



ИНТЕР РАО
ЭЛЕКТРОГЕНЕРАЦИЯ



V Всероссийская
научно-практическая конференция
**«Проблемы и перспективы развития
электроэнергетики и электротехники»**,
посвященная 55-летию КГЭУ

11-12 октября 2023 г. Казань

Материалы конференции

В двух томах

Том I

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «КГЭУ»)

V ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ
(С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ) КОНФЕРЕНЦИЯ,
ПОСВЯЩЕННАЯ ПРАЗДНОВАНИЮ 55-ЛЕТИЯ КГЭУ
«ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ»

11–12 октября 2023 г.

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

В двух томах

Том 1

Под общей редакцией ректора КГЭУ Э.Ю. Абдуллазянова

Казань
2023

УДК 621.3
ББК 31.2
П78

Рецензенты:

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

Редакционная коллегия:

Э.Ю.Абдуллазянов (гл.редактор), И.Г.Ахметова, Р.Р. Гибадуллин,
В.Р. Иванова

П78 **V Всероссийская научно-практическая (с международным участием) конференция, посвященная празднованию 55-летия КГЭУ: «Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники»:** матер. конф. (Казань, 11–12 октября 2023 г.): в 2 т. / под общ. ред. ректора КГЭУ Э.Ю. Абдуллазянова. – Казань: КГЭУ, 2023. – Т. 1. – 482 с.

ISBN 978-5-89873-642-2 (т. 1)

ISBN 978-5-89873-644-6

В сборнике представлены материалы V Всероссийской научно-практической (с международным участием) конференции, посвященной празднованию 55-летия КГЭУ «Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники» по следующим научным направлениям:

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

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

Ответственность за содержание материалов докладов возлагается на авторов.

УДК 621.3
ББК 31.2

ISBN 978-5-89873-642-2 (т. 1)
ISBN 978-5-89873-644-6

© Казанский государственный
энергетический университет, 2023

Секция 1. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

УДК 620.9

ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ СМАРТ-МОНИТОРИНГА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Антипов Александр Сергеевич
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г.Казань
al.antipov13@mail.ru

Аннотация: современные промышленные предприятия стремятся к энергоэффективности и ресурсосбережению в целях сокращения затрат и снижения негативного воздействия на окружающую среду. В данной статье рассматривается внедрение системы смарт-мониторинга для оптимизации энергопотребления на промышленных предприятиях. Описываются преимущества такой системы, ее основные компоненты и принципы работы. Также представлены конкретные примеры внедрения смарт-мониторинга на промышленных предприятиях и их результаты.

Ключевые слова: смарт-мониторинг, энергопотребление, оптимизация, промышленные предприятия, энергоэффективность, ресурсосбережение.

IMPLEMENTATION OF SMART MONITORING SYSTEM FOR ENERGY CONSUMPTION OPTIMIZATION AT INDUSTRIAL ENTERPRISES

Antipov Alexandr Sergeevich
FSBEI HE «KSPEU», Kazan
al.antipov13@mail.ru

Abstract: modern industrial enterprises strive for energy efficiency and resource conservation to reduce costs and minimize their negative impact on the environment. This article focuses on the implementation of a smart monitoring system for optimizing energy consumption at industrial enterprises. It describes the advantages of such a system, its key components, and operating principles. Additionally, specific examples of smart monitoring implementation in industrial enterprises and their outcomes are presented.

Keywords: smart monitoring, energy consumption, optimization, industrial enterprises, energy efficiency, resource conservation.

Промышленные предприятия являются крупными потребителями энергии, что приводит к высоким затратам и негативному воздействию на окружающую среду. Для достижения устойчивого развития и повышения конкурентоспособности, предприятия все чаще обращают внимание на внедрение системы смарт-мониторинга, которая позволяет эффективно контролировать и оптимизировать энергопотребление [1].

Компоненты системы смарт-мониторинга:

Система смарт-мониторинга включает в себя несколько ключевых компонентов, включающих:

а) Датчики и измерительные устройства: Установка датчиков и измерительных устройств позволяет собирать данные о потреблении энергии на различных участках предприятия. Это могут быть датчики для измерения электроэнергии, воды, газа и других ресурсов.

б) Сетевая инфраструктура: для передачи данных от датчиков к системе управления используется сетевая инфраструктура, которая обеспечивает связь и передачу информации.

в) Система управления и анализа данных: Данные, полученные от датчиков, обрабатываются и анализируются в системе управления. Это позволяет получать информацию о текущем энергопотреблении, выявлять аномалии и оптимизировать использование ресурсов.

Преимущества внедрения системы смарт-мониторинга на промышленных предприятиях:

1) Точное определение энергозатрат: Система смарт-мониторинга предоставляет детализированную информацию о потреблении энергии на различных уровнях предприятия. Это позволяет точно определить, сколько энергии расходуется на конкретные процессы и оборудование. Такая информация помогает выявить потенциальные точки потерь и неэффективное использование ресурсов.

2) Выявление потенциальных утечек и аномалий: Система смарт-мониторинга непрерывно анализирует данные о потреблении энергии. Это позволяет быстро обнаруживать аномальные показатели, указывающие на возможные утечки энергии или неисправности оборудования. Благодаря этому, предприятия могут оперативно реагировать и предпринимать меры для устранения проблем, минимизируя потери.

3) Оптимизация энергопотребления и ресурсов: Анализ данных, полученных от системы смарт-мониторинга, позволяет идентифицировать области, где можно снизить энергопотребление или оптимизировать использование ресурсов. На основе этих данных предприятия могут принимать решения о внедрении энергоэффективных технологий, изменении рабочих процессов или модернизации оборудования, что в итоге приводит к снижению затрат на энергию и улучшению эффективности.

4) Экономическая эффективность: внедрение системы смарт-мониторинга может привести к существенным экономическим выгодам для предприятий. Оптимизация энергопотребления позволяет снизить

затраты на энергию, улучшить производительность и снизить эксплуатационные расходы. Также смарт-мониторинг способствует повышению конкурентоспособности предприятия за счет снижения экологического следа и укрепления репутации как экологически ответственной компании.

Реальные примеры успешного внедрения системы смарт-мониторинга подтверждают ее эффективность и практическую применимость. Вот пример успешного внедрения на промышленных предприятиях:

Schneider Electric и *Scania*: Компания *Schneider Electric*, специализирующаяся на энергетических решениях, сотрудничала с компанией *Scania*, производителем грузовых автомобилей, для внедрения системы смарт-мониторинга на их производственном предприятии. Система собирала данные о потреблении энергии на различных участках предприятия, включая освещение, оборудование и системы кондиционирования. Анализ этих данных позволил выявить потенциал для сокращения энергопотребления и оптимизации работы систем. В результате внедрения системы смарт-мониторинга *Scania* смогла снизить энергозатраты на 20 % и сэкономить значительные суммы на операционных расходах.

В целом, внедрение системы смарт-мониторинга является важным шагом в стремлении предприятий к энергоэффективности, устойчивому развитию и экологической ответственности. Правильное использование данных смарт-мониторинга может привести к снижению энергозатрат, экономическим выгодам и сокращению негативного воздействия на окружающую среду. Это не только помогает предприятиям стать более конкурентоспособными, но и способствует созданию устойчивой экономики и экологически устойчивого общества.

Внедрение системы смарт-мониторинга предприятиям предоставляет возможность более эффективно управлять своим энергопотреблением и ресурсами. Они могут точно измерять и контролировать потребление энергии на различных этапах производства, выявлять проблемные зоны и оптимизировать их работу. Это приводит к снижению энергозатрат, повышению энергоэффективности и сокращению операционных расходов предприятий.

Применение системы смарт-мониторинга также способствует снижению негативного воздействия на окружающую среду. Оптимизация энергопотребления позволяет уменьшить выбросы парниковых газов и других вредных веществ. Это соответствует стратегиям устойчивого развития и содействует созданию более экологически чистой и здоровой среды.

Список литературы

1. Денисова, А. Р. Энергоэффективное управление электротехническими системами / А. Р. Денисова, Г. Р. Абдуллина // Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники : материалы II Всероссийской научно-практической конференции : в 2 т., Казань, 18–19 марта 2020 года / Казанский государственный энергетический университет. Том 1. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2020. – С. 185-189.
2. Правила устройства электроустановок / 7-е изд. М.: Издательство Моргкнига, 2016. 576 с.
3. Хорольский В. Я., Таранов М. А. Надежность электроснабжения. М.: ДРОФА, 2013. 238 с.
4. Романова А. М., Стародубцева О. А. Переход к энергосберегающим технологиям – выход промышленных предприятий на новый уровень // Производственный менеджмент: теория, методология, практика: сб. матер. 11 Междунар. науч.-практ. конф. (Новосибирск, 7 дек. 2017 г.). Новосибирск: Изд-во ЦРНС, 2017.
5. Johnson, E., & Anderson, P. (2016). Smart Monitoring System for Energy Optimization: Case Study of Scania's Industrial Plant. Sustainable Production Journal, 5(4), 120–135.

УДК 621.314.21

ОБЗОР НЕИСПРАВНОСТЕЙ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Афанасьева Валентина Викторовна
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань,
afanasevavalentina384@gmail.com,
yura_kazan@mail.ru

Аннотация: трансформаторы являются очень важным компонентом энергосистемы. Без него было бы очень сложно обеспечить потребность в низком или высоком напряжении. В современной системе распределения электроэнергии трансформаторы используются для повышения напряжения и снижения потерь при передаче. На уровне генерации трансформатор повышает напряжение, чтобы свести к минимуму потери при передаче. Со стороны распределения трансформатор понижается для промышленного и бытового использования, будь то однофазный или трехфазный. В данной статье будут рассматриваться основные помехи и неисправности трансформатора, а также особенности трансформаторов в зависимости от неисправностей и типа защиты.

Ключевые слова: трансформаторы, неисправности, напряжение, потери, деградация, распределение энергии, прогнозирование.

OVERVIEW OF TRANSFORMER FAULTS

Afanaseva Valentina Viktorovna
FSBEI HE «KSPEU», Kazan
afanasevavalentina384@gmail.com,
yura_kazan@mail.ru

Abstract: transformers are a very important component of the power system. Without it, it would be very difficult to meet the need for low or high voltage. In a modern power distribution system, transformers are used to increase voltage and reduce transmission losses. At the generation level, the transformer increases the voltage to minimize transmission losses. On the distribution side, the transformer is lowered for industrial and domestic use, whether single-phase or three-phase. This article will consider the main disturbances and malfunctions of the transformer, as well as the features of transformers depending on the faults and the type of protection.

Keywords: transformers, malfunctions, voltage, losses, degradation, energy distribution, forecasting.

Силовой трансформатор преобразует напряжение и ток переменного тока для передачи, распределения и использования электроэнергии до уровня, при котором потери очень незначительны. Трансформаторы переменного тока гораздо более выгодны, чем системы постоянного тока, с повышенными уровнями нагрузки. Чтобы понять его неисправности и производительность, необходимо рассмотреть отказы и деградацию трансформаторов. Перегрузка в электрической системе возникает при демонтаже трансформаторного блока для обслуживания или ремонта. Перенаправленный поток электроэнергии может превышать передачу. Оценка состояния трансформатора является основным методом прогнозирования отказов. Если трансформатор не проявляет признаков полного отказа или снижения эффективности системы не могут обнаружить неисправности и нарушения.

Рассмотрим виды неисправностей трансформатора, одной из которых является перегрев. Для трансформаторов существуют потери нагрузки и холостого хода. Когда температура сердечника и обмоток трансформатора увеличивается, повышается температура воздуха, окружающего детали, и который рассеивает тепло в воздух через масляный бак и охлаждающее устройство. Перегрев может быть вызван следующими причинами: вентиляторы охлаждения не работают должным образом, радиатор загрязнен, температура окружающей атмосферы влияет на температуру трансформатора, низкий уровень масла.

Замыкание на землю происходит из-за заземления обмоток трансформатора. Одной из причин возникновения замыканий на землю является повреждение изоляции и когда катушка находится в непосредственном контакте с землей. Иногда в трансформаторе возникают

медленные утечки, но если их не устранить, это может привести к неисправности. В нормально работающем трансформаторе векторная сумма фазных токов равна нулю или находится в допустимом диапазоне.

Межвитковые неисправности являются причиной выхода трансформатора из строя. Если их не обнаружить на ранних стадиях, это может привести к серьезному повреждению трансформаторов и снижению их эффективности. Эта неисправность возникает, когда витки в одних и тех же обмотках замыкаются накоротко, происходит уменьшение передаточного отношения клемм, что приводит к уменьшению токов клемм. Это может произойти из-за удара молнии или старения трансформатора.

Для выполнения дифференциальной защиты трансформатора устанавливаются трансформаторы тока со стороны всех его обмоток. К вторичной обмотке, соединенной в дифференциальную схему, параллельно подключается реле защиты. Недостатки дифференциальной защиты:

- различия характеристик трансформаторов тока из-за погрешности соотношения при больших значениях токов короткого замыкания могут привести к значительному дисбалансу токов во вторичных обмотках, что может привести к срабатыванию реле;

- изменение коэффициента трансформации трансформаторов тока также необходимо будет изменять в соответствии с изменением коэффициента трансформации силовых трансформаторов;

- длина контрольных проводов с обеих сторон силовых трансформаторов не одинакова, что может привести к дисбалансу. Эта ситуация решается путем добавления балансирующих резисторов к контрольным проводам;

- когда трансформатор находится под напряжением, пусковой ток намагничивания может в десять раз превышать ток при полной нагрузке.

Реле Бухгольца – это особое газовое реле, используемое для защиты масляных трансформаторов от всех типов внутренних неисправностей. Когда уровень масла падает ниже определенного установленного параметра, реле подает сигнал тревоги, при более серьезных неисправностях реле отключает питание трансформатора. Принцип действия реле Бухгольца основан на разложении масла в баке трансформатора. При разложении нефти большая часть газа представляет собой водород, который является легким. Когда он поднимается по трубе к расширителю и из-за скопления газа реле подает сигнал тревоги.

Для долгосрочной и исправной работы трансформаторов необходимо регулярно контролировать оборудование, даже если установлены защиты.

Список литературы

1. Класс, Электрика. «Реле Бухгольца – принцип, конструкция и применение» URL: www.electricalclassroom.com/buchholz-relayworkingprinciple (дата обращения: 18.05.2023 г.).
2. Голоднов, Ю.М. Контроль за состоянием трансформаторов // Ю.М. Голоднов. - М.: Энергоатомиздат, 2017. - 859 с.
3. Фарбман, С. А. Ремонт и модернизация трансформаторов // С.А. Фарбман. - М.: ЁЁ Медиа, 2019. - 226 с.
4. Акимов, Н.Н. Резисторы, конденсаторы, трансформаторы, дроссели, коммутационные устройства РЭА. Справочник // Н.Н. Акимов, Е.П. Ващуков, В.А. Прохоренко, и др. - М.: Мн: Беларусь, 2016. - 591 с.
5. Вторичная нагрузка трансформаторов тока. Методика выполнения измерений без отключения цепей МИ 3196-2009. // М.: Энергия, 2018. -215 с.

УДК 621.316.91

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА ФИКСАЦИИ НАЧАЛА НЕЛИНЕЙНЫХ ИСКАЖЕНИЙ СИГНАЛА НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТИ

Андреев Олег Николаевич
ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова»
helga013@yandex.ru

Аннотация: продемонстрирована работа программно-аппаратных средств, основанных на искусственной нейронной сети прямого распространения, для локализации начала нелинейных искажений сигнала при насыщении измерительного трансформатора тока. Обученная нейронная сеть, занесённая в стандартный микроконтроллер, позволяет вести обработку сигнала в реальном времени. Проведена оценка процессорного времени микроконтроллера. Тестирование проводилось на стенде с помощью программно-аппаратного комплекса РЕТОМ.

Ключевые слова: искусственные нейронные сети, обработка сигналов, нелинейные искажения, переходный процесс.

HARDWARE AND SOFTWARE MEANS OF FIXING THE NONLINEAR SIGNAL DISTORTIONS BEGINNING BASED ON A NEURAL NETWORK

Andreev Oleg Nikolaevich
I.N. Ulyanov Chuvash State University
helga013@yandex.ru

Abstract: the work of soft hardware based on the direct propagation artificial neural network for localization of the beginning of nonlinear signal distortions during saturation of the measuring current transformer is demonstrated. A trained neural network embedded in a

standard microcontroller allows real-time signal processing. The evaluation of the microcontroller processor time is carried out. Testing was carried out at the stand using the RETOM hardware and software complex.

Keywords: perceptron, artificial neural networks, signal processing, nonlinear distortion, transient.

При контроле режимов электротехнических комплексов необходима идентификация большого числа параметров [1]. Для этого при цифровой обработке сигналов могут использоваться искусственные нейронные сети (ИНС) [2,3]. В микропроцессорной технике, для решения задач реального времени, применение ИНС прямого распространения возможно благодаря их простой архитектуре [4].

В данной работе показано применение ИНС в микропроцессорном устройстве для определения начала искажения электрического сигнала вследствие насыщения измерительного трансформатора тока [5]. Структура ИНС показана на рисунке 1. На входе ИНС 12 нейронов, на которые подаются отсчеты электрического сигнала. В скрытом слое 15 нейронов, на выходе ИНС – целевая функция R , которая может принимать значение true (искажение есть) и false (искажения нет).

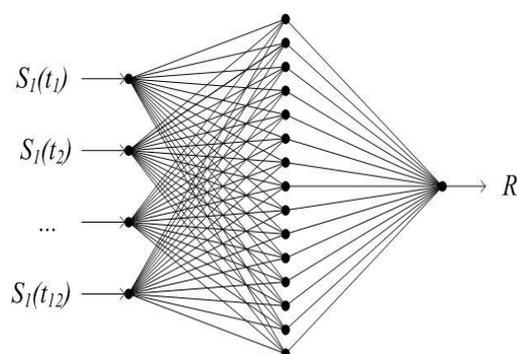


Рис.1. Структура ИНС для определения начала искажения сигнала промышленной частоты

Для обучения и тестирования ИНС в компьютере создавалась обучающая выборка из 10000 сигналов, полученной с помощью следующей простой аналитической формулы:

$$S_1(t) = I_0 \cdot e^{-t/\tau} \cdot \sin(\phi) + \sum_k I_k \sin(2k \cdot \pi \cdot f \cdot t + k \cdot \phi),$$

где $k = 1, 2, 3, 5, 7$; $I_0, I_1, I_2, I_3, I_5, I_7, f, \phi$ – случайные величины, равномерно распределенные в соответствующих диапазонах. В обучающей и тестовой выборке содержится 5000 сигналов с искажением и 5000 сигналов без искажения.

Сигналы генерировались с помощью программно-аппаратного комплекса РЕТОМ и подавались на измерительный трансформатор тока.

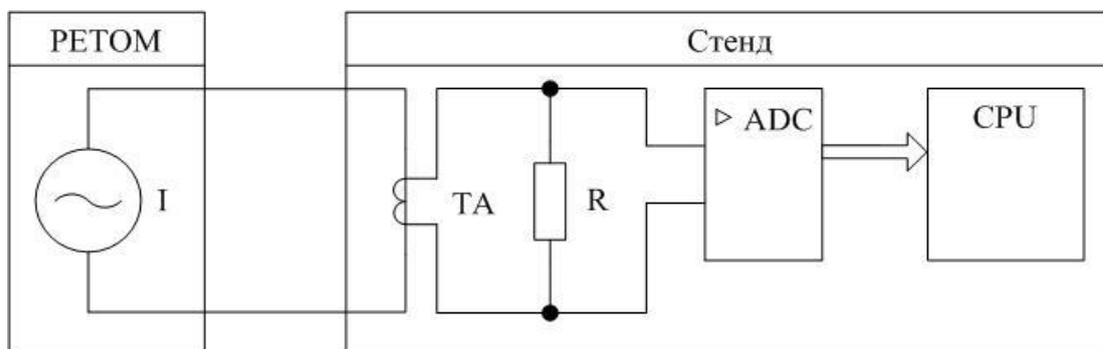


Рис. 2. Схема тестового стенда на базе микроконтроллера

Для насыщения трансформатора тока в периодический сигнал основной частоты добавлялась экспоненциальная аperiodическая составляющая в соответствии с рекомендациями для проверки измерительных трансформаторов по ГОСТ Р МЭК 61869-2-2015. Сигнал с вторичной обмотки измерительного трансформатора тока оцифровывается аналого-цифровым преобразователем (АЦП) ADC с частотой 2400 Гц. Оцифрованный сигнал «прореживается» до 600Гц и поступает на микроконтроллер CPU с тактовой частотой 100 МГц в режиме «скользящего окна».

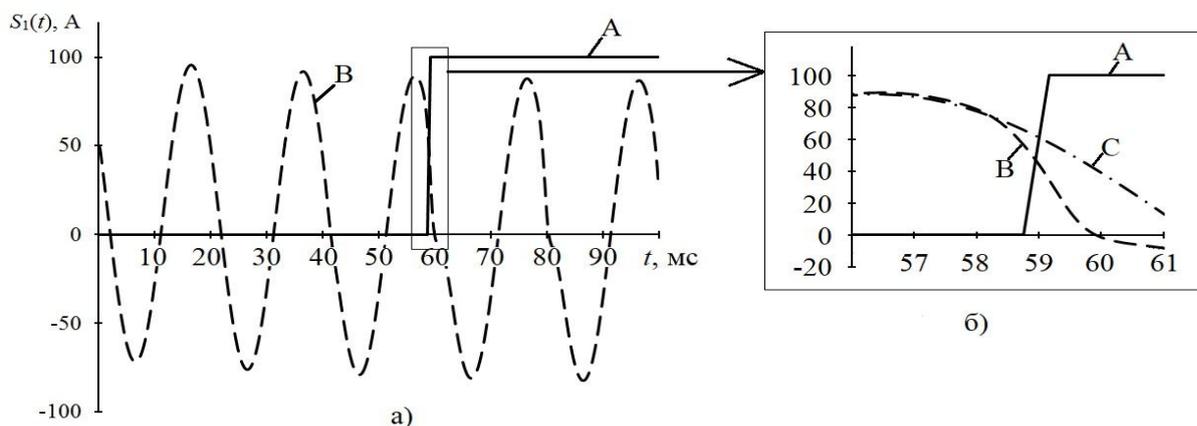


Рис. 3. Работа ИНС, определяющей наличие искажения в сигнале. А – выходной сигнал ИНС, В – сигнал $S_1(t)$ во вторичной обмотке трансформатора тока, С – сигнал $S_1(t)$ в первичной обмотке трансформатора тока

Время вычислений в микроконтроллере составляло не более 100 мкс. Как видно из рисунка 3, ИНС простой архитектуры позволяет локализовать начало искажения сигнала за время между двумя отсчетами.

Список литературы

1. Афанасьев, А. Ю. Идентификация параметров трехфазного асинхронного двигателя при изменении начальных значений оценок в широком диапазоне / А. Ю. Афанасьев, В. Г. Макаров, В. Н. Ханнанова // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2015. № 11-12. С. 87-96.
2. Андреев, О. Н. Структурный анализ электротехнических сигналов при рекуррентном использовании многослойного персептрона / О. Н. Андреев, А. Л. Славутский, В. В. Алексеев // Электротехника. 2022. № 8. С. 41-44. DOI 10.53891/00135860_2022_8_41.
3. Andreev, O.N. Neural network in a sliding window for power grids signals structural analysis. / O.N. Andreev, A.L. Slavutskiy, L.A. Slavutskii // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 990 012054. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/990/1/012054>
4. Slavutskiy A, Slavutskii L., Slavutskaya E. Neural Network for Real-Time Signal Processing: the Nonlinear Distortions Filtering. International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). 2021. P. 84-88. DOI: 10.1109/UralCon52005.2021.9559619.
5. Кужеков, С. Л. Обеспечение правильной работы микропроцессорных устройств дифференциальной защиты при насыщении трансформаторов тока / С. Л. Кужеков, Г. С. Нудельман // Электромеханика. 2009. №4. С. 12–17.

УДК 658.261

ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ ОБЪЕКТОВ С ПОМОЩЬЮ ПЛАВУЧИХ ЭНЕРГОПОНТОНОВ

¹Антонович Дмитрий Владимирович, ²Игнатенко Андрей Олегович,
³Овечкин Егор Сергеевич, ⁴Лемешонок Максим Сергеевич
Военный институт (инженерно-технический) Военной академии материально-
технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева. г. Санкт-Петербург,
Российская Федерация
¹dmit.antonovitch@yandex.ru, ²vo.rondo4@gmail.com, ³Oveckinegor3715@gmail.com,
⁴lemeshonok.maksim@mail.ru

Аннотация: надежное энергоснабжение ответственных объектов, расположенных в непосредственной близости водных путей, возможно обеспечить с помощью современных плавучих энергопунктов-(электростанций). В качестве базового двигателя предполагается использование газотурбинной установки. Важным достоинством установок является выработка не только электрической энергии, но и тепловой. Российская судостроительная промышленность располагает всем необходимым для осуществления серийного выпуска плавучих электростанций.

Ключевые слова: газотурбинная установка, коэффициент полезного действия, энергоснабжения промышленных и военных объектов, плавучая генераторная электростанция, коэффициент использования теплоты топлива, энергопonton.

ENERGY SUPPLY OF FACILITIES USING FLOATING ENERGY PONTOONS

¹Antonovich D.V., ²Ignatenko A.O., ³Ovechkin E.S., ⁴Lemeshonok M.S
Military Institute (Engineering and Technical) Military Academy of Logistics named after
Army General A.V. Khrulev. St. Petersburg, Russian Federation.

¹dmit.antonovitch@yandex.ru, ²vo.rondo4@gmail.com, ³Oveckinegor3715@gmail.com,
⁴lemeshonok.maksim@mail.ru

Abstract: reliable power supply of critical facilities located in the immediate vicinity of waterways can be provided with the help of modern floating power substations. As a base engine, it is possible to use a gas turbine installation. An important advantage of the installations is the production of not only electrical energy, but also heat. The Russian shipbuilding industry has everything necessary for the serial production of floating power plants.

Keywords: as turbine plant, efficiency coefficient, power supply of industrial and military facilities, floating generator power plant, fuel heat utilization coefficient, energy pontoon.

Надежное и бесперебойное обеспечение потребителей тепловой и электрической энергией является важнейшей государственной задачей. Любой потребитель вне зависимости от местоположения, времени суток и года должен иметь всегда возможность получать качественную энергию. Особую важность это приобретает при ликвидации последствий техногенных и природных аварий, энергообеспечении специальных объектов, в условиях низких температур, а также на новых территориях нашей страны, где нет централизованного снабжения потребителей энергией или при разрушенной системе энергоснабжения.

Возможным способом решения этой задачи - широкое использование стационарных/резервных автономных источников энергоснабжения на базе газотурбинных установок (ГТУ) различного мощностного ряда и исполнения. В нашей стране накоплен огромный теоретический и практический опыт использования подобных установок. Суммарная мощность ГТУ, выпущенных для этих целей только заводами Советского Союза и России, превышает миллионы кВт. Данные установки способны одновременной вырабатывать тепловую и электрическую энергию с коэффициентом использования теплоты топлива достигающим 94 %. Использование отечественных авиационных газотурбинных агрегатов отлично подходит для выработки электроэнергии. ГТУ отличаются высоким техническим совершенством, компактностью, надежностью,

не требуют охлаждающей воды, обладают быстрым пуском в работу (1–3 мин) и могут быть использованы на передвижных автоматизированных энергоустановках небольшой мощности (1000–3000 кВт), так и на более мощных, в том числе пиковых. Мобильные установки легко монтируются на передвижных платформах и могут быть доставлены практически в любой район.

В послевоенное время в связи с активным индустриальным ростом остро встал вопрос энергоснабжения промышленных и военных объектов, а также рабочих посёлков Крайнего Севера. Строительство на местах стационарных теплоэлектростанций является очень затратным, с финансовой точки зрения, и сложным с технической стороны. И в начале 1960-х годов был предложен вариант создания передвижных электростанций. В разработках активное участие принимали ученые, военные энергетики ЛВВИСКУ А.Н. Ложкин и А.Н. Успенский. Для этих целей была начата разработка проекта плавучих электростанций.

Плавучая электростанция (ПЛЭС) «Северное сияние» – серия передвижных электростанций проекта 1527, установленных на буксируемых плавсредствах для обеспечения электро- и теплоэнергией в виде пара, либо же горячей воды промышленных труднодоступных районов Северо-Востока нашей страны и военных объектов. ПЛЭС доставлялась к месту базирования по водным путям, что обеспечивает быстрое подключение к потребителям.

Авторами предложен мощностной ряд современных энергопунктов (электростанций) для объектов «малой энергетики»: 2,5/7, 4/12, 6,5/20, 12/40 (электрическая/тепловая) мощность, МВт соответственно. Для удобства транспортировки, хранения запасов ГСМ и ЗИПа, размещения и полноценного отдыха обслуживающего персонала предлагается сохранить «традиционную» форму судна, хотя это не является догмой. Внешний вид представлен на рисунке 1.

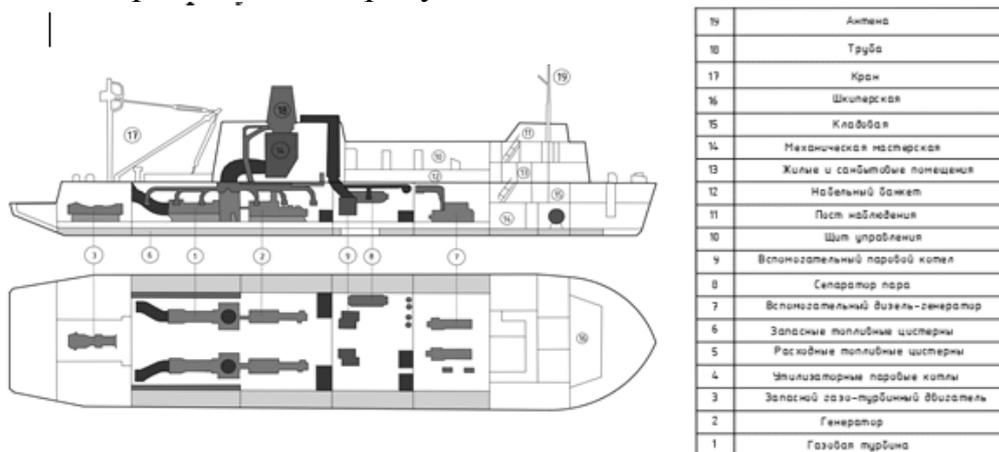


Рис. 1. Внешний вид энергопункта 12/40

Принципиальная тепловая схема изображена на рисунке 2. Численность персонала на станциях может составить от 8 до 44 человек. Функционал энергопункта возможно расширить установкой дополнительного оборудования для опреснения морской воды, производства холода и т.п. Срок полной автономности станции может составлять до 10 суток.

При работе станция (энергопункт) может располагаться как в предварительно подготовленном затоне или ковше (при предварительном проектировании и длительном использовании), так и непосредственно у причальной стенки (якорных бочках) – при ликвидации аварийных ситуаций энергоснабжения.

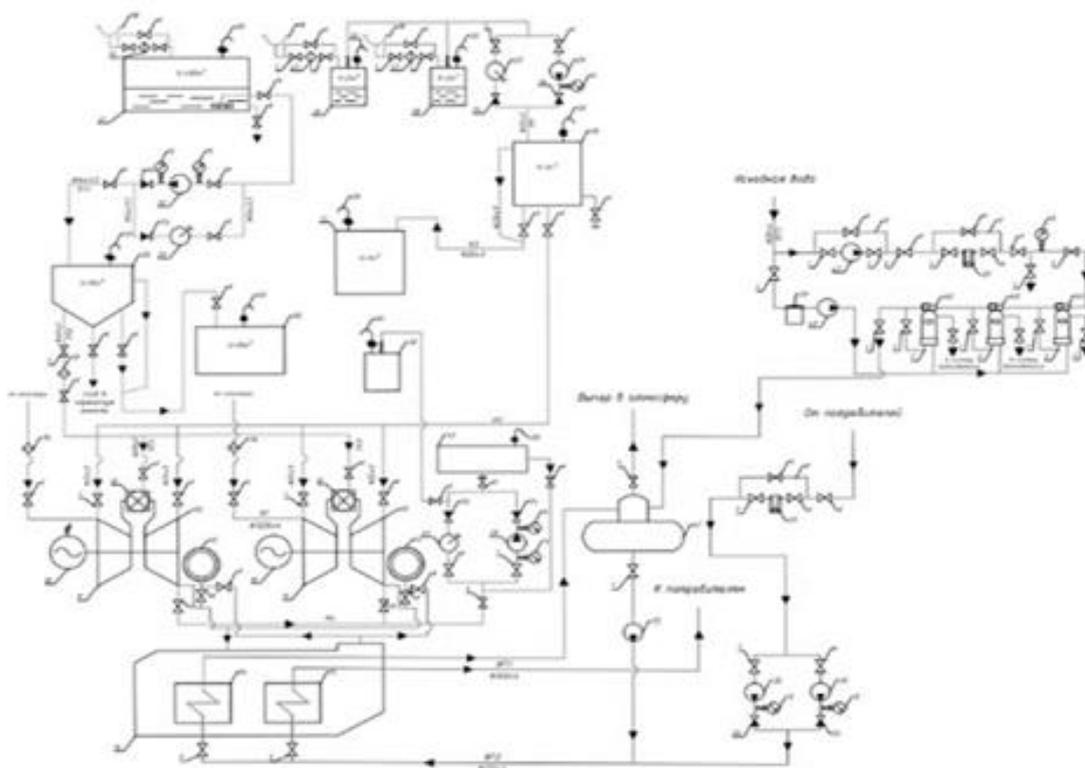


Рис. 2. Принципиальная тепловая схема установки

Судостроительный комплекс г. Санкт-Петербурга после практического опыта создания первой плавучей атомной станции «Михаил Ломоносов» готов к новым серийным проектам для энергетики страны! Срок строительства составит 10-14 месяцев.

Список литературы

1. <https://forums.airbase.ru/2018/08/t104697--plavuchaya-generatornaya-elektrostantsiya-ples-severnoe-siya.html>

2. Липицкий А. Г. Плавающая электростанция // Энергетические мускулы Севера. — Магадан: Магаданское книжное издательство, 1986. С. 128.

3. Кривов В.Г., Успенский А.Н. Тепломеханическая часть военных электростанций // СПб.: ВИ(ИТ) ВА МТО, 2020. С. 522.

4. Сайданов В.О. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии // СПб.: ВИ(ИТ) ВА МТО, 2021. С. 467.

5. Успенский А.Н. Паровые и газовые турбины // СПб.: ВИ(ИТ) ВА МТО, 2021. С. 250.

УДК 681.522

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭНЕРГОСИЛОВОМ ОБОРУДОВАНИИ: УЛУЧШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ

Ахунова Алия Флусовна
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
ahunovaaliya@yandex.ru

Аннотация: данная статья посвящена рассмотрению инновационных технологий в области энергосилового оборудования и их влиянию на повышение надежности и эффективности энергосистем. В статье представлен обзор современных технологий, включая умные сети, автоматизацию, дистанционное управление и мониторинг, а также рассмотрены новые материалы и компоненты, способствующие надежности и надежности систем энергосилового оборудования. В конечном итоге, использование инновационных технологий в энергосиловом оборудовании способно значительно повысить эффективность и надежность сетей, обеспечивая стабильное и безопасное энергоснабжение.

Ключевые слова: автоматизация, инновационные технологии, удаленное управление, стабильное энергоснабжение, механическая прочность, повышение надежности.

INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN POWER EQUIPMENT: IMPROVING EFFICIENCY AND RELIABILITY OF SYSTEMS

Ahunova Aliya Flusovna
FSBEI HE «KSPEU», Kazan

Abstract: this article focuses on the examination of innovative technologies in the field of power equipment and their impact on enhancing the reliability and efficiency of power systems. The paper provides an overview of contemporary technologies, including smart grids, automation, and remote control and monitoring, and also discusses new materials and components that contribute to the reliability and dependability of power equipment systems. Ultimately, the utilization of innovative technologies in power equipment has the

potential to significantly improve the efficiency and reliability of networks, ensuring stable and secure power supply.

Keywords: automation, innovative technologies, remote control, stable power supply, mechanical strength, increased reliability.

Стабильность работы энергосистем и энергоснабжений разных отраслей промышленности напрямую зависит от энергосиловых оборудований. Однако на практике выявляются такие проблемы:

- увеличение нагрузки
- потеря работоспособности оборудований
- необходимость обеспечения надежности и безопасности

Для решения этих проблем все больше применяются инновационные технологии, которые способны повысить надежность и надежность систем энергосилового оборудования. Основной фундаментальной проблемой в анализе надежности является неопределенность в возникновении и последствиях отказов.

В качестве основы для системного подхода, используемого для разработки модели оценки индекса надежности для тепловых электростанций, применяют анализ графа. При этом система разделена на подсистемы с последующим представлением результатов по каждому элементу и их взаимодействию. Эти соединения создают метод, который можно использовать для определения стратегии технического обслуживания, и позволяющий установить границы надежности электростанции.

Изучение надежности сложных систем, особенно, таких как тепловые электростанции, представляют огромный интерес для энергетических компаний. Прежде всего это связано с минимизацией эксплуатационных расходов и снижению финансовых затрат, обеспечивая при этом безопасность, надежность и оставаясь конкурентоспособными на рынке энергоресурсов. Отметим, что в условиях цифровизации энергетических систем требуется новый подход к оценке и повышению надежности и безопасности работы генерирующего оборудования на всех этапах жизненного цикла [3 – 7].

Умные сети представляют собой интегрированные системы энергоснабжения, оснащенные средствами автоматизации, мониторинга и управления. Они предоставляют возможность эффективного управления потреблением энергии и интеграции возобновляемых источников энергии. Умные сети позволяют обнаруживать и устранять сбои в энергосиловом оборудовании автоматически, минимизируя время простоя и обеспечивая надежную работу системы.

Автоматизация играет важную роль в повышении надежности и надежности энергосилового оборудования. Автоматизированные

системы контроля и управления позволяют оперативно реагировать на изменения в сети, оптимизировать работу оборудования и предотвращать возможные сбои. Технологии автоматизации включают средства удаленного управления, системы контроля состояния оборудования и алгоритмы прогнозирования, что существенно повышает эффективность и надежность систем энергосилового оборудования.

Дистанционное управление и мониторинг позволяют операторам энергосетей эффективно контролировать и управлять работой энергосилового оборудования удаленно. Это позволяет операторам оперативно реагировать на возникающие проблемы и сбои, минимизируя время простоя и обеспечивая непрерывное энергоснабжение. Дистанционное управление и мониторинг также способствуют оптимизации энергопотребления и улучшению эффективности системы.

Разработка и применение новых материалов и компонентов является важным фактором для повышения надежности и долговечности систем энергосилового оборудования. Применение новых материалов, таких как прочные и долговечные полимеры и композиты, может улучшить механическую прочность и защиту оборудования от коррозии. Кроме того, новые компоненты, такие как надежные и энергоэффективные полупроводниковые приборы, способны снизить энергопотери и повысить эффективность работы системы.

Таким образом, инновационные технологии в области энергосилового оборудования играют важную роль в повышении надежности и долговечности энергосистем. Умные сети, автоматизация, дистанционное управление и мониторинг, а также применение новых материалов и компонентов способны значительно улучшить эффективность работы энергосилового оборудования. Эти инновационные технологии обеспечивают стабильное и безопасное энергоснабжение, способствуя развитию экономики и повышению качества жизни людей.

Отсутствие единой системы прогнозирования выхода из строя элементов энергетического оборудования электростанций при случайном характере возникновения дефектов приводит к снижению надежной и безопасной работы оборудования в целом. Определение фактического технического состояния основного и вспомогательного конкретного оборудования или всей энергетической установки определяется техническим состоянием элементов оборудования. Определение остаточного ресурса, возможно, оценить с помощью статистических методов.

Статистика повреждаемости при оценке показателей безотказной работы различных функциональных узлов играет важную роль в управлении надежностью котельного оборудования, направленная на

достижение требуемого уровня надежности работы наиболее повреждаемых отдельных элементов и ресурсо-определяющих функциональных узлов основного оборудования электростанций и энергетических систем.

Повышение или обеспечение заданных значений параметров надежности элементов теплоснабжающих систем (ТСС) осуществляется за счет снижения интенсивностей их отказов и повышения интенсивностей восстановления (сокращения времени восстановления). Реализация первого направления достигается заменой элементов на более надежные и/или их резервированием (дублированием, использованием горячего резерва). Второе направление может быть реализовано за счет расширения ремонтных бригад, оснащения автоматизированными системами обнаружения и локализации аварий, оптимального управления послеаварийными гидравлическими режимами в тепловых сетях (ТС) и других мероприятий, позволяющих сократить время устранения отказов.

Список литературы

1. Султанов М.М., Труханов В.М., Аракелян Э.К., Куликова М.А. Методы достижения и обеспечения высокого уровня надежности и безопасности энергетического оборудования ТЭС, ГЭС, АЭС на всех этапах жизненного цикла // Новое в российской электроэнергетике. 2018. № 3. С. 6-15.
2. Султанов М.М., Курьянова Е.В. Техно-экономическая оценка параметров тепловых схем ТЭС с водородным генератором // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 2. С. 46-55.
3. Труханов В. М., Тарнаев А. Г. Надежность и диагностика сложных систем: уч. / под общ. ред. В.М. Труханова. М.: Издательский дом «Спектр», 2016. 175 с.
4. Труханов В.М. Надежность технических систем типа подвижных установок на этапе проектирования и испытаний опытных образцов: монография. М.: Машиностроение, 2003. 320 с. 5. PSCAD [Электронный ресурс] // URL: <https://www.pscad.com> (дата обращения: 10.09.23)
5. Федотов А.И., Вагапов Г.В., Абдуллазянов А.Ф., и др. Цифровая система мониторинга повреждений на линиях электропередачи // Известия высших учебных заведений. проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 1. С. 146-155.
6. 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. С. 43-54.

ТРЕНДЫ В РАЗВИТИИ ЭНЕРГОСИЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ: ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ К ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ

Ахунова Алия Флусовна
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
ahunovaaliya@yandex.ru

Аннотация: данная статья посвящена анализу трендов в развитии энергосилового оборудования и инновационным подходам, направленным на повышение эффективности и надежности систем. В статье представлен обзор современных технологических трендов, включая цифровизацию, автоматизацию, умные сети и использование возобновляемых источников энергии. Особое внимание уделено новым материалам и концепциям, способным оптимизировать работу энергосилового оборудования и обеспечить надежность систем. В результате применения инновационных подходов в развитии энергосилового оборудования достигается повышение эффективности и надежности энергосистем.

Ключевые слова: умные сети, возобновляемые источники энергии, энергосиловые оборудования, инновационные подходы, надежность системы, оптимизировать работу.

TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF POWER EQUIPMENT: INNOVATIVE APPROACHES TO IMPROVING THE EFFICIENCY AND RELIABILITY OF SYSTEMS

Ahunova Aliya Flusovna
FSBEI HE «KSPEU», Kazan

Abstract: this article explores the trends in the development of power equipment and innovative approaches to enhancing the efficiency and reliability of systems. The paper provides an overview of current technological trends, including digitization, automation, smart grids, and the use of renewable energy sources. Special attention is given to new materials and concepts that optimize the operation of power equipment and ensure system reliability. The application of innovative approaches in the development of power equipment leads to improved efficiency and reliability of power systems.

