслуживание электрооборудования которых осуществляет дочерняя компания ООО Транснефтьэнерго [1].

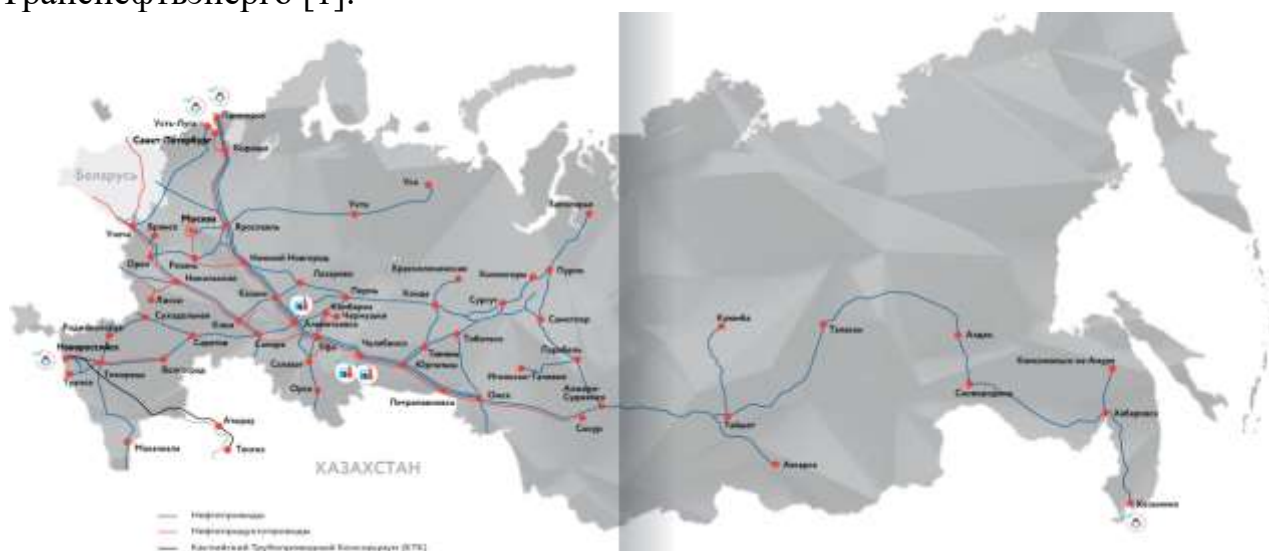


Рисунок 1 География деятельности ПАО «Транснефть» [1].

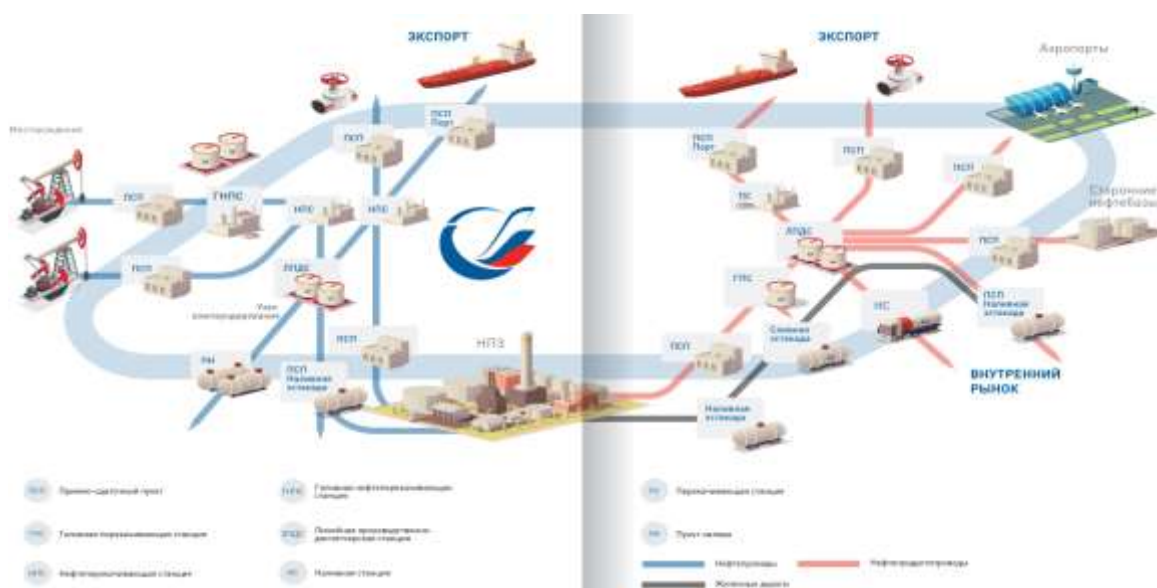


Рисунок 2 Схема цепочки поставок нефти и нефтепродуктов

по системе ПАО «Транснефть» [1].