Keywords: smart grids, renewable energy sources, power equipment, innovative approaches, system reliability, optimize operation.

Развитие энергосилового оборудования является ключевым фактором в обеспечении стабильного энергоснабжения и поддержания эффективности энергосистем. В современном мире существует ряд вызовов, таких как увеличение энергопотребления, необходимость минимизации выбросов углерода и обеспечение надежности систем. Для решения этих проблем применяются инновационные подходы,

направленные на повышение эффективности и надежности энергосилового оборудования.

Для организации эффективной и надежной эксплуатации гидротурбинных установок необходимо после комплексного их опробования (в период освоения) провести натурные испытания. Эти испытания позволят: выявить недостатки проектирования, изготовления и монтажа оборудования; проверить выполнение технических условий и заводских гарантий по энергетическим и механическим характеристикам, гарантий регулирования гидротурбин. Проверить надежность отдельных узлов и гидроагрегатов в целом; установить оптимальные режимы и условия работы гидроагрегатов; определить действительные запасы статической и динамической устойчивости гидрогенераторов при параллельной работе в энергосистеме [1–6].

Цифровизация играет важную роль в современном развитии энергосилового оборудования. Внедрение цифровых технологий позволяет собирать и анализировать большие объемы данных о работе системы, что помогает оптимизировать процессы и повысить эффективность работы оборудования. Цифровизация также способствует оптимизации расходов энергии и повышению энергоэффективности систем.

Автоматизация является ключевым трендом в развитии энергосилового оборудования. Применение автоматических систем управления и контроля позволяет снизить риск ошибок, оптимизировать работу оборудования и обеспечить непрерывность энергоснабжения. Автоматизация включает в себя автоматическое управление процессами, алгоритмы прогнозирования и адаптивные системы, которые позволяют оперативно реагировать на изменения в сети. Такой подход способствует повышению надежности и эффективности систем энергосилового оборудования.

Умные сети являются одним из наиболее значимых трендов в развитии энергосилового оборудования. Они представляют собой интегрированные системы энергоснабжения, оснащенные средствами автоматизации, мониторинга и управления. Умные сети позволяют интегрировать различные источники энергии, включая возобновляемые источники, и эффективно управлять потреблением энергии. Это обеспечивает более стабильную работу системы, снижает энергопотери и повышает надежность энергосилового оборудования.

Развитие и использование возобновляемых источников энергии также является важным трендом в энергосиловом оборудовании. Солнечная и ветровая энергия, геотермальные ресурсы и другие возобновляемые источники становятся все более популярными.

Интеграция возобновляемых источников энергии в системы энергоснабжения требует разработки новых технологий и инфраструктуры, что в свою очередь способствует развитию инновационного энергосилового оборудования и повышению надежности систем.

Одним из ключевых трендов в развитии энергосилового оборудования является повышение энергоэффективности систем. С ростом экологической осознанности и стремлением к снижению затрат на энергию производители стремятся создавать оборудование, которое потребляет меньше энергии, но при этом обеспечивает высокую производительность. Это достигается за счет использования новых технологий, таких как улучшенные системы управления, оптимизация процессов, применение высокоэффективных энергосберегающих материалов и компонентов.

Еще одним важным трендом является развитие систем умного управления. С прогрессом Интернета вещей (*IoT*) и цифровых технологий, энергосиловое оборудование становится все более автоматизированным и интеллектуальным. Умные системы управления позволяют отслеживать и анализировать работу оборудования в режиме реального времени, оптимизировать его работу, предупреждать о возможных сбоях и авариях, а также дистанционно управлять системой. Это повышает эффективность работы оборудования и сокращает время простоя системы в случае возникновения проблем.

Еще одним трендом является интеграция возобновляемых источников энергии. С ростом интереса к экологически чистой энергии происходит активное развитие систем, которые объединяют различные источники энергии, такие как солнечная и ветровая энергия, с традиционными источниками, такими как электричество от сети или генераторы. Интеграция возобновляемых источников энергии помогает снизить зависимость от ископаемых видов топлива, снижает выбросы вредных веществ и создает более устойчивую и надежную систему энергоснабжения.

Тренды в развитии энергосилового оборудования указывают на необходимость применения инновационных подходов для повышения эффективности и надежности систем. Цифровизация, автоматизация, умные сети и использование возобновляемых источников энергии играют ключевую роль в достижении этих целей. Применение инновационных подходов способствует оптимизации работы энергосилового оборудования, улучшению энергоэффективности и обеспечению стабильного и надежного энергоснабжения. Дальнейшее исследование и развитие этих трендов открывают новые возможности для современных энергосистем и способствуют устойчивому развитию энергетической инфраструктуры.

Список литературы

1. Методические указания по проведению натуральных испытаний гидротурбинных агрегатов при вводе их в эксплуатацию на ГЭС. Москва: СПО ОРГРЭС, 2001. 13 с.

2. Дмитриев С.Г., Минаков В.А, Козлов Д.Д., Федосеев И.А. Вибрационные испытания гидроэнергетического оборудования. Натурные испытания гидроагрегатов № 13, 20, 21. Проведение вибрационных испытаний гидрогенераторов №5, 20 для перемаркировки на большую мощность Филиала ОАО «Русгидро» - «Волжская ГЭС»: технический отчет (этап 3). Москва, 2014. 75 с.

3. Правила безопасности при обслуживании гидротехнических сооружений и гидромеханического оборудования энергоснабжающих организаций: РД 153-34.0-03.205-2001. М.: «Издательство НЦ ЭНАС», 2001.

4. ГОСТ 28842-90. Турбины гидравлические. Методы натуральных приемочных испытаний.

5. Объем и нормы испытаний электрооборудования: РД 34.45-51.300 - 97. М.: ЭНАС, 1998.

6. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации: РД 34.20.501-95. М.: СПО ОРГРЭС, 1996

УДК 321.728

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ УЛИЧНЫМ ОСВЕЩЕНИЕМ

¹Бакирова Рузиля Ралифовна, ²Денисова Алина Ренатовна
^{1,2}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
¹r.bakirova2017@yandex.ru, ²denisova_ar@mail.ru

Аннотация: в статье предложена интеллектуальная система управления уличным освещением, рассмотрена система регулирования светового потока светильника ADL-system, рассчитан экономический эффект внедрения систем диммирования.

Ключевые слова: диммирование, система уличного освещения, контроллер, фотодатчик, широтно-импульсная модуляция, ADL-System

INTELLIGENT STREET LIGHTING CONTROL SYSTEM

¹Bakirova Ruzilya Ralifovna, ²Denisova Alina Rinatovna
^{1,2}FSBEI HE «KSPEU», Kazan

Abstract: the article proposes an intelligent control system for street lighting. The system of regulating the luminous flux of the ADL-system lamp is considered. The economic effect of the introduction of dimming systems is calculated.

Keywords: dimming, street lighting system, controller, photo sensor, pulse width modulation, ADL-System

Уличное освещение с диммированием – это система освещения, которая позволяет регулировать яркость света, излучаемого уличными фонарями или светильниками. Диммирование позволяет управлять уровнем освещения в зависимости от конкретных потребностей и условий.

Преимущества уличного освещения с диммированием: энергосбережение, создание атмосферы, улучшение безопасности, долговечность, управление с помощью различных технологий.

ADL-System – это современное решение для энергоэффективного освещения, которое соответствует требованиям и позволяет снижать затраты на электроэнергию, посредством регулирования интенсивности искусственного света [1-5]. Она состоит из устройств, подключенных к светодиодному светильнику, которые обеспечивают поддержание заданной освещенности на определенном уровне. Система автоматически реагирует на изменения уровня естественной освещенности и корректирует интенсивность светового потока светильника для поддержания нормированного уровня освещенности.

Контроллер и фотодатчик – это ключевые компоненты системы автоматического регулирования уличного освещения. Контроллер является устройством, которое обрабатывает информацию от фотодатчика и отправляет сигналы для регулирования светодиодного светильника. Он может быть запрограммирован, чтобы изменять световой поток в зависимости от времени суток или других параметров. Фотодатчик - это оптическое устройство, которое используется для измерения уровня освещенности в конкретной точке. Фотодатчик направлен на рабочую поверхность под светильником и позволяет контроллеру получать точные данные об уровне естественного освещения в данной зоне. Регулирование осуществляется независимо для каждого светильника, потому что система внедряется в каждый светильник.

Для регулирования освещенности используется специальный датчик диммирования, который оценивает уровень освещенности в конкретной зоне.

После получения сигнала от датчика диммирования, модуль управления преобразует его в электрический сигнал и подвергает ШИМ (широтно-импульсной модуляции). ШИМ – это метод модуляции сигнала, при котором изменяется ширина импульсов без изменения их частоты. Данный метод позволяет управлять мощностью светового потока светодиодного светильника. Затем усиленный сигнал ШИМ поступает на драйвер светильника, который регулирует мощность светового потока.

Драйвер светильника – это устройство, которое управляет работой светодиодов, контролируя их яркость и стабильность тока. Он обеспечивает эффективную работу светодиодов и увеличивает срок службы светильника.

ADL-System – это, безусловно, интересная система, которая имеет ряд преимуществ. Она позволяет эффективно использовать светильники и увеличивать их ресурс за счет работы в «щадящем» режиме. Кроме того, отсутствие необходимости дополнительных настроек при монтаже светильников и обслуживания в процессе эксплуатации является значительным преимуществом данной системы.

Рассмотрим эффективность внедрения системы:

Внедрение устройств диммирования осуществляется для системы уличного освещения с 10000 светодиодными светильниками типа LEDEL Sveteco 96/13248/160/III общей мощностью 1600 кВт.

Результаты приведены в табл. 1 и рис. 1.

Таблица 1

Результаты внедрения *ADL-system* в системы уличного освещения

	Без использования диммирования	С использованием диммирования
Количество часов работы светильников за 1 сутки	10,3	7,1
Номинальная мощность всех светильников системы, кВт	1600	
Энергопотребление всех светильников за год, кВт·ч	6015200	4152000
Время горения светильников за год, ч	3760	2595
Годовые затраты на электроэнергию, руб.	27068400	18684000
Годовой экономический эффект	8384400	
Стоимость оборудования и программного обеспечения устройств диммирования, руб.	25000000	
Простой срок окупаемости, лет	3	

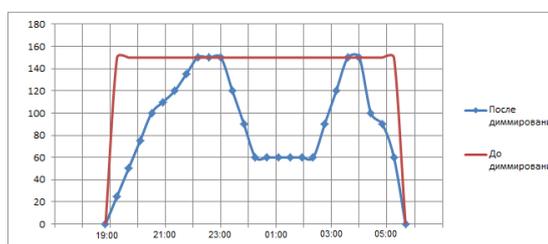


Рис. 1. Потребляемая мощность одного светильника до и после диммирования

Из предоставленной таблицы можно сделать следующие выводы:

Эффективность внедрения диммирования: экономия электроэнергии до 30 %, окупаемость 3 года, на действующих осветительных приборах, гибкое управление.

Список литературы

1. Абдуллина, Г. Р. Энергоэффективный способ энергосбережения с помощью светильников с датчиками / Г. Р. Абдуллина, А. Р. Денисова, Э. Г. Сибгатуллин // Приборостроение и автоматизированный электро-привод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве: Материалы VI Национальной научно-практической конференции. В двух томах, Казань, 10–11 декабря 2020 года. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2020. – С. 324-327.

2. Абдуллина, Г. Р. Алгоритм управления световым потоком автодиммируемых светодиодных светильников / Г. Р. Абдуллина, А. Р. Денисова // Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электро-техники: Материалы III Всероссийской научно-практической конференции, Казань, 17–18 марта 2021 года / Редколлегия: Э.Ю. Абдуллазянов (гл. редактор) [и др.]. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2023. – С. 360-365.

3. Иванова, В. Р. Обзор систем управления освещением / В. Р. Иванова, Р. Р. Даутов // Проблемы и перспективы развития электро-энергетики и электротехники : Материалы III Всероссийской научно-практической конференции, Казань, 17–18 марта 2021 года. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2021. – С. 430-433.

4. Тукшаитов, Р. О повышении точности определения энергоэффективности светодиодных приборов / Р. Тукшаитов // Полупроводниковая светотехника. – 2021. – № 6(74). – С. 18-20.

5. Денисова, А. Р. Повышение энергоэффективности при использовании системы автоматического регулирования светового потока / А. Р. Денисова, Э. Г. Сибгатуллин // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2020. – № 1(58). – С. 38-39.

УДК 624.041

ПРИНЦИПЫ И ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ BIM-ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОЦЕСС ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ КАПИТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

¹Брехов Евгений Викторович, ²Фетисов Леонид Валерьевич
^{1,2}ФГБОУ ВО "КГЭУ", г. Казань, Республика Татарстан
¹brekhov_zhenya@mail.ru, ²leonidfetisov@mail.ru

Аннотация: в данной статье рассмотрены общие принципы внедрения BIM-технологий в процесс проектирования объектов капитального строительства, а также

описаны проблемы, с которыми могут столкнуться компании при переходе на BIM-технологии.

Ключевые слова: 3D модель, проектирование, BIM-технологии, объект капитального строительства.

PRINCIPLES AND PROBLEMS OF IMPLEMENTING BIM TECHNOLOGIES IN THE DESIGN PROCESS OF CAPITAL CONSTRUCTION OBJECTS

¹Brekhov Evgeny Victorovich, ²Fetisov Leonid Valerievich

^{1,2} FSBEI HE «KSPEU», Kazan_

¹brekhov_zhenya@mail.ru, ²leonidfetisov@mail.ru

Abstract: this article discusses the general principles of implementing BIM technologies in the process of designing capital construction projects, and also describes the problems that companies may face when switching to BIM technologies.

Keywords: 3D model, designing, BIM technologies, capital construction objects.

Современное капитальное строительство является очень сложным и трудоемким процессом, поскольку в нем одновременно задействованы большие группы людей, различная техника, материалы и т.д. Все составляющие этого процесса должны работать слаженно и эффективно, образуя единую систему. К сожалению, на практике часто случаются сбои из-за плохо выстроенной коммуникации, рассогласованности в использовании техники, закупки материалов и других возникающих по мере строительства проблем [1, 4].

Решить данные проблемы позволяет внедрение BIM-моделирования, которое способствует принятию хорошо продуманных, эффективных проектных решений. Данная технология облегчает разработку технической документации и значительно повышает качество проекта.

BIM (Building Information Model) – комплекс специального программного обеспечения, позволяющий создавать и обрабатывать данные о 3D модели здания в процессе его проектирования [2]. Проекты, созданные с помощью BIM-моделирования, являются комплексными, что позволяет обобщать множество данных, поступающих от всех членов проектной команды. Впоследствии эти данные передаются на цифровую 3D модель проектируемого объекта. Подробная 3D модель в свою очередь помогает в визуализации частей объекта на мельчайшем уровне, что способствует внесению тех или иных корректировок и модификаций модели в процессе проектирования [3].

BIM-технологии оказывают максимальный эффект на процесс проектирования только при их полноценном внедрении в организации [6]. Если применять данные технологии лишь на уровне отдельного проекта

или специальности, то такой подход принесет минимальные преимущества. Существует три основных принципа внедрения BIM-технологий в ту или иную организацию [7]:

1. Концепция;
2. Команда.
3. Поэтапное изменение;

Руководству любой организации перед переходом на проектирование с применением BIM-технологий необходимо в первую очередь сформулировать четкую концепцию и иметь представление, какие преимущества способны принести данные технологии, как долго будет проходить процесс внедрения, какие будут затраты и т.д. В результате внедрения BIM организация изменится, и руководители должны это осознавать.

Практически в любой компании процесс проектирования объектов капитального строительства проходит в команде. Именно крепкая, сплоченная команда сможет справиться с трудностями, возникающими в процессе перехода на BIM-технологии. Руководителям организации необходимо обеспечить должный уровень мотивации для сотрудников и устойчивый, стабильный курс изменений в соответствии с разработанной ранее концепцией.

Как известно, главная движущая сила внедрения BIM-технологий – это рядовые сотрудники. Им также необходимо уделить большое внимание, поскольку обучение BIM-технологиям достаточно трудоемкий, долгий и сложный процесс. Кроме того, для успешного внедрения BIM компании следует провести реорганизацию путем перехода на новые регламенты и стандарты, а также путем управления и контроля за изменениями на организационном уровне.

Одной из самых распространенных проблем при переходе на BIM-технологии является высокая стоимость необходимого лицензированного ПО, включающим в себя целый комплекс программ для разных сфер и отделов строительства.

Следующая проблема – дефицит квалифицированных кадров и специалистов в области BIM-проектирования. Причем имеется ввиду недостаток не только самих проектировщиков и прочих инженеров-конструкторов, но программистов и IT-специалистов, с помощью которых становится возможным само внедрение BIM и обслуживание сложного ПО.

Сложность внедрения BIM при желании сохранить уже существующие и проверенные временем рабочие практики – еще одна

проблема данной технологии[5]. Данная проблема возникает вследствие того, что не всем организациям подходят именно те решения, которые поставщик программного обеспечения реализовывает в своем видении BIM.

Таким образом, BIM позволяет решать огромное количество задач и проблем, с которыми сталкиваются современные проектировщики за счет создания информационной 3D модели объекта. Большой объем данных, поступающих от модели, а также их автоматический анализ, позволяют ускорить процесс разработки проекта и его реализации, а также снизить количество ошибок и повысить качество проводимых работ [8].

Однако в процессе внедрения компании могут столкнуться с довольно серьезными проблемами, затормаживающими переход на BIM-технологии. Соблюдение принципов внедрения BIM, описанных в данной статье, помогает в большинстве случаев избежать проблем и свести риски их возникновения к минимуму.

Список литературы

1. Талапов, В. В. Основы BIM: введение в информационное моделирование зданий. – М.: ДМК Пресс, 2011. 392 с.
2. Что такое BIM технологии? // Autodesk. [Электронный ресурс]. - URL: <https://www.autodesk.ru/campaigns/aec-building-design-bds-new-seats/landing-page/> (дата обращения: 18.05.2023);
3. Новокрещенов, В. В. Моделирование линий электропередачи с устройством продольной компенсации / В. В. Новокрещенов, И. Ю. Иванов // Фёдоровские чтения – 2021 : LI международная научно-практическая конференция с элементами научной школы, Москва, 17–19 ноября 2021 года. – Москва: Издательский дом МЭИ, 2021. – С. 218-224.
4. Иванова, В. Р. Анализ основных элементов интеллектуальной электроэнергетической системы с активно-адаптивной сетью / В. Р. Иванова, В. В. Новокрещенов, О. Д. Семенова // Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники : материалы Всероссийской научно-практической конференции, Казань, 20–21 марта 2019 года. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2019. – С. 12-16.
5. Migilinskas D., Popov V., Juosevicius V., Ustinovichius L., The benefits, obstacles, and problems of practical BIM implementation. 2013. Procedia Engineering. С. 768-769.

6. Уфимцева, С. Н. Сложности внедрения BIM-технологий в строительную организацию / С. Н. Уфимцева. – Текст : непосредственный // Молодой ученый. – 2022. – № 11 (406). – С. 185-188. – URL: <https://moluch.ru/archive/406/89522/> (дата обращения: 18.05.2023).

7. Абалтусов, Ю. А. BIM-технологии. Проблемы их внедрения и перспективы развития в строительстве и проектировании / Ю. А. Абалтусов, В. В. Чатуров. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. – 2019. – № 25 (263). – С. 151-153. — URL: <https://moluch.ru/archive/263/60897/> (дата обращения: 18.05.2023).

8. Агзамов, М. Ф. Моделирование системы электроснабжения для анализа условий перспективного развития отдельной территории / М. Ф. Агзамов, Э. Ф. Хакимзянов, Р. Р. Гибадуллин // Тинчуринские чтения - 2022 "Энергетика и цифровая трансформация" : Сборник статей по материалам конференции. В 3-х томах, Казань, 27–29 апреля 2022 года / Под общей редакцией Э.Ю. Абдуллазянова. Том 1. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. – С. 167-169.

9, Каримуллин, С. М. Аудит электрооборудования подстанций / С. М. Каримуллин, Л. В. Фетисов // Актуальные проблемы электроэнергетики : материалы VI Всероссийской (XXXIX Региональной) научно-технической конференции, посвящается 100-летию плана ГОЭЛРО, Нижний Новгород, 17–18 декабря 2020 года. – Нижний Новгород: Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, 2020. – С. 192-196. – DOI 10.46960/39255930_2020_192. – EDN WYVNIU.

УДК 629.7

ПРИМЕНЕНИЕ ЛИДАРА ДЛЯ АНАЛИЗА СОСТОЯНИЯ ВЛЭП

¹Вагапов Айдар Ильшатович, ²Хамидуллин Ильдар Ниязович,
³Маслов Савелий Юрьевич

Науч. рук. к-т техн. наук, доцент. Иванов Дмитрий Алексеевич
^{1,2,3} ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

¹aydar.vagapoff@yandex.ru, ²ildar.ildar-xam2017@yandex.ru, ³saveli2000@gmail.com

Аннотация: для анализа состояния воздушных линий электропередачи применяется как правило метод непосредственного осмотра инженерами энергетиками, либо облет части линии при помощи летательный аппаратов, зачастую используют вертолет с установленными на нем различными датчиками. В свою очередь данные методы являются достаточно трудоемкими, дорогостоящими, к тому же непосредственный осмотр затрачивает достаточно много времени и не является особо точным, а потому его применение не всегда целесообразно. В данной статье предложено

возможное решение данной проблемы, а именно применение технологии «Лидар» для осмотра состояния ВЛЭП.

Ключевые слова: лидар, воздушные линии электропередачи, мониторинг, электрическая энергия, энергоэффективность.

APPLICATION OF LIDAR FOR ANALYSIS OF THE STATE OF OTL

¹Vagapov Aidar Ilshatovich, ²Khamidullin Ildar Niyazovich, ³Maslov Savely Yurievich
Scientific advisor Ivanov Dmitry Alekseevich
^{1,2,3} KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan
¹aydar.vagapoff@yandex.ru, ²ildar.ildar-xam2017@yandex.ru, ³saveli2000@gmail.com

Abstract: to analyze the state of overhead power lines, as a rule, the method of direct inspection by power engineers is used or flying over a part of the line with the help of aircraft, often using a helicopter with various sensors installed on it. In turn, these methods are quite time-consuming, expensive, besides, direct inspection takes a lot of time and is not particularly accurate, and therefore its use is not always advisable. This article proposes a possible solution to this problem, namely the use of Lidar technology to inspect the state of overhead power lines.

Key words: lidar, overhead power lines, monitoring, electrical energy, energy efficiency.

Промышленность в нашей стране в настоящее время активно развивается, происходит автоматизация процесса производства, его цифровизация, что увеличивает скорость создания, упрощает технологию и повышает качество готовой продукции. Для этого в цехах применяется различное электронное оборудование, для которого требуется сеть переменного тока [1].

В результате растет количество потребителей электрической энергии, что приводит к необходимости в выработке и доставке ее большего количества. Специально для этого строятся новые воздушные линии электропередачи. Однако для эффективной передачи энергии необходимо поддерживать рабочее состояние линии, не допускать различных проблем на них, что в свою очередь может привести к обесточиванию целевого ряда промышленных предприятий. Поэтому одной из ключевых задач электросетевого распределительного комплекса является мониторинг состояния ВЛЭП, для того чтобы предотвратить различные аварийные ситуации на них.

На линиях могут возникать следующие проблемы: обрывы проводов, разрушение крепления, обрушение опор и т. д. Они в свою очередь могут привести к обесточиванию линии, аварий на ней, в результате нарушается бесперебойная передача электрической энергии. [2].

Существующими методами осмотра ВЛЭП в настоящее время являются: непосредственный осмотр инженерами линии либо осмотр

с применение фотограмметрии, облет линии с использованием воздушного транспорта, как правило для этого используют вертолет;

Минусом первого метода является то, что он обладает низкой точностью, да и к тому же является достаточно временно затратным. Второй лишен указанных выше недостатков, однако, в связи со своей стоимостью не всегда является оптимальным.

В связи с этим возникает потребность в использовании принципиально новых методов анализа ВЛЭП, в частности использование беспилотных летательных аппаратов, которые уменьшат как временные, так и денежные затраты на проведение осмотра.

Установив Лидар на данные БЛА, можно получить карту точек, по которой в специализированной программе возможно воссоздать карту местности, обнаружить различные наружные проблемы, угол провеса провода, а также опасные лесонасаждения, которые могут повредить провода линии. Лидар представлен на рисунке 1. [3]



Рис. 1. Устройство «Лидар»

Также используя лидар, можно по получившимся точкам построить 3D модель местности, окружающей линию, что в ряде случаев достаточно удобно. В результате можно судить о ее текущем состоянии, а также прогнозировать как оно будет меняться в будущем [4-5].

Итак, при использовании БЛА совместно с лидаром установленным его на корпусе можно эффективно осуществлять анализ состояния линии, уменьшать денежные и временные затраты на его проведение, к тому же данная технология дает возможность спрогнозировать то, как линия будет изменяться в будущем.

Исследования выполнены в рамках программы стратегического академического лидерства «Приоритет2030»: соглашение № 075–15-2021-1087 от 30.09.2021, соглашение № 075–15-2021-1178 от 30.09.2021

Список литературы

1. Кошкарлов, А. С. Оценка возможности мониторинга линий электропередач с помощью средств воздушного лидарного сканирования / А. С. Кошкарлов, И. В. Савельева // Волновая электроника и инфокоммуникационные системы : Материалы XXV Международной научной конференции, Санкт-Петербург, 30 мая – 03 2022 года. Том Часть 2. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2022. – С. 145-149. – EDN WLZTZI.

2. Ярославский Д.А., Садыков М.Ф. Разработка устройства для системы мониторинга и количественного контроля гололёдообразования на воздушных линиях электропередачи. *Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики.* 2017;19(3-4):69-79. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2017-19-3-4-69-79>

3. Федоров О.В., Семёнов А.С., Егоров А.Н., Хубиева В.М. Технико-экономическое обоснование внедрения системы непрерывного мониторинга показателей качества электроэнергии на объектах горных предприятий. *Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики.* 2016;(9-10):91-97. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2016-0-9-10-91-97>

4. Ярославский Д.А., Нгуен В.В., Садыков М.Ф., Горячев М.П., Наумов А.А. Модель собственных гармонических колебаний провода для задач мониторинга состояния воздушных линий электропередачи. *Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики.* 2020;22(3):97-106. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2020-22-3-97-106>

5. Исмоилов И.И., Грачева Е.И. Повышение управляемости энергетическими системами и улучшение качества электроэнергии // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. №1 (53). С. 3-12.

УДК 621.311.4

ОБЗОР МЕТОДОВ И СИСТЕМ ДИАГНОСТИКИ ОБОРУДОВАНИЯ ПОДСТАНЦИЙ

¹Валюк Анастасия Сергеевна, ²Кузеев Дамир
^{1,2}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
¹anastasia.valyuk@mail.ru

Аннотация: прогнозирование текущего технического состояния ответственного электротехнического высоковольтного оборудования (ВВО) подстанций является одной из актуальнейших задач современности. На сегодняшний день оценка состояния оборудования проводится персоналом визуальным способом, что не всегда позволяет

определить дефекты в оборудовании. В данной статье рассмотрены методы и системы диагностики оборудования подстанций, внедрение которых позволило бы повысить надежность энергосистемы.

Ключевые слова: подстанции, аварийность, методы диагностики, диагностика электрооборудования.

OVERVIEW OF METHODS AND SYSTEMS FOR DIAGNOSING SUBSTATION EQUIPMENT

¹ValyukAnastasiaSergeevna, ²KuzeevDamir
^{1,2}FGBOU VO "KGEU", Kazan
¹anastasia.valyuk@mail.ru

Abstract: forecasting the current technical condition of responsible electrical high-voltage equipment (HVO) substations is one of the most urgent tasks of our time. To date, the assessment of the condition of the equipment is carried out by the personnel in a visual way, which does not always allow to identify defects in the equipment. This article discusses methods and systems for diagnostics of substation equipment, the introduction of which would improve the reliability of the power system.

Keywords: substations, accident rate, diagnostic methods, diagnostics of electrical equipment.

Аварийность в энергетических компаниях влечет за собой недоотпуск электроэнергии, что приносит экономические убытки компаниям. На примере энергетической компании ОАО «Сетевая компания» были рассмотрены статистические показатели по аварийности и отключениям. ОАО «Сетевая компания» имеет следующее электросетевое хозяйство на балансе [1]:

- общая протяженность воздушных линий электропередачи (по трассе) 62 630,3 км, в т.ч. ВЛ 35-500 кВ-10 480,4 км; в т.ч. ВЛ 0,4-6 (10) кВ- 52 149,9 км;
- общая протяженность кабельных линий 11 218,4 км;
- общее количество подстанций 35-500 кВ в собственности 383 шт.;
- установленная мощность трансформаторов на подстанциях 35-500 кВ- 18 967 МВА;
- общее количество ТП.КТП 6-10/0,4 кВ 20 769 шт.;
- общее количество РП.РТП 6-10 Кв 232 шт.;
- установленная трансформаторная мощность ТП.РП 6-10/0,4 Кв – 7 258,4 МВА.

При анализе годовых отчетов компании ОАО «Сетевая компания» были выявлены следующие показатели аварийности, где в 2021 году обнаружено наибольшее количество аварий – 3533, что вызвало недоотпуск электроэнергии 1,304 млн. кВт*ч.

Основными причинами отключений являются погодные условия, выработка технического ресурса и прочие технические причины.

Диагностика подстанций необходима для обеспечения надежной работы электроэнергетических систем, а также для предотвращения аварийных ситуаций. В связи с этим, актуальной задачей на сегодняшний день для сетевых компаний является внедрение систем диагностики электрооборудования с целью уменьшения недоотпуска электроэнергии и уменьшения экономических затрат [2]. Поэтому в данной статье рассмотрены различные методы диагностики оборудования наиболее важных элементов в энергосистеме – подстанций.

Электрической подстанцией называют электроустановку, служащую для преобразования и распределения электроэнергии и состоящую из трансформаторов или других преобразователей энергии, распределительного устройства, устройства управления и вспомогательных сооружений.

Существует несколько основных методов диагностики подстанций: визуальный, термография, вибрационный, оптический, акустический, электромагнитный.

1. Визуальный осмотр выполняется оперативным персоналом и позволяет выявить только механические повреждения и коррозию. Недостатками данного метода является отсутствие возможности определить внутренние повреждения и некоторые развивающиеся дефекты, невидимые человеческому глазу. Визуальный метод не способен определить параметры работы оборудования, такие как температура, давление, напряжение и т.д.

2. Термография – метод, который используется для обнаружения перегрева электрооборудования. С помощью инфракрасной камеры измеряются температуры поверхностей оборудования, и если обнаруживается участок с повышенной температурой, то это может указывать на проблему в работе оборудования. Такой метод позволяет выявлять перегревы и другие тепловые аномалии, визуализировать тепловые излучения и определять температурные различия на поверхности оборудования. Термография требует специального оборудования и высокой квалификации персонала, что делает ее более сложной в использовании, чем визуальный метод. При контроле, основанном на измерении температур, серьезные трудности возникают в связи с тем, что перепад температур между исправными и дефектными изоляторами, а также между изоляторами и окружающим воздухом типично составляет десятые доли градуса, что близко к пределу чувствительности тепловизоров. Существуют и практические трудности проведения

инфракрасной диагностики многоэлементной изоляции, связанные с экранировкой «нагретых» металлических частей «холодными» тарелками, бликами от солнца и другими сторонними источниками инфракрасного излучения [3].

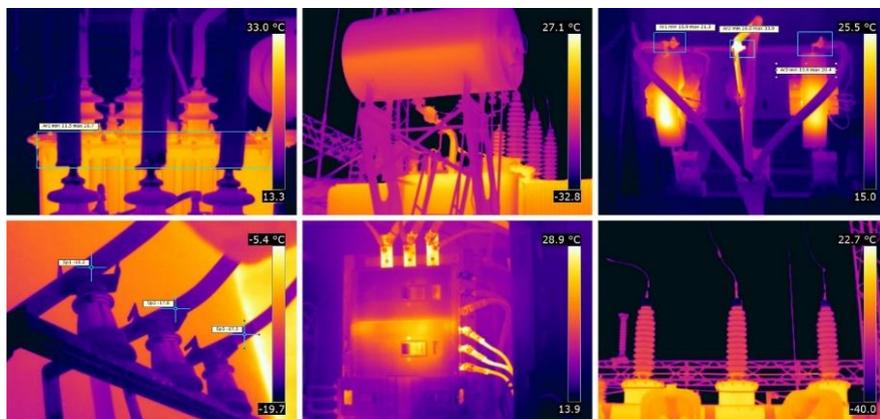


Рис.1. Тепловизионная съемка подстанции [4]

3. Вибрационный анализ - метод, который используется для определения состояния механизмов. С помощью специальных датчиков измеряется вибрация оборудования, и если она превышает норму, то это может указывать на проблемы с механизмами. Вибрационный анализ позволяет выявить проблемы в оборудовании на ранней стадии, что позволяет предотвратить возможные аварии и снизить расходы на ремонт. Этот метод может дать большое количество данных, которые могут быть сложными для интерпретации, особенно для неопытных пользователей. Кроме того, для проведения вибрационного анализа необходимо иметь специальное оборудование, которое может быть дорогостоящим.

4. Акустическая диагностика - метод, который используется для обнаружения шумов и вибраций. С помощью специальных микрофонов измеряется уровень шума, который производит оборудование, и если он превышает норму, то это может указывать на проблемы с работой оборудования. Диагностика основана на использовании специальных приборов, которые регистрируют звуковые волны, генерируемые оборудованием в процессе работы.

Акустические методы позволяют оперативно выявлять проблемы и принимать меры по их устранению, что способствует повышению надежности и безопасности работы электросетей [6]. Недостаток метода – сильное влияние помех из внешней среды, например, работа подстанционного оборудования также излучает акустические волны в пространство



Рис.2. Регистрация дефектов ультразвуковым методом, полученные в лаборатории КГЭУ с помощью NLКамеры. а) фото прибора, б) фото экрана прибора с амплитудно-фазовым распределением

5. Оптические методы обеспечивают наибольшую чувствительность и помехозащищенность. Диагностирование изоляторов по ультрафиолетовому (УФ) излучению основано на выявлении поверхностных частичных разрядов и короны, возникающих на изоляторах в месте появления дефекта. Для этого используется зависимость силы света ПЧР в УФ диапазоне спектра от приложенного напряжения [7, 8].



Рис. 3. Изображение дефекта стеклянного изолятора, полученное с ультрафиолетовой камеры (CogoCam) в лаборатории КГЭУ

Оптические методы имеют свои преимущества, но и недостатки. Например, ультрафиолетовые методы являются дорогостоящими, так как одна лишь ультрафиолетовая камера стоит порядка 100 000 евро.

6. Электромагнитный метод позволяет точно определить местоположение и характеристики разрядов в изоляции оборудования, что позволяет предотвратить возможные аварии. Этот метод диагностики имеет высокую чувствительность и точность, а также может быть применен для различных типов оборудования, включая трансформаторы и кабели.

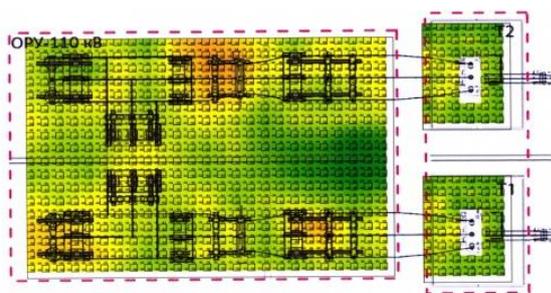


Рис. 4. Определение дефектов на подстанции электромагнитным методом [13]

Электромагнитный метод по обнаружению ЧР характеризуется высокой стабильностью и возможностью выбора полосы частот измерений. Кроме того, электромагнитные датчики имеют невысокую стоимость, что позволит создать распределенную систему диагностики подстанций.

В области электромагнитной диагностики известны следующие готовые системы, например, система PD-Map[9], а также работы ученых [10-12].

Заключение. Диагностика подстанций позволяет предотвращать аварийные ситуации и обеспечивать безопасность и надежность электроснабжения, поэтому крайне важно проводить диагностику не визуальным осмотром, а создать непрерывную систему диагностики подстанций. В статье проанализированы различные методы диагностики подстанций, их преимущества и недостатки. Каждый метод имеет свои преимущества и недостатки, но было установлено, что наиболее подходящим для диагностики подстанций является электромагнитный метод, так как он характеризуется высокой стабильностью и возможностью выбора полосы частот измерений и электромагнитные датчики имеют невысокую стоимость.

Список литературы

1. Сетевая компания: сайт. – URL: <https://gridcom-rt.ru/> (дата обращения: 20.06.2023)
2. Новокрещенов, В. В. Компьютерное моделирование аварийных режимов на линиях электропередачи с устройством продольной компенсации / В. В. Новокрещенов // Тинчуринские чтения – 2022 "Энергетика и цифровая трансформация" : Сборник статей по материалам конференции. В 3-х томах, Казань, 27–29 апреля 2022 года / Под общей редакцией Э.Ю. Абдуллазянова. Том 1. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. – С. 428-430.

3. Аль-Дарабсе А.М.Ф., Маркова Е. В., Миллер В. В. Прогнозное обслуживание оборудования подстанций с помощью инфракрасной термографии с использованием машинного обучения//Диспетчеризация и управление в электроэнергетики.2019. С. 17-23. (дата обращения: 20.06.2023)

4. Тепловизионный контроль электрооборудования: полное руководство: сайт. – URL: <https://skomplekt.com/teplovizionnyj-kontrol-ehlektrooborudovaniya/> (дата обращения: 20.06.2023).

5. Гатауллин А. М., Наумов А. А, Губаев Д. Ф., Шмидт С. В. Вибрационный контроль механического состояния опорно-стержневых фарфоровых изоляторов звуковым и низкочастотным ультразвуковым методами // Проблемы энергетики.2008. № 1-2.С. 112-118.

6. Иванов Д. А., Садыков М. Ф., Ярославский Д. А. [и др.]. Система контроля акустического излучения разрядных процессов на электрической подстанции для целей диагностики технического состояния изоляционного оборудования// Известия Российской академии наук. Серия физическая. 2021.Т. 85, № 11.С.1596-1599. DOI 10.31857/S0367676521110120.

7. Biswas S., Koley C., Chatterjee B., Chakravorti S. A methodology for identification and localization of partial discharge sources using optical sensors // IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., vol. 19, no. 1, 2012, pp. 18-28. DOI: 10.1109/TDEI.2012.6148498.

8. Ультрафиолетовые камеры (дефектоскопы) COROCAM. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.corocam-uv.ru/cam_17.html. Дата обращения: 21.06.2023.

9. PD-Map – система диагностики изоляции высоковольтного оборудования подстанций: сайт. – URL: <https://www.electronpribor.ru/catalog/113/pd-map.htm> (дата обращения: 20.06.2023)

10. Голенищев-Кутузов А. В., Голенищев-Кутузов В. А., Иванов Д. А. [и др.]. Патент № 2679759 С1 Российская Федерация, МПК G01R 31/12. Способ бесконтактной дистанционной диагностики состояния высоковольтных изоляторов : № 2018110016 : заявл. 21.03.2018 : опубл. 12.02.2019.

11. Галиева Т. Г., Иванов Д. А., Садыков М. Ф. [и др.]. Метод и устройство диагностики состояния высоковольтных изоляторов на основе непрерывной регистрации пространственного уровня электромагнитного излучения частичных разрядов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 4. С. 165-177.

12. Киншт Н. В., Петрунько Н. Н. Логические формализмы обработки данных электромагнитной обстановки высоковольтной подстанции // Проблемы управления. 2006. № 4. С. 69-74.

13. Способ определения наличия источников электроразрядной активности в изоляции электротехнического оборудования: пат. 2655960 Рос. Федерация. № 2017112251 // ПАО "Московская объединённая электросетевая компания"(ПАО "МОЭСК"); заявл. 10.04.2017; опубл. 30.05.2018, Бюл. № 16. 16 с.

УДК 62-791.2

ОБЗОР МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ С ПРИМЕНЕНИЕМ БПЛА

¹Кузеев Дамир Радифович, ²Валюк Анастасия Сергеевна, ³Галиева Татьяна Геннадьевна
Научный руководитель: Горячев Михаил Петрович
^{1,2,3}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
¹kuzeev05@mail.ru

Аннотация: в настоящее время применение беспилотных летательных аппаратов является актуальным, эффективным, быстрым и безопасным способом для выполнения определенных задач в конкретных областях промышленности. В данной статье мы рассмотрим сферу электроэнергетики, а именно диагностику воздушных линий электропередач. Современные энергетические предприятия все чаще используют беспилотные летательные аппараты с целью снижения финансовых и временных затрат на выполнение работ.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, линии электропередач, диагностика, тепловизор, неисправности.

OVERVIEW OF METHODS FOR DIAGNOSING OVERHEAD POWER LINES USING UAVS

¹Kuzeev DamirRadifovich, ²Valyuk AnastasiaSergeevna, ³Galieva Tatyana Gennadievna
Scientific supervisor: Mikhail Petrovich Goryachev
^{1,2,3}FGBOU VO "KGEU", Kazan
¹kuzeev05@mail.ru

Abstract: currently, the use of unmanned aerial vehicles is an actual, effective, fast and safe way to perform certain tasks in specific areas of industry. In this article we will consider the field of electric power industry, namely diagnostics of overhead power lines. Modern energy companies are increasingly using unmanned aerial vehicles in order to reduce the financial and time costs of performing work.

Keywords: unmanned aerial vehicle, power lines, diagnostics, thermal imager, malfunctions.

Введение. Диагностика высоковольтных линий электропередач с применением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) – это распространенная практика, которая сегодня актуальна во всем мире. С их помощью мы можем оперативно обнаружить неисправности

и предотвратить аварийное отключение линий электропередачи (ЛЭП). БПЛА позволяют сократить время диагностики высоковольтных ЛЭП. Кроме того, данный метод воздушной диагностики превосходит все альтернативные способы с применением наземной техники и оперативно-выездных бригад, благодаря ряду преимуществ: безопасность работы персонала; высокая точность результатов благодаря большому объему данных; возможность диагностики труднодоступных участков без подъема на электроустановку; снижение затрат времени и ресурсов при аналогичных результатах работ.

Существует БПЛА самолётного типа и БПЛА мультироторного типа [1]. В данной статье мы рассматриваем БПЛА мультироторного типа, так как они позволяют более детально исследовать элементы конструкции высоковольтных линий электропередач [2]. На данный момент есть много методов диагностики высоковольтных линий электропередач с применением БПЛА. Мы рассмотрим два основных, такие как визуальный и тепловизионный [3].

Метод диагностики ЛЭП в видимом спектре. Данный метод заключается в том, что специалист с помощью дрона оборудованного высокотехнологичной камерой может проводить фото- или видео съёмку конструкции высоковольтных линий электропередач. Снимки с воздуха позволяют выявить различного рода неисправности, в том числе падения и повреждения опор, любые нарушения их целостности и отклонения от вертикали, обрыв и провисание проводов, обнаружение проблемных зон с нависшими кустарниками или обвалившихся на провода деревьев, наличие подозрительных объектов в охраняемой зоне [4]. С помощью DJI Mavic 2 Enterprise Zoom мы провели осмотр и фотосъёмку в видимом диапазоне ЛЭП 500 кВ и обнаружили повреждённые гирлянды стеклянных изоляторов (рис. 1).