ООО «Транснефтьэнерго» создана 1 июля 2009 года для надежного и эффективного энергоснабжения организаций системы ПАО «Транснефть». Компания обеспечивает координацию работы со сбытовыми организациями дочерних обществ Компании в 62 субъектах РФ. Компания предоставляет услуги по энергоаудиту и снижению затрат на потребление электроэнергии. Вдоль всей протяженности нефтепроводов через каждые 30-40 километров устанавливаются компрессорные станции, для поддержания необходимого давления, температуры, контроля технических параметров транспортировки нефти. К этим подстанциям подводится высокое напряжение по кабельным или воздушным линиям для электроснабжения соответствующего оборудования (насосное, компрессорное и др.), аппаратуры контроля и автоматики защиты [2]. На рисунке 2 показан график оснащения новым насосным оборудованием, в результате замены старого в силу достижения предела изношенности.

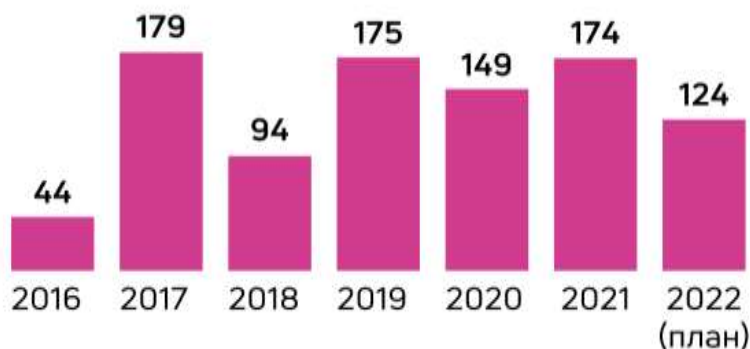


Рисунок 1 Насосное оборудование установленное АО «Транснефть нефтяные насосы» [3].

Для экономии энергоресурсов в ПАО «Транснефть» разработана, утверждена и последовательно реализуется «Программа энергосбережения и повышения энергоэффективности». В сопоставимых условиях удельный расход электроэнергии на транспортировку нефти с 2010 по 2020 год снизился на 14,5%, на транспортировку нефтепродуктов – на 17,8%. В ПАО «Транснефть» уровень электрификации производственной деятельности Компании составляет более 85% (доля электроэнергии в общем потреблении энергоресурсов), на балансе предприятия находится большое количество эксплуатируемого электрооборудования с истекающим сроком эксплуатации [1]. Контроль и эксплуатацию электрооборудования осуществляет ООО «Транснефтьэнерго». Основные виды деятельности ООО «Транснефтьэнерго»: реализация электроэнергии и мощности, абонентское обслуживание АИИС КУЭ, плановое техобслуживание АСТУЭ, оказание услуг оператора коммерческого учета, сопровождение сторонних договоров энергоснабжения, надзор за энергетическими объектами, технадзор за

изготовлением и капитальным ремонтом высоковольтных электродвигателей и силовых трансформаторов. Ежегодно проводятся проверки с целью выявления нарушений: за 2014 год: проведено 6 847 проверок, выявлено 60 215 нарушений. В 2017 году специалисты «Транснефтьэнерго» проверили 8790 энергообъектов, в ходе проведенных проверок, выявлена тенденция снижения (по сравнению с 2016 годом) количества нарушений по техническому состоянию электрооборудования, тепловых энергоустановок и оборудования взрывозащищенного исполнения [3,4].

В настоящее время завершено внедрение на всех организациях системы ПАО «Транснефть» и определены основные направления развития системы: организация беспроводного доступа с мобильных устройств из внешних сетей общего пользования; обеспечение возможности работы внешним клиентам, не имеющим доступа к сети внутри защищенного периметра ОАО «АК «Транснефть»; расширение перечня автоматизируемых функций, повышение глубины автоматизации; интеграция с КИС ОАО «АК «Транснефть» и ООО «Транснефтьэнерго» (КСУА и др.); автоматизация схожих видов деятельности: Технадзор за изготовлением и капитальным ремонтом высоковольтных двигателей (6, 10 кВ) и трансформаторов напряжением 35 кВ и выше.