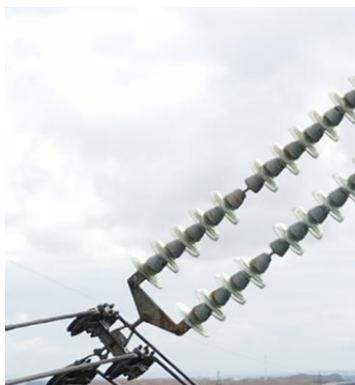


Рис. 1. Изображение гирлянды изоляторов на ЛЭП с дефектами, снятое с БПЛА DJI Mavic 2 Enterprise Zoom в видимом диапазоне

По результатам съемки составляется отчет, по которому оценивается реальное состояние объектов и составляется план работ по дальнейшему обслуживанию и ремонту. При условии, что диагностика выполняется на регулярной основе, полученные данные загружаются в геоинформационную систему, где они позволяют выполнять ретроспективный анализ и точно понимать причинно-следственные связи.

Метод диагностики ЛЭП в инфракрасном спектре. Тепловизионное обследование является одним из важных элементов профилактических работ, которое помогает гарантировать безотказную работу объекта электроэнергетики, за счет обнаружения неисправностей на раннем этапе. Анализируя полученные данные, можно выполнить плановый ремонт и предотвратить крупные аварии. Тепловизор, которым оборудован БСПЛА, делает снимки инфракрасного (теплого) излучения и обнаруживает самые минимальные различия температуры [5]. Эта информация затем отображается в виде различных цветов на дисплее и в программном обеспечении. С помощью БСПЛА DJI Mavic 2 Enterprise Advanced мы провели осмотр и фотосъемку подстанции в инфракрасном диапазоне (рис. 2).



Рис. 2. Изображение подстанции в ИК диапазоне, снятое с БСПЛА DJI Mavic 2 Enterprise Advanced

Тепловизионная (инфракрасная) съемка помогает находить элементы энергообъектов с дефектами, препятствующими протеканию электрического тока, намного быстрее чем при обходе с визуальным осмотром. При этом, элементы с дефектами перегреваются, что видно при тепловизионной съемке. Еще одной возможностью является оперативное нахождение источников потери энергии в сети. Данный способ мониторинга гораздо безопаснее нежели физический осмотр.

Далее мы рассмотрим БПЛА мультироторного типа, которые могут быть использованы для первого и второго методов диагностики ЛЭП. Для визуального метода можно использовать БПЛА DJI Mavic 2 Enterprise Zoom, который оборудован камерой с объективом с двукратным оптическим зумом и диапазоном ЭФР 24-48 мм. Это не только позволяет во время съемки менять фокусное расстояние, но и приближать к себе объекты, находящиеся на значительной дистанции, благодаря чему можно определять неисправности в конструкции линий электропередач [6]. Характеристики дрона DJI Mavic 2 Enterprise Zoom: максимальное время полета – до 31 мин, максимальное расстояние полета – 18 км, объем внутренней памяти – 24 Гб, матрица – 1/2.3” CMOS, эффективных пикселей – 12 Мп, рабочий диапазон прожектора – 30 м, рабочий диапазон сигнального огня – 5000 м. Данный дрон оборудован трехосевой системой стабилизации. Это значит, что рывки, резкие повороты, дерганья, покачивание квадрокоптера в воздухе ничуть не ухудшат качество изображения. Снимки будут четкими, а видео – плавным. Для тепловизионного осмотра можно использовать дрон DJI Mavic 2 Enterprise Advanced, который оснащён тепловизором с тепловым разрешением 640*512 пикселей и частотой 30 Гц, позволяющим обнаруживать минимальные различия температуры [7]. Модель снабжена и оптической камерой с 32-кратным цифровым увеличением. Максимальная длительность полёта дрона составляет 31 минуту, а максимальная скорость может достигать 72 км/ч.

Заключение. Применение мультироторных БПЛА, особенно в труднодоступных районах и при чрезвычайных ситуациях, является одним из наилучших средств получения оперативной информации о состоянии воздушных линий электропередач. Нами были проведены съемки ЛЭП и подстанции с применением БПЛА в двух спектрах: видимый и инфракрасный. Каждый метод диагностики имеет свои преимущества [8]. Например, если мы хотим оценить визуальную обстановку конструкций ЛЭП мы будем использовать визуальный метод диагностики, а для определения нагрева конструкций лучше использовать тепловизионный метод. Использование этих данных позволяет компаниям, занимающимся эксплуатацией воздушных ЛЭП, анализировать состояние проводов, опор, а также принимать решения по своевременному выводу оборудования в ремонт, основываясь на точных измерениях. Методы диагностики ЛЭП рассмотренные в данной статье являются более оперативными по сравнению с наземными методами контроля.

Список литературы

1. Шилов, К. Е. Разработка системы автоматического управления беспилотным летательным аппаратом мультироторного типа / К. Е. Шилов // ТРУДЫ МФТИ. Труды Московского физико-технического института (национального исследовательского университета). 2014. Т. 6, № 4 (24). С. 139-152.
2. Waheed A. Khan, Shahzaib Hamid, M. Rehan Usman, Ali Raza, M. Arslan Usman, Christos Politis, Gandeva Bayu Satrya, "HVDC Transmission Line Fault Identification: A Learning Based UAV Control Strategy", IEEE Access, vol.10, pp.121561-121579, 2022.
3. Обследование ВЛ с БПЛА и другие методы контроля и поиска повреждений на воздушных линиях: [Электронный ресурс]. URL: <https://test-energy.ru/obsledovanie-vl-s-bpla/> (датаобращения: 23.06.2023).
4. Абашев, А. Р. Диагностика удаленных линий электропередач / А. Р. Абашев // Безопасность в электроэнергетике и электротехнике : Всероссийская студенческая научная конференция, посвященная 90-летию УГПИ-УдГУ, Ижевск, 23 апреля 2021 года. Ижевск: Удмуртский государственный университет, 2021. С. 103-107.
5. Мониторинг состояния воздушных линий электропередачи с использованием беспилотного летательного аппарата / В. П. Дикой, А. А. Левандовский, Р. С. Арбузов [и др.] // Энергия единой сети. 2014. № 2 (13). – С. 16-25.
6. Купить квадрокоптер DJI Mavic 2 EnterpriseZoom - AEROMOTUS: [Электронный ресурс].URL: <https://aeromotus.ru/product/kvadrokopter-dji-mavic-2-enterprise> (дата обращения: 23.06.2023).
7. Квадрокоптер DJI Mavic 2 EnterpriseAdvanced: [Электронный ресурс].URL <https://drone.kz/product/kvadrokopter-dji-mavic-2-enterprise-advanced> (дата обращения: 15.06.2023).
8. Иванкина, Ю. В. Беспилотные летательные аппараты: применение в целях диагностирования воздушных линий / Ю. В. Иванкина, Ю. Г. Замудряков // Актуальные проблемы и перспективы инновационной агроэкономики : Сборник статей Национальной (Всероссийской) научно-практической конференции, Саратов, 25 декабря 2020 года. Саратов: ООО «Центр социальных агроинноваций СГАУ», 2020. С. 132–135.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Ганюшкина Юлия Дмитриевна
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань
yliya.ganyushkina@yandex.ru

Аннотация: энергоэффективность электростанции жизненно важна для поддержания минимального уровня потребления на объекте. Энергоэффективность – это эффективное средство оптимальной настройки систем управления для использования только необходимой мощности без потерь. В этой статье рассматриваются проблемы при проектировании объектов электростанции и то, что энергоэффективность – непростая задача.

Ключевые слова: энергоэффективность, проектирование, анализ нагрузки, схема, кабель, компьютерное проектирование.

DESIGN OF ELECTRIC POWER FACILITIES

Ganyushkina Yulia Dmitrievna
Kazan State Power Engineering University, Kazan
yliya.ganyushkina@yandex.ru

Abstract. The energy efficiency of the power plant is vital to maintain a minimum level of consumption at the facility. Energy efficiency is an effective means of optimally configuring management systems to use only the necessary power without loss. This article discusses the problems in the design of power plant facilities and that energy efficiency is not an easy task.

Keywords. energy efficiency, design, load analysis, circuit, cable, computer-aided design.

При проектировании объектов электроэнергетики возникает множество проблем, от технических до нетехнических. К электротехнике относятся:

– При проектировании электростанций электротехника часто является последним отделом после механических систем и систем управления.

Это оставляет инженерам-электрикам мало возможностей для разработки надлежащего интегрированного энергоэффективного дизайна. Это часто пагубно сказывается на энергоэффективности электростанций. Это означает, что вся внутренне потребляемая энергия через электрическую систему используется неэффективно.

– Система питания является первым пунктом, который обозначается.

Это вызывает дополнительные ограничения на отведенное время, которое инженеры-электрики могут потратить на концептуальные исследования, важные для внутренней работы электростанции.

Концептуальные исследования, как правило, предоставляют наилучшую возможность понять влияние основных проектных изменений, направленных на повышение энергоэффективности, которые разрабатываются для повышения эффективности на основе анализа. Исследования качества электроэнергии для повышения энергоэффективности включают: анализ нагрузки; анализ потока мощности и падения напряжения; анализ запуска двигателя; анализ короткого замыкания [3].

Анализ нагрузки является одним из наиболее важных инженерных шагов для повышения энергоэффективности. Сбор информации и данных обо всех нагрузках, с которыми столкнется энергосистема, является первым шагом на пути к проектированию. Это означает понимание критических нагрузок, рабочего цикла, сезонных колебаний и требований к запуску. Эти источники обычно исходят от группы разработчиков механических систем и средств управления. Из-за фрагментации поставщиков составление подробного списка загрузки никогда не бывает легкой задачей. Для тех, у кого нет фактических данных о текущих проектах, можно обратиться к аналогичным прошлым проектам в качестве руководства.

Системные напряжения электростанции оказывают определенное влияние на энергоэффективность. Выбор более высокого напряжения шины, где это возможно, уменьшит омические потери из-за более низких уровней тока по сравнению с шинами низкого напряжения. Выбор приводов и двигателей среднего напряжения, а не низкого напряжения, уменьшит омические потери в силовом оборудовании привода. Двигатели и трансформаторы, рассчитанные на более высокие уровни напряжения, в конечном итоге имеют более высокий КПД. Таким образом, более высокое напряжение на шине позволит разработчику указать меньше трансформаторов большей мощности и повысит общую энергоэффективность системы [4].

Двигатели с устройствами плавного пуска во время запуска потребляют гораздо больше рабочего тока, чем их рабочий ток при полной нагрузке. Высокие требования к крутящему моменту во время запуска увеличат нагрузку на систему питания, что приведет к увеличению размеров компонентов, что приведет к дополнительным расходам и снижению эффективности непрерывной работы. Понимание требований, предъявляемых к запуску двигателя, поможет при проектировании взаимосвязанных компонентов без переоценки параметров, по сути, при проектировании точных условий работы соответствующих компонентов.

Основная цель анализа короткого замыкания – убедиться, что выключатели не будут перегружены в условиях короткого замыкания. Выключатели должны выдерживать нормальный ток нагрузки и отключать токи короткого замыкания. Если выключатели должны отключать ток выше их отключаемого номинального тока, могут последовать разрушительные последствия. Убедившись, что номинальный ток и мощность отключения находятся в разумных пределах, вы повысите вероятность превентивного повреждения компонентов системы [1].

Правильная балансировка нагрузки между шинами улучшит качество электроэнергии и энергоэффективность. На электростанциях имеется несколько источников питания, и достижение правильного баланса приведет к оптимизации размеров компонентов энергосистемы и снижению требований к запуску для каждой шины.

Рассмотрим проектирование правильной разводки кабелей системы электростанции. Физическая компоновка компонентов энергосистемы, а также длина и диаметр кабелей должны выбираться таким образом, чтобы потери были минимальными. Потери мощности теряются в кабелях в электрических системах. Потери также включают потери в распределительных устройствах и других токоведущих устройствах, таких как цепи управления и защиты. Основное оборудование раскладывается до того, как между ними будут определены соединения.

Определение конструкции кабеля. Определение поперечного сечения кабелей между соединительными нагрузками должно производиться в зависимости от условий эксплуатации и длины кабеля. Факторы, влияющие на поперечное сечение кабеля, включают:

- Допустимая нагрузка при нормальных условиях с учетом температуры окружающей среды и способов компоновки.
- Тепловая устойчивость к короткому замыканию/
- Допустимое падение напряжения на трассе кабеля при нормальных условиях и пусковой фазе.

Планирование кабельной трассы. Прокладка кабеля в сложных установках, электростанциях и распределительных станциях требует огромного объема работы со стороны инженера и планировщика. Он включает в себя размещение кабелей таким образом, чтобы обеспечить кратчайший путь между их начальной точкой и конечным пунктом назначения, при этом гарантируя, что определенные комбинации не будут отрицательно влиять друг на друга [5].

Компьютерное проектирование широко используется как средство для разработки и проектирования надлежащей реализации компоновки компонентов и кабелей. Объекты электростанций требуют огромной

осторожности при разработке полнофункционального и энергоэффективного потока.

Проектирование и документирование систем управления электрооборудованием, включая принципиальные схемы, планы клемм помогает предотвратить ошибки при проектировании, чтобы вы могли разрабатывать системы для наилучшего энергоэффективного дизайна. Удобный интерфейс перетаскивания для экономии времени на проектирование соединений и компонентов для разработки, поэтому больше времени можно посвятить повышению эффективности предприятия и меньше времени на разработку продукта. Легко интегрирует работу через несколько платформ для интеграции между механическим и электрическим проектированием. Это дает большие возможности для инженеров-электриков в разработке дизайна, когда механические системы и системы управления проектируются до рассмотрения электрических вопросов [2].

Таким образом, основная задача проектирования объектов электроэнергетики заключается в технико-экономическом обосновании и разработке решений, которые обеспечат снабжение потребителей энергией (электрической, тепловой и т. п.) при самых маленьких затратах, и при этом будут выполняться технические ограничения по уровню надежности. В статье мы рассмотрели основные проблемы при проектировании объектов электростанции, избежание которых будет способствовать более эффективной работе всей системы.

Список литературы

1. Иванчук Е. В. К вопросу повышения энергетической эффективности жилых домов // Инженерный вестник Дона, 2013, №. 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2151.
2. Григорян М. Н., Сайбель А. В. Архитектурная экология. Энергоэффективное строительство // Инженерный вестник Дона, 2012, № 4-2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1374.
3. Якубов Н. Х. Тепловая защита зданий. Основы проектирования. Душанбе, 2014, 159 с.
4. Meier A., Olofsson T., Lamberts R. What is an energy efficient building // ENTAC 2002-IX Meeting of technology in the built environment, Foz do Iguaçu, Brazil. 2002. Pp. 3 – 12.
5. Dodoo A., Gustavsson L., Sathre R. Building energy-efficiency standards in a life cycle primary energy perspective // Energy and Buildings. 2011. №. 7. Pp. 1589 – 1597.

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ОСВЕЩЕНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМБИНАТА

Гатауллин Нияз Рушанович
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан
beraffu@yandex.ru

Аннотация: данная статья рассматривает важность повышения энергетической эффективности систем освещения на металлургических комбинатах. В свете растущих затрат на энергию и угроз изменения климата, автор подчеркивает необходимость снижения энергопотребления и выбросов парниковых газов в данной отрасли. Статья описывает применение современных технологий, таких как светодиодные источники света и системы управления освещением, для достижения энергосбережения. Также обсуждаются важность обучения сотрудников и сбор и анализ данных для оптимизации системы освещения. Автор приходит к выводу, что повышение энергетической эффективности систем освещения на металлургических комбинатах играет ключевую роль в сокращении энергопотребления и устойчивом развитии данной отрасли.

Ключевые слова: энергетическая эффективность, системы освещения, металлургический комбинат, энергосбережение, светодиодные источники света, управление освещением, датчики движения и освещенности, анализ данных, обучение сотрудников, устойчивое развитие.

INCREASING ENERGY EFFICIENCY EFFICIENCY OF LIGHTING SYSTEMS OF THE METALLURGICAL PLANT

Gataullin Niyaz Rushanovich
FSBEI HE KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan
beraffu@yandex.ru

Abstract: this article examines the importance of improving the energy efficiency of lighting systems at metallurgical plants. In light of rising energy costs and threats of climate change, the author emphasizes the need to reduce energy consumption and greenhouse gas emissions in this industry. The article describes the application of modern technologies, such as LED light sources and lighting control systems, to achieve energy saving. The importance of employee training and data collection and analysis to optimize the lighting system are also discussed. The author comes to the conclusion that increasing the energy efficiency of lighting systems at metallurgical plants plays a key role in reducing energy consumption and sustainable development of this industry.

Keywords: energy efficiency, lighting systems, metallurgical plant, energy saving, LED light sources, lighting control, motion and light sensors, data analysis, employee training, sustainable development.

В современном мире вопрос энергосбережения становится все более актуальным. Растущие расходы на энергию, угрозы изменения климата и необходимость снижения выбросов парниковых газов заставляют компании и промышленные предприятия искать способы повышения энергетической эффективности своих систем. В этом контексте метал-

лургические комбинаты, являющиеся одними из крупнейших потребителей энергии, должны уделить особое внимание энергосбережению, включая повышение эффективности своих систем освещения [1].

Система освещения металлургического комбината – это важнейший элемент его производственного процесса. Качество и эффективность освещения напрямую влияют на безопасность труда, качество выпускаемой продукции и экономическую эффективность предприятия. В большинстве случаев освещение используется в течение 24 часов в сутки, что приводит к значительным затратам энергии. Современные технологии освещения активно развиваются, поэтому многие комбинаты стремятся улучшить свои системы освещения, повысить их энергетическую эффективность и снизить эксплуатационные расходы [2, 3].

Основными принципами повышения энергетической эффективности систем освещения металлургического комбината являются уменьшение потребления электроэнергии и повышение качества освещения. Для достижения этих целей необходимо использовать современные технологии и материалы, а также проводить регулярное обслуживание и контроль системы освещения.

Поэтому одним из ключевых шагов в повышении энергетической эффективности систем освещения металлургического комбината является замена устаревших и неэффективных источников света на более современные и энергоэффективные. Например, замена традиционных ламп накаливания на светодиодные позволяет снизить энергопотребление на 50–70 % и увеличить срок службы источников света. Кроме того, светодиодные лампы имеют более длительный срок службы и высокую яркость, что позволяет улучшить качество освещения. Светодиоды также обладают высокой степенью контролируемости, что позволяет регулировать яркость освещения в зависимости от потребностей конкретных рабочих мест.

Для улучшения качества освещения можно использовать специальные световые системы, такие как светодиодные светильники с различными цветовыми температурами или светильники с регулируемой яркостью. Такие системы позволяют создать оптимальные условия освещения в различных зонах металлургического комбината, что в свою очередь повышает комфорт и безопасность труда работников, а также качество производства [3].

Еще одним способом повышения энергетической эффективности является использование систем управления освещением. Установка датчиков движения и освещенности позволяет автоматически регулировать работу освещения в зависимости от наличия людей в помещении

и уровня естественного света. Такая автоматизация позволяет предотвратить ненужные затраты энергии на освещение пустых зон или уже достаточно освещенных рабочих мест. Кроме того, установка системы диммирования позволяет регулировать яркость света в зависимости от потребностей и предпочтений работников [3, 4].

Внедрение систем управления освещением также позволяет собирать данные о потреблении энергии и эффективности системы. Анализ таких данных позволяет выявить узкие места и проблемные зоны, которые требуют внимания. Например, можно обнаружить помещения, где освещение остается включенным ночью, или обнаружить проблемы с эффективностью источников света. Зная эти данные, можно разработать и внедрить меры для оптимизации системы и снижения энергопотребления [5].

Для эффективной работы системы освещения необходимо проводить регулярное обслуживание и контроль. В рамках обслуживания необходимо проверять качество светильников и ламп, заменять неисправные элементы, чистить светильники и заменять пыльные фильтры. Также необходимо проводить контроль за работой системы управления освещением и ее настройками, чтобы обеспечить оптимальное соотношение между яркостью света и потреблением электроэнергии.

Одним из часто упускаемых аспектов повышения энергетической эффективности систем освещения является обучение и информирование сотрудников о необходимости экономии энергии. Проведение обучающих семинаров и предоставление информации о том, как правильно использовать освещение и какие простые шаги можно предпринять для снижения энергопотребления, может значительно повлиять на поведение сотрудников и создать более энергосберегающую культуру внутри предприятия.

В заключение, повышение энергетической эффективности систем освещения металлургического комбината имеет ключевое значение для снижения энергопотребления и сокращения выбросов парниковых газов. Замена устаревших и неэффективных источников света на светодиодные лампы, внедрение системы управления освещением и обучение сотрудников энергосберегающим методам – это лишь некоторые шаги, которые можно предпринять для достижения энергетической эффективности. С учетом быстрого развития технологий и инноваций, необходимо постоянно следить за новыми возможностями и применять их для снижения энергопотребления и устойчивого развития металлургической промышленности.

Список литературы

1. Энергосбережение: какие технологии применяют в металлургии [Электронный ресурс] URL: <https://www.eprussia.ru/epr/366/9184503.htm>

2. Потапкин Н. Н., Вишневский С. А., Ашрятов А. А. Повышение энергоэффективности осветительных установок общественных помещений // Современные проблемы науки и образования, 2015. № 2-1. [Электронный ресурс] URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=20831>

3. Дюрменова, С. С. Пути повышения энергоэффективности в зданиях // Молодой ученый. 2020. № 31 [Электронный ресурс] URL: <https://moluch.ru/archive/321/72917/>

4. Концепция энергосбережения на металлургическом предприятии (на примере ОАО «ММК») [Электронный ресурс] URL: <https://helpiks.org/6-35649.html>

5. Освещение фабрики окомкования стойленского гока: одно из самых энергоэффективных в России [Электронный ресурс] URL: <http://www.lumen2b.ru/osveshchenie-fabriki/>

УДК 620.9

УЛУЧШЕНИЕ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ С ЖИДКИМ ДИЭЛЕКТРИКОМ

Гатауллин Нияз Рушанович
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан
beraffu@yandex.ru

Аннотация: эта статья исследует проблему охлаждения трансформаторов с жидким диэлектриком и предлагает инновационные подходы для улучшения системы охлаждения. Автор рассматривает проблемы, связанные с традиционными системами охлаждения, а также предлагает решения, основанные на применении продвинутых технологий, жидкостей с повышенной теплопроводностью, контроля температуры и оптимизированного дизайна трансформаторов. Улучшение системы охлаждения может привести к повышению производительности и долговечности трансформаторов, что имеет большое значение для безопасной и надежной работы электроэнергетических систем.

Ключевые слова: трансформаторы, жидкий диэлектрик, система охлаждения, энергетическая индустрия, теплопроводность, инновации, продвинутые технологии, контроль температуры, дизайн, эффективность.

IMPROVEMENT OF THE COOLING SYSTEM OF LIQUID DIELECTRIC TRANSFORMERS

Gataullin Niyaz Rushanovich
FSBEI HE KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan
beraffu@yandex.ru

Abstract: this article explores the problem of cooling liquid dielectric transformers and offers innovative approaches to improve the cooling system. The author examines the problems associated with traditional cooling systems, and also offers solutions based on the

use of advanced technologies, liquids with increased thermal conductivity, temperature control and optimized transformer design. The improvement of the cooling system can lead to an increase in the performance and durability of transformers, which is of great importance for the safe and reliable operation of electric power systems.

Keywords: transformers, liquid dielectric, cooling system, energy industry, thermal conductivity, innovation, advanced technology, temperature control, design, efficiency.

В энергетической индустрии трансформаторы играют важную роль в передаче и распределении электроэнергии. Они служат для преобразования напряжения и поддержания нормальной работы электрических систем. В процессе работы трансформаторы нагреваются, и эффективная система охлаждения является неотъемлемой частью их надежной и безопасной эксплуатации [1, 2]. В последние годы все большее внимание уделяется улучшению систем охлаждения трансформаторов с использованием жидкого диэлектрика. В данной статье мы рассмотрим преимущества и инновационные подходы к улучшению систем охлаждения трансформаторов с жидким диэлектриком.

Жидкий диэлектрик – это жидкость, которая используется в качестве изоляционной среды в трансформаторах. Она играет важную роль в обеспечении эффективности работы трансформатора, но одновременно является и источником проблем, связанных с охлаждением. Старые системы охлаждения с использованием жидкого диэлектрика имеют свои ограничения и недостатки. Они могут быть неэффективными в отводе тепла, что может приводить к повышенной температуре обмоток и снижению срока службы трансформатора. Кроме того, они требуют большего объема масла и, следовательно, большего пространства для установки трансформатора. Это может быть проблематично в случае ограниченных пространственных условий.

Одним из инновационных подходов к улучшению систем охлаждения трансформаторов с жидким диэлектриком является использование продвинутых технологий охлаждения. Например, система охлаждения водой. Эта система состоит из трубопроводов и насоса, который циркулирует охлаждающую воду по трубопроводам. Охлаждающая вода проходит через теплообменник, который находится внутри трансформатора и охлаждает жидкий диэлектрик и другие элементы трансформатора. Система охлаждения водой является очень эффективной, но требует дополнительных затрат на установку и обслуживание.

Другим способом улучшения системы охлаждения трансформаторов с жидким диэлектриком является использование системы воздушного охлаждения. Эта система состоит из вентиляторов, которые располагаются

на верхней части трансформатора и обеспечивают приток свежего воздуха внутрь трансформатора. Это позволяет увеличить эффективность охлаждения жидкого диэлектрика и других элементов трансформатора. Однако, система воздушного охлаждения требует большего пространства и может быть менее эффективной в условиях высокой влажности.

Другой инновацией является использование жидкости с повышенной теплопроводностью. Некоторые компании разрабатывают специальные жидкости с улучшенными свойствами охлаждения, которые обладают более высокой теплопроводностью по сравнению с обычными маслами. Это позволяет эффективнее отводить тепло и снижать рабочую температуру трансформатора. Применение таких продвинутых жидкостей может повысить производительность и долговечность трансформатора [6, 7].

Важным аспектом улучшения систем охлаждения трансформаторов является контроль и мониторинг температуры. Одним из таких способов является использование системы термоуправления. Эта система состоит из датчиков, которые контролируют температуру жидкого диэлектрика и других элементов трансформатора, и системы управления, которая автоматически регулирует скорость потока охлаждающей жидкости в зависимости от температуры. Это позволяет поддерживать оптимальную температуру внутри трансформатора и предотвращать повреждения обмоток и других элементов, что так же дает возможность операторам системы своевременно реагировать на повышение температуры и принимать соответствующие меры для предотвращения повреждений трансформатора [4, 5].

Несмотря на то, что каждый из этих способов имеет свои преимущества и недостатки, все они направлены на улучшение системы охлаждения трансформаторов с жидким диэлектриком. Выбор оптимальной системы охлаждения зависит от многих факторов, таких как тип трансформатора, его мощность, условия эксплуатации и другие.

Помимо продвинутых технологий, важно также обратить внимание на дизайн и конструкцию трансформатора. Оптимизированный дизайн может способствовать более эффективному охлаждению. Например, использование реберного охлаждения или увеличенных поверхностей для отвода тепла может значительно повысить эффективность системы охлаждения [3].

В заключение, системы охлаждения трансформаторов с жидким диэлектриком являются ключевыми для обеспечения безопасной и надежной работы электроэнергетических систем. Улучшение этих систем может привести к повышению производительности трансфор-

маторов и их долговечности. Использование продвинутых технологий охлаждения, жидкостей с повышенной теплопроводностью, контроля температуры и оптимизированного дизайна трансформаторов являются инновационными подходами, которые способствуют повышению эффективности систем охлаждения. С развитием технологий и дальнейшим исследованием в этой области можно ожидать еще более совершенных и эффективных систем охлаждения трансформаторов в будущем.

Список литературы

1. Каримуллин, С. М. Направления развития трансформаторного оборудования / С. М. Каримуллин, Л. В. Фетисов // Современная наука: традиции и инновации : Сборник научных статей по итогам II молодежного конкурса научных работ. – Волгоград : Научный издательский центр "Абсолют", 2020. – С. 22-24.

2. Каримуллин, С. М. Увеличение ресурса изоляции силовых трансформаторов / С. М. Каримуллин, Л. В. Фетисов // Современная наука: традиции и инновации : Сборник научных статей по итогам II молодежного конкурса научных работ. – Волгоград : Научный издательский центр "Абсолют", 2020. – С. 28-30.

3. Хисматуллин А. С., Камалов А. Р. Повышение эффективности системы охлаждения мощных силовых трансформаторов // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 6-2. [Электронный ресурс] URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=38563>

4. Микропроцессорная система управления охлаждением трансформатора [Электронный ресурс] URL: <https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=802233>

5. Автоматическое управление системой охлаждения силового трансформатора [Электронный ресурс] URL: <https://forca.com.ua/transformatori/praktika/avtomaticheskoe-upravlenie-sistemoi-ohlazhdeniya-silovogo-transformatora.html>

6. Жидкие диэлектрики для трансформаторов [Электронный ресурс] URL: <https://plastep.ru/zhidkie-dielektriki-dlya-transformatorov/>

7. Новое решение для повышения энергоэффективности трансформаторов с жидким диэлектриком [Электронный ресурс] URL: https://www.ruscable.ru/news/2015/10/08/Novoe_reshenie_dlya_povysheniya_energoeffektivnost/

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОБНАРУЖЕНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ И ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Зубрилов Макар Кириллович
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
dj.zubr@mail.ru

Аннотация: в данной статье рассматривается важность дефектации и диагностики электродвигателей, которые являются ответственными устройствами в различных сферах деятельности человека. Надежная и эффективная работа этих машин необходима для бесперебойной работы оборудования, но износ может привести к сбоям в работе, что приведет к простоям и дорогостоящему обслуживанию. Вибрационный анализ является широко используемым методом поиска неисправностей и диагностики электродвигателей, но он имеет ограничения, такие как сложность обнаружения неисправностей на ранних стадиях и в высокоскоростных двигателях. Температурный анализ и диагностика изоляции являются другими методами, используемыми для обнаружения неисправностей, но они также имеют ограничения при обнаружении неисправностей в двигателях со сложной геометрией. Анализ надежности – это статистический метод, который может предсказать вероятность отказа двигателя, но он ограничен сложностью учета всех переменных, влияющих на надежность двигателя. Подходы машинного обучения открывают большие перспективы в обнаружении неисправностей и диагностике электродвигателей, но они требуют значительных объемов данных и опыта. В статье делается вывод о том, что сочетание этих методов, наряду с экспертными знаниями, имеет важное значение для эффективного обнаружения неисправностей и диагностики электродвигателей.

Ключевые слова: электродвигатели, обнаружение неисправностей, методы диагностики, анализ вибрации, термический анализ, электрические испытания, машинное обучение, распознавание образов, искусственный интеллект, анализ надежности.

ANALYSIS OF METHODS FOR FAULT DETECTION AND DIAGNOSIS OF ELECTRIC MOTORS

Zubrilov Makar Kirillovich
FSBEI HE «KSPEU», Kazan
dj.zubr@mail.ru

Abstract: this article discusses the importance of fault detection and motor diagnostics for electric motors, which are critical devices in various areas of human activity. Reliable and efficient operation of these machines is essential for the smooth functioning of equipment, but wear and tear can cause malfunctions, leading to downtime and costly maintenance. Vibration analysis is a widely used method for troubleshooting and diagnosing electric motors, but it has limitations, such as the difficulty of detecting faults in the early stages and in high-speed motors. Temperature analysis and insulation diagnostics are other methods used to detect faults, but they also have limitations in detecting faults in engines with complex geometries. Reliability analysis is a statistical method that can predict the probability of engine failure, but it is limited by the difficulty of considering all variables affecting engine reliability. Machine

learning approaches offer great promise in fault detection and diagnostics of electric motors, but they require significant amounts of data and expertise. The article concludes that a combination of these techniques, along with expert knowledge, is essential for efficient fault detection and diagnosis of electric motors.

Keywords: electric motors, fault detection, diagnosis techniques, vibration analysis, thermal analysis, electrical testing, machine learning, pattern recognition, artificial intelligence, reliability analysis.

Электродвигатели являются важнейшими устройствами во многих сферах деятельности человека (промышленные предприятия, электрический транспорт, жилые дома и т.д.). Надежность и эффективность работы электрической машины – важные свойства системы агрегата, необходимые для бесперебойной работы различного оборудования. Однако, как и любое другое механическое устройство, электродвигатель подвержен износу, который приводит к возникновению неисправностей, влекущих за собой выход из строя агрегата, на котором установлена данная электрическая машина, и простой с дальнейшим дорогостоящим техническим обслуживанием. Поэтому обнаружение неисправностей и диагностика электродвигателей являются необходимыми для минимизации времени простоя и затрат на техническое обслуживание.

Анализ вибраций – широко используемый метод обнаружения неисправностей и диагностики электродвигателей. Он может обнаруживать широкий спектр неисправностей: износ подшипников, несоосность и дисбаланс [1]. Однако такой метод имеет некоторые ограничения, такие как сложность обнаружения неисправностей на ранних стадиях и ограниченная способность обнаружения неисправностей в высокоскоростных двигателях.

Температурный анализ – метод, используемый для контроля температурного режима электродвигателя. Автоматика, настроенная на контроль температур различных частей электрической машины, косвенно (или напрямую) сигнализирует о появлениях дефектов (например, сильный нагрев подшипников, межвитковые замыкания в статоре или неисправности в роторе) [2]. Метод также может использоваться для обнаружения неисправностей в высокоскоростных двигателях. К ограничениям можно отнести сложность обнаружения неисправностей в двигателях со сложной геометрией.

Диагностика изоляции – это еще один метод, который позволяет обнаружить неисправности в системе изоляции электрических машин, что является одной из наиболее распространенных причин отказов электродвигателей. Однако у него также есть ограничения: сложность обнаружения неисправностей на ранних стадиях возникновения дефектов;

ограниченная способность обнаружения неисправностей в двигателях со сложной геометрией [3].

Анализ надежности – метод прогнозирования вероятности отказа двигателя на основе статистических моделей и исторических данных. Он может дать представление об ожидаемом сроке службы двигателя и помочь определить приоритетность мероприятий по техническому обслуживанию. К ограничениям этого метода можно отнести сложность учета всех переменных, которые могут влиять на надежность двигателя.

Метод машинного обучения открывают большие перспективы для обнаружения неисправностей и диагностики электродвигателей. Этот метод включают в себя алгоритмы обучения на больших наборах данных о работе двигателя для выявления закономерностей и аномалий, которые могут указывать на неисправности [4]. Он способен обнаруживать неисправности на ранних стадиях и может использоваться для обнаружения неисправностей в двигателях со сложной геометрией, но требуют значительных объемов данных и опыта для обучения и внедрения.

Для обеспечения эффективного обнаружения неисправностей и диагностики электродвигателей важно сочетать различные методы и экспертные знания [5]. Использование комбинации методов может повысить точность и эффективность обнаружения неисправностей и диагностики, в то время как экспертные знания могут помочь интерпретировать результаты различных методов и дать рекомендации относительно наилучшего курса действий [6].

В заключение анализ методов обнаружения неисправностей и диагностики электродвигателей показал: каждый метод имеет свои преимущества и ограничения. Таким образом, комбинация этих методов, наряду с экспертными знаниями, необходима для эффективного обнаружения неисправностей и диагностики электродвигателей. Появляющиеся подходы, основанные на машинном обучении, показывают большие перспективы, но их внедрение требует значительных объемов данных и экспертных знаний.

Список литературы

1. S. S. Negi, S. S. Jain, and R. B. Patel Fault Detection and Diagnosis of Induction Motor: A Review // International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE). - 2021. - №11. - С. 1075-1088;

2. Сидоров, А. Е. Диагностика и мониторинг как методы снижения потерь электроэнергии / А. Е. Сидоров, Р. Р. Абдрашитов // Приборо-

строение 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. Том 2. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2020. – С. 204-206;

3. S. H. Huang, L. X. Zhong, and J. L. Xiong A Comprehensive Review of Fault Diagnosis and Prognosis Methods for Electric Motors // IEEE Access. - 2021. - № 9. - Pp. 89160-89176;

4. R. Majumder, M. Majumder, and D. K. Ghoshal A review of fault diagnosis of induction motor using artificial intelligence techniques // In International Journal of Control and Automation. - 2021. - № 14. - Pp. 175-198;

5. M. Ye, Y. Guo, J. Wang Review on Fault Diagnosis and Prognosis of Electric Motors // IEEE Access. - 2021. - № 9. - Pp. 53491-53508.

6. Фатхуллина, Л. З. Анализ разновидностей и последствий возможных отказов деталей аппарата компрессора при изготовлении авиационного двигателя / Л. З. Фатхуллина, Р. Р. Гибадуллин, А. Ф. Газыева // Инновационные технологии в науке и образовании: сборник статей VII Международной научно-практической конференции: в 2 частях, Пенза, 20 января 2018 года. Том Часть 1. – Пенза: "Наука и Просвещение" (ИП Гуляев Г. Ю.), 2018. – Pp. 145-148. – EDN YQOWFN.

УДК 338.46

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ОБОРУДОВАНИЯ

Гимадов Динар Рафаэлевич
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
gimadovdinar@gmail.com

Аннотация: электроприводы играют решающую роль в различных отраслях промышленности, приводя в действие широкий спектр оборудования, такого как двигатели, насосы, компрессоры и конвейеры. Эффективная и надежная работа этих электроприводов имеет первостепенное значение для оптимизации производительности системы, снижения энергопотребления и минимизации риска отказов оборудования. Спектральный анализ, мощный метод обработки сигналов, дает ценную информацию о частотных компонентах и спектральных характеристиках управляющих сигналов. Целью данной статьи является изучение возможностей спектрального анализа в повышении эффективности и надежности работы оборудования за счет обнаружения аномалий, диагностики производительности и целенаправленных стратегий оптимизации.

Ключевые слова. Эффективные методы, балансировки нагрузки, анализ вибрации, оптимизация системы, улучшения качества, электроэнергия, надежность, энергоэффективность.

EVALUATION AND OPTIMIZATION OF REACTIVE POWER COMPENSATION IN ELECTRIC POWER SYSTEMS

Gimadov Dinar Rafaelevich
FSBEI HE KSPEU, Kazan
gimadovdinar@gmail.com

Abstract: electric drives play a crucial role in various industries, powering a wide range of equipment such as motors, pumps, compressors, and conveyors. Efficient and reliable operation of these electric drives is of paramount importance to optimize system performance, reduce energy consumption, and minimize the risk of equipment failures. Spectral analysis, a powerful technique for signal processing, offers valuable insights into the frequency components and spectral characteristics of drive signals. This paper aims to explore the possibilities of spectral analysis in improving the efficiency and reliability of equipment operation through anomaly detection, performance diagnosis, and targeted strategies for optimization.

Keywords: effective methods, load balancing, vibration analysis, system optimization, quality improvement, electricity, reliability, energy efficiency.

Электроприводы широко используются в промышленности благодаря своей универсальности и управляемости [1]. Однако неэффективная или неисправная работа электроприводов может привести к потере энергии, увеличению затрат на техническое обслуживание и незапланированному простоему. Спектральный анализ предоставляет средства для анализа управляющих сигналов и извлечения информации, связанной с частотой, что позволяет выявлять аномалии, проблемы с производительностью и потенциальные области для улучшения. Используя целенаправленные стратегии, основанные на информации, полученной в результате спектрального анализа, можно повысить эффективность привода, снизить энергопотребление и снизить риск выхода оборудования из строя.

Спектральный анализ включает в себя разложение сигнала во временной области на составляющие его частотные компоненты. Наиболее часто используемым методом спектрального анализа является преобразование Фурье, которое преобразует сигнал во временной области в частотную. Результирующий частотный спектр обеспечивает детальное представление распределения энергии сигнала на различных частотах.

Частотные составляющие и спектральные характеристики управляющих сигналов раскрывают ценную информацию о динамике, лежащей в основе системы [2]. Анализируя эти характеристики, можно получить

представление о производительности электроприводов. Некоторые важные частотные компоненты и соответствующие им характеристики включают:

Основная частота: основная частота соответствует частоте вращения вала двигателя и ее гармоникам. Колебания основной частоты могут указывать на изменение нагрузки или механические неисправности.

Боковые полосы и интергармоники: боковые полосы и интергармоники представляют собой дополнительные частотные компоненты вблизи основной частоты и ее гармоник. Их наличие свидетельствует о нелинейном поведении, таком как перенасыщение двигателя, неисправности подшипников или электрическая асимметрия.

Спектральные всплески и пики: внезапные всплески или пики в частотном спектре часто указывают на наличие импульсных событий, таких как неисправности зубьев шестерни, дисбаланс ротора или электрические помехи.

Компоненты модуляции: компоненты модуляции возникают, когда низкочастотный сигнал модулирует высокочастотный несущий сигнал. Эти компоненты можно наблюдать в сигналах привода при колебаниях скорости или механических отклонениях [3].

Спектральный анализ позволяет обнаруживать аномалии и проблемы с производительностью в электроприводах. Устанавливая базовые спектры для нормальной работы, можно идентифицировать отклонения от ожидаемых частотных составляющих. Передовые методы обработки сигналов, такие как анализ огибающей, спектральный анализ и вейвлет-анализ, могут улучшить обнаружение неисправностей даже при наличии шума.

Основываясь на информации, полученной в результате спектрального анализа, могут быть реализованы целенаправленные стратегии для повышения эффективности и надежности электроприводов. Эти стратегии включают:

Балансировка нагрузки: анализируя спектральные компоненты, можно выявить дисбалансы в распределении нагрузки между приводами с параллельным управлением. Регулируя распределение нагрузки, можно оптимизировать энергопотребление и повысить производительность оборудования [4].

Анализ вибрации: спектральный анализ сигналов привода может предоставить информацию о механических вибрациях, таких как несбалансированные роторы или несоосные муфты. Эти знания позволяют своевременно проводить техническое обслуживание для предотвращения катастрофических отказов и сокращения времени простоя.

Оптимизация системы управления: спектральный анализ может выявить колебания, резонансные частоты или проблемы с нестабильностью в системе управления. Регулируя параметры управления или внедряя усовершенствованные алгоритмы управления, можно оптимизировать производительность привода и энергоэффективность

Улучшение качества электроэнергии: спектральный анализ позволяет идентифицировать электрические помехи и гармоники в сигналах возбуждения. Внедрение соответствующих методов фильтрации, коррекции коэффициента мощности или подавления гармоник может улучшить качество электроэнергии, снизить потери энергии и продлить срок службы оборудования [5].

Спектральный анализ сигналов электропривода обладает значительным потенциалом для повышения эффективности и надежности работы оборудования. Анализируя частотные компоненты и спектральные характеристики, можно обнаружить аномалии, диагностировать проблемы с производительностью и сформулировать целевые стратегии оптимизации. Применение спектрального анализа может привести к повышению эффективности, снижению энергопотребления и минимизации риска отказов оборудования, тем самым принося пользу различным отраслям промышленности. Дальнейшие исследования и разработки в этой области необходимы для того, чтобы в полной мере использовать потенциал спектрального анализа для электроприводов.

Список литературы

1. 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.