Благодаря политики компании по энергосбережению значение удельного потребления электроэнергии, транспорт нефти в последние годы снижается: 2018 – 10,92; 2019 – 10,8; 2020 – 10,59 тыс. кВт·ч/млн.т·км. Потребление электроэнергии в абсолютных значениях составило: в 2018 – 14517 млн. кВт·ч, в 2019 – 15397 млн. кВт·ч, в 2020 – 12749 млн. кВт·ч [3].

Компания с 2022 года планирует направить 30 млрд руб. на цифровизацию. Совет директоров Транснефти утвердил стратегию цифровой трансформации до 2025 г. Стратегия включает 10 крупных программ, объединяющих 53 цифровых инициативы [1].

В ПАО «Россети» была внедрена инновационная система «Цифровая трансформация» в рамках которой имеется проект «Цифровой электромонтер» [3,4], направленный на автоматизацию работы мобильных бригад бизнес-процесса технического обслуживания и ремонтов оборудования. Ввиду отсутствия в ООО «Транснефтьэнерго» к настоящему времени подобного проекта в системе «Программы энергосбережения и повышения энергоэффективности», возникает необходимость дополнения путем внедрения звена «Цифровой электромонтер».

На пути дальнейшего развития применения ПАО "Транснефть" алгоритмов искусственного интеллекта возникает потребность в расширении круга задач с внедрением аналитической работы машинного интеллекта. Данные системы позволяют значительно облегчать и улучшать формирование,

сбор и интерпретирование информации о разветвленной инфраструктуре компании с созданием единого информационного пространства [5].

Выводы:

В рамках внедренной в ООО «Транснефть» «Программы энергосбережения и повышения энергоэффективности» направленной на улучшения эффективности эксплуатации электрооборудования предприятий нефтепереработки, транспортировки нефти и нефтепродуктов возникает необходимость расширения данной программы дополнением аспектов связанных с ремонтными работами и диагностикой оборудования с использованием машинного интеллекта. Одним из предлагаемых вариантов может являться внедрение проекта «Цифровой электромонтер».

### Источники

1. Официальный сайт ПАО [Электронный ресурс]. «Транснефть» <https://www.transneft.ru>. (дата обращения: 20.03.2022).

2. 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. 66-86 с.

3. Официальный сайт ООО «Транснефтьэнерго». [Электронный ресурс]. <https://transneftenergo.transneft.ru>. (дата обращения: 5.03.2022).

4. Секретарев, Ю. А. Оценка влияния на надежность системы электроснабжения различного рода дефектов ее основных элементов / Ю. А. Секретарев, В. М. Левин. Вестник Казанского государственного энергетического университета, 2019. Т. 11. № 4(44). 55-63 с.

5. ПАО «Россети» Концепция «Цифровая трансформация 2030» [Электронный ресурс]. <https://rosseti.ru/> (дата обращения: 12.03.2022).

6. СТО 34.01-21.1-001-2017 Распределительные электрические сети напряжением 0,4 - 110 кВ. Требования к технологическому проектированию. АО "Институт Энергосетьпроект" при участии ПАО "Россети" и ДЗО. Утвержден и введен в действие Распоряжением ПАО "Россети" от 02.08.2017. 400 с.

7. Зорина, Т. Г., Прусов С. Совершенствование методологии оценки цифровой трансформации объединенной энергетической системы Республики Беларусь. Проблемы и перспективы. Вестник Казанского государственного энергетического университета, 2021. Т. 13. № 3(51). 99-113 с.

8. Валиуллина Д.М., Ильясова Ю. К., Козлов В.К. Качественные методы спектрального анализа в диагностике трансформаторных масел // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2019. Т. 21. № 1-2. 87-92 с.

9. Дремичева Е.С., Зверева Э.Р., Бурганова Ф.И., Зверев Л.О. Перспективы технологии совместного сжигания биомассы и угля на объектах энергетики // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 1. 119-130 с.

10. Козлов, В.К., Сабитов А. Х. Степень полимеризации бумажной изоляции силовых трансформаторов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2018. Т. 20. № 9-10. 34-38 с.

11. Липантьев, Р.Е., Тутубалина В.П. Влияние сжигания сернистых мазутов на окружающую среду // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2017. Т. 19. № 5-6. 144-148 с.

12. Ротач, Р. Р. Повышение эффективности котельной при использовании винтовых расширительных машин / Р. Р. Ротач, Ю. В. Ваньков // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 2. С. 14-23. – DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-2-14-23. EDN ATIQMW.

УДК 621.315

## **ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗ СИГНАЛОВ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ**

Яхин Шамиль Рустамович<sup>1</sup>, Хузяшев Рустэм Газизович<sup>2</sup>, Гумаров Аяз Габдуллович<sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия  
reventon.201223@gmail.com

В данном тезисе приводится описание и результаты работы программы для вейвлет-анализа сигналов переходных процессов, возникающих в электрической сети 10 кВ.

**Ключевые слова:** вейвлет-анализ, переходные процессы, определение места повреждения, python.

## **WAVELET ANALYSIS OF SIGNALS OF TRANSIENT PROCESSES IN ELECTRIC NETWORK**

Yakhin Shamil Rustamovich<sup>1</sup>, Gumarov Ayaz Gabdullovich<sup>2</sup>, Khuzyashev Rustem Gazizovich<sup>3</sup>

This thesis provides a description and results of the program for wavelet analysis of transient signals that occur in a 10 kV electrical network.

**Keywords:** wavelet analysis, transients, damage location, python.

Коммутации и замыкания, происходящие в электрической сети, вызывают переходные процессы, которую в свою очередь вывзывают

колебания напряжения, которые можно интерпретировать, как сигналы на осциллограммах измерительных приборов. Различные виды коммутаций вызывают разные сигналы. Однако в сети эти сигналы накладываются друг на друга из-за большого количества влияния приборами на сеть. Например, замыкания, описанные в работе [1-2]. Также, в сети постоянно присутствуют шумы, которые не несут в себе практически никакой информации. Однако, с помощью различных видов преобразований можно анализировать сигнал для получения информации об их источнике. Так, например, одной из наиболее важных задач при обработке спектра фазных токов и напряжений является подход на основе разложения сигналов в ряд Фурье [3]. И еще более важную роль в определении места повреждения имеет вейвлет-преобразование.

Вейвлет – это математическая функция, позволяющая анализировать различные частотные компоненты данных. График функции выглядит как волнообразные колебания с амплитудой, уменьшающейся до нуля вдали от начала координат [4]. Непрерывное вейвлет-преобразование — это преобразование, отображающее данную вещественно значную функцию  $x(t)$ , определенную на временной оси переменной  $t$ , в функцию

$$\gamma(T, s) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \frac{1}{\sqrt{s}} \psi^* \left( \frac{t-T}{s} \right) dt$$

двух переменных  $T$  и  $s$ . Здесь  $T$  представляет параллельный перенос,  $s$  представляет масштаб и  $\psi(t)$  - материнский вейвлет [5]. Существует множество видов материнских вейвлетов: вейвлеты Добеши, вейвлет Хаара, вейвлет Мейера. Однако одним из самых простых и практически применимых к сигналам в электрической сети оказался вейвлет «Мексиканская шляпа». Его график представлен на рисунке 1.

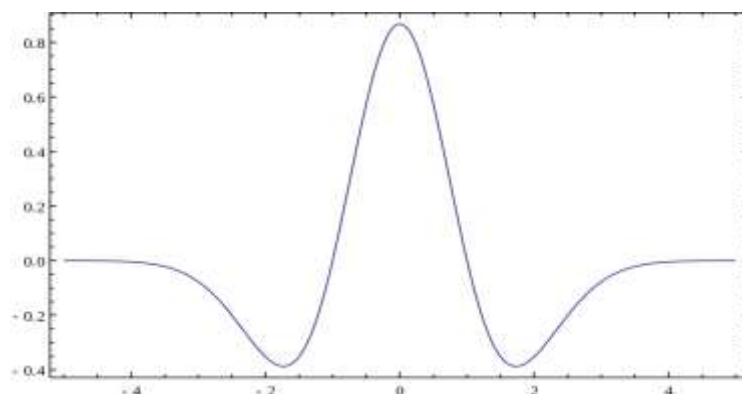


Рис. 1: График МНАТ-вейвлета [6]

Для создания программы на языке программирования Python, которая может преобразовывать графики исходных сигналов, была использована среда

Google Colab, а также библиотеки для работы с графиками. А для получения исходных данных На КВЛ 10 кВ был установлен датчик комплекса волнового определения места повреждения [7], регистрирующий сигналы переходных процессов (СПП), данные с которого сохраняются в файлах формата csv и xlsx. Регистрация сигналов с высокой частотой дискретизации позволяет визуально определять разнообразие их форм, что позволяет ставить и решать задачу идентификации источников их возникновения на основе программной классификации СПП.

Для описания работы программы используем сигнал, представленный на рисунке 2, который возник в сети 10 кВ и зарегистрированный приборами 27.11.2021 в 11:33.