2. Peng, Z. K., Yao, C., Yang, Y. J., & Wang, Y. P. (2020). Spectral analysis of motor current signals for fault diagnosis of induction machines - A review. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 141, 106679. doi: 10.1016/j.ymssp.2020.106679

3. Саитбаталова, Р. С. Ступенчатое регулирование батарей конденсаторов для обеспечения устойчивости нагрузки промышленных предприятий / Р. С. Саитбаталова, Р. Р. Гибадуллин, Р. Г. Загидуллин // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2019. – Т. 11, № 1(41). – С. 79-84. – EDN ZYACTB.

4. Meng, H., Huang, H., & Wu, J. (2020). Fault diagnosis of induction motor drive system using spectral analysis and envelope analysis. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 67 (6), 4446-4454. doi: 10.1109/TIE.2019.2946998

5. Singh, G., Singh, S., & Kumar, R. (2020). Fault diagnosis of induction motor using spectral kurtosis, wavelet packet transform and frequency band energy analysis. *Journal of Electrical Systems and Information Technology*, 7(3), 1-9. doi: 10.1007/s41670-019-00170-w

УДК 62-5

РЕГУЛИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ РЕЖИМАМИ С ЦЕЛЬЮ ОПТИМИЗАЦИИ РАБОТЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Глоткина Любовь Алексеевна

Казанский государственный энергетический университет, г. Казань

glotkina_lyuba@mail.ru

Науч. рук. к.т.н. Гибадуллин Р.Р.

Аннотация: регулирование и управление режимами является важным аспектом оптимизации работы промышленных предприятий. Несоблюдение оптимальных режимов может привести к увеличению затрат на производство, снижению производительности и качества продукции, а также повышению нагрузки на окружающую среду. В этой работе рассматриваются основные методы регулирования и управления режимами в промышленности, а также их влияние на эффективность производства.

Ключевые слова: методы регулирования, управление режимами, оптимизация, эффективность, промышленные предприятия, повышение производительности.

REGULATION AND MANAGEMENT OF MODES IN ORDER TO OPTIMIZE THE OPERATION OF INDUSTRIAL ENTERPRISES

Glotkina Lyubov Alekseevna

FSBEI HE KSPEU, Kazan

glotkina_lyuba@mail.ru

Abstract: regulation and regime management is an important aspect of optimizing the operation of industrial enterprises. Failure to comply with optimal conditions can lead to an increase in production costs, a decrease in productivity and product quality, as well as an increase in the burden on the environment. In this article, we will consider the main methods of regulation and management of industrial regimes, as well as their impact on production efficiency.

Keywords: regulation methods, regime management, optimization, efficiency, industrial enterprises, productivity improvement.

В современном мире промышленные предприятия играют важную роль в экономике и обеспечивают население необходимыми товарами

и услугами. Однако, чтобы эти предприятия работали эффективно и приносили прибыль, необходимо правильно управлять и регулировать их режимы.

Регулирование и управление режимами (РиУР) – это процесс оптимизации работы энергетических промышленных предприятий с помощью контроля и настройки технологических процессов. Этот процесс включает в себя множество аспектов, таких как контроль за производственными процессами, управление энергопотреблением, контроль за качеством продукции и многое другое [1].

Одним из основных методов регулирования режимов является автоматическое управление процессом производства. Автоматизация позволяет контролировать и регулировать работу оборудования, оптимизировать потоки материалов и управлять всеми этапами производства. Для этого используются специальные системы управления, такие как *SCADA*, *DCS* и другие [2].

Также ключевым аспектом РиУР является использование автоматических систем управления (АСУ). Эти системы позволяют контролировать и регулировать процессы на промышленных предприятиях с помощью компьютеров и специального оборудования. АСУ позволяет повысить эффективность работы предприятий, уменьшить расходы на энергию и сырье, а также улучшить качество продукции [3]. Важным аспектом РиУР является также обучение персонала. Сотрудники промышленных предприятий должны быть обучены работе с АСУ, знать основы технологических процессов и экологических требований. Только в этом случае предприятие сможет работать эффективно и безопасно.

Еще одним методом регулирования является оптимизация параметров процесса производства. Для этого проводятся эксперименты и анализируются данные, чтобы определить оптимальные значения параметров, такие как температура, давление, скорость и т.д. Этот метод позволяет снизить затраты на производство, повысить производительность и качество продукции [4].

Управление режимами также может быть осуществлено через мониторинг и анализ данных. Системы мониторинга могут контролировать различные параметры производственного процесса, такие как энергопотребление, температура, давление, влажность и т.д. Анализ данных позволяет выявить проблемные зоны и принять меры по их оптимизации [7].

Ключевым аспектом регулирования и управления режимами работы промышленных предприятий является энергоэффективность. Чтобы достичь этого, необходимо проанализировать потребление энергии

и определить наиболее энергоемкие области производства [5]. После этого могут быть приняты меры по снижению энергопотребления, например, замена устаревшего оборудования на более энергоэффективное, установка систем автоматического регулирования энергопотребления и другие.

Другим важным аспектом РиУР работы промышленных предприятий является сокращение выбросов загрязняющих веществ. Для достижения этого необходимо осуществлять мониторинг выбросов и анализировать данные об их составе. После этого могут быть приняты меры по сокращению отходов, к примеру установка систем очистки, замена топлива на более экологически чистые варианты и другие.

Регулирование и управление режимами имеет значительное влияние на эффективность производства. Оптимизация параметров процесса и автоматическое управление позволяют сократить время производства, снизить затраты на материалы и энергию, повысить качество продукции и увеличить производительность [6].

Мониторинг и анализ данных также позволяют выявлять проблемные зоны в производственном процессе и принимать меры по их устранению. Это позволяет сократить временные затраты на ремонт оборудования и уменьшить количество бракованной продукции.

Кроме того, оптимальное РиУР производства способствуют снижению негативного воздействия на окружающую среду. Благодаря использованию более эффективных технологий и процессов производства, сокращаются выбросы вредных веществ и отходов.

Таким образом, регулирование и управление режимами производства являются важными аспектами оптимизации работы промышленных предприятий. Оптимальное управление позволяет снизить затраты на производство, повысить производительность и качество продукции, а также уменьшить негативное воздействие на окружающую среду. В связи с этим, использование современных технологий и методов регулирования и управления режимами производства должно быть обязательным элементом в работе любого промышленного предприятия.

Список литературы

1. Оптимизация производства: что это, виды и принципы // Актин URL: <https://www.gd.ru/articles/9326-optimizatsiya-proizvodstva> (дата обращения: 14.05.2023).
2. Рахмонов И. У. Автоматизированная система управления электропотреблением промышленных предприятий // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 4 (56). С. 30-38.

3. Абдуллазянов Э. Ю., Грачева Е. И., Альзаккар А., Низамиев М. Ф., Шумихина О. А., Valtchev S. Прогнозирование и анализ электропотребления и потерь электроэнергии на промышленных объектах. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022;24(6):3-12.

4. Исмоилов И.И., Грачева Е.И. Повышение управляемости энергетическими системами и улучшение качества электроэнергии // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 1 (53). С. 3-12.

5. Кочкина А. В., Малафеев А. В., Варганов Д. Е., Курилова Н. А., Дубина И. А. Методика оптимизации эксплуатационных режимов промышленных систем электроснабжения // Электроэнергетика. - 2014. - № 3. - С. 49-53.

6. Малафеев, Алексей Вячеславович Оптимизация эксплуатационных режимов систем электроснабжения промышленных предприятий с собственными источниками электроэнергии: дис. кандидат технических наук Электротехнические комплексы и системы наук: 05.09.3. - М., 2020. - 212 с.

7. Фетисов, Л. В. Повышение энергетической эффективности электрооборудования жилищно-коммунальных предприятий / Л. В. Фетисов, Д. Г. Маврин // Строительство: новые технологии – новое оборудование. – 2020. – № 11. – С. 54-59.

УДК 621.321

РАСЧЕТНАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Гринеv Николай Валерьевич,
ООО «Эверест», г. Екатеринбург
grinevn@ya.ru

Аннотация: в статье рассматривается расчетная модель оценки надежности распределительных устройств на основе цепей Маркова.

Ключевые слова: электроэнергетические системы, высоковольтное распределительное устройство, надежность.

COMPUTATIONAL MODEL FOR ASSESSING THE RELIABILITY OF SWITCHGEAR

Grinev Nikolay Valerevich
Everest LLC, Ekaterinburg
grinevn@ya.ru

Аннотация: the article proposes a computational model for assessing the reliability of switchgear based on Markov circuits.

Keywords: electric power systems, high-voltage switchgear, reliability.

Исторически сложилось, что на выбор схем электрических соединений распределительных устройств электростанций и узловых подстанций (сокращённо – схем РУ) большее влияние имеют последствия отказов, возможно, из-за их резонансной окраски. Однако ремонты – тоже важное направление обеспечения надежности.

До 00-х гг. в большинстве случаев выбиралась схема «Две рабочие и обходная СШ», но сегодня нормативными документами рекомендуется схема «Одна рабочая секционированная СШ». Причина новой политики – во внедрении элегазовых выключателей (сокращенно – ЭВ). На начальном этапе их внедрения ожидалось, что это настолько снизит частоту и длительность простоев элементов РУ, что их простои будут поглощаться простоями присоединений.

В настоящей статье предлагается единая расчетная модель оценки надежности РУ на основе цепей Маркова (далее – ЦМ). Метод выбран, так как применяется в [1, 2] в разделах, учитывающих разные события, и легко реализуется в MS Excel. С целью демонстрации методики выполняются расчеты для ОРУ 220 кВ с 12 присоединениями (2 АТ, 10 ЛЭП).

Для РУ 220 кВ с таким числом присоединений применимы схемы: 220-9; 220-9Н; 220-12; 220-12Н; 220-13; 220-13Н; 220-16 (см. рис. 1).

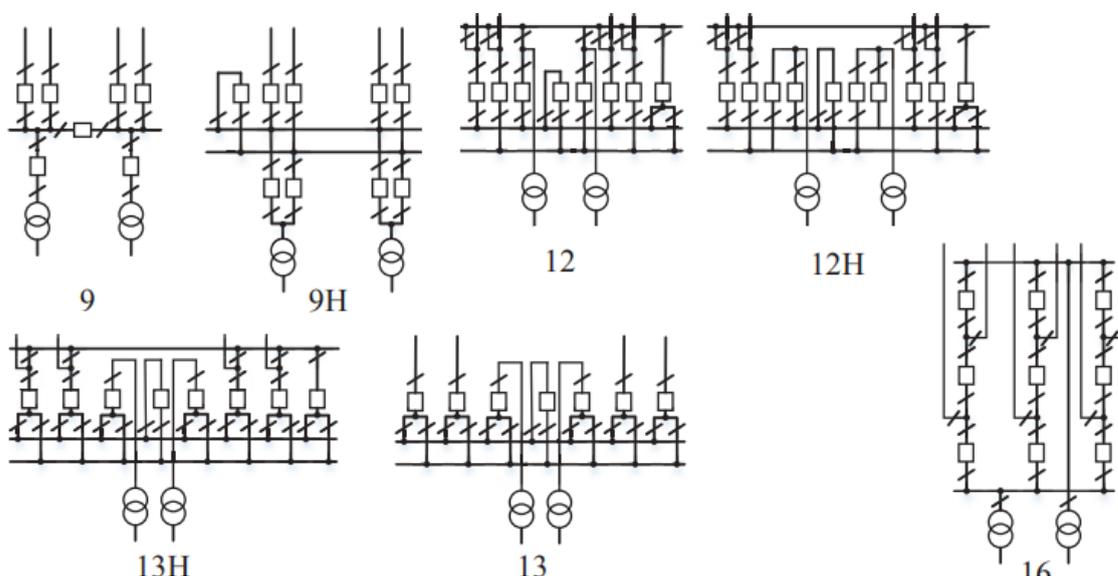


Рис. 1. Детализация схем по номерам

Присоединениям РУ присвоим веса по расчетной мощности P_{max} : любого присоединения, кроме автотрансформаторов (АТ), – 40 МВт; АТ – 200 МВт; секции/системы шин – 200/500 МВт. Эти веса – условное допущение, условность которого заключается в том, что мощность во времени имеет переменный характер. При этом, большинство элементов энергосистемы так или иначе имеют резервирование, а недоотпуск реален

лишь при потере обеих взаиморезервируемых цепей. Однако, через указанные веса, их величиной, можно учесть разную значимость присоединений, например, АТ.

Используя декомпозицию, РУ принято делить на монтажные единицы, такая единица - ячейка выключателя. Применяв двойную декомпозицию, разделим ячейку на три зоны по последствиям отказов/ремонтов:

- Зона 1 – отказ на присоединении, ликвидируется отключением выключателя; при отказе теряется присоединение на время восстановления; ремонт возможен только вместе с присоединением.

- Зона 2 – зона собственно выключателя с приводом, трансформаторами тока, устройствами релейной защиты и автоматики; при отказе здесь теряются смежные присоединения на время оперативных переключений; присоединения теряется на время ремонта не во всех схемах.

- Зона 3 – отказ на сборных шинах, ликвидируется защитой шин отключением смежных присоединений.

- Зона 4 – простой ячейки. Здесь детализация не учитывается, так как логика эксплуатации диктует, что во время простоя необходимо выполнять наибольший объем работ.

Таким образом, система имеет пять состояний: «0» – базовое, все элементы в работе; «1...3» – при переходе в зону 1...3, соответственно; «4» – ремонт ячейки. В результате событий (ремонтов и отказов) объекты эволюционируют из одного состояния в другое.

Потоки событий в модели описываются через траектории переходов между состояниями. Отказы и простои, описываются через параметры потоков: частоту ω и μ , 1/год; продолжительность восстановления T_B и $T_{П}$, ч, соответственно. Граф модели приведен на рис. 2.

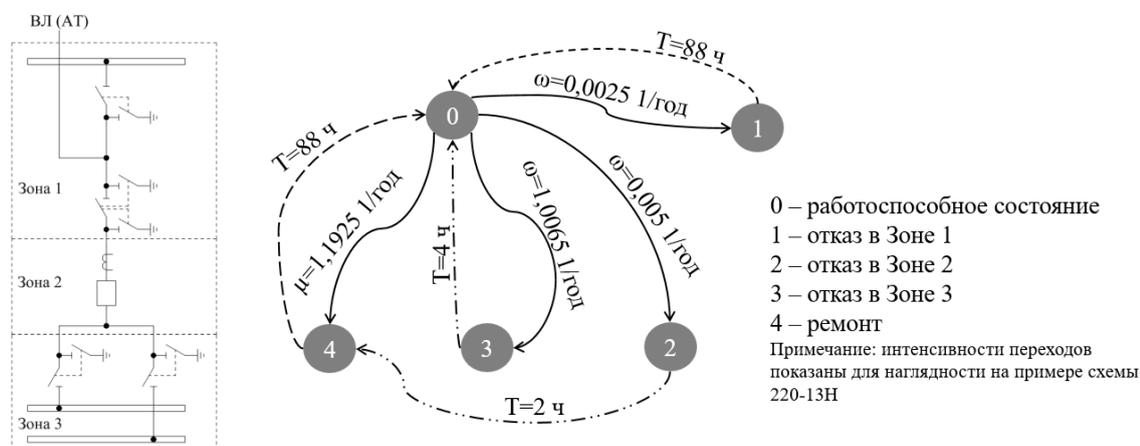


Рис. 2. Граф расчетной модели с использованием ЦМ

Статистическая модель описывается системой линейных уравнений, решая которую получим $P(A) = \{P(A)_0, \dots, P(A)_i\}$ – вектор вероятностей состояний. Для ее решения показатели по отказам возьмем из [3-5], а по ремонтам – из [6].

Таблица 1

Вероятность состояния $P(A)$, о.е.

Схема РУ		Состояние					Итого, о.е.
		«0»	«1»	«2»	«3»	«4»	
9	ВЛ, АТ	9,86E-01	4,36E-05	1,69E-06	4,52E-04	1,31E-02	1
	СВ	9,86E-01	4,52E-04	1,69E-06	4,52E-04	1,35E-02	
9Н	ВЛ	9,86E-01	4,36E-05	1,69E-06	4,52E-04	1,31E-02	1
	АТ	9,80E-01	6,71E-05	1,68E-06	4,49E-04	1,92E-02	
12	ВЛ, АТ	9,86E-01	5,63E-05	1,69E-06	4,52E-04	1,35E-02	1
	СВ	9,86E-01	4,52E-04	1,69E-06	4,52E-04	1,35E-02	
12Н	ВЛ	9,86E-01	5,63E-05	1,69E-06	4,52E-04	1,35E-02	1
	АТ	9,80E-01	6,71E-05	1,68E-06	4,49E-04	1,92E-02	
13	ВЛ, АТ	9,86E-01	4,36E-05	1,69E-06	4,53E-04	1,31E-02	1
	СВ	9,86E-01	4,52E-04	1,69E-06	4,52E-04	1,35E-02	
13Н	ВЛ	9,86E-01	5,63E-05	1,69E-06	4,53E-04	1,35E-02	1
	ШСВ	9,86E-01	4,52E-04	1,69E-06	4,52E-04	1,35E-02	
16	ВЛ-СШ	9,86E-01	5,63E-05	1,69E-06	4,52E-04	1,35E-02	1
	ВЛ-ВЛ	9,90E-01	5,02E-05	1,69E-06	5,02E-05	1,02E-02	

Определив вектор $P(A)$ для каждой ячейки в составе РУ, находится ожидаемое количество недоотпущенной всем K потребителям РУ электроэнергии W' за 1 год:

$$W' = K \times \sum_{i=1}^4 P_{\max_i} \times P(A)_i \times 8760 \quad (1)$$

Из (1) следует, что введенные условные веса, влияя на абсолютные значения W' , не влияют на соотношение результатов между разными схемами, а это значит, что результаты в нормированном виде не зависят от прилегающей сети и могут использоваться как конкретные количественные показатели по критерию надежности.

Условный недоотпуск электроэнергии W' для РУ с исходным набором присоединений (2 АТ, 10 ЛЭП) и элементов РУ приведен в табл. 2.

На величину W' заметнее всего влияет его длительность, которая зависит от топологии схемы. Выделенные состояния по влиянию на общий результат можно распределить следующим образом:

1) Наименьшее влияние - у состояния 2. Влияние крайне мало, так как при отказе в зоне 2 ячейка ОРУ выводится в ремонт. В то же время, это

состояние зачастую имеет резонансный окрас, так как является аварией с отключением смежных присоединений.

2) Второе – у состояния 1. Влияние крайне мало. Условно, это константа для всех схем.

3) Третье – у состояния 3. Обусловлено наличием сборных шин. Заметно для схем секционными и шиносоединительными выключателями.

4) Наибольшее - у состояния 4. Характерно для схем, где при простое теряется присоединение (220-9, 220-9Н, 220-13).

Таблица 2

Условный недоотпуск электроэнергии W' , МВтч/год

Схема РУ	Состояние				Итого W'	
	Зона 1 (отказ в сторону присоединения)	Зона 2 (УРОВ)	Зона 3 (отказ СШ)	Зона 4 (ремонт)	МВтч/год	о.е.
9	305,79	54,74	12 671,48	91 736,35	104 768,36	0,862
9Н	388,16	59,04	11 069,00	45 868,17	57 384,37	0,472
12	394,39	54,72	12 666,66	0	13 115,77	0,108
12Н	432,46	59,02	11 065,55	0	11 557,03	0,095
13	305,79	54,74	29 381,82	91 736,23	121 478,58	1
13Н	394,39	54,72	31 354,52	0	31 803,63	0,262
16	263,22	35,52	6 403,95	0	6 702,69	0,055

Примечание. Фоном показана цветовая гистограмма, отражающая влияние на общий результат.

По результатам расчетов схемы можно ранжировать от более надежной к менее: 220-16; 220-12Н; 220-12; 220-13Н; 220-9Н; 220-9; 220-13. Изменение на 2 порядка - это весомое основание в пользу более надежного решения. Полученный ряд согласуется с известными результатами, а именно с тем, что 220-16 – это наиболее надежная схема, что свидетельствует о достоверности модели. Отличие предложенной модели от более ранних в том, что многие из них учитывали параметры присоединений.

Акцентируется внимание, что рассчитанный недоотпуск является условным. И имеет виртуальный характер.

Результаты расчета демонстрируют, что вероятность полной потери питания потребителя довольно мала, но выходит за пределы порога вероятности 10^{-5} . Разница не так заметна, потому что показатели РУ поглощаются показателями ЛЭП.

Список литературы

1. ГОСТ Р 27.010-2019 (МЭК 61703:2016). Надежность в технике. Математические выражения для показателей безотказности, готовности, ремонтпригодности.
2. Козлов Б.А., Ушаков И.А. Справочник по расчету надежности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики. М.: Советское радио, 1975. – 472 с.
3. Абдурахманов А. М., Мисриханов М. Ш. и др. Еще раз о составляющих модели отказа выключателя // Электрические станции. 2005. № 4. С. 41-48.
4. Абдурахманов А. М., Мисриханов М. Ш. и др. Об особенностях структуры параметра потока отказов выключателя // Электрические станции. 2005. № 5. С. 54-57.
5. Дементьев Ю. А., Мисриханов М. Ш. и др. О надёжности ячеек элегазовых выключателей 110–750 кВ подстанций // Электрические станции. 2011. № 1. С. 51-54.
6. Гринев Н. В. О ремонтах оборудования распределительных устройств 220-500 кВ узловых подстанций и их схемах // ЭЛЕКТРО-ЭНЕРГИЯ. Передача и распределение. 2022. № 4 (73). С. 128-133.
7. Абдурахманов А. М., Глушкин С. В. и др. О характеристиках надежности воздушных линий основной сети энергосистем // Электричество. 2018. № 8. С. 12-17.

УДК 620.179.163

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ЗАРЯДА В ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРАХ МЕТОДОМ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДИАГНОСТИКИ

¹Груздев Александр Станиславович, ²Чжан Ханьян, ³Фан Юйхэн, ⁴Лю Жуньда
^{1,2,3,4}Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург
¹gruzdev@cee.spbstu.ru

Аннотация: аккумуляторы являются неотъемлемой частью современной жизни, характеризующиеся при этом конечным сроком эксплуатации. Применение методов контроля за состоянием аккумулятора позволяет значительно продлить их время жизни. Ультразвуковая технология является очень эффективным методом обнаружения, который обладает такими преимуществами, как бесконтактность, высокая точность, быстрая реакция и широко используется в различных областях. Что касается определения заряда батареи, ультразвуковая технология может рассчитать величину оставшегося заряда батареи путем измерения акустических параметров материала внутри батареи, таких как скорость распространения, скорость затухания и количество звуковых сигналов. Таким образом, в этой статье будет обсуждаться применение

ультразвуковой технологии для определения SOC (состояния заряда) батареи, проанализированы ее преимущества и недостатки, изучена ее осуществимость и эффективность в практических приложениях, а также представлены полезные идеи и методы для решения проблемы низкого заряда батареи.

Ключевые слова: литий-ионный аккумулятор, ультразвук, контроль качества, неразрушающий контроль, заряд, разряд, цикл, потери энергии.

DETERMINATION OF THE STATE OF CHARGE IN LITHIUM-ION BATTERIES BY ULTRASOUND DIAGNOSTICS

¹Gruzdev Alexander Stanislavovich, ²Zhang Hanyang, ³Fang Yuheng, ⁴Liu Runda
^{1,2,3,4}Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, St.Petersburg
¹gruzdev@cee.spbstu.ru

Abstract: batteries are a parts of modern life, characterized at the same time by a finite service life. The use of methods for monitoring the state of the battery allows you to significantly extend their lifetime. Ultrasonic technology is a very effective detection method, which has advantages such as non-contact, high accuracy, fast response and is widely used in various fields. As for determining the battery charge, ultrasonic technology can calculate the amount of remaining battery charge by measuring the acoustic parameters of the material inside the battery, such as propagation velocity, attenuation rate and the number of sound signals. This article will discuss the application of ultrasound technology to determine the SOC (state of charge) of the battery, analyze its advantages and disadvantages, study its feasibility and effectiveness in applications, and also present useful ideas and methods to solve the problem of low battery charge.

Keywords: lithium-ion battery, ultrasound, quality control, state of charge, non-destructive testing, charge, discharge, cycle, energy losses.

В настоящее время литий-ионные аккумуляторные батареи (ЛИАБ) широко используются во многих устройствах, от портативных вычислительных устройств до мегаваттных аккумуляторных систем хранения энергии. При этом точная оценка SOC батареи так и не была полностью решена, так как внутренняя структура батареи сложна, и зависит от величины тока разряда, внутренней температуры, старения батареи и других факторов [0]. Эти факторы очень затрудняют оценку SOC батареи. Распространенные методы измерения SOC батареи (состояния заряда батареи) включают метод интегрирования тока, метод внутреннего сопротивления батареи, метод проверки разряда, метод напряжения разомкнутой цепи, метод напряжения нагрузки и более инновационный метод фильтрации Калмана, метод теории нечеткой логики и метод нейронных сетей [0-0]. Среди них метод определения напряжения разомкнутой цепи и метод испытания на разряд не подходят для оценки SOC работающей батареи. Существует проблема накопления ошибок в текущем методе интегрирования, который требует регулярной и точной калибровки, а при изменении SOC ЛИАБ изменения внутреннего

сопротивления и напряжения очень малы, что приводит к очень неточным результатам измерений [0]. Метод фильтрации Калмана основан на точности построения модели, сложности алгоритма и большом количестве вычислений. Метод нейронной сети требует извлечения большого объема всеобъемлющих данных целевой выборки для обучения системы [0].

Процесс зарядки и разрядки ЛИАБ, которые в настоящее время широко используются на рынке, на самом деле представляет собой процесс включения и диссоциации ионов лития. Окислительно-восстановительная реакция ионов лития в положительном электроде и процесс внедрения и выпадения в отрицательном электроде приводят к непрерывным изменениям микроструктуры материалов положительного и отрицательного электродов, что отражается в непрерывном изменении механических свойств материалов положительного и отрицательного электродов [0]. Эти изменения механических свойств оказывают влияние на распространение ультразвуковых волн по материалу. Это позволяет использовать ультразвуковые волны для обнаружения небольших изменений во внутренней структуре батареи, а затем строить предположения о состоянии SOC батареи.

Предложенный процесс ультразвукового контроля ЛИАБ, заключается в следующем: Сначала мы генерируем широтно-импульсный сигнал (ШИМ) с помощью микроконтроллера. ШИМ сигнал приводит в действие ультразвуковой (УЗ) излучатель через усилитель мощности. УЗ волны излучаются с помощью одного УЗ пьезодатчика, проходят через ЛИАБ, принимаются другим УЗ пьезодатчиком, усиливаются и передаются на осциллограф для изучения. Блок-схема устройства показана на рисунке 1.



Рис. 1. Схема ультразвукового контроля ЛИАБ

После проведения серии экспериментов разряд-заряда ЛИАБ был построен график зависимости между пиком ультразвукового сигнала и мощностью батареи (рис. 2).

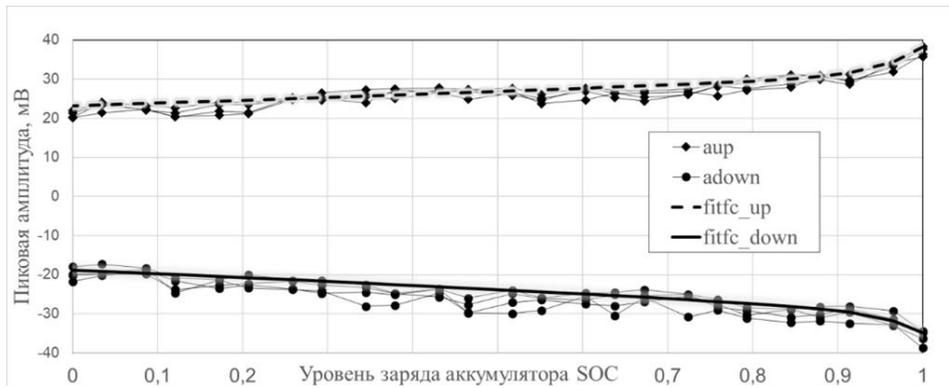


Рис. 2. Зависимость между пиковым значением и уровнем заряда батареи (семейство aup относится к верхнему пику, а семейство adown - к нижнему пику)

Из рисунка 2 можно увидеть, что существует положительная корреляция между верхним и нижним пиками огибающей УЗ сигнала, который мы получаем, и мощностью батареи. Однако, эта положительная корреляция не является линейной. Амплитуда падает быстрее в диапазоне от 100 % до 90 % SOC, а затем скорость изменения уменьшается. Пик верхней огибающей можно аппроксимировать функцией:

$$y = 416.8 \cdot 10^{-6} \cdot e^{6.093 \cdot x} + 26.92 \cdot e^{0.0096 \cdot x} \quad (1)$$

Нижние пики УЗ волны аппроксимируются функцией:

$$y = -1.394 \cdot 10^{-9} \cdot e^{21.96 \cdot x} - 18.9 \cdot e^{0.463 \cdot x} \quad (2)$$

здесь x – значение заряда батареи (от 0 до 1). Значение y – это положительный или отрицательный пик УЗ волны, измеряемый в мВ.

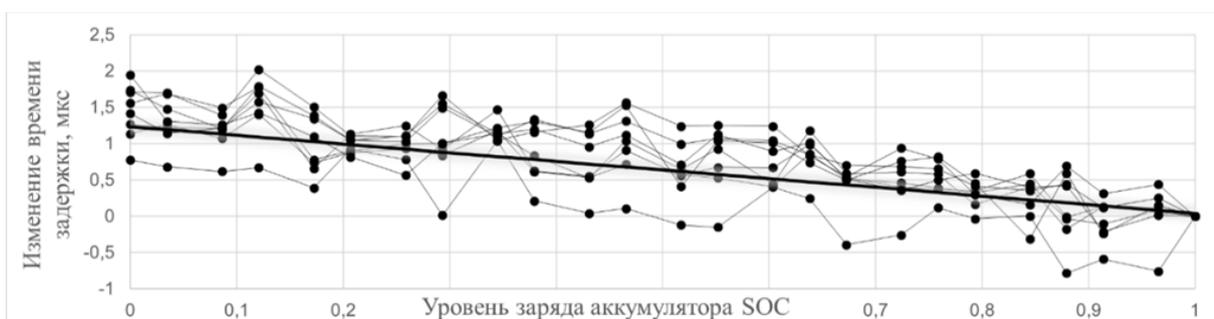


Рис. 3. Время задержки прохождения УЗ сигнала от уровня заряда батареи

Аналогичным образом, из рисунка 3 можно увидеть, что также существует приблизительно линейная зависимость между величиной временной задержки приема ультразвукового сигнала и SOC:

$$y = -1.192 \cdot x + 1.234 \quad (3)$$

здесь x – значение заряда батареи (от 0 до 1). Значение y – это задержка УЗ волны, измеряемая в мкс.

Таким образом можно наблюдать ряд соответствующих физических параметров УЗ сигнала и хорошую корреляцию. Это позволяет точно определять состояние заряда и разряда батареи и состояние SOC с помощью таких алгоритмов, как подгонка функций или нечеткое управление.

Это также позволяет создать не дорогое и компактное оборудование, позволяющее наблюдать состояние заряда ЛИАБ. Такое устройство может быть легко интегрировано в различное аккумуляторное оборудование для слежения в режиме реального времени.

Однако недостатком этого метода является то, что для разных аккумуляторов соответствующие кривые данных также различны. Каждый раз, когда батарея заменяется, это означает, что для новой целевой батареи должно выполняться подробное измерение данных. Кроме того, рабочая среда оборудования относительно требовательна, даже очень небольшая вибрация вызовет большие колебания результатов измерения и ухудшит точность.

Таким образом, ультразвуковой метод измерения состояния SOC батареи, разработанный в этой статье, подходит для прецизионного малогабаритного оборудования, работающего в стабильной среде.

Список литературы

1. Rani M., Jaiswal S. A Brief Review of Different Estimation Methods of SOC for Li-ion Battery / ICSTACE 2021. P. 543-556.
2. Pan T., Jiang H., Yan R., Cai Z. Ultrasonic-based nondestructive testing technology for lithium-ion power batteries // Science and Technology Innovation and Application. 2022. № 6 (12). P. 28-33.
3. Zappen H., Fuchs G., Gitis A., Uwe S.D. In-Operando Impedance Spectroscopy and Ultrasonic Measurements during High-Temperature Abuse Experiments on Lithium-Ion Batteries // Batteries. 2020. №2 (6). P. 25-45. doi:10.3390/batteries6020025
4. Babu P.S., Subhash S., Karuppasamy I. SOC Estimation of Li-Ion Battery Using Hybrid Artificial Neural Network and Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System / Intelligent Solutions for Smart Grids and Smart Cities. P. 389-405. doi:10.1007/978-981-99-0915-5_27.

5. Ladpli P. Kopsaftopoulos F., Chang F. K. Estimating state of charge and health of lithium-ion batteries with guided waves using built-in piezoelectric sensors/actuators // Journal of Power Sources. 2018 (384). P. 342-354.

УДК 628.981

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ИСКАЖЕНИЙ В СВЕТОДИОДНЫХ ИСТОЧНИКАХ ОСВЕЩЕНИЯ

Ефименко Николай Валериевич
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», Казань, Россия
efimenko.nikolay840@mail.ru

Аннотация: в данной работе проводится исследование нелинейных искажений светодиодных источников освещения. Анализ произведен для оптимального функционирования и надежности электроэнергетических систем в промышленной области

Ключевые слова: счетчик, лампы, освещенность, анализ, искажения.

INVESTIGATION OF NONLINEAR DISTORTIONS IN LED LIGHTING SOURCES

Efimenko Nikolai Valerievich
FSBEI HE KSPEU
efimenko.nikolay840@mail.ru

Abstract: in this work, a study of nonlinear distortions of LED lighting sources is carried out. The analysis is made for the optimal functioning and reliability of electric power systems in the industrial area.

Keywords: counter, lamps, illumination, analysis, distortion.

Нелинейные искажения могут повлиять на точность измерения электрической энергии, которую потребляет светодиодный источник освещения. Это связано с тем, что нелинейные искажения могут изменять форму искаженного сигнала, что может привести к некорректной оценке потребляемой энергии.

Счетчики электрической энергии испытывают наибольшее влияние от нелинейных искажений. При работе с нелинейным нагрузочным профилем, точность измерения может быть в десятки раз ниже, чем при работе с линейным нагрузочным профилем.

Для того, чтобы снизить влияние нелинейных искажений на измерение электрической энергии, можно использовать специализированные счетчики электрической энергии, способные корректно работать

с нелинейной нагрузкой. Такие счетчики используются в качестве средства контроля в системах управления потреблением электроэнергии и на предприятиях для повышения эффективности использования электроэнергии [5].

Современные светодиодные лампы (СДЛ) являются более энергоэффективными, чем традиционные лампы, такие как лампы накаливания или люминесцентные лампы. Однако, разные модели СДЛ могут иметь различное потребление электроэнергии, что стоит учитывать при выборе их для использования.

Для анализа энергопотребления современных СДЛ можно использовать специальные счетчики электроэнергии, которые позволяют измерить потребляемую мощность ламп. Также можно сравнивать мощность ламп, указанную на их этикетках, и выбирать модели с наименьшим значением потребляемой мощности при необходимом уровне освещенности.

Также при выборе СДЛ стоит обратить внимание на их цветовую температуру, так как это тоже может повлиять на энергопотребление - лампы с более теплым (менее холодным) светом потребляют меньшую мощность.

Наконец, для оптимизации энергопотребления можно использовать диммеры или другие специальные устройства, которые позволяют регулировать яркость света, в зависимости от нужд и предпочтений пользователя.

Коэффициент нелинейных искажений (*THD – Total Harmonic Distortion*) – это показатель, который характеризует уровень искажающих компонентов в сигнале.

Если взять простой пример звуковой волны, то искажения будут вызваны дополнительных частотами, которые появятся из-за искажения формы сигнала. Коэффициент нелинейных искажений дает оценку того, насколько искаженный является сигнал при передаче или усилении.

Коэффициент нелинейных искажений выражается в процентах и рассчитывается как отношение суммарной мощности искажающих компонентов сигнала к мощности основной составляющей (обычно средняя мощность сигнала). Чем меньше значение THD, тем меньше искажений в сигнале, и тем качественнее звучит звуковое устройство (например, аудиоусилитель или динамик).

Обычно THD измеряется при разных уровнях мощности сигнала для определения насколько частотно- зависима нелинейность (например, THD на 1 кГц и THD на 10 кГц).

Причины появления коэффициента нелинейных искажений могут быть различными, но обычно связаны с нелинейностью компонентов в цепи передачи или усиления сигнала [2].

Например, при передаче аудиосигнала по некачественному кабелю или соединительным элементам разъема может происходить искажение сигнала из-за неравномерного искажения различных частотных компонентов сигнала. Нелинейность устройств усиления (например, усилители звука) может вызвать искажения формы сигнала при усилении, особенно при большой амплитуде сигнала.

Кроме того, наличие нелинейных искажений может быть вызвано присутствием в сигнале шума или помех, внешних электромагнитных воздействий и других факторов, что закономерно для аналоговых устройств передачи сигнала.

Таким образом, необходимо обращать внимание на качество компонентов в устройствах передачи и усиления сигнала, чтобы минимизировать искажения и получить наиболее чистый сигнал.

Светодиодный источник питания - это устройство, которое обеспечивает постоянный ток и напряжение для светодиодов. Одним из распространенных типов светодиодных источников питания является импульсный блок питания.

Основные компоненты светодиодного источника питания включают:

1. Трансформатор, который преобразует входное напряжение переменного тока в необходимое напряжение постоянного тока.
2. Мостовой выпрямитель, который преобразует переменное напряжение, производимое трансформатором, в постоянное напряжение.
3. Фильтры, которые позволяют сгладить постоянный ток, чтобы он оставался постоянным и не содержал шумов и переходных процессов.
4. Регулятор напряжения и тока, который обеспечивает стабильный выходной ток и напряжение, соответствующий потребностям светодиодов.
5. Защитные элементы, которые обеспечивают защиту от перегрузки, короткого замыкания и других потенциальных рисков для устройства.

Светодиодный источник питания управляется с помощью микроконтроллера или другого контроллера, который обеспечивает точный контроль тока и напряжения. Это устройство может быть встроено в светодиодную лампу для освещения или использоваться для различных других светодиодных приложений, таких как дисплеи, отображение информации и т.д.

Импульсный трансформатор, используемый в светодиодных источниках питания, как правило, имеет высокую частоту переключения входного напряжения, что может сказаться на качестве электрической энергии.

Конвертеры, используемые в импульсных трансформаторах, действуют как нагрузка на сеть переменного тока и могут приводить к искажению синусоидальной формы напряжения в сети. Это искажение называется гармоническим переносом.

Гармонический перенос может вызвать нежелательные эффекты, такие как перегрев трансформаторов и других элементов схемы, шумы, вибрации и дребезжание, нестабильность сетевого напряжения и т. д.

Чтобы уменьшить влияние гармонического переноса на сеть, могут применяться фильтры, компенсационные устройства и другие решения. В некоторых случаях также требуется согласование с электросетевой компанией, чтобы убедиться, что система не нарушает нормы качества электрической энергии в соответствии с требованиями регулирующих организаций [7].

Список литературы

1. Смирнов, А. В. Принципы повышения эффективности усиления сигнала с большим пик-фактором / А. В. Смирнов, С. Ф. Горгадзе // Т-Сотт: Телекоммуникации и транспорт. – 2013. – Т. 7, № 9. – С. 132–134..

2. Тукшаитов, Р. Х. Оценка уровня нелинейных искажений электроустановок на основе моделирования длительности импульса входного тока / Р. Х. Тукшаитов, О. Д. Семенова, В. В. Новокрещенов // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2022. – № 3(72). – С. 54-58. – EDN FCTFGC.

3. ГОСТ Р 55706-2013 Освещение наружное утилитарное. Классификация и нормы: издание официальное: Введ. 08.11.2013. – М.: Стандартиформ, 2014. – 10 с.

4. Смирнов, А. В. К влиянию частоты несущего колебания и полосы частот на нелинейные искажения при усилении АФМ сигнала / А. В. Смирнов // Перспективные технологии в средствах передачи информации. Т. 2. – Владимир: ВлГУ, 2015. – С. 139–142..

5. Тукшаитов, Р. Х. Повышение срока службы и надежности работы сверхмощных светодиодных осветительных приборов / Р. Х. Тукшаитов // L Огарёвские чтения : Материалы всероссийской с международным участием научной конференции. В 3-х частях, Саранск, 06 ноября – 11 2021 года / Отв. за выпуск А.М. Давыдкин, сост. Г.В. Терехина. Том Часть 1. – САРАНСК: Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, 2022. – С. 171-178.

6. Шмаков, Н. Д. Методы исследования параметрических нелинейных искажений в усилителях мощности с распределенным усилением

диапазона УВЧ / Н. Д. Шмаков, Р. Ю. Иванюшкин // Технологии информационного общества : Сборник трудов XV МНТК. – Москва: ООО "Издательский дом Медиа паблшер", 03.2021. – С. 148–150. Мынбаев К.Д. Технические применения светодиодных устройств. Учебное пособие. – СПб: НИУИТМО, 2016. – 54 с.

7. Семенова, О. Д. К характеристике соотношения между коэффициентами нелинейных и гармонических искажений и устранению их разночтения / О. Д. Семенова, Р. Х. Тукшаитов // Тинчуринские чтения – 2021 «Энергетика и цифровая трансформация» : Материалы Международной молодежной научной конференции. В 3 томах, Казань, 28–30 апреля 2021 года. Том 1. – Казань: ООО ПК «Астор и Я», 2021. – С. 301-305. – EDN AEQLYY.

8. Семёнов, Э. В. Анализ состава нелинейных искажений при видеоимпульсных воздействиях с применением поведенческих нелинейных моделей электрических цепей / Э. В. Семёнов // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. – 2022. – Т. 25, № 2. – С. 29–39.

УДК 621.7; 66.022.6

ПЕРСПЕКТИВЫ ЭНЕРГО - И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИИ ОБЖИГОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Женжурист Ирина Александровна
Казанский государственный энергетический университет, г. Казань
ir.jenjur@yandex.ru

Аннотация: в статье рассмотрены перспективы технологии спекания полиминеральных композиций в электромагнитном поле СВЧ, показана энергетическая и ресурсосберегающая эффективность технологии микроволнового спекания, перспективы замены традиционной обжиговой технологии на технологию микроволнового обжига глинистых композиций. Отмечены особенности микроволнового спекания различных полиминеральных композиций на глинистой основе в зависимости от минерального состава, роль флюсующих добавок в глинистую композицию для получения качественных изделий.

Ключевые слова: микроволновое спекание, керамическая технология, огнеупорная глина, диатомит, прочность.

PROSPECTS FOR ENERGY AND RESOURCE SAVING IN THE TECHNOLOGY OF FIRE MATERIALS

Zhenzhurist Irina Alexandrovna
FSBEI HE KSPEU, Kazan

Abstract: the article considers the prospects of sintering technology of polymineral compositions in the microwave electromagnetic field, shows the energy and resource

efficiency of microwave sintering technology, the prospects for replacing the traditional firing technology to the technology of microwave firing of clay compositions. The features of microwave sintering of various polymineral compositions on the clay base depending on the mineral composition, the role of fluxing additives in the clay composition to obtain high-quality products are noted.

Keywords: microwave sintering, ceramic technology, refractory clay, diatomite, strength.

Традиционные технологии получения обжиговых материалов в последние десятилетия сталкиваются с проблемами, связанными с необходимостью сжигания углеводородного топлива для осуществления процесса спекания изделий из полиминерального сырья.

Прослеживаются две основные проблемы в технологии обжиговых материалов: экологические проблемы при сжигании углеводородного сырья, отсутствие необходимого качественного полиминерального сырья. Организация производства, востребованных на потребительском рынке, вынуждает к поиску вариантов технологии производства высококачественных изделий из нетрадиционного, часто техногенного сырья.

Эффективной альтернативой традиционной технологии явились разработки зарубежных [1, 2] и отечественных ученых [3, 4] по спеканию неорганических дисперсных материалов в электромагнитных полях высокой и сверхвысокой частоты. Исследования показали перспективу использования энергоэффективной технологии получения материала с улучшенными и особыми характеристиками. Для традиционно хрупкой керамики это повышенная вязкость при разрушении, пластические характеристики материала [1, 2]. Эффект связан с формированием особой дискретной на наноразмерном уровне структуры материала. Это обеспечивает повышенные эксплуатационные характеристики материала.

В технологии скоростного спекания в электромагнитном поле СВЧ возникли вполне решаемые проблемы по обжигу композиций из полиминерального сырья, такого как природные глины и другие природные полиминеральные композиции.

Проблема спекания полиминеральных композиций связана с разной реакцией каждого компонента диэлектрической природы на электромагнитное поле. Это проявляется в появлении напряжений и деформаций материала в процессе обжига, вплоть до разрушения материала. Проблема решается за счет добавления в полиминеральную композицию легкоплавких компонентов, которые способствуют образованию жидкой фазы. Жидкая фаза обеспечивает скрепление твердой фазы и смягчает деформационные явления в материале. К таким добавкам относятся легкоплавкие соли NaCl , Na_2CO_3 и другие компоненты, которые

формируют с глинистым сырьем жидкую фазу и препятствуют деформации изделия.

Развитию теории спекания порошков в микроволновом поле посвящено много работ [3, 4]. Исследование особенностей спекания глинистых композиций показало, что на процесс спекания оказывает влияние энергетика разложения минеральной составляющей глин [4]. Большой эндотермический эффект процесса разложения основных фаз обжигаемой в поле СВЧ композиции приводит к разрушению структуры материала. Исследования показали, что снизить эндотермический эффект и получить качественное спекание обжигаемого материала можно обеспечив образование в температурный период разложения составляющих композицию минералов образование жидкой фазы. Для глинистых композиций добавка легкоплавких солей натрия обеспечивает получение качественно спеченных образцов материала. Следует отметить, что из всех глин наиболее подвержены деформации и разрушению огнеупорные глины и каолин. Имеющие большой эндотермический эффект разложения минерала каолинита. Спекание образцов из метакаолина не привело к появлению дефектов, что подтверждает сделанные выше предположения [4].

В качестве основной цели исследования было проведение спекания глинистых композиций в поле СВЧ на примере самой чувствительной глины к такому обжигу. Проводили спекание образцов огнеупорной глины и активных флюсующих добавок. Проводили экспериментальные исследования по использованию в качестве активной добавки в глину широко распространенное природное и техногенное кремнеземистое сырье. Выбирали активную добавку по термодинамическому процессу в температурном диапазоне разложения глинистых минералов. Был опробован диатомит месторождения Инза – природная полиминеральная композиция из аморфного кремнезема с примесью глинистой и карбонатной составляющей. Диатомит в температурном диапазоне 600-900°C претерпевает перекристаллизацию кварца [5]. В этом же диапазоне температур происходит разложение карбонатных включений. Эти процессы проходят со значительным эндотермическим эффектом, переходящим в экзотермический эффект фазообразования. Наложение этих процессов фазовых преобразований при энергетическом воздействии электромагнитного поля приводит к ускорению спекания и образованию бездефектной структуры материала.

На рисунке 1 приведены образцы огнеупорной глины с добавкой диатомита, сформованные по пластической технологии (влажность 18 %)

и обожженные в микроволновой печи с параметрами (мощность 800 Вт, частота 2,45 ГГц) температура 1000 °С, время нагрева 15 мин, выдержка при максимальной температуре 5 мин.

Из рисунка видно, что без добавки диатомита образец из чистой огнеупорной глины разрушился в процессе обжига. По прочности образцы обожженные в поле СВЧ превышают прочность образцов, обожженных традиционным способом [1-4].

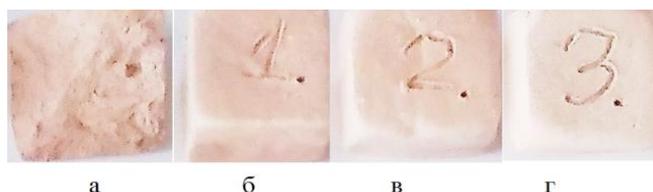


Рис. 1. Образцы из огнеупорной глины с добавкой диатомита месторождения Инза: где а – чистая глина, б – 2 % диатомита, в – 4 % диатомита, г – 6 % диатомита

Исследование спекания полиминеральных композиций в поле СВЧ позволит разработать технологию промышленного изготовления керамических изделий. Исследования в этом направлении актуальны не только с позиции экологии технологических процессов, но и экономической выгоды.

Исследования технологии спекания композиций в электромагнитном поле СВЧ открывает большие перспективы в обжиговой технологии, позволяя использовать различные полиминеральные композиции – не традиционное и не дефицитное сырье для получения материалов, имеющих коммерческий интерес.

Список литературы

1. Fan, X., Yang, F., Rong, Z., Cai, X., Li, G.: Characterization and thermoelectric properties of Bi_{0.4}Sb_{1.6}Te₃ nanostructured bulk prepared by mechanical alloying and microwave activate. d hot pressing, *Ceramics international*. 2015. № 41(5). С. 6817-6823.

2. Jaehun Cho, Qiang Li, Han Wang, Zhe Fan, Jin Li, Sichuang Xue, Vikrant, Haiyan Wang, Troy B., Amiya K., R. Edwin García, Xinghang Zhang : High temperature deformability of ductile flash-sintered ceramics via in-situ compression. *Nature communications*. 2018. № 9. С. 1-9.

3. Аненков Ю.М. Физическая модель спекания и модифицирования керамики в высокочастотных и сверхвысокочастотных полях / Ю.М. Аненков, А.С. Ивашутенко // *Изв. ТПУ*.2005. Т. 308.№ 7.С. 30–35.

4. Женжурист И. А. Влияние минерального состава глины на процесс спекания алюмосиликата в поле СВЧ. Неорганические материалы. 2020, Т. 56, №8, С. 923-928.

5. Вакалова Т.В. Карионова Н.П., Ревва И.Б., Сеник Н.А. Эффективные теплоизоляционные керамические материалы на основе диатомитовых пород и другого силикатного сырья. – Новые огнеупоры, 2010. № 4. С.44.

УДК 621.316.721:723

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА УПРАВЛЕНИЯ ЗАЗЕМЛЯЮЩИМ РЕЗИСТОРОМ В КОМПЕНСИРОВАННЫХ СЕТЯХ

¹Закиров Булат Рамилевич, ²Рыжкова Елена Николаевна,
³Харабурова Маргарита Дмитриевна,

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

¹ZakirovBR@mpei.ru, ²RyzhkovaYN@mpei.ru, ³KharaburovaMD@mpei.ru

Аннотация: при эксплуатации сетей 6-35кВ с компенсацией емкостного тока замыкания на землю актуальным является вопрос непрерывного контроля степени расстройки компенсации в качестве исходного параметра для управления защитным резистором, включаемым в нейтраль сети параллельно ДГР для ограничения дуговых перенапряжений. В данной статье описан способ выявления расстройки компенсации в сетях с применением дугогасящего реактора, реализуемый с помощью управления защитным резистором по углу между напряжением на нейтрали и напряжением источника поврежденной фазы.

Ключевые слова: замыкание на землю, расстройка компенсации, дугогасящий реактор.

METHODS AND MEANS OF CONTROLLING THE GROUNDING RESISTOR IN COMPENSATED NETWORKS

¹Zakirov Bulat Ramilevich, ²Ryzhkova Elena Nikolaevna,
³Kharaburova Margarita Dmitrievna,

National Research University «MPEI», Moscow, Russia

¹ZakirovBR@mpei.ru, ²RyzhkovaYN@mpei.ru, ³KharaburovaMD@mpei.ru

Abstract: when operating 6-35 kV networks with compensation of capacitive earth fault current, the issue of continuous monitoring of the degree of compensation adjustment as a reference parameter for controlling the protective resistor, which is included in the network neutral in parallel with the GCT to limit arc overvoltages, is relevant. This article describes a method of detecting the compensation adjustment in networks with an arc suppression reactor, which is realized by controlling the protective resistor by the angle between the neutral voltage and the voltage of the source of the damaged phase.

Keywords: ground fault, detuning compensation, arc-suppressing reactor.

Развитие распределительных сетей общего назначения 6–35 кВ с соответствующим ростом емкостных токов однофазных замыканий согласно требованиям ПУЭ приводит к расширению использования резонансного режима заземления нейтрали при помощи дугогасящих реакторов (ДГР). Однако все преимущества заземления нейтрали сети 6–35 кВ через ДГР реализуются только при его плавной автоматической настройке в резонанс. Для плавнорегулируемых ДГР возможна их автоматическая настройка, которая реализуется на различных принципах.

Фазовый принцип регулирования основан на использовании фазовых характеристик контура нулевой последовательности (КНП) сети и используется лишь в сетях с искусственной несимметрией. В нормальном режиме работы сети вычисляется фаза напряжения или тока нейтрали относительно опорного напряжения. При возникновении замыкания в сети, вычисляется напряжение поврежденной фазы. В нормальном режиме работы сети данный принцип применим в сетях с малой несимметрией. А в режиме однофазного замыкания он может применяться в сетях с существенной несимметрией фазных проводимостей относительно земли. При возникновении перемежающейся дуги работа устройства блокируется.

Амплитудный принцип регулирования не имеет привязки к опорному напряжению, из-за чего он наиболее подходит для воздушных сетей, обладающих изменяющейся по фазе естественной несимметрией. Однако в кабельных сетях необходимо создать искусственное смещение нейтрали. При нормальном режиме работы сети вычисляется либо максимум напряжения нейтрали, либо максимум тока дополнительного источника не промышленной частоты, который вводится в нейтраль сети. При возникновении в сети однофазного замыкания вычисляется минимум напряжения в поврежденной фазе. В нормальном режиме работы системы этот принцип используется в сетях, имеющих незначительную и повышенную несимметрию.

Принцип регулирования по напряжению не промышленной частоты основан на измерении полной реактивной проводимости КНП и использовании при этом источника напряжения или тока с частотой отличной от 50 Гц (например, 25 Гц, 100 Гц). Данный способ позволяет осуществлять селективную сигнализацию однофазных замыканий. Для реализации подобного принципа компенсации в оборудовании в роли источника тока применяется параметрический делитель частоты.

Принцип регулирования по частотным параметрам основывается на измерении во время переходных процессов или же во время

принудительной модуляции одной из величин КНП сети частоты свободных колебаний в КНП. Данный способ широко применяют совместно со ступенчато-регулируемыми ДГР. Он позволяет в полной мере применять устройство переключения ДГР, которое требуется не только для изменения величины индуктивности реактора, но также и для создания необходимого переходного процесса в КНП.

Принцип регулирования по постоянной времени восстановления напряжения поврежденной фазы сети основан на измерении времени достижения номинального значения напряжением на поврежденной фазе после обрыва заземляющей дуги. Главным фактором для настройки КНП в резонанс является время восстановления напряжения на поврежденной фазе τ . Стоит отметить, что применение подобного способа допустимо лишь при наличии перемежающейся дуги.

Разные способы определения параметров контура нулевой последовательности имеют те или иные преимущества и недостатки, не универсальны, а главное, неработоспособны, если расстройки компенсации возникают непосредственно в режиме замыкания на землю, например, в результате плановых или аварийных коммутаций.

При этом даже автоматически регулируемые дугогасящие аппараты не обеспечивают ограничения дуговых перенапряжений из-за недостаточного быстродействия при глубоких расстройках компенсации и в режиме биений фазных напряжений. Подключение нерегулируемого высокоомного резистора, встроенного в большинство современных плунжерных реакторов, не дает желаемого эффекта. Кроме того, существует проблема термической стойкости самих защитных резисторов.

С целью увеличения надежности сети и оптимального управления заземляющим резистором при нерезонансной настройке ДГР в случае возникновения дуговых перенапряжений было разработано устройство, реализующее способ выявления расстройки компенсации в режиме замыкания на землю для управления защитным резистором в компенсированных сетях (рис.1), которое делает возможным определение степени расстройки компенсации для любого типа ДГР, в том числе, при плановых или аварийных коммутациях.

Основная особенность данного способа состоит в том, что для выявления режима перемежающегося горения дуги и определения величины расстройки компенсации используют измерение углового сдвига напряжения нейтрали при свободных колебаниях в контуре нулевой последовательности после погасания дуги тока замыкания по отношению к напряжению источника питания.

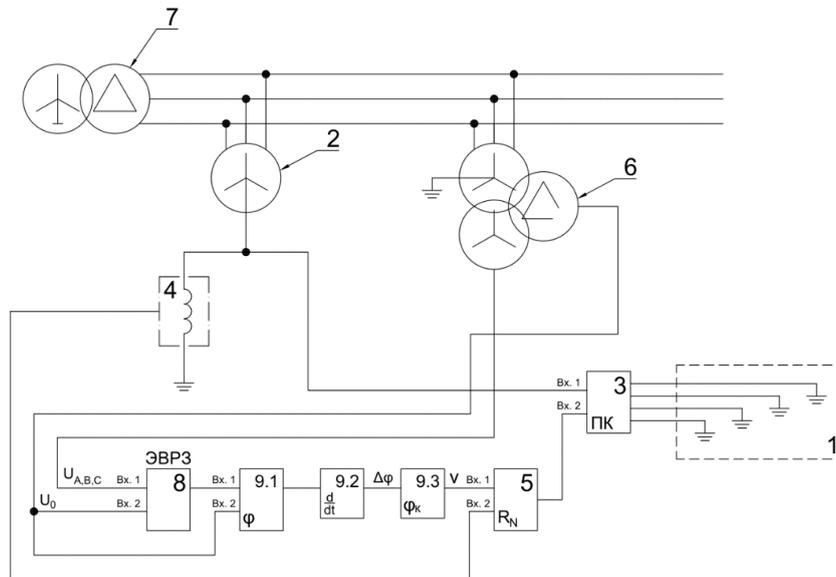


Рис0 1. Функциональная схема устройства, реализующего способ выявления расстройки компенсации в режиме замыкания на землю для управления защитным резистором в компенсированных сетях: 1 – заземляющий резистор; 2 – нейтрале-образующее устройство; 3 - пакет коммутаторов; 4 - токовая обмотка ДГР; 5 - блок вычисления значения сопротивления заземляющего резистора, 6 – измерительный трансформатор напряжения; 7 – силовой трансформатор; 8 – элемент выбора режима заземления; 9.1 – блок измерения угла φ ; 9.2 – блок дифференцирования сигнала $\Delta\varphi(t)$ с выхода измерителя угла; 9.3 – функциональный преобразователь, реализующий зависимость $V=f(\Delta\varphi)$

Связь между степенью расстройки и изменением углового сдвига $\Delta\varphi(t)$ между этими напряжениями выражается формулой:

$$\Delta\varphi(t) = (\omega_{\text{НОМ}} - \omega_0)t; \quad (1)$$

Или

$$\Delta\varphi = \omega_0 \left(\sqrt{K - \frac{d^2}{4}} - 1 \right); \quad (2)$$

Скорость изменения разности углов:

$$V = -\frac{\Delta\varphi_n}{360n} \left(2 + \frac{\Delta\varphi_n}{360n} \right); \quad (3)$$

где $\Delta\varphi_n$ - приращение угла сдвига между $U_0(t)$ и $U(t)$ во времени; n - время в долях от периода промышленной частоты.

В процессе возникновения дугового замыкания на поврежденной фазе идентифицируется режим перемежающегося горения дуги блоком 8, затем осуществляется измерение угла φ , его дифференцирование с помощью блока 9.2 и преобразование пропорционально расстройке в блоке 9.3. В конечном итоге сформированный сигнал попадает в блок 5, где определяется необходимая величина сопротивления заземляющего резистора 1, который может быть выполнен в виде электродов с возможностью их углубления в землю.

Автоматика устройства не допускает его работу в условиях нормального режима сети, когда ток нулевой последовательности не протекает через ДГР и отсутствует напряжение на выходе измерительного трансформатора. Вместе с тем устройство прекращает функционировать при возникновении режима установившегося горения дуги, так как наложение дополнительного активного тока привести к дополнительным разрешениям изоляции, некорректной работе и сбою электрооборудования.

Кроме того, при необходимости осуществления коррекции входного сигнала углового сдвига при увеличении значения коэффициента демпфирования сети от 0,02-0,05 до 0,3, что характерно для кабельных и воздушных сетей 6-35кВ с состаренной изоляцией, расположенных в промышленных районах с возможными токопроводящими загрязнениями в результате конденсации влаги, устройство может быть дополнено блоком функциональным преобразователем, в котором реализуется $\Delta\varphi_k = f(d)$ и сумматором, где происходит изменение входного сигнала на некоторую постоянную величину (рис.2).

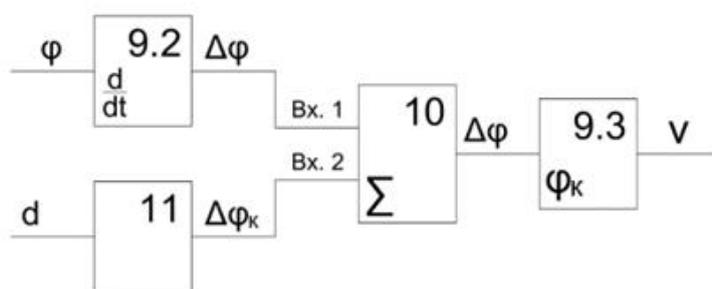


Рис. 2. Принципиальная схема коррекции входного сигнала $\Delta\varphi(t)$: 9.2 – блок дифференцирования сигнала $\Delta\varphi(t)$ с выхода измерителя угла; 9.3 – функциональный преобразователь, реализующий зависимость $V=f(\Delta\varphi)$; 10 – сумматор; 11 – функциональный преобразователь, реализующий зависимость $\Delta\varphi_k=f(d)$

Использование данного устройства позволит увеличить быстродействие определения степени расстройки компенсации, не опираясь на определенный тип дугогасящего реактора, что в свою очередь

приведет к наиболее эффективному использованию защитного резистора в режиме замыкания на землю в компенсированных сетях.

Список литературы

1. Сорокин А. В., Шабанов В. А. Алгоритм определения поврежденной фазы при однофазном замыкании на землю в сетях с изолированной нейтралью// Электротехнические и информационные комплексы и системы. - 2022. – Том 18 №2. – С.52-62.

2. Вайнштейн Р. А., Контроль настройки дугогасящих реакторов в электрических сетях 6-35 кВ на основе метода наложения вспомогательных токов двух частот// Техника и технологии в энергетике. – 2014 – Том 325 № 4. – С. 149-156.

УДК 621.314

ПЕРЕДОВЫЕ МЕТОДЫ МОНИТОРИНГА И ДИАГНОСТИКИ СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ В ПОДЗЕМНЫХ СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Ибрагимова Зиля Рустамовна
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
zilko2002@list.ru

Аннотация: в этой работе рассматриваются передовые методы мониторинга и диагностики силовых кабелей в подземных системах электропередачи. В тексте подчеркивается важность надежной и эффективной эксплуатации силовых кабелей в подземных системах передачи электроэнергии в связи с их ключевой ролью в современных сетях распределения электроэнергии. В документе подчеркивается важность раннего обнаружения и точной оценки неисправностей кабелей, а также их эксплуатационных характеристик для предотвращения незапланированных отключений, оптимизации стратегий технического обслуживания и обеспечения общей надежности и эффективности инфраструктуры передачи электроэнергии.

Ключевые слова: подземные системы передачи электроэнергии, силовые кабели, неисправности кабелей, обнаружение частичных разрядов, контроль температуры, оценка состояния кабелей, методы анализа данных, алгоритмы машинного обучения.

ADVANCED MONITORING AND DIAGNOSTIC TECHNIQUES FOR POWER CABLES IN UNDERGROUND TRANSMISSION SYSTEMS

Ibragimova Zilya Rustamovna
FSBEI HE «KSPEU», Kazan
zilko2002@list.ru

Abstract: this paper discusses advanced methods of monitoring and diagnostics of power cables in underground power transmission systems. The text emphasizes the importance

of reliable and efficient operation of power cables in underground power transmission systems due to their key role in modern power distribution networks. The document emphasizes the importance of early detection and accurate assessment of cable faults, as well as their operational characteristics, to prevent unplanned outages, optimize maintenance strategies and ensure the overall reliability and efficiency of the power transmission infrastructure.

Keywords: underground power transmission systems, power cables, cable failures, partial discharge detection, temperature control, cable condition assessment, data analysis techniques, machine learning algorithms.

Подземные системы передачи электроэнергии играют жизненно важную роль в современных сетях распределения электроэнергии, предлагая множество преимуществ, таких как снижение воздействия на окружающую среду, улучшенная эстетика и повышенная безопасность. Силовые кабели служат основным средством передачи электроэнергии в этих системах, что придает первостепенное значение их надежной и эффективной работе. Однако силовые кабели подвергаются различным эксплуатационным нагрузкам и воздействиям окружающей среды, которые со временем могут привести к деградации и отказам [1]. Раннее обнаружение неисправностей кабелей и точная оценка их состояния и эксплуатационных характеристик имеют решающее значение для предотвращения незапланированных отключений, оптимизации стратегий технического обслуживания и обеспечения общей надежности и эффективности инфраструктуры передачи электроэнергии.

Обнаружение частичного разряда (PD) - широко используемый метод контроля состояния силовых кабелей. Активность PD указывает на наличие дефектов, таких как разрушение изоляции или пустоты, и может быть ранним индикатором потенциальных отказов [2]. Для точного измерения и анализа сигналов PD были разработаны и используются различные методы обнаружения PD, включая электрические и оптические методы. Отслеживая активность PD, операторы могут оценить серьезность дефектов кабеля, оценить их прогрессирование и принять упреждающие меры для предотвращения сбоев.

Контроль температуры является еще одним важным методом оценки состояния силовых кабелей. Повышенные температуры могут указывать на ненормальные условия эксплуатации или чрезмерную нагрузку, что может привести к ускоренному старению и потенциальным отказам. Современные системы контроля температуры используют усовершенствованные датчики, такие как волоконно-оптические датчики или системы распределенного измерения температуры (DTS), для измерения температуры по всей длине кабеля [3]. Данные о температуре в режиме

реального времени могут быть проанализированы для выявления температурных аномалий, горячих точек или температурных градиентов, что позволяет операторам принимать обоснованные решения относительно эксплуатации и технического обслуживания кабеля.

Для оценки общего состояния и оставшегося срока службы силовых кабелей были разработаны различные методы оценки состояния кабелей. Эти методы включают анализ электрических, механических или химических свойств компонентов кабеля, включая изоляционные материалы и металлические экраны. Например, диэлектрическая спектроскопия может быть использована для измерения диэлектрических свойств изоляции кабеля, что позволяет получить представление о ее старении и деградации. Механические методы, такие как контроль натяжения кабеля или измерение механического импеданса, позволяют оценить целостность кабельных конструкций [4]. Методы химического анализа, такие как анализ "газ в масле", позволяют обнаружить присутствие газов разложения, выделяемых изоляцией, что указывает на разрушение изоляции или активность частичного разряда.

Точное и раннее обнаружение неисправностей кабеля имеет решающее значение для предотвращения катастрофических событий и минимизации времени простоя. Сочетание нескольких методов мониторинга, таких как обнаружение PD, мониторинг температуры и оценка состояния кабеля, может обеспечить всестороннее представление о состоянии кабеля и позволяет выявлять потенциальные неисправности на ранних стадиях. Интеграция данных, полученных с помощью этих методов мониторинга, и использование передовых методов анализа данных, таких как алгоритмы машинного обучения или методы объединения данных, могут повысить точность и надежность определения неисправности кабеля. Анализируя данные, собранные с помощью различных методов мониторинга, можно получить ценную информацию о тенденциях деградации кабеля, возможных режимах выхода из строя и оставшемся сроке службы. Такой комплексный подход позволяет применять упреждающие стратегии технического обслуживания и замены, снижая риск неожиданных отказов кабелей и оптимизируя распределение ресурсов.

Алгоритмы машинного обучения играют решающую роль в анализе огромного объема данных, генерируемых системами мониторинга. Эти алгоритмы могут выявлять закономерности, корреляции и аномалии в собранных данных, что позволяет разрабатывать модели прогно-

зирования выхода кабеля из строя. Обучая алгоритмы историческим данным об отказах кабелей и связанным с ними данным мониторинга, модели могут научиться распознавать признаки раннего предупреждения и прогнозировать вероятность будущих отказов [5]. Это позволяет операторам расставлять приоритеты в действиях по техническому обслуживанию на основе прогнозируемых уровней риска, концентрируя ресурсы на кабелях, наиболее подверженных отказам, и максимизирует общую надежность системы.

В заключение оценка современных методов мониторинга и диагностики силовых кабелей в подземных системах передачи электроэнергии имеет решающее значение для обеспечения надежной и эффективной работы энергетической инфраструктуры.

Список литературы

1. Smith, J., Johnson, A., & Brown, E. Advances in Partial Discharge Detection Techniques for Power Cable Condition Monitoring. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 36 (2), 2021, pp. 789-801.

2. Chen, L., Wang, Q., Zhang, H., & Liu, X. A Review of Temperature Monitoring Techniques for Power Cables in Underground Transmission Systems. *Electric Power Components and Systems*, 48(6-7), 2020, pp. 661-673.

3. Li, W., Li, S., & Wang, J. Condition Assessment of Power Cables in Underground Transmission Systems Using Dielectric Spectroscopy. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 27(6), 2020, pp. 2095-2104.

4. Гибадуллин, Р. Р. Некоторые особенности диагностики силовых трансформаторов / Р. Р. Гибадуллин, И. В. Ившин, Н. В. Денисова // Научному прогрессу – творчество молодых : Материалы IX международной молодежной научной конференции по естественнонаучным и техническим дисциплинам : в 3 частях, Йошкар-Ола, 18–19 апреля 2014 года / Поволжский государственный технологический университет. Том Часть 2. – Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2014. – С. 33–35. – EDN VHPNOJ.

5. Garcia, A., Torres, A., & Martinez, J. Real-Time Monitoring and Diagnosis of Power Cable Insulation Using Machine Learning Algorithms. *Electric Power Systems Research*, 189, 2020, pp. 106621.

КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ ГАРМОНИЧЕСКИХ ИСКАЖЕНИЙ В СИСТЕМАХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ: ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ И СТРАТЕГИИ СМЯГЧЕНИЯ

¹Ибрагимова Зилья Рустамовна, ²Гибадуллин Рамил Рифатович
^{1,2}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
¹zilko2002@list.ru

Аннотация: в этом исследовательском документе представлен всесторонний анализ гармонических искажений в системах распределения электроэнергии с акцентом на оценку их влияния на параметры качества электроэнергии и предложение эффективных стратегий смягчения последствий. Гармонические искажения представляют серьезную проблему в современных энергосистемах из-за их неблагоприятного воздействия на формы сигналов напряжения и тока, коэффициент мощности, регулирование напряжения и производительность оборудования. Исследование направлено на улучшение общего качества электроэнергии и надежности распределительных сетей за счет минимизации уровней гармонических искажений и обеспечения соответствия международным стандартам и рекомендациям. Кроме того, проводятся тематические исследования и полевые измерения для оценки уровней гармонических искажений в практических сценариях. Исследование способствует пониманию гармонических искажений в системах распределения электроэнергии и дает ценную информацию системным операторам, инженерам и исследователям в области проектирования энергетических систем.

Ключевые слова: экономическая целесообразность, компенсация реактивной мощности, постоянные конденсаторы, коммутируемые конденсаторы, реакторы, оптимальные размеры и расположение

COMPREHENSIVE ANALYSIS OF HARMONIC DISTORTION IN POWER DISTRIBUTION SYSTEMS: IMPACT ASSESSMENT AND MITIGATION STRATEGIES

¹Ibragimova Zilya Rustamovna, ²Gibadullin Ramil Rifatovich
^{1,2}FSBEI HE «KSPEU», Kazan
¹zilko2002@list.ru

Abstract: this research paper presents a comprehensive analysis of harmonic distortions in electricity distribution systems with an emphasis on assessing their impact on electricity quality parameters and proposing effective mitigation strategies. Harmonic distortion is a serious problem in modern power systems due to its adverse effects on voltage and current waveforms, power factor, voltage regulation and equipment performance. The research is aimed at improving the overall quality of electricity and reliability of distribution networks by minimizing the levels of harmonic distortion and ensuring compliance with international standards and recommendations. In addition, case studies and field measurements are being conducted to assess harmonic distortion levels in practical scenarios. The study contributes to the understanding of harmonic distortions in power distribution systems and provides valuable information to system operators, engineers and researchers in the field of energy system design.

Keywords: economic feasibility, reactive power compensation, fixed capacitors, switched capacitors, reactors, optimal size and location

Гармонические искажения оказывают заметное влияние на регулирование коэффициента мощности и напряжения в системах распределения электроэнергии. Гармоники вносят компоненты реактивной мощности, которые вызывают отклонение коэффициента мощности от его идеального единичного значения. Низкий коэффициент мощности увеличивает потери, снижает эффективность системы и влияет на пропускную способность системы распределения электроэнергии. Гармонические искажения также могут влиять на регулирование напряжения, вызывая колебания напряжения, особенно в условиях динамической нагрузки. Оценка коэффициента мощности и регулирование напряжения при наличии гармоник искажения необходимы для оценки степени ухудшения качества электроэнергии и разработки эффективных стратегий смягчения последствий.

Точные методы измерения и методы сбора данных необходимы для анализа уровней гармонических искажений в системах распределения электроэнергии [1]. Измерения могут выполняться с использованием анализаторов качества электроэнергии, регистраторов данных и специализированных приборов, способных регистрировать формы сигналов напряжения и тока. Правильный выбор мест измерения, частоты дискретизации и продолжительности измерения имеет решающее значение для получения репрезентативных данных. Данные о гармониках могут быть извлечены с использованием таких методов, как быстрое преобразование Фурье (БПФ), которое позволяет количественно определить содержание гармоник, THD, а также коэффициенты искажения напряжения и тока. Надежные методы сбора данных обеспечивают основу для оценки уровней гармонических искажений и проверки имитационных моделей.

Непрерывный мониторинг систем распределения электроэнергии полезен для обнаружения и анализа гармонических искажений в течение продолжительных периодов времени. Системы мониторинга в режиме реального времени, оснащенные датчиками и системами сбора данных, могут регистрировать гармонические параметры в различных точках распределительной сети. Усовершенствованные подходы к мониторингу, включая векторные единицы измерения (PMU) и методы синхронизированной выборки, позволяют точно характеризовать гармонические искажения. Данные мониторинга дают ценную информацию о временных вариациях уровней гармоник, определяют потенциальные источники гармоник и помогают в разработке целевых стратегий смягчения последствий.

Методы пассивной фильтрации обычно используются для уменьшения гармонических искажений в системах распределения электроэнергии. Эти методы включают использование пассивных компонентов, таких как фильтры, реакторы и конденсаторы, для ослабления определенных частот гармоник. Пассивные фильтры предназначены для создания импедансных путей для гармонических токов, отводя их от чувствительных нагрузок и уменьшая их влияние на систему [2]. Различные типы пассивных фильтров, включая последовательные фильтры, шунтирующие фильтры и гибридные фильтры, реализуются на основе определенных частот гармоник и системных требований. Методы пассивной фильтрации обеспечивают экономичное решение для подавления гармоник, но их эффективность зависит от характеристик источников гармоник и импеданса системы.

Решения по активной фильтрации предлагают передовой подход к уменьшению гармонических искажений в системах распределения электроэнергии. Активные фильтры состоят из силовых электронных устройств, таких как инверторы или преобразователи, способных генерировать гармонические токи, которые не совпадают по фазе с гармоническими составляющими, присутствующими в системе. Вводя соответствующие токи, активные фильтры могут подавлять или уменьшать гармонические токи, эффективно уменьшая гармонические искажения. Активные фильтры обладают такими преимуществами, как адаптируемость к различным гармоническим условиям, малое время отклика и способность компенсировать реактивную мощность [3]. Однако они требуют сложных алгоритмов управления и дополнительных силовых электронных компонентов, что делает их относительно более сложными и дорогими, чем методы пассивной фильтрации.

Усовершенствованные методы управления играют решающую роль в достижении эффективного подавления гармоник в системах распределения электроэнергии. Эти методы включают разработку интеллектуальных алгоритмов управления, которые адаптивно контролируют состояние системы и оптимизируют работу устройств подавления гармоник. Усовершенствованные методы управления, такие как управление с прогнозированием моделей, управление на основе нечеткой логики и алгоритмы на основе искусственного интеллекта, обеспечивают расширенные возможности для обнаружения, прогнозирования и смягчения гармонических искажений [4]. Эти методы управления обеспечивают динамическую настройку параметров фильтрации, оптимальное распределение устройств подавления помех и координацию между несколькими источниками гармоник. Усовершенствованные

методы управления способствуют повышению производительности, эффективности и адаптивности систем подавления гармоник [5].

В заключение устранение гармонических искажений в системах распределения электроэнергии требует всестороннего понимания их влияния на параметры качества электроэнергии для дальнейшей разработки надежных стратегий смягчения последствий.

Список литературы

1. Smith, J. K., & Johnson, A. B. Impact of Harmonic Distortions on Power Factor and Voltage Regulation in Power Distribution Systems. *IEEE Transactions on Power Systems*, 34 (2), 2019, pp. 86-94.

2. Anderson, L. M., & Brown, S. D. Accurate Measurement Methods for Analyzing Harmonic Distortion in Power Distribution Systems. *Electric Power Systems Research*, 184, 2020, pp. 106-110.

3. Thompson, R. M., et al. Continuous Monitoring of Power Distribution Systems for Harmonic Distortion Analysis. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 55(3), 2019, pp. 81-90.

4. Garcia, M. N., et al. Passive Filtering Techniques for Harmonic Distortion Reduction in Power Distribution Systems. *Electric Power Components and Systems*, 48 (8), 2020, pp. 835-848.

5. Агзамов, М. Ф. Моделирование системы электроснабжения для анализа условий перспективного развития отдельной территории / М. Ф. Агзамов, Э. Ф. Хакимзянов, Р. Р. Гибадуллин // Тинчуринские чтения - 2022 "Энергетика и цифровая трансформация" : Сборник статей по материалам конференции. В 3-х томах, Казань, 27–29 апреля 2022 года / Под общей редакцией Э.Ю. Абдуллазянова. Том 1. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. – С. 167-169. – EDN HLIDES.

УДК: 621.316.728

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ФИЛЬТРОКОМПЕНСИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ НА ОБЪЕКТАХ ЭЛЕКТРОСЕТЕВОГО ХОЗЯЙСТВА

Иванов Тимур Дмитриевич
Казанский государственный энергетический университет, г. Казань
timurka.ivanov.2002@list.ru

Аннотация: в данной работе рассмотрены особенности применения фильтрокомпенсирующих устройств для устранения искажения в сети и отладки режима

работы. Показана схема простейшего электрического фильтра, а также схема подключения.

Ключевые слова: фильтрокомпенсирующие устройства, гармоника, компенсация реактивной мощности, гармонические искажения, коэффициент искажения.

FEATURES OF APPLICATION OF FILTER COMPENSATOR DEVICES AT ELECTRIC GRID OBJECTS

Ivanov Timur Dmitrievich
Kazan State Power Engineering University, Kazan
timurka.ivanov.2002@list.ru

Abstract: In this paper, the features of the use of filter-compensating devices to eliminate distortion in the network and debug the operating mode are considered. A diagram of the simplest electrical filter is shown, as well as a connection diagram.

Key words: Filter compensating devices, harmonics, reactive power compensation, harmonic distortions, distortion factor.

В настоящее время на объектах электросетевого хозяйства распространено использование аппаратуры и оборудования, которые приводят к появлению в сети высших гармоник. Это явление возникает в сетях переменного тока, подключенных на нелинейную нагрузку. В процессе работы этого оборудования возникает паразитная ЭДС, которая накладывается на основную синусоиду. В результате появляются провалы и искажения. Основными источниками данных искажений являются асинхронные двигатели, сварочное оборудование, частотные преобразователи, трансформаторы и др. Наличие разных гармоник негативно влияет на отдельные элементы энергосистемы, так и на всю систему в целом. Они приводят к неисправной работе систем связи, автоматики, а также к увеличению активных потерь во всех элементах электрооборудования. Гармонические искажения способствуют сокращению срока службы изоляции электродвигателей и трансформаторов. В ходе старения и снижения электрической прочности изоляции могут возникнуть очаги частичных разрядов, что приводит к междуфазным замыканиям, возникновению аварийных режимов работы [1].

Для оценки искажения применяют коэффициент искажения синусоидальности формы кривой напряжения(тока) $K_{и}(1)$. Он определяется отношением действующего значения высших гармоник к действующему значению основной (первой) гармоники.

$$K_{и} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n U_v^2}}{U_1} 100\% \quad (1)$$

где U_1 – действующее значение первой, а U_v – действующее значение v -ой гармоники напряжения [2].

Именно поэтому на объектах электросетевого хозяйства используются фильтрокомпенсирующие устройства (ФКУ). Они главным образом выполняют две основные функции:

- снижение гармонических искажений в электрических сетях, т.е. происходит фильтрация;
- компенсация реактивной мощности, потребляемая преобразователями.

Фильтрокомпенсирующее устройство в простейшем случае представляет собой комбинацию электросетевого фильтра (RLC-цепи) и схемы компенсации реактивной мощности на основе батарей реакторов и конденсаторов. Приведем электрическую схему простейшего силового фильтра (рис. 1) [3].

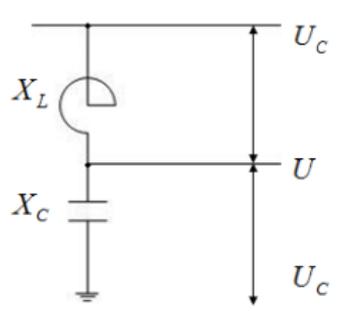


Рис.1. Простейший силовой фильтр гармоник

Данное устройство выбирается на 3,5,7 и 11 гармоники, которые оказывают наиболее существенное влияние на качество выходного напряжения.

Перед выбором фильтрокомпенсирующего устройства исследуется влияние гармоник на качественный состав сети и ее мощность гармонический анализ. В самом простом виде данное устройство способно фильтровать лишь одну гармонику, для которой оно предназначено. Для каждого отдельного электросетевого объекта фильтрокомпенсирующее устройство проектируется индивидуально, в зависимости от номера гармоники, которую нужно подавить и какую реактивную мощность необходимо скомпенсировать. Также на выбор ФКУ влияет способ размещения и условия работы [4].

Наиболее целесообразно устанавливать фильтрокомпенсирующие устройства на напряжение 6(10) кВ, т.к. при работе низковольтных потребителей на стороне низшего напряжения возникает различный спектр гармоник [5].

Устанавливают силовые фильтры не только в помещении, но и снаружи. Нужно отметить, что для ФКУ, размещенных в помещении, необходимо дополнительное охлаждение. ФКУ устанавливаются обычно на главной понизительной подстанции(ГПП) и подключаются к шинам (рис.2).

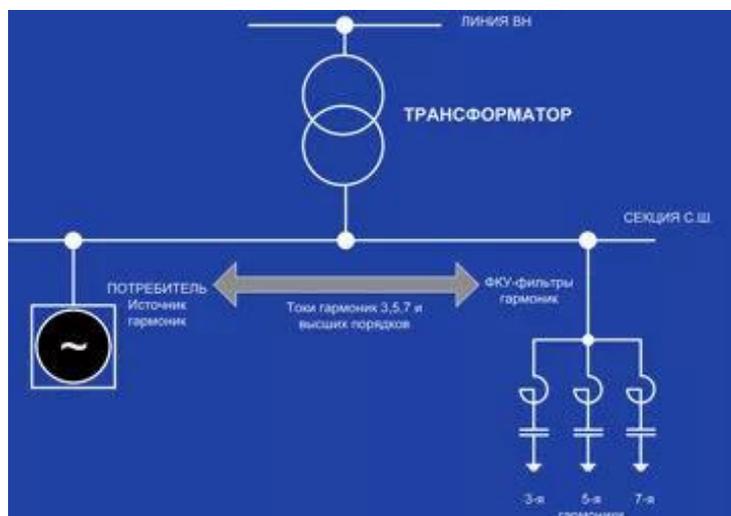


Рис. 2. Схема подключения ФКУ к ГПП

Таким образом, одной из основных причин искажения синусоидальной кривой напряжения являются устройства с нелинейной характеристикой цепи. Одним из способов снижения этого воздействия являются фильтрокомпенсирующие устройства, которые обеспечивают подавление высших гармоник, компенсацию реактивной мощности, а также улучшение показателей качества электроэнергии. ФКУ устанавливаются на ГПП и подключаются к шинам. Для того, чтобы подобрать силовой фильтр необходимо определить основные параметры: гармоники (для подавления), реактивная мощность силового фильтра и размещение ФКУ.

Список литературы

1. Рогозина, Д. А. Специальные фильтрокомпенсирующие устройства как метод борьбы с несинусоидальностью напряжения / Д. А. Рогозина, Т. С. Хворова. – Текст: непосредственный // Молодой ученый. – 2016. – № 24 (128). – С. 108-111. – URL: <https://moluch.ru/archive/128/35506/> (дата обращения: 07.05.2023).
2. Коэффициент искажения синусоидальности формы кривой напряжения [Электронный ресурс]. – URL: <https://studfile.net/preview/16458450/page:3/> (дата обращения: 08.05.2023).

3. ГОСТ 13109-97 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200006034/> (дата обращения: 09.05.2023).

4. Данцис, Я.Б. Ёмкостная компенсация реактивных нагрузок мощных токоприёмников промышленных предприятий / Я.Б. Данцис, Г.М. Жиллов. – Ленинград: Энергия, 1980. – 176 с.

5. Ершов, А.М. Компенсация реактивной мощности в системах электроснабжения промышленных предприятий: учебное пособие / А.М. Ершов, О.А. Петров. – Челябинск: ЧПИ, 1989. – Ч. 2. – 48 с.

УДК 532.5(076.5)+62–135(076.5)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАДАЧ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

¹Кириянов Денис Михайлович, ²Митрофанов Павел Валентинович,
научный руководитель доц. Рашевская Марина Александровна

^{1,2}НИУ «МЭИ», г. Москва

¹KiryaynovDM@mpei.ru, ²MitrofanovPV@mpei.ru, RashevskyaMA@mpei.ru

Аннотация: в докладе рассмотрены основные направления применения программы SimInTech и решаемые в ней задачи, ее возможности и функции как инструмента моделирования на примере схемы электрической сети. Программа SimInTech позволяет найти альтернативу широко применяемым иностранным программам NEPLAN, ETAB, MATLAB SIMULINK для выполнения ряда задач при помощи математического моделирования, в частности оценить управляемость и надежность спроектированного участка системы электроснабжения.