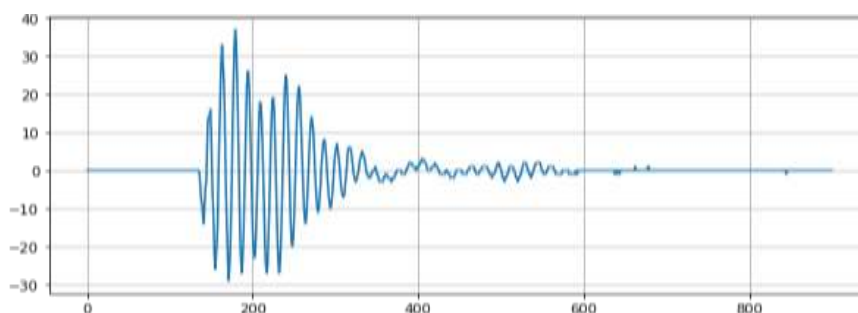


Рис. 2: График исходного сигнала переходного процесса

Суть работы программы – пропускать график исходного сигнала через вейвлет, с различным масштабом  $a$ . Масштабный коэффициент  $a$  либо расширяет, либо сжимает сигнал. Когда масштабный коэффициент относительно низок, сигнал становится более сжатым, что, в свою очередь, приводит к более подробному результирующему графику. Однако недостатком является то, что низкий коэффициент масштабирования не сохраняется на протяжении всей длительности сигнала. С другой стороны, при высоком коэффициенте масштабирования сигнал растягивается, что означает, что результирующий график будет представлен менее подробно. Тем не менее, он обычно длится всю длительность сигнала.

Программа автоматически выводит графики преобразованных сигналов, используя вейвлеты с масштабами от  $2^n$ , где  $n = 0 \div 10$ . Графики некоторых преобразованных сигналов представлены на рисунке 3.



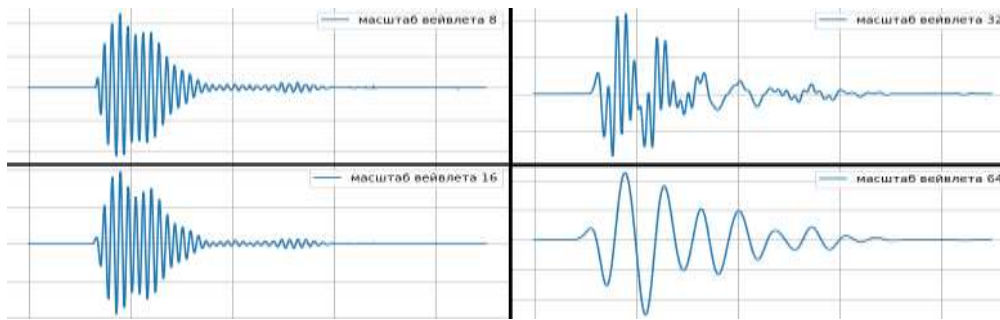


Рис. 3: Графики преобразованного сигнала

На данных графиках можно увидеть, как увеличение масштаба ведет к выделению модальных (доминирующих) колебаний в сигнале переходного процесса [8]. Однако, для более точного определения нужного колебания следует определить при каком масштабе преобразованный график имеет наибольшую амплитуду. Для этого далее программа определяет максимальное значение амплитуды выходного сигнала  $A_{max}(N)$  на выходе вейвлет фильтра каждого масштаба и строит вейвлет спектр сигнала как зависимость  $A_{max}(N)$  от  $F$ . Где  $F$  – это частота вейвлета в Гц, поделённая на корень из масштаба вейвлета  $a$  (рис.4).



Рис.4. Зависимость амплитуды преобразованных сигналов от частоты (масштаба) материнского вейвлета.

Как можно заметить из графика, для исходного сигнала доминирующее колебание выделяется при преобразовании его вейвлетом частотой 62,5 Гц (масштаб вейвлета 16). Данная информация поможет идентифицировать причины возникновения сигналов, благодаря уникальной составляющей доминирующих колебаний. Внедрение этой методики может благоприятно сказаться на повышении качества электроэнергии, а также в технологиях поиска места повреждения электрических линий.