Ключевые слова: математическое моделирование, SimInTech, электрическая модель, альтернатива, применяемая область, функциональность

MATHEMATICAL MODELING OF POWER SUPPLY PROBLEMS

¹Kiryaynov Denis Mikhailovich, ²Mitrofanov Pavel Valentinovich,
scientific adviser Assoc. Rashevskaya Marina Alexandrovna

^{1,2}National Research University "MPEI", Moscow

¹KiryaynovDM@mpei.ru, ²MitrofanovPV@mpei.ru, RashevskyaMA@mpei.ru

Abstract: the report discusses the main directions of using the SimInTech program and the tasks it solves, its capabilities and functions as a modeling tool using the example of an electric network scheme. The SimInTech program allows finding an alternative to widely used foreign programs such as NEPLAN, ETAB, MATLAB SIMULINK for solving a range of tasks through mathematical modeling, in particular, to assess the controllability and reliability of the designed section of the power supply system

Keywords: mathematical modeling, SimInTech, electrical model, alternative, application area, functionality

1. Задачи, решаемые программным моделированием.

Можно выделить несколько задач, решаемых с помощью математического моделирования. Одна – это замена реального физического эксперимента математическим описанием, т.е. симуляция его в виртуальной среде. Следующая задача диагностики и проверка создающихся проектов. Для этого следует моделировать с определенной точностью, близкой к реальным условиям. Поэтому принципу в основном моделируются эксперименты, физические процессы которых уже изучены и математически описаны законами, а не новые, что предстоит исследовать. Это позволяет экономить средства и время на создание реальных моделей или установок, путем создания сначала симуляции и отладки ее в виртуальной среде, и только потом уже по полученным данным реализация ее на практике, с небольшой корректировкой.

2. Обзор программ для математического моделирования

Существуют множество программ для моделирования процессов, происходящих в электротехнической системе. Наибольшей популярностью пользуются следующие:

NEPLAN Electricity — это программный инструмент для сетевого анализа, планирования, оптимизации и моделирования. Удобный графический интерфейс позволяет пользователю эффективно проводить исследования. Настраиваемое программное обеспечение имеет модульную концепцию и охватывает все электрические аспекты в сетях передачи, распределения, генерации/производства. В дополнение к стационарным расчетам, аспектам качества и оптимизации электроэнергии, а также проектированию защиты симулятор *NEPLAN* позволяет моделировать ветряные и солнечные электростанции с их элементами управления для динамического моделирования.

ETAP – это комплексное решение для таких задач, как проектирование, моделирование, эксплуатация, управление, оптимизация и автоматизация систем генерации, передачи, распределения и промышленной энергетики.

Программа нашла широкое применение для расчетов токов коротких замыканий в сетях до 1 кВ и выше 1 кВ. Учет всех сопротивлений большей части элементов сети позволяет максимально точно получить расчетные значения аварийных токов и выбрать соответствующие защитные аппараты.

Графическая среда *Simulink* с применением пакета *SimPowerSystem*, помимо учебной среды, может использоваться на производстве для проектирования и исследования участков электрической цепи. Модельное исследование позволяет в дальнейшем разработать возможность

усовершенствования системы, выявить наиболее часто встречающиеся причины неисправностей, а также оценить такие факторы, как надежность системы, которую отображают устойчивость системы и ее запас. Хорошим аналогом этой программы является отечественный продукт – SimInTech.

3. Возможности *SimInTech*

SimInTech предоставляет возможности для проведения вычислений, связанных с решением алгебраических и дифференциальных уравнений. Математические модели в *SimInTech* создаются при помощи функционально-блочного программирования с использованием блоков из различных библиотек, таких как библиотека теплогидравлики, электротехники, электрических приводов и т.д. [1]

Для создания моделей в *SimInTech* используются шаблоны проектов. В базовом дистрибутиве *SimInTech* доступны 7 шаблонов, включая схему модели общего вида, схему надежности, схему теплогидравлическую, схему ТРР, схему электрическую, пакет проектов и пустой проект.

Концепция применения базы данных сигналов для создания сложных комплексных моделей, представлена на рисунке 1.

База данных сигналов *SimInTech* позволяет обмениваться данными между расчетными схемами, созданными в разных шаблонах, и является структурированным хранилищем переменных, используемых в одном или нескольких проектах, входящих в состав сложной модели.



Рис. 1. Концепция построения комплексной модели в *SimInTech*

4. Моделирование объектов в *SimInTech*

В данной программе возможно моделирование сетей различной конфигурации.

Присущая библиотека элементов отличается своим разнообразием от других известных программ ввиду своей целевой направленности. Здесь можно не только посмотреть, как себя будет вести комплексные напряжения или токи сети в любом из режимов, а еще тонко настроить систему управления двигателя за счет компиляции различных блоков или задав часть параметров трансформатора, сразу рассчитать другие [2].

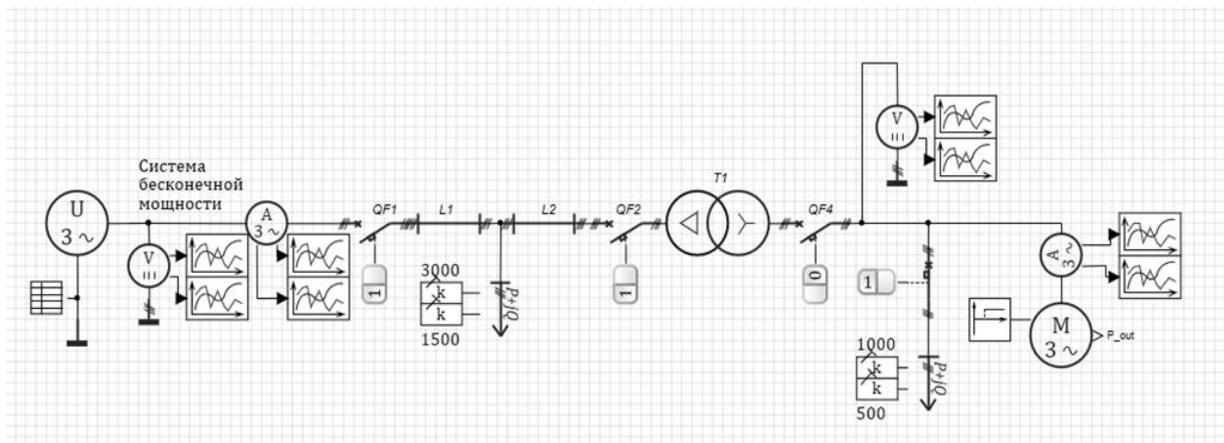


Рис. 2. Пример однолинейной модели в *SimInTech*

Задав основные параметры трансформатора, мы можем получить сопротивления автоматически сразу в базисных единицах, которые задаются относительно источника питания.

Для того, чтобы осуществить расчет параметров электродвигателя, необходимо выбрать во вкладке “Электрические машины” тип электродвигателя – в данном случае нас интересует асинхронный 3х-фазный. Аналогично функционалу блока трансформатора, при выставлении основных параметров асинхронного двигателя возможно рассчитать сопротивления АД в именованных единицах. После выставления всех необходимых настроек необходимо произвести моделирование в для оценки корректной работоспособности схемы.

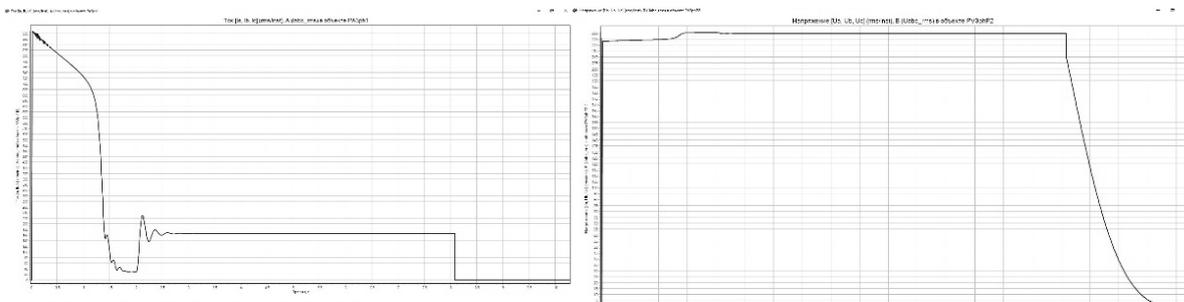


Рис. 3. Распределение действующего значения тока и напряжения при пуске и торможения 3х фазного асинхронного ЭД (по схеме рис. 2)

Анализ графиков распределения значений электродвигателя позволяет проверить режим работы электродвигателя и сделать вывод, насколько параметры схемы моделирования удовлетворяют теоретическому ожиданию.

В современной ситуации отказа от иностранного программного обеспечения SimInTech позволяет найти альтернативу *MATLAB SIMULINK* для выполнения ряда задач математического моделирования, определение параметров режима в нормальных и аварийных условиях работы системы электроснабжения. [3] Иногда при работе с программой не хватает блоков, например нет трансформаторов тока, но они скорее всего появятся усилиями как разработчиков, так и пользователей поскольку разработка самого программного обеспечения не окончена.

Список литературы

1. Обухов С. Г. Математическое моделирование в системах электроснабжения, Издательство Томского политехнического университета, 2014. – 74 с.

2. Хабаров С. П., Шилкина М. Л. Основы моделирования технических систем. Среда Simintech: учебное пособие 2022. – С.120.

3. Каршибоев А. И., Расулова Б. И., Рахимова Ш. Ж., Хамидов А. А. Математическое моделирование систем электроснабжения. – Текст: электронный // Молодежь и наука: материалы международной научно-практической конференции старшеклассников, студентов и аспирантов (27 мая 2022 г.): в 2 томах. – Нижний Тагил: НТИ (филиал) УрФУ, 2022. – Том 2. – С. 99-101.

4. Голубева Н. В. Математическое моделирование систем и процессов: Учебное пособие. – 2-е изд., 2016. – С.192.

5. URL: <https://simintech.ru/> (дата обращения: 24.04.2023).

УДК 621.314

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

¹Кокорев Андрей Александрович, ²Соснина Елена Николаевна

^{1,2}ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», г. Н.Новгород

¹kokandrey@gmail.com, ²sosnyna@yandex.ru

Аннотация: одним из допущений при расчете параметров схемы замещения

трансформаторов является их приведение к температуре обмотки 75 °С. Для более информативного математического описания систем необходимо учитывать влияние внешних и внутренних факторов, таких как температура окружающей среды и фактическая загрузка трансформатора. Проведены экспериментальные исследования маломощного трансформатора ОСМ1-0,4/220, для которого получены коэффициенты температурной коррекции.

Ключевые слова: трансформатор, схема замещения, температура окружающей среды, токи короткого замыкания, релейная защита, коэффициент температурной коррекции.

STUDY OF THE AMBIENT TEMPERATURE INFLUENCE ON THE POWER TRANSFORMER CHARACTERISTICS

¹Kokorev Andrej Aleksandrovich, ²Sosnina Elena Nikolaevna

^{1,2}Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod

¹kokandrey@gmail.com, ²sosnyna@yandex.ru

Abstract: one of the assumptions when calculating the parameters of the transformer substitution diagram is to bring them to a winding temperature of 75 °С. For a more informative mathematical description of the systems it is necessary to consider the influence of external and internal factors, such as ambient temperature and the actual transformer load. Experimental studies of low-power transformer OSM1-0,4/220, for which temperature correction coefficients have been obtained.

Keywords: transformer, substitution diagram, ambient temperature, short-circuit currents, relay protection, temperature correction factor.

Надежная и устойчивая работа электроэнергетических систем во многом определяется правильной работой устройств релейной защиты (РЗ). Одной из причин неверного функционирования РЗ являются ошибки при выборе уставок, обусловленные неполной информацией о режимах ЭЭС; чрезмерным завышением или занижением уставок из-за учета погрешностей, вносимых трансформаторами тока, применением обобщенных коэффициентов и др. Большинство алгоритмов РЗ с внедрением микропроцессорных защит практически не изменились [1–3]. Уставки современных адаптивных защит должны выбираться на основе максимально полного математического описания защищаемого электрооборудования [4–6].

На силовые трансформаторы оказывают влияние множество факторов: электромагнитная обстановка, напряжение питания, внутренние повреждения, температура окружающей среды и др. Согласно [7], параметры, учитываемые при составлении схем замещения трансформатора, должны приводиться к температуре 75 °С, что вносит методологическую ошибку, так как фактическая температура элементов трансформатора изменяется в широком диапазоне.

Работа посвящена изучению влияния температуры на параметры трансформатора (ток и мощность потерь $XХ$, напряжение и мощность потерь $KЗ$). Для проведения исследований разработана установка (рис. 1), состоящая из шкафа управления на базе PID -регулятора ТРМ-10, печи; исследуемого трансформатора и измерительных приборов.

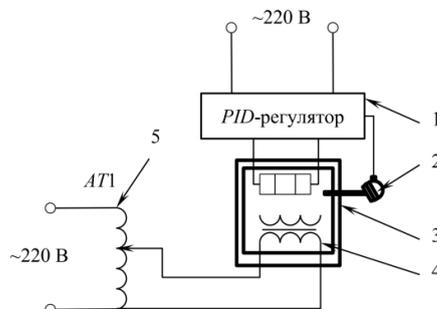


Рис. 3. Схема установки: 1 – PID -регулятор; 2 – датчик температуры Pt100; 3 – нагревательной печи; 4 – исследуемый трансформатор; 5 – ЛАТР

Объектом исследования принят однофазный трансформатор малой мощности, результаты анализа изменения параметров при нагреве которого можно будет масштабировать на трехфазные трансформаторы. Изучению подлежал трансформатор типа ОСМ1-0,4/220/14/14 УЗ, характеристики которого приведены в [8], а схема замещения – на рис. 2.

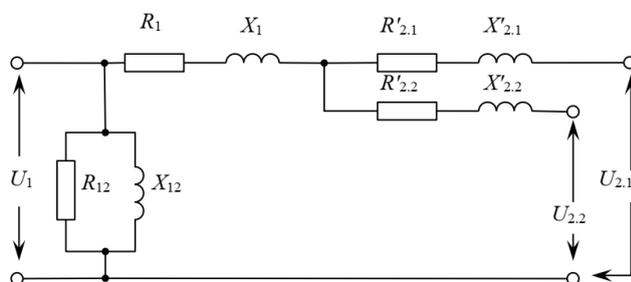


Рис. 2. Г-образная схема замещения трансформатора ОСМ1-0,4/220/14/14 УЗ

Одним из этапов расчета токов $KЗ$ является определение параметров схемы замещения трансформатора. Значения напряжения и мощности потерь $KЗ$ могут быть получены из опыта $KЗ$, схема которого показана на рис. 3.

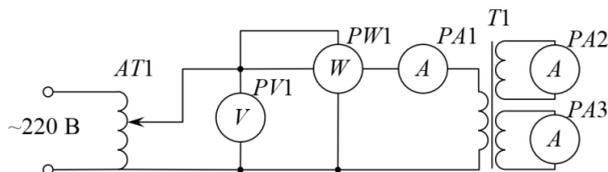


Рис. 4. Схема установки в опыте короткого замыкания

Так как трансформатор имеет три обмотки, то необходимо проводить три опыта КЗ (для каждой пары отмоток): при замкнутой первой вторичной обмотке (опыт «1-2»); при замкнутой второй вторичной обмотке («1-3»); при замкнутых двух вторичных обмотках («1-2-3»). Проведенные эксперименты позволили получить значения активных R_{ki} и индуктивных X_{ki} сквозных сопротивлений продольных ветвей при изменении температуры от 20 до 120 °С.

Сопротивления отдельных ветвей трансформатора R и X могут быть получены решением системы уравнений:

$$\begin{cases} Z_{1-2} = Z_1 + Z_2 \\ Z_{1-3} = Z_1 + Z_3 \\ Z_{1-2-3} = Z_1 + \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} \end{cases} \quad (1)$$

зависимости активного $R_i(\Theta)$ и индуктивного $X_i(\Theta)$ сопротивлений ветвей трансформатора от температуры приведены на рис. 4.

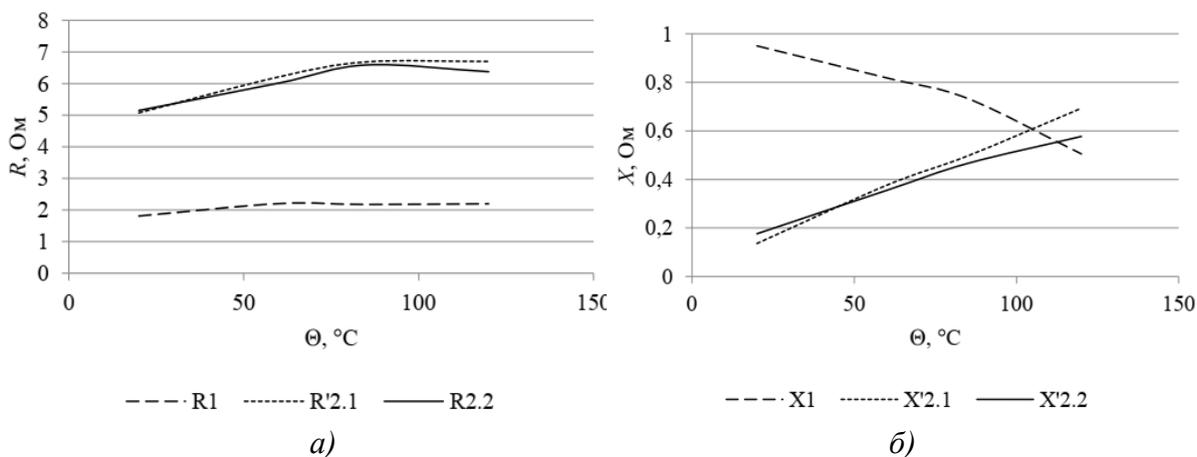


Рис. 5. Зависимости активного (а) и реактивного (б) сопротивления ветвей трансформатора от температуры

Графики на рис. 4 аппроксимируются линейными уравнениями:

$$K_{\Theta R,i} = \frac{\Delta R_i(\Theta_2) - \Delta R_i(\Theta_1)}{\Delta R_i(\Theta_1) \cdot (\Theta_2 - \Theta_1)}; \quad K_{\Theta X,i} = \frac{\Delta X_i(\Theta_2) - \Delta X_i(\Theta_1)}{\Delta X_i(\Theta_1) \cdot (\Theta_2 - \Theta_1)},$$

где $K_{\Theta R,i}$, $K_{\Theta X,i}$ – коэффициенты температурной коррекции активного и индуктивного сопротивления продольной ветви трансформатора при опытах КЗ. Коэффициенты температурной коррекции обмоток для ветвей

1; 2.1; 2.2 составили соответственно: $K_{\text{OR}} 10^{-3} = 3,668; 16,647; 13,131^{\circ}\text{C}^{-1}$;
 $K_{\text{OX}} 10^{-3} = -4,361; 5,531; 4,047^{\circ}\text{C}^{-1}$

Значение K_{OR} для первичной обмотки близко к температурному коэффициенту сопротивления для меди, что свидетельствует о том, что наибольшее влияние оказывает изменение основных потерь и лишь незначительную часть составляют добавочные. Для вторичных обмоток изменение добавочных потерь преобладает над основными.

Анализ изменения индуктивного сопротивления трансформатора показывает, что происходит перераспределение магнитных потоков рассеяния. Данный фактор необходимо учитывать при разработке устройств РЗиА силовых трансформаторов от внутренних повреждений.

Изучение зависимости параметров трансформатора при изменении температуры имеет важное значение для расчета работы энергетической системы как в стационарном, так и в переходном режимах. В объеме типовых испытаний. необходимо ввести измерение коэффициентов температурной коррекции.

Список литературы

1. Ефремов, В. А. Определение чувствительности защит с адаптивными уставками / В. А. Ефремов, А. В. Ефремов, С. А. Таныгин // Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем России: VII Межд. науч.-практ. конф.: сб. докл. / Чебоксары, 2023.

2. ДИВГ.648228.082-06.02 РЭ. Блок микропроцессорной релейной защиты БМРЗ-ТР-11. Руководство по эксплуатации

3. АИПБ.656122.025 РЭ1 Устройства защиты и автоматики комплектные ТОР 200. Руководство по эксплуатации. Общие технические требования.

4. Q. Hong, C. Booth, A. Dyśko, and V. Catterson, «Design of an intelligent system for comprehensive validation of protection settings,» in *Proc. DPSP*, 2016, pp. 1–6.

5. D. F. C. Rodriguez, J. D. P. Osorio, and G. Ramos, «Virtual Relay Design for Feeder Protection Testing With Online Simulation,» *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 54, no. 1, pp. 143–149, Jan.-Feb. 2018.

6. H. Dashti, and M. Sanaye-Pasand, «Power Transformer Protection Using a Multiregion Adaptive Differential Relay,» *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 29, no. 2, pp. 777–785, April 2014.

7. ГОСТ 3484.1-88 Трансформаторы силовые. Методы электромагнитных испытаний

8. ИВЕМ.671114.006 РЭ. Трансформаторы серии ОСМ1 мощностью 0,063-4,0 кВ·А. Руководство по эксплуатации.

УДК: 621.316

ПРОБЛЕМЫ ПРИНЯТИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕМ РЕШЕНИЯ ПО КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

¹ Кузнецов Анатолий Викторович, ² Добренский Ростислав Александрович,
³ Ребровская Диана Андреевна, ⁴ Гаврилова Светлана Владимировна.
^{1,2,3,4} ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет». г. Ульяновск.
¹kav2@ulstu.ru, ²rdobrenkij@bk.ru, ³diana-06-08@mail.ru.

Аннотация: в статье рассмотрены основные проблемы принятия потребителем решения по компенсации реактивной мощности.

Ключевые слова: энергосбережение, реактивная мощность, экономия.

PROBLEMS OF THE CONSUMER'S DECISION-MAKING ON REACTIVE POWER COMPENSATION

¹Kuznetsov Anatoly Viktorovich, ²Dobrenkij Rostislav Alexandrovich,
³Rebrovskaya Diana Andreevna, ⁴Gavrilova Svetlana Vladimirovna.
^{1,2,3,4} Ulyanovsk State Technical University. Ulyanovsk.
¹kav2@ulstu.ru, ²rdobrenkij@bk.ru, ³diana-06-08@mail.ru.

Abstract: the article deals with the main problems of consumer decision-making on the use of reactive power.

Key words: energy saving, reactive power, economy.

В современном мире потребление электроэнергии является неотъемлемой частью жизни людей. Однако, помимо чистой активной мощности, энергосистемы требуют также компенсацию реактивной мощности для обеспечения стабильной работы сетей. Недостаточное понимание потребителями данного процесса приводит к ряду проблем при принятии решений о компенсации.

Одной из основных проблем является нехватка информации о влиянии реактивной мощности на качество электроснабжения. Принимая решение о компенсации, потребители часто ориентируются на стоимость компенсационного оборудования, игнорируя при этом важность его применения для сохранения надежности работы энергосистем. Результатом этого является увеличение сбоев в работе оборудования и рост стоимости энергии.

Еще одной проблемой является отсутствие регулирования со стороны государства в этой области. Несмотря на то, что многие страны имеют

законы, регулирующие обязательную компенсацию реактивной мощности, не всегда они строго соблюдаются. За это время, как правило, потребители сталкиваются с дополнительными затратами из-за штрафов и наложенных ограничений на потребление активной мощности.

Третьей проблемой является непонимание потребителями существующих технологий и методов компенсации реактивной мощности. В большинстве случаев, потребителями применяются устаревшие методы, которые не только не гарантируют стабильность работы сетей, но и могут привести к увеличению потерь энергии в сети.

Большинство потребителей в России не знают о преимуществах компенсации реактивной мощности, включая снижение энергопотребления и повышение эффективности сети. В результате они могут не уделять приоритетное внимание установке оборудования для компенсации реактивной мощности, даже если это может привести к значительной экономии средств в долгосрочной перспективе.

Еще одной проблемой является отсутствие информации о доступных продуктах и услугах. Потребителям часто сложно найти достоверную информацию о различных типах оборудования для компенсации реактивной мощности, доступных на рынке. Это может затруднить им выбор продукта, наиболее подходящего для их нужд, и может привести к принятию неоптимального решения.

Кроме того, высокая стоимость оборудования для компенсации реактивной мощности также может быть серьезным препятствием для потребителей. Многие потребители в России не могут позволить себе инвестировать в эти продукты из-за их высокой первоначальной стоимости. Даже тех, кто может себе это позволить, могут отпугнуть длительные сроки окупаемости, связанные с установкой оборудования для компенсации реактивной мощности.

Наконец, отсутствие регулирования компенсации реактивной мощности в России также может создать проблему для потребителей. Во многих случаях отсутствуют какие-либо требования или рекомендации по установке оборудования для компенсации реактивной мощности. Это может привести к тому, что потребители примут неоптимальные решения, например, установят лишнее оборудование, которое может быть ненужным, или не установят достаточное количество оборудования для эффективной компенсации реактивной мощности.

В заключение потребители в России сталкиваются с рядом проблем при принятии решений о компенсации реактивной мощности. Эти проблемы варьируются от недостатка знаний о преимуществах

компенсации реактивной мощности до высоких затрат и отсутствия правил. Для решения этих проблем крайне важно улучшить информирование потребителей, предоставить достоверную информацию о доступных продуктах и услугах и установить правила, которые могут помочь потребителям в принятии оптимальных решений о компенсации реактивной мощности. Существуют несколько способов привлечь потребителей к процессу КРМ:

- Повысить осведомленность о проблеме реактивной мощности и выгодах ее компенсации через медиа-кампании, информационные брошюры, семинары и конференции.

- Внедрение обязательного компенсационного оборудования на уровне законодательства во всех промышленных предприятиях в России.

- Создать финансовые стимулы для компенсации реактивной мощности, такие как снижение налогов и сборов на использование электроэнергии для компаний, которые активно занимаются компенсацией реактивной мощности.

- Организовать консультационные услуги для наиболее энергоемких отраслей и компаний по методам оптимизации энергоэффективности и снижению потребления электроэнергии.

- Поддерживать разработчиков оборудования, которое позволит эффективнее компенсировать реактивную мощность с помощью подготовки и реализации программ инновационного развития.

Таким образом, потребители могут извлечь выгоду из экономии средств и повышения эффективности, связанных с этим важным процессом.

Список литературы

1. Воротницкий, В. Э. Энергетическая эффективность и компенсация реактивной мощности в электрических сетях. Проблемы и пути решения / В. Э. Воротницкий // Энергосовет, 2017. – № 1 (47).

2. Кузнецов А. В., Ребровская Д. А., Добренький Р. А. Оценка эффективности компенсации реактивной мощности в сети потребителя электроэнергии. 2021.

3. Кузнецов А. В., Магазинник Л. Т. Повышение эффективности функционирования устройств в управлении передачей электроэнергии в системах электроснабжения потребителей. – Ульяновск : УлГТУ , 2013. – 144 с.

4. Кузнецов А. В., Аргентова И. В., Ребровская Д. А. Правовые аспекты применения повышающих коэффициентов к тарифам за

потребление реактивной энергии // Промышленная энергетика. – 2013. – №3. – С. 17-20.

5. Г.В. Судаков. Проблемы выбора модели компенсации реактивной мощности.

УДК 621.311

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГОСИЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ, ОСНОВАННЫХ НА ИСПОЛЬЗОВАНИИ МОДУЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Мирзахужаева Динора Рустам кизи
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
dinora0511@icloud.com

Аннотация: этот всесторонний анализ исследует влияние модульной технологии на энергетическое оборудование, выделяя ее преимущества и проблемы. Модульная технология произвела революцию в этой области, обеспечив повышенную масштабируемость, эффективность и экономичность с точки зрения затрат. Разбивая сложные системы на более мелкие модули, энергетическое оборудование можно настраивать и легко модернизировать в соответствии с меняющимися требованиями. Однако функциональная совместимость и сложность интеграции создают проблемы для внедрения модульной технологии. Несмотря на трудности, преимущества модульной технологии с точки зрения масштабируемости, эффективности и рентабельности делают ее многообещающим решением для систем производства, передачи и распределения электроэнергии.

Ключевые слова: модульная технология, энергетическое оборудование, преимущества, проблемы, масштабируемость, эффективность, рентабельность.

COMPARATIVE ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL SOLUTIONS IN THE FIELD OF POWER EQUIPMENT BASED ON THE USE OF MODULAR TECHNOLOGY

Mirzahujaeva Dinora Rustam kizi
FSBEI HE «KSPEU», Kazan
dinora0511@icloud.com

Abstract: this comprehensive analysis explores the impact of modular technology on power equipment, highlighting its benefits and challenges. Modular technology has revolutionized the field, offering enhanced scalability, efficiency, and cost-effectiveness. By breaking down complex systems into smaller modules, power equipment can be customized and easily upgraded to meet changing demands. However, interoperability and integration complexity pose challenges to the implementation of modular technology. Despite the challenges, the advantages of modular technology in terms of scalability, efficiency, and cost-effectiveness make it a promising solution for power generation, transmission, and distribution systems.

Keywords: modular technology, power equipment, benefits, challenges, scalability, efficiency, cost-effectiveness.

Модульная технология повышает эффективность за счет оптимизации преобразования и использования энергии в энергетическом оборудовании. Разбивая сложные системы на более мелкие модули, каждый компонент может быть спроектирован и точно настроен для выполнения конкретных задач, что приводит к повышению общей эффективности системы. Кроме того, модульные системы способствуют эффективному распределению нагрузки, сводя к минимуму потери энергии и максимизируя ее использование.

Модульный характер этой технологии обеспечивает непревзойденную гибкость и возможности настройки решений для энергетического оборудования [1]. Интеграция и замена отдельных компонентов осуществляются без проблем, что позволяет без проблем обновлять или модифицировать систему. Такая адаптивность позволяет настраивать систему в соответствии с уникальными требованиями различных приложений и упрощает будущие расширения или изменения эксплуатационных требований.

Модульные системы отличаются высокой масштабируемостью, легко приспосабливаясь к различным требованиям к энергопотреблению. Дополнительные модули могут быть легко добавлены для увеличения мощности при производстве электроэнергии, в то время как системы передачи и распределения могут расширять сеть или выдерживать более высокие энергетические нагрузки за счет соединения модульных компонентов. Такая масштабируемость обеспечивает эффективное распределение ресурсов и позволяет энергетической инфраструктуре расти синхронно со спросом.

Модульная технология обеспечивает значительные преимущества с точки зрения затрат на протяжении всего жизненного цикла энергетического оборудования. Модульный подход упрощает процессы монтажа, ввода в эксплуатацию и технического обслуживания, что приводит к снижению трудозатрат и временных затрат. Возможность замены или модернизации отдельных модулей продлевает срок службы всей системы в целом, устраняя необходимость в полной замене. Кроме того, стандартизированные производственные процессы, связанные с модульными системами, приводят к экономии за счет масштаба и снижению затрат в процессе производства [2].

Однако есть проблемы, которые необходимо учитывать. Обеспечение совместимости между модулями различных производителей может оказаться непростой задачей, а интеграция модулей разных

поставщиков или модернизация существующих систем новыми модульными компонентами может привести к проблемам с функциональной совместимостью. Эффективное решение этой проблемы требует усилий по стандартизации и соблюдения общеотраслевых протоколов.

Хотя модульность упрощает замену отдельных компонентов, интеграция различных модулей может оказаться сложной задачей. Обеспечение надлежащей связи, синхронизации и координации между модулями требует надежных систем управления и мониторинга. Тщательное планирование и конструктивные соображения жизненно важны для того, чтобы избежать таких проблем, как дисбаланс мощности, нестабильность или сбой в работе системы во время интеграции.

Хотя модульная технология обеспечивает долгосрочную экономию средств, первоначальные инвестиции могут быть выше по сравнению с традиционными немодульными системами [3]. Проектирование, разработка и производство модульных компонентов часто требуют специальных знаний и инженерных разработок. Однако эти первоначальные затраты могут быть компенсированы преимуществами масштабируемости, гибкости и повышенной операционной эффективности в течение всего срока службы оборудования.

Модульная технология находит применение в различных источниках выработки электроэнергии, включая системы возобновляемой энергетики и обычные электростанции. Модульные энергоблоки могут быть удобно размещены в различных местах, таких как отдаленные районы или регионы с ограниченным доступом к электросетям, и интегрированы для формирования микросетей, повышая энергоустойчивость. В системах передачи и распределения модульная технология обеспечивает такие преимущества, как простота установки и взаимного соединения компонентов, способствуя расширению и укреплению энергетической инфраструктуры. Это также позволяет создавать системы накопления энергии, которые позволяют гибко регулировать размеры и мощность в соответствии с конкретными требованиями [4].

Модульная технология повышает общую эффективность системы, гибкость, масштабируемость и экономичность. Использование модульного энергетического оборудования позволяет операторам достигать более высокого уровня эффективности по сравнению с традиционными немодульными системами. Модульный характер этой технологии упрощает интеграцию и замену компонентов, облегчая будущие модификации или модернизацию. Кроме того, функция масштабируемости позволяет

энергетической инфраструктуре расширяться или сокращаться по мере необходимости, поддерживая эффективное распределение ресурсов. Хотя первоначальные инвестиции в модульную технологию могут быть выше, долгосрочная экономическая эффективность повышается за счет снижения эксплуатационных расходов и технического обслуживания [5].

Существующие модульные технологические решения, такие как модульные электростанции, системы накопления энергии и модульные подстанции, предлагают гибкие и масштабируемые решения для производства, хранения и распределения электроэнергии. Эти решения демонстрируют многообещающую надежность, ремонтпригодность и адаптивность к изменяющимся требованиям к энергопотреблению. Модульная технология повышает надежность и ремонтпригодность энергетического оборудования, позволяя заменять или модернизировать отдельные модули, сокращая время простоя и повышая эксплуатационную готовность системы. Это также позволяет энергосистемам адаптироваться к изменяющимся потребностям в энергии и возникающим условиям электросетевого хозяйства без существенных сбоев.

Список литературы

1. Бухаров, А. А. Модульная технология в энергетике и перспективы ее использования / А. А. Бухаров, О. В. Лихолетова. // Перспективные материалы. – 2020. – № 3. – С. 168–174.
2. Логинов, И. М. Модульные электростанции как эффективный инструмент в энергетической отрасли / И. М. Логинов, М. Н. Чучалин. // Техника и технологии. – 2021. – № 6. – С. 119–123.
3. Проскурина, С. В. Технологические особенности проектирования и сборки модульных электростанций / С. В. Проскурина. // Инновационные технологии. – 2020. – № 1. – С. 98–103.
4. Каргин, А. Д. Принципы построения модульных систем накопления энергии / А. Д. Каргин, Е. А. Григорьева, А. Г. Рязанцев. // Энергетика и энергосбережение. – 2020. – Т. 26. – № 4. – С. 10–15.
5. Спиридонов, А. Н. Экономическая эффективность модульных систем энергоснабжения / А. Н. Спиридонов. // Энергетика и энергосбережение. – 2021. – Т. 25. – № 3. – С. 38–44.

БЕЗОТХОДНАЯ ПЕРЕРАБОТКА СЫРЬЯ С ПОМОЩЬЮ ЦЕНТРИФУГ

¹Маслов Игорь Николаевич, ²Кохан Дмитрий Александрович
^{1,2}ФГБОУ ВО «КГЭУ» (Казань)
²dkoxan750@gmail.com

Аннотация: в данной статье рассматривается проблема безотходной переработки сырья. Эта проблема является неотъемлемой частью промышленности. Традиционные методы переработки часто сопряжены с серьезными проблемами, включая большое количество отходов и неблагоприятное воздействие на окружающую среду, что стимулирует необходимость в поиске более эффективных и экологически устойчивых решений. В статье предложен метод безотходной переработки сырья с помощью центрифуг.

Ключевые слова: безотходная переработка, переработка сырья, центрифуга, экология, отходы.

APPLICATION OF LINEAR ELECTRIC MACHINES OF REVERSIBLE MOTION IN INDUSTRY AND ENERGY

¹Maslov Igor Nikolaevich, ² Kokhan Dmitry Alexandrovich
^{1,2}FSBEI HE «KSPEU», Kazan
dkoxan750@gmail.com

Abstract: this article deals with the problem of non-waste processing of raw materials. This problem is an integral part of the industry. Traditional recycling methods often face significant challenges, including high levels of waste and adverse environmental impacts, spurring the need to find more efficient and environmentally sustainable solutions. The article proposes a method for non-waste processing of raw materials using centrifuges.

Keywords: non-waste processing, processing of raw materials, centrifuge, ecology, waste.

Отходы, генерируемые в результате традиционных методов переработки, являются огромной проблемой для промышленных предприятий и окружающей среды. Эти отходы, часто содержащие опасные химические вещества и токсины, требуют дополнительных затрат и усилий для их обработки и утилизации. В свете этих проблем, концепция безотходной переработки сырья становится все более важной. Безотходная переработка стремится к минимизации и предотвращению образования отходов на каждом этапе процесса переработки сырья [1].

В последние годы центрифуги стали важным инструментом в области безотходной переработки сырья. Центрифуги - это устройства, использующие центробежные силы для разделения смесей на компоненты различной плотности. Они могут быть эффективно применены во многих

отраслях, включая химическую, пищевую, нефтяную, фармацевтическую и многие другие [2].

Одним из ключевых преимуществ центрифуг является их способность эффективно разделять смеси на компоненты, что позволяет снизить объемы отходов и повысить эффективность процесса переработки сырья. Центрифуги могут разделять твердые и жидкие компоненты, удалить влагу из материалов, а также извлекать ценные или рециклируемые вещества из отходов.

Центрифуги имеют различные конструкции и типы в зависимости от конкретных потребностей и требований процесса переработки. Существуют горизонтальные и вертикальные центрифуги, различные методы подачи материала и управления скоростью вращения. Также существуют специализированные центрифуги для определенных отраслей, таких как пищевая или фармацевтическая промышленность [3].

Устройство центрифуги для переработки сырья рассмотрено на примере трехколонной центрифуги (рис.1).

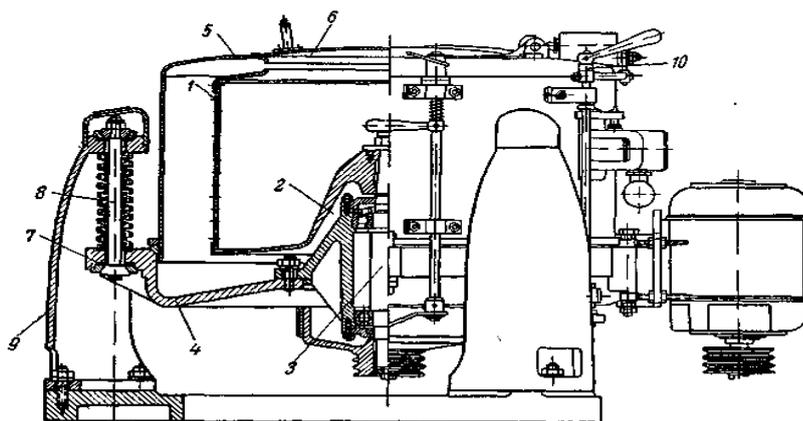


Рис. 1. Устройство трехколонной центрифуги

Такая центрифуга является отстойной или фильтрующей центрифугой периодического действия с выгрузкой осадка вручную. Суспензия для переработки помещается в перфорированный ротор 1, который с помощью опорного конуса 2 на валу 3 приводится во вращение посредством клиноременной передачи. Дно станины 4 с неподвижным кожухом 5 предназначено для сбора жидкой фазы суспензии. Осадок необходимо извлекать, открыв крышку кожуха 6. Конструкция подвешена на вертикальных тягах 8, закрепленных на станине 7, что позволяет снизить влияние вибрации на фундамент. Колонки 9 предназначены для обеспечения свободы при вибрации ротора. Небольшая высота и высокая

устойчивость позволяет широко использовать данный тип центрифуг для длительных процессов очистки [4].

Центрифуги широко применяются в различных отраслях для безотходной переработки сырья:

1. **Металлургическая промышленность.** Центрифуги могут использоваться для обработки шламов и отходов, образующихся в процессе производства металлов. Они позволяют разделять твердые частицы от жидкой фазы и извлекать ценные металлические компоненты, такие как золото, серебро или платина, из отходов металлургических операций.

2. **Нефтеперерабатывающая промышленность.** В этой отрасли центрифуги применяются для очистки и разделения различных компонентов нефти и нефтепродуктов. Они помогают удалить воду, твердые примеси и другие нефтяные фракции, что позволяет повысить качество и чистоту продуктов переработки.

3. **Пищевая промышленность.** В переработке пищевых продуктов центрифуги используются для разделения твердых и жидких компонентов сырья. Например, они могут использоваться для отделения масла от оливок, разделения суспензий в соковой промышленности или извлечения клетчатки из пшеничного зерна.

4. **Химическая промышленность.** Центрифуги в химической промышленности применяются для разделения смесей и извлечения ценных компонентов. Например, они могут использоваться для извлечения кристаллических соединений из растворов, разделения твердых и жидких фаз в процессе химического синтеза или удаления отходов и примесей из химических реакций.

5. **Минеральная промышленность:** В процессе переработки минерального сырья центрифуги применяются для разделения твердых и жидких компонентов. Они могут использоваться для отделения полезных ископаемых от горной породы, разделения минеральных концентратов или удаления примесей и отходов [5].

Таким образом, использование центрифуг для безотходной переработки сырья представляет собой перспективный и эффективный подход, который позволяет сократить объемы отходов, повысить эффективность процесса и получить ценные компоненты из сырья. Реализация таких систем требует выбора подходящей технологии и учета специфических требований каждой отрасли. Однако, успешное внедрение безотходной переработки с помощью центрифуг может принести значительные выгоды для окружающей среды, экономики и общества в целом.

Список литературы

1. Иванов, В. В. Безотходное производство на предприятиях сельского хозяйства Чувашской Республики / В. В. Иванов, Н. В. Тумаланов, А. А. Гурьяшкина // Вестник Алтайской академии экономики и права. – 2019. – № 9-2. – С. 49-52.
2. Иванов В.В., Гурьяшкина А.А. Сложности, возникающие при переработке вторичных ресурсов в России // Экономика и предпринимательство. 2018. № 4 (93). С. 817-819.
3. Гибадуллин, М. Н. Малоотходное и безотходное производство как решение проблемы полной и комплексной переработки сырья / М. Н. Гибадуллин // Организация территории: статика, динамика, управление : XVII Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием, посвященная 175-летию Русского географического общества, Уфа, 27 ноября 2020 года. – Уфа: Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы, 2020. – С. 36-38.
4. Дятлова, Д. В. Бережливое производство для энергосистем и промышленных производств / Д. В. Дятлова, Д. С. Савельева, И. Н. Маслов // Научно-производственный бизнес: устойчивое развитие экономики и ESG-трансформация : Материалы IV инновационно-образовательного Кампуса – 2022, Казань, 14–15 апреля 2022 года / Под редакцией И.И. Антоновой. – Казань: Издательство "Познание", 2022. – С. 67-70.
5. Устройство и принцип работы центрифуги: сайт. URL: <https://xn--b1aasedeuba5ai.xn--p1ai/blog/ustrojstvo-i-princip-raboty-centrifugi/> (дата обращения: 12.05.2023).

УДК 621.315.175

МОДЕЛЬ РОБОТА ДЛЯ НЕПОСРЕДСТВЕННОГО ОСМОТРА ВЛЭП

¹Маслов Савелий Юрьевич, ²Хамидуллин Ильдар Ниязович,

³Вагапов Айдар Ильшатovich

^{1,2}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань,

¹saveli2000@gmail.com, ²ildar.ildar-xam2017@yandex.ru, ³aydar.vagapoff@yandex.ru

Аннотация: одной из наиболее приоритетных задач для электросетевого распределительного комплекса является бесперебойная передача электрической энергии к конечным потребителям, которыми могут являться различные промышленные предприятия. От их штатного функционирования зависит экономика различных регионов нашей страны. Вследствие этого, обеспечение надлежащего контроля состояния ВЛЭП, связывающих между собой электрические станции и конечных

потребителей, становится приоритетной задачей для энергетических компаний. Однако существующие методы анализа состояния линий не являются оптимальными. В данной работе рассмотрена модель робота для обследования ВЛЭП и ее перспективы развития.

Ключевые слова: роботизированный комплекс, воздушные линии электропередачи, мониторинг, электрическая энергия, энергоэффективность.

ROBOT MODEL FOR DIRECT INSPECTION OF OHL

¹Maslov Savely Yurievich, Khamidullin ²Ildar Niyazovich, ³Vagapov Aidar Ilshatovich

^{1,2} FSBEI HE KSPEU, Kazan

¹saveli2000@gmail.com, ²ildar.ildar-xam2017@yandex.ru,

³aydar.vagapoff@yandex.ru

Abstract: one of the highest priority tasks for the electric grid distribution complex is the uninterrupted transmission of electric energy to end consumers, which may be various industrial enterprises. The economy of various regions of our country depends on their regular functioning. As a result, ensuring proper monitoring of the state of overhead power lines connecting power plants and end consumers is becoming a priority for energy companies. However, the existing methods for analyzing the state of lines are not optimal. In this paper, a robot model for surveying overhead power lines and its development prospects are considered.

Keywords: robotic complex, overhead power lines, monitoring, electrical energy, energy efficiency.

Воздушные линии электропередачи являются связующим звеном между потребителями электрической энергии и вырабатывающими станциям. От их работы, в эпоху автоматизации и цифровизации различных видов производств, зависит экономика отдельных регионов, так же, как и страны в целом. Поэтому одной из приоритетных задач для энергетических компаний становится поддержание ВЛЭП в надлежащем работоспособном состоянии, исключая возможности возникновения аварийных ситуаций на них [1,2].

Для обеспечения этого используют различные виды осмотра линий. Как правило наибольшее распространение среди них получили метод непосредственного осмотра ВЛЭП, метод их облета на летательных аппаратах, зачастую используют вертолет с установленными на нем различным датчиками, собирающими информацию о состоянии линий [3].

Первый тип осмотра является наиболее простым, однако не отличается особой точностью, к тому же достаточно времязатратен. Второй тип лишен указанных выше недостатков, но в связи с чрезмерной стоимостью анализа не всегда рентабелен [4].

Поэтому в настоящее время проявляется тенденция развития различных беспилотных летательных аппаратов, наземных платформ

с высокой проходимостью, различных роботизированных комплексов, способных производить анализ состояния ВЛЭП с достаточной точностью [5].

Вдохновляясь данной идеей на базе ФБГОУ ВО «КГЭУ» был разработан экспериментальный образец робота для обследования воздушных линий электропередачи, который устанавливается непосредственно на участок провода ВЛЭП и перемещается по нему рисунок 1.



Рис.1. Экспериментальный образец робота для анализа ВЛЭП

Полученная разработка устанавливается непосредственно на участке обследуемой линии, и после подачи управляющего сигнала, начинает перемещение по нему.

Корпус изделия изготовлен при помощи технологии 3D-печати, и состоит из четырех тороидальных частей, попарно скрепленных между собой. В их верхней части проделаны специальные отверстия под двигатели. В нижней части располагается отсек под аккумулятор и плату управления роботом.

В качестве двигателей выступают коллекторные электродвигатели постоянного тока, рассчитанные на питание 9 В. На них крепятся импровизированные колеса, содержащие по четыре лопасти в верхней и нижней части.

Установка на провод осуществляется при помощи двух пружин, которые сжимаясь создают необходимое натяжение, не давая роботу упасть с участка обследуемой линии.

В дальнейшем доработав технологию перемещения робота, возможна установка на него ряда датчиков, способных собирать необходимую информацию о состоянии ВЛЭП.

Итак, используя данную разработку в будущем можно существенно снизить денежные и временные затраты на проведение анализа линии, что позволит повысить эффективность и рентабельность мониторинга состояния ВЛЭП, к тому же развитие таких роботизированных комплексов является перспективным для энергетических компаний.

Исследования выполнены в рамках программы стратегического академического лидерства «Приоритет2030»: соглашение № 075–15-2021-1087 от 30.09.2021, соглашение № 075–15-2021-1178 от 30.09.2021.

Список литературы

1. Ярославский Д. А., Садыков М. Ф. Разработка устройства для системы мониторинга и количественного контроля гололёдообразования на воздушных линиях электропередачи. *Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики*. 2017;19(3–4):69-79. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2017-19-3-4-69-79>

2. Большанин Г.А., Плотников М. П., Шевченко М. А. Экспериментальное определение параметров трёхпроводной ЛЭП. *Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики*. – 2019. – ;21(4):85-94. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2019-21-4-85-94>

3. Федоров О. В., Семёнов А. С., Егоров А. Н., Хубиева В. М. Техничко-экономическое обоснование внедрения системы непрерывного мониторинга показателей качества электроэнергии на объектах горных предприятий. *Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики*. 2016;(9-10):91-97. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2016-0-9-10-91-97>

4. Ярославский Д. А., Нгуен В. В., Садыков М. Ф., Горячев М. П., Наумов А. А. Модель собственных гармонических колебаний провода для задач мониторинга состояния воздушных линий электропередачи. *Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики*. 2020;22(3):97-106. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2020-22-3-97-106>

5. Исмоилов И. И., Грачева Е. И. Повышение управляемости энергетическими системами и улучшение качества электроэнергии // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. №1 (53). С. 3–12.

УДК 621.1.05

ВОССТАНОВЛЕНИЕ АППАРАТА АИИ-70 И ПОДГОТОВКА ЕГО К ВКЛЮЧЕНИЮ В УСТАНОВКУ ИСПЫТАНИЯ СИЗ

¹Миранов Салих Ришадович, ²Жалмаганбетова Севара Тугеловна,
³Черноволенко Ермолай Алексеевич, ⁴Николаев Кирилл Валерьевич
Науч. рук. к.т.н. Аскарлов Рафаэль Рафилъевич
^{1,2,3,4}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан
¹salihmiranov@gmail.com, ²sevajt859@gmail.com,
³ermoxa2004@gmail.com, ⁴mr.nikolaev.2000@mail.ru

Аннотация: для конструирования установки по испытаниям средств индивидуальной защиты необходимо наличие источника высокого напряжения промышлен-

ленной частоты, которым является высоковольтный аппарат АИИ-70. Состояние имеющегося аппарата АИИ-70 при визуальном осмотре было оценено как неудовлетворительное, в таком состоянии включение его в состав установки невозможно. В статье описаны процесс оценки состояния составных элементов и ход восстановительных работ аппарата для подготовки его к включению в состав установки по испытаниям средств индивидуальной защиты.

Ключевые слова: высокое напряжение, средства индивидуальной защиты, испытание повышенным напряжением, высоковольтный аппарат АИИ-70, оценка технического состояния электрооборудования, ремонт электроустановок.

RESTORATION OF THE «АИИ-70» DEVICE AND PREPARING IT FOR INCLUDE IN THE INSTALLATION FOR TESTING PERSONAL PROTECTION EQUIPMENT

¹Miranov Salikh Rishadovich, ²Jalmaganbetova Sevara Tugelovna,

³Chernovolenko Ermolay Alekseevich, ⁴Nikolaev Kirill Valerevich

Scientific adviser p.h.d Askarov Rafael Rafilevich

^{1,2,3,4}FSBEI HE «KSPEU», Kazan

¹salihmiranov@gmail.com, ²sevajt859@gmail.com,

³ermoxa2004@gmail.com, ⁴mr.nikolaev.2000@mail.ru

Abstract: to design a facility for testing personal protective equipment, it is necessary to have a high voltage source of industrial frequency, which is a high-voltage apparatus «АИИ-70». The condition of the existing device «АИИ-70» during visual inspection was assessed as unsatisfactory; in this state, its inclusion in the installation is impossible. The article describes the process of assessing the state of the constituent elements and the progress of the restoration work of the device to prepare it for inclusion in the installation for testing personal protective equipment.

Keywords: high voltage, personal protective equipment, high voltage testing, «АИИ-70» high-voltage device, assessment of the technical condition of electrical equipment, repair of electrical installations.

Для безопасности рабочего персонала при работе в электроустановках используются средства индивидуальной защиты (СИЗ) [1]. При хранении и эксплуатации изоляционные свойства диэлектриков, из которых изготовлены СИЗ, ухудшаются. Проверку пригодности СИЗ к работе проводят испытанием повышенным напряжением [2]. Для этого необходима электроустановка по испытаниям средств индивидуальной защиты, в состав которой входит источник высокого напряжения промышленной частоты. В качестве такого источника имеется АИИ-70 представленный на рисунке 1.

АИИ-70 предназначен для испытания кабелей, твердых и жидких диэлектриков. АИИ-70 состоит из элементов, изображенных на рисунке 2 [3].

Работа по восстановлению и ремонту генератора была начата с визуального осмотра, в ходе которого были обнаружены следующие

дефекты: серьезные загрязнения корпуса и элементов АИИ-70, на верхнем щите под дверцей сгоревшие предохранители *F3* и *F4*, не надежное крепление крышки автоматического выключателя *S3*, провода которыми соединены элементы, непригодны к эксплуатации, ввиду старения алюминиевых жил [4].



Рис. 6. Высоковольтный аппарат АИИ-70

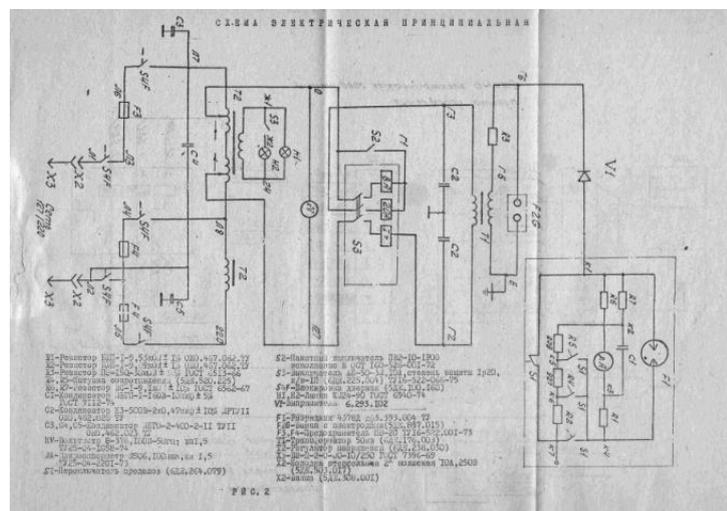


Рис. 7. Схема электрическая принципиальная АИИ-70

Затем провели проверку пригодности работы следующих элементов: силового трансформатора, ламп световой сигнализации, регулятора напряжения, киловольтметра типа Э-378 [5].

У главного трансформатора (рис. 3) измерили коэффициент трансформации. По условиям безопасности на обмотку высшего напряжения подали напряжение бытовой сети. Токовыми клещами UNI-T UT210E измерили напряжение на обмотке высшего напряжения, а после

измерили напряжение на обмотке низшего напряжения. Результаты измерений показали 235 В и 0,468 В соответственно.

Рассчитали коэффициент трансформации через отношение высшего напряжения к низшему, который составил 502, что соответствует паспортным данным.



Рис. 8. Главный трансформатор

Для проверки ламп накаливания сигнализации режимов «Готов» и «В работе» на каждую подали 24 В, зафиксировали, что лампы исправны.

В ходе восстановления регулятора напряжения, изображенного на рисунке 4 проведены следующие работы: смазаны вращающиеся механические узлы, увеличена прижимная сила графитовых валиков к обмоткам, снижено переходное сопротивление соединения графитовых валиков с обмотками.



Рис. 9. Регулятор напряжения

В заключение произвели замену предохранителей, удалили загрязнения с элементов электроустановки, заменили алюминиевые провода на медные, провели протяжку креплений крышки автоматического выключателя.

Для проверки киловольтметра Э-378 измеряли напряжение на выходе регулятора напряжения, умножали его на коэффициент

трансформации главного трансформатора и сличали с показаниями киловольтметра. Сходимость результатов наблюдалась по всей шкале.

Итогом данной восстановительной работы является действующий аппарат АИИ-70, который пригоден для включения в состав установки по испытаниям средств индивидуальной защиты.

Список литературы

1. Министерстве труда и социальной защиты Российской Федерации от 15 декабря 2020 года N 903н об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок.

2. Инструкция по применению и испытанию средств защиты, используемых в электроустановках утверждена Приказом Минэнерго России от 30 июня 2003 г. N 261.

3. ПАСПОРТ. Аппарат типа АИИ-70 2ДЕ.169.039 ПС.

4. Вихман Алексей Евгеньевич ПРИМЕНИМОСТЬ АЛЮМИНИЕВЫХ ЭЛЕКТРОПРОВОДОВ // Энергобезопасность и энергосбережение. 2016. № 5. (<https://cyberleninka.ru/article/n/primenimost-alyuminievyyh-elektroprovodok>) (дата обращения: 16.05.2023).

5. Инструкция 184-62 по поверке амперметров, вольтметров, ваттметров и варметров (И 184-62)

УДК 621.31

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ: НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ВОЗМОЖНОСТИ

Молодова Ксения Константиновна
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Российская Федерация
molodovaks7@mail.ru.

Аннотация: в статье рассматривается возможность внедрения искусственного интеллекта, который позволит повысить эффективность в проектировании и эксплуатации систем электроснабжения. В статье представлено описание новых технологий, которые позволяют повысить эффективность и точность проектирования, а также сократить расходы на строительство и эксплуатацию систем электроснабжения. Приведены примеры использования алгоритмов машинного обучения и нейронных сетей для создания математических моделей и прогнозирования работы системы в различных условиях. Выявлено, что применение искусственного интеллекта предоставляет значительные возможности для будущего развития электроэнергетики.

Ключевые слова: технологии искусственного интеллекта, нейронные сети, повышение энергоэффективности.

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE SYSTEMS IN THE DESIGN OF POWER SUPPLY SYSTEMS: NEW TECHNOLOGIES AND OPPORTUNITIES

Molodova Ksenia Konstantinovna
FSBEI HE KSPEU, Kazan, Russian Federation
molodovaks7@mail.ru.

Abstract: the article discusses the possibility of introducing artificial intelligence, which will increase efficiency in the design and operation of power supply systems. The article describes new technologies that can improve the efficiency and accuracy of design, as well as reduce the cost of construction and operation of power supply systems. Examples of using machine learning algorithms and neural networks to create mathematical models and predict the operation of the system in various conditions are given. It is revealed that the use of artificial intelligence provides significant opportunities for the future development of the electric power industry.

Key words: artificial intelligence technologies, neural networks, energy efficiency improvement.

Популярность и растущий интерес к применению методов искусственного интеллекта в энергетике обусловлены как основными трендами развития энергетике (интеллектуальная энергетика, цифровая энергетика, «умные» цифровые двойники и др.), так и возможностью повышения и облегчения труда эффективности инженера или иного работника, задействованного в проектировании.

Применение искусственного интеллекта в проектировании систем электроснабжения позволяет автоматизировать процессы проектирования, что позволяет сократить время на проектирование и увеличить точность и качество результатов. С помощью алгоритмов машинного обучения и нейронных сетей можно создавать математические модели и прогнозировать поведение системы электроснабжения в различных условиях. Одна из новых технологий, которые применяются в проектировании систем электроснабжения, это использование виртуальной реальности (VR) и дополненной реальности (AR). С их помощью можно создавать виртуальные модели системы электроснабжения и проводить тестирование в различных сценариях. Это позволяет наглядно оценить работу системы и предотвратить ошибки при ее проектировании.

Применение искусственного интеллекта также позволяет улучшить процессы эксплуатации системы электроснабжения. Например, это может быть использование алгоритмов машинного обучения для определения прогнозного состояния оборудования и предотвращения его отказов. Также могут применяться алгоритмы для определения оптимального режима работы системы, что позволяет сократить расходы на электроэнергию и повысить ее эффективность.

Стоит также отметить, что применение искусственного интеллекта в проектировании систем электроснабжения может привести к сокращению затрат на трудовые ресурсы и научные исследования. Это позволяет сократить отрыв от конкурентов, увеличить масштаб проектов и ускорить их реализацию.

Один из примеров использования технологий искусственного интеллекта в проектировании систем электроснабжения – это применение алгоритмов машинного обучения для оптимизации мощности генерации электроэнергии в сети.

Например, компания Siemens AG разработала программное обеспечение, которое использует данные о погодных условиях, поставках газа и ценах на электроэнергию для оптимизации работы газотурбинных установок, которые генерируют электроэнергию. Данные обрабатываются при помощи алгоритмов машинного обучения, которые позволяют идентифицировать оптимальный режим работы газотурбинной установки с учетом различных факторов, включая погоду, цену на энергию и т.д.

Это позволяет эффективнее использовать газ для производства электроэнергии и уменьшить расходы на производство электроэнергии, так как создается экономия благодаря использованию газотурбинной установки только при необходимости.

В заключение, применение искусственного интеллекта в проектировании и эксплуатации систем электроснабжения является перспективной технологией, которая позволяет улучшить качество и эффективность системы, сократить расходы и сократить время на проектирование и реализацию. Ее применение предоставляет значительные возможности для будущего развития электроэнергетики. также входит организация массового производства на внутренних заводах установок, использующих возобновляемые энергоресурсы, что поможет снизить их стоимость и транспортные расходы.

Список литературы

1. Интеллектуальная электроэнергетика: необходимость, концепция и путь реализации / Г. А. Саратикян, В. И. Финаев, Ю. И. Иванов, В. А. Черёмушкин // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – No 2 (127). – С. 165–172.

2. Национальная стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 года //TADVISER: Государство. Бизнес. ИТ. – 2020. – URL: <http://www.tadviser.ru/images/8/86/0001201910110003.pdf> (дата обращения: 11.12.2020).

3. Алексеева И. Ю., Ведерников А. С., Скрипачев М. О. Прогнозирование электропотребления с использованием метода искусственных нейронных сетей // Вестник СамГТУ. Серия: Технические науки. – 2010. – No 2 (27). – С. 135–138.

4. Джура С. Г. Этические алгоритмы мироздания. – Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2014. – 660 с. – URL: http://www.roerich.com/iic/russian/ovs/dzhura_book_rus_2014_.pdf (дата обращения: 11.12.2020).

5. Bourguet R. E., Antsaklis P. J. Artificial neural networks in electric power industry: Technical report of the ISIS Group: ISIS-94-007. – University of Notre Dame, 1994, April.

УДК 621.317.785.6

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ СБОРА ДАННЫХ ДЛЯ КОНТРОЛЯ И УЧЕТА ЭНЕРГОРЕСУРСОВ

Мифтахов Айдар Расилович

ФГБОУ ВО «Казанский Государственный Энергетический Университет», г. Казань
aidar.miftakhof@yandex.ru

Аннотация: в связи с ростом промышленности и развитием инфраструктуры возникает необходимость создания более усовершенствованных форм учета и контроля качества потребляемой электроэнергии. В данной статье проведен анализ перспективы развития автоматизированных систем сбора данных для контроля и учета энергоресурсов, оценены возможности таких систем, выявлены их основные преимущества и недостатки.

Ключевые слова: автоматизация, цифровизация, учет энергоресурсов, потребление электроэнергии, система учета, энергоэффективность.

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF AUTOMATED DATA COLLECTION SYSTEMS FOR MONITORING AND ACCOUNTING OF ENERGY RESOURCES

Miftakhov Aidar Rasilovich

FSBEI HE KSPEU, Kazan
aidar.miftakhof@yandex.ru

Abstract: due to the growth of industry and the development of infrastructure, there is a need to create more advanced forms of accounting and quality control of electricity consumed. This article analyzes the prospects for the development of automated data collection systems for monitoring and accounting of energy resources, assesses the capabilities of such systems, identifies their main advantages and disadvantages.

Keywords: automation, digitalization, energy accounting, electricity consumption, accounting system, energy efficiency.

Контроль и учёт потребления электроэнергии позволяют повысить эффективность использования энергоресурсов в разных отраслях хозяйства. Компании, генерирующие и транспортирующие электрическую энергию жилищным комплексам и промышленным предприятиям, испытывают потребность в точном и своевременном отчёте о количестве израсходованных ресурсов за промежуток времени. Здесь возникает проблема, заключающаяся в том, что потребителями могут быть предоставлены неточные или недействительные данные, следовательно, в таком случае энергосбытовая компания не может отслеживать и анализировать свою деятельность полноценно.

Однако благодаря развитию цифровых технологий сегодня активно внедряется автоматизированная система сбора данных для контроля и учёта энергоресурсов (АСКУЭ). Она представляет собой такую систему, которая позволяет вести одновременно измерение и коммерческий учёт электроэнергии. Одной из ее главных особенностей является то, что она способна работать в реальном времени.

Автоматизированная система сбора данных для контроля и учета энергоресурсов состоит из трех уровней, на которых происходит сбор, обработка и анализ новых данных. Принцип ее работы заключается в объединении информации, которая поступает с разных систем контроля ресурсов, использующих стандартизированные каналы передачи данных. Информация, полученная с приборов учёта, передаётся на серверы сбора и обрабатывается операторами АСКУЭ. Полученные результаты в дальнейшем используются для корректного взаиморасчета потребителей и поставщиков электрической энергии.

Система автоматизированного сбора данных для контроля и учета энергоресурсов в отличие от устаревших устройств позволяет заниматься комплексным дистанционным контролем сбыта энергоресурсов: компания энергосбыта в случае аварийных ситуаций или неуплаты долга может дистанционно отключать потребителя от сети или наоборот подключать к ней. Кроме того, достоинства данной системы заключаются в способности заниматься непосредственным контролем работы приборов учёта и отслеживанием их состояния. С помощью системы упрощается выявление несанкционированных подключений, которые несут технические и коммерческие потери электрической энергии.

Таким образом, использование АСКУЭ позволит значительно сократить расходы энергетического предприятия на ресурсы, поскольку она не позволяет производить кражу электрической энергии и стимулирует потребителей своевременно платить за услуги электроснабжения.

Благодаря ей повышается эффективность использования ресурсов, поскольку компания энергосбыта на основе данных, полученных в текущий и предыдущие периоды, способна разработать программу по энергосбережению, а также своевременно вносить корректировки в свою работу. Однако стоит отметить, что при всех достоинствах системы, указанных выше, в ней можно выделить преимущественно два недостатка.

Во-первых, нецелесообразность использования системы автоматизированного сбора данных для контроля и учета энергоресурсов связана с высокими затратами при её установке. Расчетные и проектировочные работы, монтаж приборов учета, серверов, компьютеров, подключение и наладка оборудования требуют серьезных и больших финансовых затрат. Здесь же наблюдается проблема затруднительного поиска квалифицированных специалистов, обладающих навыками настраивания подобных систем.

Второй недостаток АСКУЭ заключается в том, что в ходе эксплуатации возможны риски повреждения участков, что указывает на дороговизну обслуживания системы. Помимо этого, бывают случаи нестабильности сигнала, а, следовательно, это является препятствием в управлении системой.

Тем не менее, теоретическое изучение актуальных источников и результатов исследований на рассмотренную тему позволяют сделать вывод, что уже сегодня применение автоматизированных систем сбора данных для контроля и учета энергоресурсов дает возможность совершенствования процессов управления и выстраивания стратегий развития промышленных предприятий за счет повышения энергоэффективности и оптимизации их деятельности, что является важным как для экономии средств, так и для технологического обеспечения устойчивого функционирования и развития производственных систем и промышленной инфраструктуры.

Список литературы

1. Structure of many-level adaptive automatic voltage regulation system / I. O. Golikov, A. V. Vinogradov, V. E. Bolshev [et al.] // E3S Web of Conferences, Prague, 14–15 мая 2020 года. – Prague, 2020. – P. 01068. – DOI 10.1051/e3sconf/202017801068. – EDN MFQYXK.

2. Гибадуллин, Р. Р. Проектирование осветительных установок / Р. Р. Гибадуллин, Н. В. Денисова, И. В. Ившин. – Germany : LAP LAMBERT, 2019. – 216 с. – ISBN 978-613-4-90062-1. – DOI 10.12731/978-613-4-90062-1. – EDN RQIAEQ.

3. Сафин, А. Р. Оценка надежности станции управления для снижения эксплуатационных расходов / А. Р. Сафин, Р. Р. Гибадуллин, Т. И. Пет-

ров // Вестник ПИТТУ имени академика М.С. Осими. – 2020. – № 4 (17). – С. 20-25. – EDN BZXZQP.

4. Семи́н, Д. И. Разработка цифрового двойника промышленного предприятия на основе программного продукта «Anylogic» / Д. И. Семи́н, Р. Р. Гибадуллин // XXV Всероссийский аспирантско-магистерский научный семинар, посвященный Дню энергетика : Материалы конференции. В 3-х томах, Казань, 07–08 декабря 2021 года / Под общей редакцией Э.Ю. Абдуллазянова. Том 1. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. – С. 136-138. – EDN NUFTJ.

5. Агзамов, М. Ф. Моделирование системы электроснабжения для анализа условий перспективного развития отдельной территории / М. Ф. Агзамов, Э. Ф. Хаки́мзянов, Р. Р. Гибадуллин // Тинчуринские чтения - 2022 "Энергетика и цифровая трансформация" : Сборник статей по материалам конференции. В 3-х томах, Казань, 27–29 апреля 2022 года / Под общей редакцией Э.Ю. Абдуллазянова. Том 1. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. – С. 167-169. – EDN HLIDES.

6. Стенд для послеремонтных испытаний асинхронных двигателей напряжением до 1000 В / О. В. Владимиров, И. В. Ившин, М. Ф. Низамиев [и др.] // Достижения, проблемы и перспективы развития нефтегазовой отрасли : Материалы IV Международной научно-практической конференции, Альметьевск, 16–18 октября 2019 года. – Альметьевск: Альметьевский государственный нефтяной институт, 2019. – С. 455-462. – EDN EIERTY.

7. Исследование качества функционирования электрических аппаратов низкого напряжения в составе электротехнических комплексов / Э. Ю. Абдуллазянов, Е. И. Грачева, А. Н. Горлов [и др.] // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2021. – Т. 23, № 6. – С. 3-15. – DOI 10.30724/1998-9903-2021-23-6-3-15. – EDN DEAEAT.

УДК 62-729.2

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВАРИЙНОГО СЛИВА МАСЛА ДЛЯ ТРАНСФОРМАТОРА ТДН – 10000/110 – У1 В СООТВЕТСТВИИ С ПРАВИЛАМИ УСТРОЙСТВА ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

Мифтахов Айдар Расилович
ФГБОУ ВО «Казанский Государственный Энергетический Университет», г. Казань
aidar.miftakhof@yandex.ru

Аннотация: одной из самых распространенных причин выхода из строя трансформаторов и возникновения аварийных ситуаций на подстанциях является утечка

трансформаторного масла из бака, что наносит ущерб не только технико-экономического, но и экологического характера. Проектирование системы аварийного слива масла в соответствии со всеми техническими требованиями, правилами и нормами, связанными с безопасностью, предотвращает возникновение нештатных производственных ситуаций. В данной статье проведен анализ требований нормативно-технической документации и рассчитаны параметры маслоприемника и маслосборника для трансформатора ТДН-10000/110 – У1 в соответствии с правилами устройства электроустановок (ПУЭ).

Ключевые слова: трансформаторное масло, маслоприемник, маслосборник, ПУЭ, расчет параметров, аварийный сброс масла.

DESIGN OF AN EMERGENCY OIL DRAIN SYSTEM FOR THE TRANSFORMER TDN – 10000/110 – U1 IN ACCORDANCE WITH THE RULES OF ELECTRICAL INSTALLATIONS

Miftakhov Aidar Rasilovich
FSBEI HE KSPEU, Kazan

Abstract: one of the most common reasons for the failure of transformers and the occurrence of emergency situations at substations is the leakage of transformer oil from the tank, which causes damage not only of a technical and economic, but also of an environmental nature. Designing an emergency oil drain system in accordance with all technical requirements, rules and regulations related to safety prevents the occurrence of abnormal production situations. This article analyzes the requirements of regulatory and technical documentation and calculates the parameters of the oil receiver and oil collector for the transformer TDN-10000/110 - U1 in accordance with the rules of electrical installations (PUE).

Keywords: transformer oil, oil receiver, oil collector, PUE, calculation of parameters, emergency oil discharge.

Утечка или разлив трансформаторного масла – это непосредственная угроза безопасности, способная не только серьезно ранить или даже привести к летальному исходу работников, находящихся в непосредственной близости, но и повредить оборудование, отключить подачу электроэнергии и вызвать простои в течение нескольких дней, повлиять на работу всей энергосистемы. Предпосылкой к этому могут служить несвоевременная диагностика элементов или отсутствие технического ремонта электрической системы. Однако постоянный контроль за состоянием конструкции затруднителен и требует значительных затрат.

Именно поэтому с целью увеличения безопасности и уменьшения финансовых и материальных расходов трансформатор оборудуется системой аварийного сброса масла, основными элементами которой являются маслоприемник и маслосборник.

При изучении различных интернет-источников была выявлена проблема, заключающаяся в том, что несмотря на наличие системы аварийного слива при возникновении нештатных ситуаций происходят

разливы трансформаторного масла за её пределы. В свою очередь, это негативно сказывается на состоянии экологии. Наихудшим последствием при разливе масла за пределы бортов маслоприемника считается возгорание вещества, которое может перерасти в серьезный пожар, ликвидация которого затрачивает не только много денег, но и времени. Масштабы возгорания могут затронуть не только окружающую среду, но и само оборудование подстанции.

Исходя из данных, полученных в процессе изучения поднятой нами проблемы, можно предположить, что причиной возникновения аварий, а именно разлива трансформаторного масла, является несоблюдение технических требований при проектировании.

Далее представлен расчет, алгоритм которого составлен нами для дальнейшего проектирования конструкций.

Первой задачей работы является нахождение минимально-допустимых значений параметров главных элементов системы аварийного сброса масла, что позволит максимально сократить расходы на строительство конструкции и занять при этом наименьшую площадь застройки.

Исходными данными, используемыми в расчете, являются параметры стандартной железобетонной плиты, на которой располагается трансформатор, длина, ширина и высота которой 3,5 x 1,5 x 0,25 м соответственно, объем плиты по формуле (2); полная масса трансформатора 28500 кг; габаритные размеры трансформатора, которые учитываются для дальнейшего расчета, берутся приблизительно равными 5,36 x 3,31 x 2,09 м². Полная масса трансформаторного масла, используемого для надежного и эффективного функционирования трансформатора, берется равной 7,7 т; среднее значение плотности трансформаторного масла 0,84 т/м³.

Произведем расчет параметров маслоприемника, принимая расстояние выступа маслоприемника за габариты трансформатора равным 1 м (минимальное допустимое значение из пункта 4.2.69.1 ПУЭ (7 издание) для данного трансформатора):

1) Полный объем масла находим по формуле:

$$V_M = \frac{M_M}{\rho} = \frac{7,7}{0,84} = 9,2 \text{ м}^3 \quad (1)$$

2) Объем железобетонной плиты равен:

$$V_{пл} = a \times b \times h_{пл} = 3,5 \times 1,5 \times 0,25 = 1,3125 \text{ м}^3 \quad (2)$$

3) Объем маслоприемника можно представить в следующем виде:

$$V_{\text{мп}} = V_{\text{пл}} + V_{\text{м}} = A \times B \times h_{\text{мп}} \quad (3)$$

$$A = 5,36 \text{ м} + 1 \text{ м} \times 2 = 7,36 \text{ м} \quad (4)$$

$$B = 3,31 \text{ м} + 1 \text{ м} \times 2 = 5,31 \text{ м} \quad (5)$$

A и B – внутренние длина и ширина маслоприемника (рассчитываются по пункту 4.2.69.1 ПУЭ), значит $S_{\text{мп}} = A \times B \approx 39 \text{ м}^2$.

Из (1-5) найдем минимально-допустимую высоту маслоприемника:

$$4) h_{\text{мп}} = \frac{V_{\text{пл}} + V_{\text{м}}}{A \times B} = \frac{9,2 \text{ м}^3 + 1,3125 \text{ м}^3}{7360 \text{ мм} \times 5310 \text{ мм}} = 0,27 \text{ м}$$

Для удобства расчетов и наглядности в программе Autocad нарисован чертеж маслоприемника (рис. 1) и спроектирована его 3D модель (рис. 2).

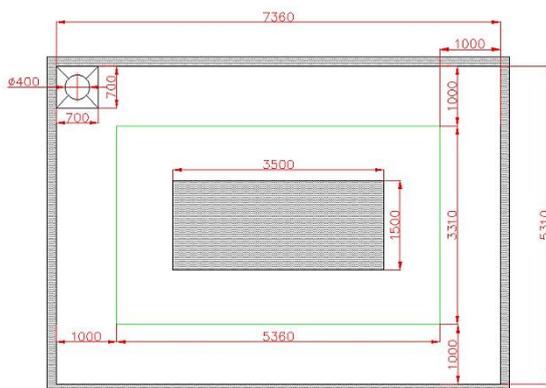


Рис. 1. Чертеж маслоприемника (вид сверху)

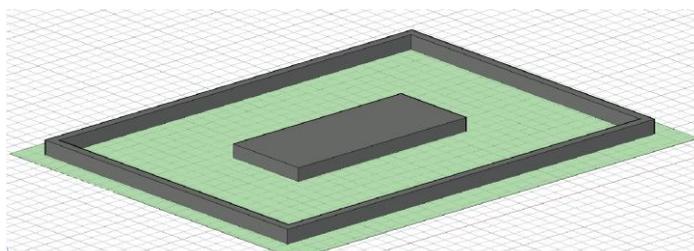


Рис. 2. 3D модель маслоприемника

Главное условие для расчета необходимых параметров маслосборника (т.е. его объема) представлено в пункте 4.2.69.8 ПУЭ.

1) Объем маслосборника равен $V_{\text{мс}} = V_{\text{м}} + V_{\text{в}}$, где $V_{\text{в}}$ – расчетный объем расхода воды из гидрантов;

2) $V_{\text{в}} = S_{\text{общ}} \times k \times T \times 80\%$ (на основе п. 4.2.69 ПУЭ), где $S_{\text{общ}}$ – площадь орошения защищаемой площади;

3) $S_{\text{общ}} = S_{\text{мп}} + S_{\text{тр}}$, где $S_{\text{мп}}$ – площадь маслоприемника, $S_{\text{тр}}$ – площадь боковых поверхностей трансформатора;

4) $S_{\text{тр}} = (2 \times A \times h) + (2 \times B \times h)$, где A и B из выражений (4) и (5);

$k = 0,2 \text{ л}/(\text{м}^2 \times \text{сек})$, $T = 30 \text{ мин}$ (п. 4.2.69.2 ПУЭ).

5) Преобразовав использующиеся выражения, получаем значение объема маслобонника, равное 31 м^3 .

Теоретическая значимость проведенной нами работы заключается в том, что данный расчет подчеркивает значимость обращения к нормативно-технической документации, нормам и правилам, и может служить примером при проектировании важных элементов реальных энергетических объектов.

Список литературы

1. Правила устройства электроустановок: 7-е издание (ПУЭ) / Главгосэнергонадзор России. М.: Изд-во ЗАО «Энергосервис», 2007. 610 с.

2. Гибадуллин, Р. Р. Проектирование осветительных установок / Р. Р. Гибадуллин, Н. В. Денисова, И. В. Ившин. – Germany : LAP LAMBERT, 2019. – 216 с.

3. Ившин И. В., Сафин А. Р., Гибадуллин Р. Р., и др. Расчет надежности блоков станции управления штанговых скважинных и насосных установок // Вестник КГЭУ. 2019. № 4 (44). Т.11. С.3-12.

4. Справочник по проектированию электрических сетей / Под ред. Д. Л. Файбисовича. – М.: ЭНАС, 2007.

5. Ополева Г. Н. Схемы и подстанции электроснабжения. – М.: Форум - Инфра – М., 2006.

УДК 629.039

СОВРЕМЕННЫЙ ПОДХОД В УПРАВЛЕНИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ РЕСУРСАМИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Мухамбетова Дильназ Талаповна
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан
m-dilnaz@mail.ru

Аннотация: в данной публикации рассматривается вопрос современного подхода в управлении энергетическими ресурсами промышленных предприятий. В статье рекомендуется создание концепции сбережения энергии для деятельности каждой индустриальной компании. Кроме того, автор предлагает условия управления

энергией, которые приведут к структурной экономии различных энергетических ресурсов. В качестве основы управления энергией важно использовать системный подход, который содержит в себе следующие стадии: комплексное исследование общего обеспечения с потреблением энергии в компании, внедрение контроля и оценивания управления энергией, фиксация потребления энергии, расценивание потребления энергии, оповещение результатов ответственных лиц и разработка мер для организации.

Ключевые слова. Энергия, системный подход, сбережение, ресурсы, промышленность, энергоменеджмент.

MODERN APPROACHES TO THE MANAGEMENT OF ENERGY RESOURCES OF THE INDUSTRIAL ENTERPRISES

Mukhambetova Dilnaz Talapovna
FSBEI HE «KSPEU», Kazan
m-dilnaz@mail.ru

Abstract: this publication discusses the issue of a modern approach to the management of energy resources of industrial enterprises. The article recommends the creation of an energy saving concept for the activities of each industrial company. In addition, the author proposes energy management conditions that will lead to structural savings of various energy resources. As a basis for energy management, it is important to use a systematic approach that includes the following stages: a comprehensive study of the overall provision with energy consumption in the company, implementation of control and evaluation of energy management, fixing energy consumption, estimating energy consumption, notifying the results of responsible persons and developing measures for the organization.

Keywords: energy, system approach, saving, resources, industry, energy management.

За последние годы земельные ресурсы истощаются значительно быстро, страны по всему миру запускают волну энергосбережения и сокращения выбросов углерода, чтобы избежать растраты и продлить жизнь земельных ресурсов.

В соответствии с тенденцией энергосбережения и сокращения выбросов углерода, исследование мощности постепенно становится важным аспектом по увеличению энергоэффективности. Контроль мощности всегда способствует значительной экономии энергии независимо от индивидуальных особенностей.

Опыт промышленно развитых стран установил концептуальные подходы к управлению энергетическими ресурсами с целью их оптимизации. Эти подходы объединяются в правовые, организационные, экономические, географические, демографические и другие аспекты. Эти аспекты в целом зависят от базы административных инструментов, включая управление, энергоаудит и контроль[1].

Для создания системы энергосбережения необходимо внедрить

энергоменеджмент в деятельность любого предприятия, обеспечивающий комплексный подход к структурной экономии различных видов энергии. В качестве основы энергоменеджмента целесообразно использовать системный подход, включающий следующие этапы: комплексное исследование потребления энергии в компании, внедрение контроля и оценивания управления энергией, фиксация потребления энергии, оценка потребления энергии, оповещение ответственных лиц по результатам мероприятий и разработка мероприятий по организации.

Ключевой момент для большинства проектов по энергосбережению - грамотная консультация. Такие консультации должны обеспечить глубокое понимание ситуации и целей мотивирования работников по внедрению эффективного энергоменеджмента.

Исходные условия и возможности внедрения программы энергосбережения отличаются в каждой компании. Основная цель, которую хотят достичь организации, заключается в ограничении выбросов CO₂, SO₂ и NO₂ в атмосферу. Одним из способов достижения этой цели является снижения уровня энергопотребления [3].

Цель энергоменеджмента заключается в рациональном использовании энергии. И эта цель не должна ограничиваться только принятием мер по экономии энергии, здесь необходим системный подход к управлению энергопотреблением.

В электроэнергетике возникает ряд проблем в процессе улучшения управления энергосистем, так как именно они являются важнейшими элементами потребления энергии и топлива в промышленности.

Промышленный сектор, который включает производство, сельское хозяйство, строительство и добычу полезных ископаемых, составляет большую часть всего энергопотребления. Большой вклад в ежегодные расходы на электропотребление вносит производственное оборудование.

Ниже предложены более энергоэффективные и менее затратные в эксплуатации способы сокращения промышленных расходов на производстве.

1. Комплексное исследование потребления энергии в компании.

Его цель – представить ситуацию с потреблением электроэнергии и затрат на ее потребление в виде таблиц и графиков. Для этого необходимо собрать информацию о потреблении и расходах энергии за последние 5 лет: данные показаний счетчиков, счета поставщиков и административные данные. Далее необходимо провести анализ потребления и затрат на энергопотребление с имеющимися расчетами, чтобы показать экономию или перерасход [5].

Одна из основных причин провала проектов по энергосбережению

и экономии средств заключается в неточности при распределении обязанностей управления предприятием. Предлагается развить команду по управлению энергопотреблением, привлекая представителя от каждого отдела. Вместе они могут отслеживать энергопотребление по всему объекту и внедрить способы сокращения расходов.

2. Проведение энергоаудита.

Энергетический аудит позволит количественно определить, сколько энергии потребляет каждый отдел, и поможет определить периоды пикового потребления в течение года. Он также должен предлагать рекомендации о том, какие меры по повышению энергоэффективности обеспечат наибольшую отдачу от инвестиций [2].

3. Стратегическое планирование использования оборудования

Используя данные, собранные в ходе энергоаудита объекта, необходимо рассмотреть, какие машины требуют больше всего энергии для работы, запланировать работу этих машин вне пиковых часов. Пиковые часы могут составлять до 30 % рабочего времени.

4. Планирование остановов и запусков оборудования.

В выходные дни или в нерабочее время, запланированные остановки оборудования на производственном предприятии могут существенно снизить промышленные расходы. Чтобы знать, когда запланировать эти отключения, понадобится информация о пиковых нагрузках.

5. Проведение аудита системы HVAC (отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха).

Системы HVAC отвечают за поддержание качества воздуха и комфорта на производстве. Они также несут ответственность почти за 52 % общей энергии предприятия [4].

Существует три способа сделать систему HVAC более эффективной:

- установить программируемый термостат, который может снизить потребление на целых 15%;
- инвестирование в систему вентиляции с регулируемой потребностью (DCV), которая регулирует подачу наружного воздуха;
- в некоторых случаях простого ремонта и изоляции воздуховодов достаточно для снижения потребления энергии на 30% [2].

Существуют множество производителей чистой, безуглеродной энергии и поставщиков энергетических продуктов, работающих с коммерческими и промышленными компаниями всех размеров, чтобы помочь им определить возможности для сокращения потребления и снижения затрат.

Список литературы

1. ГОСТ Р 51379-99 «Энергосбережение. Энергетический паспорт

промышленного потребителя топливно-энергетических ресурсов. Основные положения. Типовые формы» (утв. Постановлением Госстандарта РФ от 30.11.1999 N 471-ст). С. <https://docs.cntd.ru/document/1200005377> (дата обращения 02.05.2023)

2. Журнал ВАК «Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики». С. 12-21. <https://www.energyret.ru/jour/article/view/137/114> (дата обращения 02.05.2023)

3. Кертбиев З.М. Особенности энергоэффективности и структуры использования топливно-энергетических ресурсов в национальной экономике // Экономика и предпринимательство. 2014. № 12-2 (53). С. 438-449.