## Источники

1. Дмитриченко В.И., Ни Д.А., Джетписов М.А., Бауржан Б. Комбинированная релейная защита от замыканий на землю в электросетях 6-10 кв / Дмитриченко В.И. // Вестник казанского государственного энергетического университета. 2021. Т. 13–№ 14(52). 37–42 с.
2. Илюшин, П. В. Особенности возникновения и протекания аварийных режимов в распределительных сетях с распределенной генерацией / П. В. Илюшин // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Т. 13. № 3(51). С. 3–14. EDN CXOUJP.
3. Нормирование амплитуды высших гармоник при определении фидера с однофазным замыканием на землю / А. И. Федотов, Л. В. Ахметвалеева, Р. Ш. Басыров [и др.] // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2020. Т. 22. № 1. 58–68 с.
4. Дьяконов В.П. Вейвлеты. От теории к практике / Дьяконов В.П. Москва: СОЛОН-Пресс, 2004. 440 с.
5. Continuous wavelet transform [Электронный ресурс]: Википедия. Свободная энциклопедия. Режим доступа: [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Continuous\\_wavelet\\_transform&oldid=1077198409](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Continuous_wavelet_transform&oldid=1077198409), свободный – (дата обращения 10.04.2022)
6. Витязев В.В. Вейвлет-анализ временных рядов / Витязев В.В. —Санкт-Петербург: Издательство Санкт-Петербургского государственного университета, 2001. 58 с.
7. Хузяшев Р.Г., Кузьмин И. Л., Васильев В. Д. и др. Практическая реализация волнового метода определения места повреждения в разветвленных распределительных электрических сетях 6(10) кВ / Хузяшев Р.Г. // Электроэнергия. Передача и распределение, 2019. 98–107 с.
8. Кравченко К.Ю., Кугаевский С.С., Журавлев М.П., Элькинд Д.М. Операционный модальный анализ для определения собственных частот колебаний / Кравченко К.Ю. // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение, Т. 19. №2. 2017. 21–35 с.
9. Качанов А.Н., Коренков Д.А., Ревков А.А., Максимов В.В., Воркунов О.В. Моделирование процессов высокочастотной сушки деревянных опор в вакуумной камере // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2020. Т. 22. № 6. 130-142 с.
10. Солуянов Ю. И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Солуянов В.И. Анализ фактических электрических нагрузок помещений общественного назначения, встроенных в жилые здания // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 6.134-147 с.
11. Абдуллазянов Э.Ю., Грачева Е.И., Горлов А.Н.[и др.] Исследование качества функционирования электрических аппаратов низкого напряжения в

составе электротехнических комплексов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 6. 3-15 с.

12. Синюков А.В., Синюкова Т.В., Грачева Е. И. [и др.] Оптимизированные бездатчиковые системы управления механизмами перемещения грузов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 6. 87-98 с.

13. Модель опорной ноги антропоморфного робота или экзоскелета с двумя подвижными звеньями с учетом динамики электропривода / А. О. Блинов, А. В. Борисов, Л. В. Кончина, К. С. Маслова // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 2. С. 147-159. DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-2-147-159. EDN JZVXNL.

14. Коршунов, Е.А. Автоматизация процессов обслуживания энергетического оборудования с помощью специализированных программных решений / Е. А. Коршунов, А. А. Капанский, К. Е. Коршунов // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 1(53). С. 65-75. EDN THPONK

## СОДЕРЖАНИЕ ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

<b>Зарипов Д.К. , Закиров Д.Ф., Петров А.В.</b> Диагностирование изоляторов воздушных линий электропередачи для предупреждения немотивированных отключений. ....	3
<b>Качанов А.Н., Каменский В.В.</b> Оценка электромагнитной обстановки на энергетических и промышленных объектах в программной среде ELCUT. ....	9
<b>Мади П.Ш.</b> Исследование метода контроля и безопасности устойчивости бортов карьеров с использованием волоконно-оптических датчиков. ....	14
<b>Рахимов О.С., Тошходжаева М.И.</b> Влияние систем распределенной генерации на устойчивость энергосистем. ....	18
<b>Умарчонов А.А. ,Бобоев Ш.А</b> Проектирование инженерных образовательных программ в контексте стандартов CDIO. ....	25
<b>Хузяшев Р.Г, Кузьмин И.Л., Минаев И.А.</b> Моделирование переходных сигналов при коммутациях в линиях электропередач. ....	31

### НАПРАВЛЕНИЕ: ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ, НАДЕЖНОСТЬ, БЕЗОПАСНОСТЬ, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

<b>Абазлдинова А.Ф., Валиуллина Д.М., Козлов В.К.</b> Определение корреляции между координатой цветности трансформаторного масла и его кислотным числом. ....	37
<b>Азимов Н.С.</b> Моделирование процесса нахождения приближенного вычисления определенного интеграла методом трапеции. ....	41
<b>Алиазарова М.А.</b> Конъюнктура рынка энергетических ресурсов Согдийской области и проблемы его развития. ....	46
<b>Альзаккар А., Местников Н.П.</b> Исследование устойчивости электроэнергетических систем с применением многослойного персептрона. ....	52
<b>Байгускарова Н.Ш., Воркунов О.В.</b> Контроль состояния элегаза в процессе эксплуатации элегазового оборудования. ....	57
<b>Вагапов Г.В., Шаряпов А.М., Мингазова Р.А.</b> Модель асинхронной машины для цифровой системы мониторинга. ....	63
<b>Ветчинкина А.В.</b> Система на базе ПО «Псиэнергоконтрол», эмулирующей работу АСДУ на участке распределительной сети. ....	69
<b>Воронцов Г.Н., Мухаметжанов Р.Н.</b> Анализ конструкционных	

особенностей трансформаторов типа ДЦ. ....	73
<b>Воронцов Г.Н., Мухаметжанов Р.Н.</b> Анализ технологий Smart Grid как перспективный способ повышения энергосбережения в бытовом секторе. ....	77
<b>Гарифуллин М. Ш., Каминский С. О., Лашманова М. И., Мухаметжанов Р. Н.</b> Тарифы на электроэнергию как стимулирующий фактор развития распределенной генерации в России.....	81
<b>Гиниятуллин И.Ф., Куракина О.Е.</b> Положительные аспекты появляющиеся при внедрении ремонта электрических сетей под напряжение. ....	96
<b>Голенков В. А., Качанов А.Н.</b> Особенности подготовки кадров для электроэнергетики и электротехники в ОГУ им. И.С. Тургенева. ....	102
<b>Давыдова К.А., Наумов О.В.</b> Уменьшение потерь электроэнергии в распределительных сетях путем обнаружения изношенных участков ЛЭП с помощью БЛА. ....	109
<b>Джураев Д.С.</b> Влияние нанопорошков на теплопроводность магнитных жидкостей на основе трансформаторного масла. ....	115
<b>Джураев Д.С.</b> Зависимость плотности магнитных жидкостей на основе трансформаторного масла от температуропроводности. ....	120
<b>Доан Нгок Ши, Цветков А.Н.</b> Исследование модели электропривода двигателя с комбинированной обмоткой. ....	123
<b>Зарипов Д.К., Закиров Д.Ф., Петров А.В.</b> Контроль состояния гирлянд загрязненных изоляторов воздушных линий электропередачи в условиях увлажнения. ....	127
<b>Иксанова Э.Р., Валиуллина Д.М., Козлов В.К.</b> Диагностика трансформаторного масла по тангенсу угла диэлектрических потерь. ....	133
<b>Ислотов И.И.</b> Управления электропривода с частотным логическим анализатором для стабилизации технологического процесса. ....	137
<b>Качанов А.Н., Чернышов В.А.</b> Оценка эффективности работы ЛЭП 6-10 кВ с учетом времени существования, отыскания и устранения однофазных замыканий на землю. ....	142
<b>Казка М.В., Губарев Н.А., Маклецов А.М.</b> Разработка алгоритмов проведения симметрирования нагрузок вдоль линий электропередач 0,4 кВ. ....	146
<b>Калашников В.И.</b> Методика выявления очагов потери электрической энергии от майнинга при помощи квадрокоптера с тепловизером. ....	150
<b>Каримов М.М, Валиуллина Д.М.</b> Применение ранжирования при модернизации оборудования подстанции с целью повышения надежности электроснабжения потребителей. ....	156
<b>Абдреев К.А., Гарифуллин М.Ш.</b> Сравнительный анализ различных систем накопления электроэнергии в промышленной аккумуляции. ....	162
<b>Князева Ю.В., Валиуллина Д.М.</b> Выбор конфигурации схемы	

электрической сети с применением реклоузеров. ....	170
<b>Козлов В.К., Куракина О.Е., Минегалиев И.М.</b> Применение оптической спектроскопии для определения содержания воды в изоляционном масле. ....	178
<b>Королева Т.Г., Филатенко М.А.</b> Технологии энергосбережения и цифровизации в системах освещения. ....	184
<b>Мадаминова Н.Т., Абдуллазаде Д.Х.</b> Влияние трансформации отношений собственности развитие промышленности регион. ....	190
<b>Миронова Е.А.</b> Актуализация рабочих программ подготовки бакалавров направления «Электроэнергетика и электротехника». ....	196
<b>Мотыгуллин И.И., Максимов В.В.</b> Предложение о внесении изменений в методику диагностирования подстанционного оборудования на промышленных предприятиях. ....	202
<b>Росляков А.В.</b> Исследование ошибок электропривода постоянного тока с системой стабилизации скорости. ....	208
<b>Сафаров М.М., Раджабова С.С., Зарипова М.А.</b> Теплоемкость электролитов NaCl при различных температурах и концентрации кремниевых фуллеренов. ....	212
<b>Смирнов Д.А., Хузяшев Р.Г.</b> Исследование влияния параметров ЛЭП на параметры сигнала переходного процесса. ....	218
<b>Суханова С.П., Валиуллина Д.М., Козлов В.К., Валиуллин С.Р., Маслов И.Н.</b> Визуальное определение параметров качества трансформаторного масла. ....	224
<b>Tatkeyeva G., Mubarak B.S.</b> Study of improving the reliability of the power supply system on the example of a gas-oxygen workshop. ....	229
<b>Таткеева Г.Г., Бурумбаев Т.Ж.</b> Анализ эффективности релейной защиты и автоматики подстанций напряжением 35/10кВ. ....	233
<b>Тошходжаева М., Хомидова М., Мамуров А.</b> Потери электроэнергии в распределительных сетях промышленных предприятий и методы их снижения. ....	237
<b>Тошходжаева М., Каримов И., Дададаев Ш.</b> Законы распределения отказов ВЛ 110 кВ в условиях резко континентального климата. ....	243
<b>Тошходжаева М.И., Ходжиев А.А., Одирматова У.Б.</b> Системы распределенной генерации и их экономическая составляющая. ....	249
<b>Тухфатуллин И.Р., Хузяшев Р.Г.</b> Параметры переходного сигнала в линии с распределенными параметрами и в эквивалентном RLC контуре. ....	256
<b>Тухфетуллоев И.Р., Воркунов О.В.</b> Оптимизация режимов работы электрических сетей среднего напряжения. ....	261
<b>Умарализода М.У., Сафаров М.М., Абдуллоев М.А.</b> Влияние ФУЛЛЕРЕНА-60 на изменение теплоемкости о-ксилола. ....	268
<b>Уткина В.Н.</b> Влияние зарядных станций на потребление на потребление	

электрической сети . . . . .	273
<b>Хабибуллин Р.М., Воркунов О.В.</b> Мониторинг линий воздушных линий электропередачи. . . . .	277
<b>Хамидуллина К.Р., Воркунов О.В.</b> Методы измерения сопротивления защитного заземления электрооборудования высоковольтных подстанций посредством переменного тока. . . . .	281
<b>Хафизов Л. А., Хузяшев Р.Г.</b> Визуализация параметров переходного сигнала возникающих в одноконтурной RLC-цепи. . . . .	286
<b>Хафизов Л.А., Камалиева Л.И., Куракина О.Е.</b> Тепловизионное диагностирование конденсаторов связи. . . . .	292
<b>Хузяшев Р.Г., Нгуен Д.Х.</b> Построение и исследование алгоритмов для методов Ньютона-Рафсона и Гаусса-Зейделя для вычислений параметров распределительной электрической сети с N узлами. . . . .	297
<b>Черепенькин И.В., Хуснутдинов А.Н.</b> Повышение эффективности работы системы городского электрического транспорта путем анализа качества электрической энергии системы тягового электроснабжения ЛЭП 6-10 кВ. . . . .	302
<b>Чернышов В.А., Коренков Д.А., Чернышова Л.А.</b> Обоснование целесообразности сигнализирования однофазных замыканий на землю на опорах ВЛ 6-10 кВ . . . . .	308
<b>Чернышов В.А., Лошкарев М.О.</b> Применение дистанционного автоматического контроля и регулирования стрел провеса проводов ЛЭП 6-10 кВ . . . . .	314
<b>Шарафутдинов Р.Г, Валиев А.М. Воркунов О.В.</b> Обучение основам программирования логического реле OMI PLR-S. . . . .	319
<b>Шарифуллин Р.Р., Валиуллина Д.М.</b> Техническое обслуживание подстанционного оборудования. . . . .	323
<b>Ялальдинов Р.Р, Сафиуллин Б.М., Муратаева Г.А.</b> О дополнении в системе цифрового мониторинга электрооборудования объектов транснефтьэнерго. . . . .	329
<b>Яхин Ш.Р, Хузяшев Р.Г, Гумаров А.Г</b> Вейвлет-анализ сигналов переходных процессов в электрической сети . . . . .	334