4. Романькова, Т. В. Энергоэффективность предприятия: показатели, факторы и механизм повышения: монография / Т. В. Романькова, М. Н. Гриневич, О. В. Голушкова. Могилев: Белорус. -Рос. ун-т, 2013. С. 136-142.

5. Сибикин Ю.Д. Альтернативные источники энергии. Учебное пособие. 2023. С. 217-224.

УДК 621-311

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ЗАКОНА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ ВНУТРИЗАВОДСКОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

¹Петрова Рената Маратовна, ²Грачева Елена Ивановна
^{1,2}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан
¹1998renata@mail.ru

Аннотация: в статье исследованы основные законы распределения: нормальный, экспоненциальный (показательный), распределение Вейбулла и закон Релея, позволяющие моделировать надежность систем внутризаводского электроснабжения.

Ключевые слова: закон распределения, надежность, низковольтное электрооборудование; нормальный закон распределения; вероятность безотказной работы; вероятность появления отказа, интенсивность отказа.

SELECTION OF THE OPTIMAL DISTRIBUTION LAW FOR MODELING THE RELIABILITY OF INTRAFACORY POWER SUPPLY SYSTEMS

¹Petrova R.M., ²Gracheva Elena Ivanovna
^{1,2}FSBEI HE "KSPEU", Kazan, Russia
¹1998renata@mail.ru

Abstract: the article investigates the main distribution laws: normal, exponential (exponential), Weibull distribution and Rayleigh's law, which allow modeling the reliability of intrafactory power supply systems.

Keywords: distribution law, reliability, low-voltage electrical equipment; normal distribution law; probability of no-failure operation; probability of failure occurrence, failure rate.

Для прогнозирования надежности электрооборудования низковольтных сетей предлагается использовать сравнение статистических и теоретических значений функции распределения вероятностей безотказной работы и появления отказа [1, 2].

Прогнозирование надежности может быть произведено только на основе вероятностного подхода. При этом необходимо выбрать закон распределения для расчета отказов систем электроснабжения, являющиеся случайными величинами, наиболее близко совпадающий с эмпирической функцией распределения.

Выбор закона распределения для расчета вероятности безотказной работы встречает определенные трудности, связанные с тем, что истинный характер распределения отказов низковольтного электрооборудования различный. Кроме того, по мере эксплуатации одного и другого электрооборудования на разных производственных предприятиях могут быть расхождения в данных по отказам из-за климатических условий и нагрузки на оборудование.

С данной целью необходимо выбрать оптимальный закон распределения. Для этого изучим основные законы распределения, а именно, нормальный, экспоненциальный (показательный) законы и распределение Вейбулла, используемые в теории надежности и определим оптимальный из них в сравнении с эмпирическими значениями функции.

Эмпирическая функция вероятности безотказной работы имеет вид [1, 4]:

$$P^*(t_i) = \frac{N_0 - n_i(t)}{N_0} \quad (1)$$

где $n_i(t)$ – суммарное число отказавших элементов, шт.;

N_0 – количество рассматриваемых элементов, шт.

Эмпирическая функция вероятности появления отказа записывается в виде [1]:

$$Q^*(t_i) = \frac{n_i(t)}{N_0} \quad (2)$$

$$Q^*(t_i) = 1 - P^*(t_i) \quad (3)$$

При нормальном законе распределения теоретическая функция вероятности безотказной работы имеет вид [2, 3]:

$$P(t) = \frac{F\left(\frac{T_{\text{сред}} - t}{\sigma}\right)}{F\left(\frac{T_{\text{сред}}}{\sigma}\right)} \quad (4)$$

$$Q(t) = 1 - P(t) \quad (5)$$

где t – время наблюдения, год;

$T_{\text{сред}}$ – средняя наработка на отказ, год;

σ – среднеквадратическое отклонение наработки на отказ, год;

F – функция Лапласа [3].

При расчетах экспоненциальным (показательным) законом распределения функция вероятности безотказной работы имеет вид:

$$P(t) = \exp(-\lambda t) \quad (6)$$

$$Q(t) = 1 - \exp(-\lambda t) \quad (7)$$

где λ – интенсивность отказов, $\lambda = \text{const}$.

Распределение Вейбулла:

$$P(t) = \exp(-\lambda t^b) \quad (8)$$

$$Q(t) = 1 - \exp(-\lambda t^b) \quad (9)$$

где λ – параметр масштаба;

b – параметр формы (безразмерная величина).

Закон Релея имеет вид:

$$P(t) = \frac{x}{\sigma^2} \cdot \exp\left(-\frac{x}{2\sigma^2}\right) \quad (10)$$

$$Q(t) = 1 - \exp\left(-\frac{x}{2\sigma^2}\right) \quad (11)$$

где σ – среднеквадратическое отклонение наработки на отказ, год.

Нормальный и экспоненциальный (показательный) законы распределения образуют своеобразные крайние положения: при нормальном законе интенсивность отказов λ имеет возрастающий вид; (экспоненциальный) имеет постоянное значение λ . На практике наиболее распространение получили именно эти два закона распределения.

Проверка на соответствие выбранного закона распределения производится с помощью критерия Колмогорова и, при испытаниях более 100 – критерия Пирсона (χ -квадрат).

Воспользуемся критерием Колмогорова при малых испытаниях (>100). Мера расхождения между теоретическими и экспериментальными величинами D_n вычисляется по формуле: [1]

$$D_n = \max |F^*(x) - F(x)| \quad (12)$$

где $F^*(x)$ – эмпирическая функция распределения;

$F(x)$ – выбранная теоретическая функция распределения.

Значение случайной величины рассчитывается по формуле:

$$y_n = D_n \sqrt{n} \quad (13)$$

где n – количество отказавших элементов.

Таким образом, проведенный анализ основных законов распределения показал, что наиболее подходящим является нормальный закон распределения при моделировании надежности систем электроснабжения.

Список литературы

1. Петрова Р. М, Абдуллазянов Э. Ю., Грачева Е. И., Valtchev S., Yousef Ibragim. Исследование вероятностных характеристик надежности электрооборудования внутрицеховых систем электроснабжения // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2023. Т. 15. № 1 (57). С. 93-105.
2. Петрова Р. М. Надежность эксплуатации силовых трансформаторов / Научно – технический журнал «ВЕСТНИК ПИТТУ имени академика М. С. Осими». [Электронное издание]. – № 3 (24), 2022. – С. 52-57.
3. Петрова, Р. М. Надежность и перегрузочная способность силовых трансформаторов / Р. М. Петрова, Е. И. Грачева // Фёдоровские чтения – 2022: ЛП Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием (с элементами научной школы для молодежи)

(Москва, 15–18 ноября 2022 г.) / под общ. ред. Ю.В. Матюниной. – М.: Издательский дом МЭИ, 2022. – С. 233-240.

4. Федотов А. И., Грачева Е. И., Наумов О. В. Исследования показателей безотказности низковольтных коммутационных аппаратов электрических сетей // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2013. № 9-10.

УДК 537

МОДЕЛИ И МЕТОДЫ РАЗРАБОТКИ И ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

Пономарева Земфира Ряшитовна
ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет», Г. Тольятти
zem.tregulova@yandex.ru

Аннотация: методы принятия и разработки решений являются важнейшим компонентом процесса управления деятельностью компании. Необходимо, чтобы они непрерывно совершенствовались, перестраивались соответственно новым задачам и обстановке, в которой развивается экономика. Сейчас есть множество инструментов для оценки эффективности решений в тех либо иных процессах. В целом, решения в основном принимают для достижения целей бизнеса. Принятие управленческих решений важно в деятельности любой компании, поскольку это помогает в достижении поставленных целей и укреплении потенциала людей. Независимо от того, большая это компания или маленькая, в ней постоянно происходят кадровые перестановки, изменения условий, возникают непредвиденные обстоятельства. Поэтому руководству приходится принимать управленческие решения. Принятие решения выступает процессом обдумывания возможных вариантов, а затем выбором наиболее подходящих. Прежде чем принимать решения, необходимо составить понятную стратегию. У такой стратегии должны быть правила, направления и положения. Данные стратегии помогают любому руководителю ускорить процесс принятия решений, которые будут безошибочными и надежными. Целью данной работы является изучение и освещение основных вопросов, связанных с моделями и методами разработки и принятия управленческих решений. В работе использованы различные методы исследования, такие как аналитический, сравнительный, обобщение, графический, а также были изучены научно-публицистические и учебные издания, информационные ресурсы сети Интернет. Результаты: в статье обозначена методология, при помощи которой раскрываются ключевые методы и этапы разработки и принятия управленческих решений.

Ключевые слова: менеджмент, организация, поиск решений, система управления, управленческие решения.

MODELS AND METHODS FOR DEVELOPING AND MAKING MANAGEMENT DECISIONS

Ponomareva Zemfira Ryachitovna
FSBEI HE «Togliatti State University», Togliatti
zem.tregulova@yandex.ru

Annotation: decision-making and decision-making methods are an essential component of the company's business management process. It is necessary that they are

continuously improved, rebuilt according to new tasks and the environment in which the economy is developing. Now there are many tools for evaluating the effectiveness of solutions in various processes. In general, decisions are mainly made to achieve business goals. Management decision-making is important in the activities of any company, as it helps in achieving goals and strengthening the potential of people. Regardless of whether it is a large company or a small one, personnel changes, changes in conditions are constantly taking place in it, unforeseen circumstances arise. Therefore, the management has to make management decisions. Making a decision is a process of thinking about possible options, and then choosing the most appropriate ones. Before making decisions, it is necessary to make a clear strategy. Such a strategy should have rules, directions and regulations. These strategies help any manager to speed up the decision-making process, which will be error-free and reliable. The purpose of this work is to study and highlight the main issues related to models and methods of development and management decision-making. Various research methods were used in the work, such as analytical, comparative, generalization, graphic, and also scientific and journalistic and educational publications, information resources of the Internet were studied. Results: the article outlines the methodology by which the key methods and stages of development and management decision-making are revealed.

Keywords: management, organization, search for solutions, management system, management solutions.

Важное значение в работе любого управленца занимает процесс принятия решения, представляющий собой непрерывную динамическую систему, приводящую компанию к устойчивому успеху.

Согласно Ломакину А. Л., управленческое решение является сознательным процессом выбора одной из нескольких альтернатив разрешения определенной ситуации, связанной с процессом управления. При принятии такого решения опираются на имеющуюся информацию и заданные критерии [2, с.74].

Такое решение включает в себя следующие элементы:

- управленческую ситуацию;
- информацию;
- альтернативность;
- критерии.

Необходимо отметить, что принимаемые решения являются достаточно многообразными (рис. 1) [2, с.80].

Смирнов Э. А. отмечает, что любое управленческое решение связано с выполнением функций управления, включая организацию, планирование, контроль и координацию какого-либо процесса [3, с. 21].

В целом, решение называют управленческим, когда его разрабатывают и реализуют для социальной системы и оно направлено на следующие процессы (рис.2) [3, с.21].

При принятии управленческого решения придерживаются следующих этапов [4]:

- определение решения, проблемы и целесообразности принятия решения;

- сбор соответствующей информации. Данный этап состоит из сбора внутренних и внешних данных;
- определение альтернативы. Необходимо перечислить и определить все возможные варианты действий по мере их возникновения;
- взвешивание доказательств. Следует провести оценку возможных последствий каждого из действий, опираясь на эмоции и информацию. Также следует ранжировать возможные решения на основе системы ценностей;
- выбор одного из вариантов;
- принятие мер, т.е. реализация решения;
- оценка принятого решения и его последствий.



Рис. 1. Основные характеристики принимаемых решений

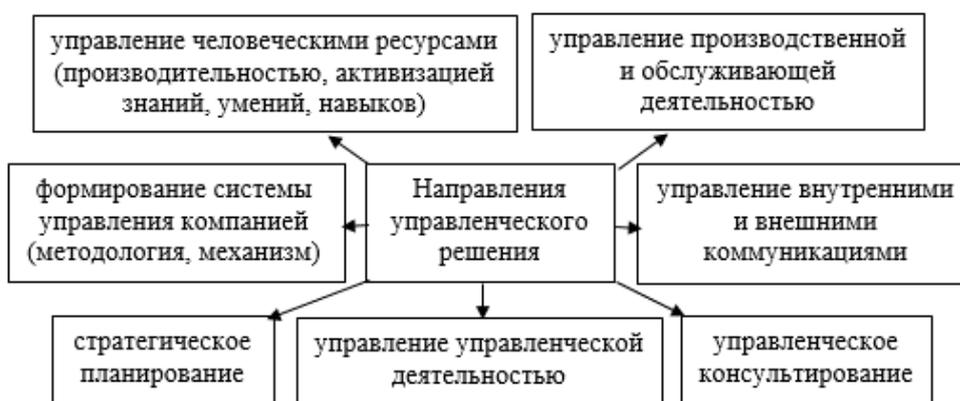


Рис. 2. Направления управленческого решения

Основные этапы анализируемого процесса конвертируют в наглядную модель. Модели классифицируют по разным основаниям. Однако, лишь один подход включает в себя три основных типа моделей: аналоговые, физические и математические (рис. 3) [1, с.41].

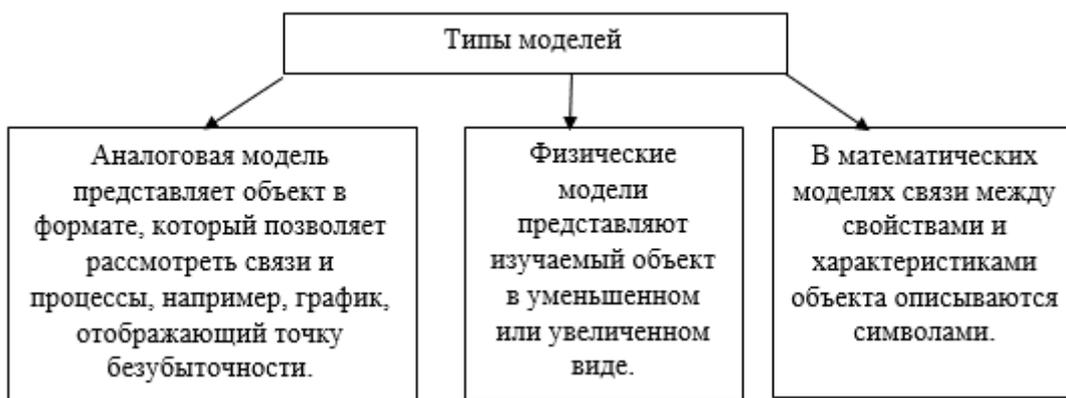


Рис. 3. Типы моделей

На рисунке 4 изображена визуализированная модель взаимосвязи управленческих функций, обеспечивающих достижение объектом необходимого состояния [1, с. 41].



Рис. 4. Взаимосвязь управленческих функций, обеспечивающих достижение объектом желаемого состояния

Данная модель включает такие элементы, как:

- объект управления;
- субъект управления;
- внешняя среда.

Основная задача субъект заключается в достижении объектом управления необходимого состояния. При этом, показатели внешней среды остаются в пределах прогнозируемых значений.

Благодаря данной модели возможно изучить показатели деятельности объекта управления и состоянии внешней среды, способствующих новым точкам роста бизнеса и результативности работы.

В настоящее время выделяют множество методов и инструментов, используемых для разработки и принятия управленческого решения. Рассмотрим некоторые из них.

Маржинальный анализ. Такой метод позволяет компаниям распределять ресурсы для увеличения прибыльности и выгод, а также сокращения затрат.

SWOT-анализ – это инструмент, позволяющий любому управленцу изучить ситуацию в следующих четырех квадрантах (рис. 5) [4].

<p>сильные стороны: В чем организация превосходит своих конкурентов? Учитываются внутренние и внешние силы</p>	<p>слабые стороны: что организация могла бы улучшить?</p>
<p>возможности: как организация может использовать свои сильные стороны для создания новых путей к успеху. Как устранение конкретной слабости может предоставить уникальную возможность?</p>	<p>угрозы: определение препятствий, мешающих организации достичь своих целей.</p>

Рис. 5. SWOT-анализ

Системный подход. Является диалектическим методом исследования, ограниченным какими-нибудь рамками, к примеру, географическими рамками, рамками одного подразделения или организации (рис. 6) [3, с.64].

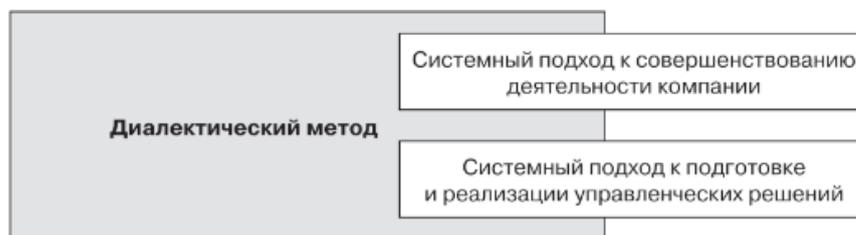


Рис. 6. Системный подход как часть диалектического метода

Таким образом, принятие решений выступает в качестве одного из многих навыков управления проектами, которые профессионалы могут получить либо усовершенствовать. Недостижение организационных целей приводит к растрате ресурсов, к которым могут быть отнесены деньги, рабочая сила и время.

Список литературы

1. Кочеткова М. А. Методы и модели разработки и принятия управленческих решений / М.А. Кочеткова // Форум молодежной науки. – 2021. – № 1. – С.39-42.
2. Ломакин А. Л. Управленческие решения: учеб. пособие / А.Л. Ломакин. – М.: Инфра-М, 2022. – 176 с.
3. Смирнов Э. А. Управленческие решения: учебник / Э. А. Смирнов. – М.: Инфра-М, 2022. – 362 с.
4. Принятие управленческих решений: что это такое, процесс, методы и инструменты [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <https://www.simplilearn.com/management-decision-making-article>

УДК 621.311

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ МИКРОПОЛОСКОВОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Рафаилов Кирилл Олегович
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
kirillrafailov1@gmail.com

Аннотация: в этом исследовательском документе представлена математическая температурная модель характеристик распространения и проведено ее исследование на примере микрополосковой линии передачи. Было установлено, что максимальное изменение характеристик линии при раздельном влиянии изменения температуры от -50°C до 150°C на каждый из параметров поперечного сечения линии не превышает 1%, а при одновременном влиянии на все параметры – 10,76%. Также было выявлено, что максимальное влияние на изменение характеристик линии оказывает изменение относительной диэлектрической проницаемости подложки, при котором максимальное изменение параметров на единицу длины составляет до 10%. Исследование способствует пониманию влияния температуры на характеристики микрополосковой линии передачи в системах распределения электроэнергии и дает ценную информацию системным операторам, инженерам и исследователям в области проектирования энергетических систем.

Ключевые слова: климатические условия, температура окружающей среды, тепловое расширение, параметры на единицу длины, микрополосковая линия.

THE EFFECT OF TEMPERATURE ON THE CHARACTERISTICS OF A MICROSTRIP POWER LINE

¹Rafailov Kirill Olegovich
^{1,2}FSBEI HE «KSPEU», Kazan
¹kirillrafailov1@gmail.com

Abstract: This research paper presents a mathematical temperature model of propagation characteristics and studies it on the example of a microstrip transmission line.

It was found that the maximum change in the characteristics of the line with the separate influence of temperature changes from -50°C to 150°C on each of the parameters of the cross-section of the line does not exceed 1%, and with simultaneous influence on all parameters – 10.76%. It was also found that the maximum influence on the change in the characteristics of the line is exerted by a change in the relative permittivity of the substrate, at which the maximum change in parameters per unit length is up to 10 %. The study contributes to understanding the influence of temperature on the characteristics of a microstrip transmission line in power distribution systems and provides valuable information to system operators, engineers and researchers in the field of energy system design.

Keywords: climatic conditions, ambient temperature, thermal expansion, parameters per unit length, microstrip line.

Радиоэлектронное оборудование (РЭО) – это комплекс приборов и устройств, работающих на основе радиоволн, для передачи, приема, обработки и хранения информации. К РЭО относятся радиостанции, радиоприемники, радиолокационные и радионавигационные устройства, системы радиосвязи, радиовещания, средства измерения, управления летательными аппаратами и многое другое.

Радиоэлектронное оборудование нашло свое применение практически во всех сферах современного общества, наиболее важными из которых являются военная и аэрокосмическая. В таких сферах РЭО работает в особенно сложных и зачастую суровых климатических условиях, которые могут оказать на нее негативное влияние. Изменение температуры окружающей среды может привести к изменению химико-физических и механических свойств материалов. С повышением температуры ускоряется рост некоторых дефектов материала, что приводит к снижению прочности на сжатие конструктивных элементов оборудования. Кроме того, большинство материалов при одновременном воздействии тепла и механических нагрузок подвержены деформации. В ряде материалов нагрев вызывает химическое разложение и ускоренное старение, которые приводят к изменению их параметров и характеристик. Например, из-за высокой относительной диэлектрической проницаемости воды при эксплуатации РЭО во влажной среде возникает емкостной эффект, который проявляется в изменении поверхностного сопротивления изоляторов, емкости и добротности, а также в снижении напряжения пробоя, что может оказать значительное неблагоприятное воздействие влияние на чувствительность РЭО. В связи с этим учет влияния температуры в процессе проектирования РЭО является чрезвычайно актуальным.

В зависимости от области применения РЭО проводятся климатические испытания в соответствующих условиях, а материалы

подбираются в соответствии с техническими требованиями. Между тем, проведение полномасштабных климатических испытаний требует больших временных и финансовых затрат, поэтому возможность учитывать климатические факторы на ранней стадии проектирования устройства позволит свести эти затраты к минимуму. Для этого необходимо математическое моделирование влияния климатических факторов на изменение параметров материалов, которое может быть реализован на основе математических моделей. Печатные устройства на основе микрополосковых линий используются в РЭО для различных целей, включая защиту РЭО от различных помех. В связи с этим важной задачей является анализ влияния климатической среды на защитные свойства устройств, поскольку они имеют сложную конфигурацию и изменение параметров может привести к значительному изменению их характеристик. Существуют также хорошо известные исследования других защитных устройств, основанных на печатных структурах и сигнальных фильтрация в полосе частот, широко применяемая в настоящее время. Однако, прежде чем анализировать сложные устройства, желательно попрактиковаться в аналитическом подходе и изучить более простые структуры. Микрополосковая линия считается подходящей для этого, и первым шагом для внедрения климатических моделей является самый простой – температурная модель. Целью данной работы является исследование влияния температуры на характеристики одиночной микрополосковой линии. Для достижения этой цели необходимо внедрить математическую температурную модель; рассчитать пропускную способность на единицу длины и вторичные параметры микрополосковой линии с учетом изменений температуры окружающей среды; и проанализировать результаты. В данной работе моделирование проводилось с использованием системы TALGAT, которая реализует расчет матрицы параметров линий электропередачи методом моментов.

Температурная модель имеет общий вид $P(T)$, где P – любая из характеристик структуры, а T – текущая температура внешней среды. В качестве исходных были выбраны следующие параметры микрополосковой линии: ширина (w) и толщина (t) проводника составляли 1000 мкм и 18 мкм соответственно, толщина подложки печатной платы (h) составляла 500 мкм, расстояние от края структуры до сигнального проводника (d) имело мощность 3 Вт, относительная диэлектрическая проницаемость подложки печатной платы (ϵ) составляла 4,4.

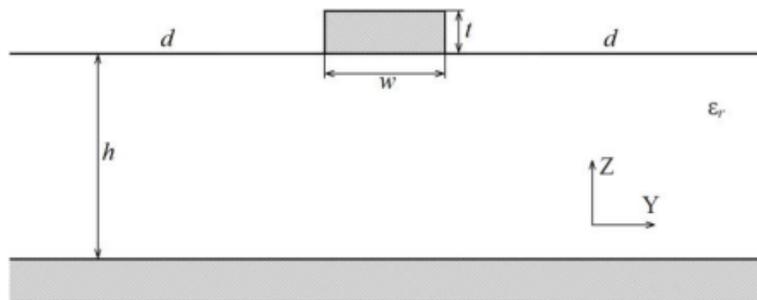


Рис. 1. Поперечное сечение микрополосковой линии

На программном языке TALGAT_Script модель теплового расширения каждого из линейных параметров выражается следующим образом:

$$x = x_0(1 + \alpha \Delta T) \quad (1)$$

где x – значение линейного параметра в соответствии с тепловым расширением; x_0 – начальное значение этого параметра; α – коэффициент линейного теплового расширения материала; ΔT – разность температур. Диапазон температур составлял от -50°C до 150°C с шагом 25°C . Основываясь на полученных данных, абсолютный коэффициент отклонения ε от T был рассчитан как

$$\alpha_0 = \frac{\varepsilon_{rmax} - \varepsilon_{rmin}}{T_{max} - T_{min}}, \quad (2)$$

где T_{max} и T_{min} – максимальное и минимальное значения температурного диапазона, а R_{max} и R_{min} – значения максимальное и минимальное значения относительной диэлектрической проницаемости для крайних точек диапазона T . На рис. 2 показана зависимость ε от T с изменением частоты.

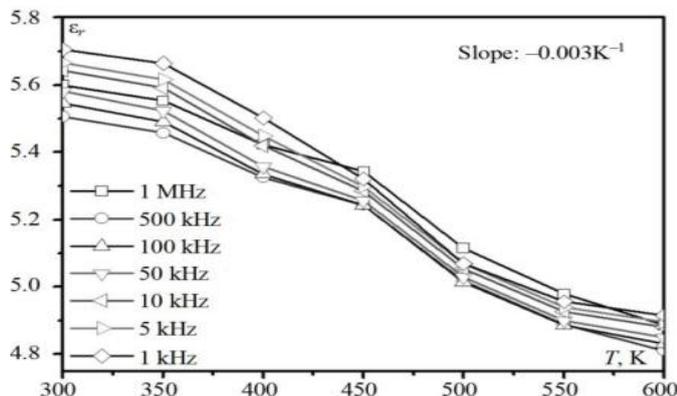


Рис. 2. Зависимость диэлектрическая проницаемость подложки печатной платы ε от текущей температуры внешней среды T с изменением частоты

Емкость линии на единицу длины с диэлектриком (C) и в воздухе (C_0) была рассчитана с учетом влияния температуры в соответствии с выражением (1). Вторичные параметры линии – задержка на единицу длины и характеристическое волновое сопротивление были рассчитаны дополнительно. На графике показаны полученные зависимости от T для каждого из параметров поперечного сечения (w , t , h , d и r) отдельно, и одновременно. Из зависимостей, когда температура отдельно влияет на каждый из параметров, видно, что ее влияние на t и d практически не приводит к изменению C , C_0 и Z , а его влияние на w приводит к их незначительному изменению. Таким образом, максимальное изменение $C(T)$ составило 0,22 %, $C_0(T)$ – 0,18 %, $t(T)$ – 0,017 %, $Z(T)$ – 0,2 %. Изменение значения h оказывает большее влияние на параметры в расчете на единицу длины. Это связано с тем, что коэффициент линейного теплового расширения подложки вдоль оси Z имеет более высокое значение. Таким образом, из-за влияния температуры только на h максимальное изменение $C(T)$ составило уже 0,93 %, $C_0(T)$ – 0,79 %, $t(T)$ – 0,07 %, $Z(T)$ – 0,86 %. Наконец, изменение в r имеет следующее основное влияние на параметры в расчете на единицу длины. Очевидно, это связано с большим значением и его значительным влиянием на емкость конструкции на единицу длины. Таким образом, из-за влияния температуры только на r максимальные изменения $C(T)$, $t(T)$ и $Z(T)$ составили 9,99 %, 4,87% и 4,88 % соответственно. Примечательно, что полученные зависимости имеют разный наклон. Например, из представленных результатов видно, что влияние температуры на w и h по-разному влияет на поведение $C(T)$, $C_0(T)$, $t(T)$ и $Z(T)$. Однако эти зависимости при одновременном влиянии T на все параметры поперечное сечение имеет максимальный наклон, который в целом определяется влиянием ϵ . Например, при одновременном влиянии T на все параметры в поперечном сечении максимальное изменение $C(T)$ составило уже 10,76 %, $C_0(T)$ – 0,6 %, $t(T)$ – 4,93 % и $Z(T)$ – 5.56 %. Примечателен идентичный характер зависимостей $C(T)$ и $C_0(T)$, $t(T)$ и противоположный характер зависимости $Z(T)$. Последнее может быть легко объяснено выражениями для вычисления τ и Z :

$$\tau = \frac{(C/C_0)^{0.5}}{v_0}, \quad Z = \frac{1}{(v_0(CC_0)^{0.5})}, \quad (3)$$

где v_0 – скорость света в вакууме. Как видно из выражения (3), прямо пропорциональна C и обратно пропорциональна C_0 , а поскольку $C(T)$

и $C_0(T)$ имеют одинаковый наклон, то наклон (T) совпадает с наклоном $C(T)$ и $C_0(T)$. Как можно отметить из выражения (4), Z обратно пропорционально произведению C и C_0 ; следовательно, зависимость $Z(T)$ меняет свой наклон в отличие от $C(T)$, $C_0(T)$ и (T). Таким образом, раздельное влияние T на w , t , h и d в довольно широком диапазоне незначительно изменяет параметры исследуемой линии на единицу длины, в то время как максимальное изменение C , C_0 и Z не превышает 1 % при изменении T в диапазоне минус 50 до 150°C. Однако отдельное влияние T на r значительно, и максимальное изменение из C , а Z составляет уже 10 %. При одновременном влиянии T на изменение всех параметров конструкции изменение параметров на единицу длины еще выше и составляет 10,76 %. Для наглядности в таблице 1 приведены рассчитанные значения w , t , h , d и r в диапазоне температур.

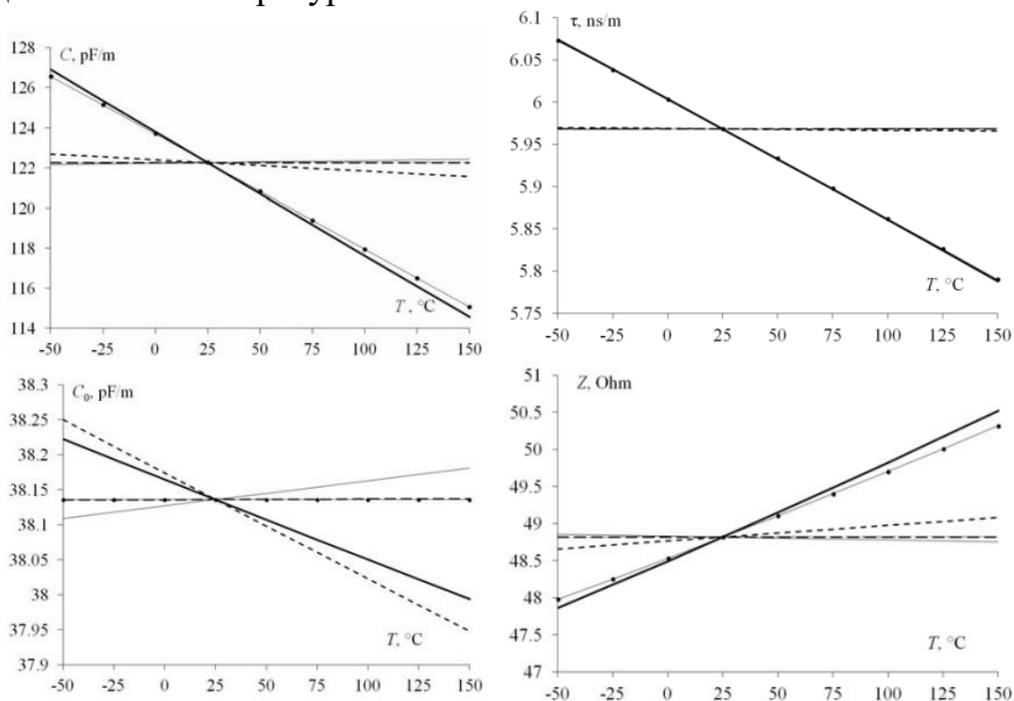


Рис. 3.

Таблица 1

Зависимость параметров линии электропередачи от температуры

$T, ^\circ\text{C}$	$w, \mu\text{m}$	$t, \mu\text{m}$	$h, \mu\text{m}$	$d, \mu\text{m}$	ϵ_r
-50	998.725	17.9771	497.375	2996.17	4.57655
-25	999.15	17.9847	498.25	2997.45	4.5177
0	999.575	17.9924	499.125	2998.72	4.45885
25	1000	18	500	3000	4.4
50	1000.42	18.0077	500.875	3001.27	4.34115
75	1000.85	18.0153	501.75	3002.55	4.2823
100	1001.28	18.023	502.625	3003.82	4.22345
125	1001.7	18.0306	503.5	3005.1	4.1646
150	1002.13	18.0382	504.375	3006.38	4.10575

Представлена математическая температурная модель и проведено ее исследование на примере одиночной микрополосковой линии. Было выявлено, что влияние температуры как по отдельности на каждый из параметров поперечного сечения, так и вместе на все параметры линии в довольно широком диапазоне оказывает существенное влияние на емкость на единицу длины и вторичные параметры исследуемой линии. Максимальное изменение емкостей на единицу длины и вторичных параметров линии с отдельным влиянием изменений температуры в диапазоне от -50 до 150°C на каждый из параметров поперечного сечения линии составляет 10% , а при одновременном воздействии на все параметры он составляет $10,76\%$. Этот эффект в большей степени определяется влиянием температуры на изменение относительной диэлектрической проницаемости. Таким образом, с учетом описанной модели было выявлено значительное влияние температуры на характеристики в расчете на единицу длины.

Однако для реальных материалов коэффициенты линейного теплового расширения и изменения относительной диэлектрической проницаемости, вызванные температурой, могут отличаться от коэффициентов, используемых в представленной модели, что повлияет на удельную емкость и вторичные параметры устройств, основанных на микрополосковых линиях. Кроме того, в этой статье мы взяли только один набор значений параметров. Между тем чувствительность различных характеристик к изменению различных параметров меняется при изменении их значений. Следовательно, можно рассмотреть и это. Таким образом, при проектировании таких устройств важно учитывать температурные условия, в которых они будут использоваться, и выполнять их детальное моделирование с учетом температуры окружающей среды, а также оптимизацию для достижения их требуемых характеристик в заданных условиях. температурный режим. Представленная температурная модель может быть использована для более сложных конструкций. Поэтому следующим шагом является оценка влияния изменения температуры, например, на меандровые линии задержки. Кроме того, целесообразно разработать математическую модель зависимости параметров от влажности воздуха, поскольку ее влияние может быть значительным. В то же время, возможно, будет полезно рассмотреть влияние этих факторов на частотные характеристики структур. Наконец, важно провести полевые эксперименты и сравнить полученные результаты измерений и моделирования.

Список литературы

1. Z.M. Gizatullin, R.M. Gizatullin, "Investigation of the immunity of computer equipment to the power-line electromagnetic interference," Journal of Communications Technology and Electronics, no. 5, 2016, pp. 546–550.

2. Q. Cui et al., "Investigation of waffle structure SCR for electrostatic discharge (ESD) protection," in IEEE International Conference on Electron Devices and Solid State Circuit (EDSSC), 2012, Bangkok, Thailand, Dec. 2012, pp. 3–5.

3. T. Weber et al., "Linear and nonlinear filters suppressing UWB pulses," IEEE Trans. on EMC, vol. 36, no. 3, 2004, pp. 423-430.4. Garcia, M. N., et al. Passive Filtering Techniques for Harmonic Distortion Reduction in Power Distribution Systems. Electric Power Components and Systems, 48(8), 2020, pp. 835-848.

4. Hua-Min Li and Chang-Ho Ra et al., "Frequency and Temperature Dependence of the Dielectric Properties of a PCB Substrate for Advanced Packaging Applications," Journal of the Korean Physical Society, no. 3, March 2009, pp. 1096–1099.

5. Агзамов, М. Ф. Моделирование системы электроснабжения для анализа условий перспективного развития отдельной территории / М. Ф. Агзамов, Э. Ф. Хакимзянов, Р. Р. Гибадуллин // Тинчуринские чтения - 2022 "Энергетика и цифровая трансформация" : Сборник статей по материалам конференции. В 3-х томах, Казань, 27–29 апреля 2022 года / Под общей редакцией Э. Ю. Абдуллазянова. Том 1. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. – С. 167-169. – EDN HLIDES.

УДК 621.3.026.5

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ПРЕДПРИЯТИЯ ЗА СЧЕТ СОВРЕМЕННЫХ УСТРОЙСТВ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

¹Сафин Алмаз Альбертович, ²Сабитов Айдар Хайдарович

^{1,2}ФГБОУ ВО «КГЭУ» г. Казань

¹almaz.safin99@mail.ru

Аннотация: целью данной работы является оптимизация работы электрической сети предприятия путем внедрения мер по компенсации реактивной мощности. Как известно, оптимизация рабочего режима современного предприятия – это необходимое условие современного рынка труда, и позволяет значительно сократить затраты на

производство продукции и уменьшить расходы на материал и энергию на единицу изделия, позволяя значительно сократить расходы на производство продукции и удельный объем расходов на материал и энергию на единицу изделия, что делает ее куда дешевле, а следовательно, конкурентоспособнее на современном рынке.

Ключевые слова. Тиристорные установки, снижение потерь, компенсация реактивной мощности, нелинейная нагрузка.

OPTIMIZATION OF OPERATING MODES OF THE ENTERPRISE DUE TO MODERN REACTIVE POWER COMPENSATION DEVICES

¹Safin Almaz Albertovich, ²Sabitov Aidar Haidarovich
^{1,2}FGBOU VO "KGEU" Kazan

Abstract: the purpose of this work is to optimize the operation of the electric network of the enterprise by introducing a measure of reactive power compensation. It is well known that the optimization of the operating mode of modern enterprises is a necessary condition in the modern labor market and can significantly reduce the costs required for the production of products, as well as the specific consumption of materials and energy per unit of production, making it much cheaper and, therefore, more competitive in the modern world.

Keywords: thyristor installations, loss reduction, reactive power compensation, non-linear load.

В заводских условиях, таких как завод обработки металлов, каждый цех оснащен собственным оборудованием, таким как индукционные электропечи и сварочные аппараты, токарные, фрезерные и другие станки. В дополнение к печи, вышеупомянутые машины имеют трехфазные электродвигатели, которые потребляют не только активную, но и реактивную мощность, в частности индукционную.

Минимизация потерь электроэнергии – одна из главнейших целей сбережения энергии в российском энергетическом секторе[1]. Современная промышленность все чаще рассматривает этот вопрос как прямую возможность снизить экономические затраты и значительно улучшить технико-экономические показатели системы электроснабжения.

Главной и более действенной мерой по понижению технических потерь электроэнергии является компенсация реактивной мощности в электросети и у потребителей [2].

На предприятиях снижение потребления реактивной мощности может быть достигнута двумя путями:

1) Естественные меры – сущность их состоит в том, чтобы ограничить воздействия приемника на сеть путем влияния на сам приемник;

2) Установка специальных средств для компенсации реактивной мощности в определенных точках электроснабжения.

Использование технических устройств для компенсации реактивной

мощности требует технико-экономической оценки по причине того, что устройства имеют высокую стоимость.

На данный момент наблюдается повышение количества нелинейных нагрузок на многих промышленных предприятиях. К этим нагрузкам относятся инверторные приводы, источники питания и электроустановки с фазовым управлением. Нелинейные нагрузки увеличивают гармоники сетевого напряжения, что влечет за собой изменение фазового углового угла. Для снижения гармоник и стабилизации сетевого напряжения необходимо использовать систему непрерывной динамической компенсации в сочетании с тиристорно-конденсаторной системой [3].

Относительно новое решение для компенсации реактивной мощности:

– Тиристорно-управляемый реактор-это простая конструкция, основанная на конденсаторной батарее, фильтре гармоник и тиристорно-управляемом реакторе индуктивности. Благодаря включению в схему управляемой индуктивности, избыточная реактивная мощность, генерируемая в конденсаторной батарее, может быть ослаблена (при необходимости), что значительно снижает риск негативных последствий из-за чрезмерной компенсации;

– Устройства компенсации реактивной мощности с управляемыми тиристорами реакторами *TSC-TCR* и конденсаторными батареями-«комбинированные», т.е. индуктивность батареи и реактора в этих устройствах регулируется вентилем;

– Целевой системой для последовательной (продольной) компенсации является *TCSC (Thyristor Controlled Series Compensator)*;

– Самокоммутирующиеся преобразователи с полупроводниковыми схемами управления (*IGBT, IGCT*) [4], регуляторы потока *UPFC* и динамические регенераторы напряжения *DVR* обеспечивают компенсацию реактивной мощности с индуктивным или емкостным током и плавную оперативную реакцию на изменения нагрузки сети.

Это дорогие, современные твердотельные компенсаторы, ориентированные на генерацию или поглощение реактивной мощности в ответ на текущий спрос, и используются в сетях с нелинейными и скачкообразными нагрузками с жесткими требованиями к стабильности сети.

Поэтому можно заключить, что использование реактивных компенсаторов – неотъемлемая часть процесса электропередачи. Наиболее часто используются конденсаторные системы, однако существуют также тиристорные системы, которые выполняют те же функции, что и конденсаторные [5].

По мере развития науки будут появляться все новые и новые методы компенсации реактивной мощности.

Список литературы

1. Анчарова Т. В., Рашевская М. А., Стебунова Е. Д. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений: учебник. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Форум: ИНФА-М, 2020. 415 с.

2. Кузнецов А. В., Ребровская Д. А. Уточнение модели оценки снижения потерь мощности в сетевой организации при компенсации реактивной мощности в сети потребителя // Промышленная энергетика 2019, №10. С.31- 36.

3. Борисовский, А. П. Современные средства компенсации реактивной мощности / А. П. Борисовский, В. В. Литвинов. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2019. — № 26 (264). — С. 61-63. — URL: <https://moluch.ru/archive/264/61163/> (дата обращения: 24.05.2023).

4. Карчин В.В., Сидорова В.Т., Федотов А.И. Компенсация реактивной мощности в сельских распределительных сетях 0,4 кВ для улучшения качества электроэнергии. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2015;(5-6):101-106. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2015-0-5-6-101-106> (дата обращения 24.05.2023).

5. Балабанов, А. М. Анализ эффективности систем СТАТКОМ в задачах повышения качества электроэнергии горнодобывающего предприятия / А. М. Балабанов, С. В. Митрофанов // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2023. – Т. 15, № 1(57). – С. 68-79. – EDN BYIVEL.

УДК 620.91:339.9

РЕГИОНАЛЬНЫЙ АСПЕКТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ФОНЕ НОВЫХ ВНЕШНЕПОЛИТИЧЕСКИХ ВЫЗОВОВ: НА ПРИМЕРЕ ЭНЕРГОПРЕДПРИЯТИЙ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

Себаштиау Гарсия Душ Сантуш
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,
г.Казань
garcias Sebastiao18@gmail.com

Аннотация: в статье рассматриваются основные проблемы энергетической безопасности, характерные для России в целом и специфичные для конкретного

региона – Республики Татарстан, а также перспективы их решения в контексте управления производственными рисками на энергетических предприятиях.

Ключевые слова: энергетическая безопасность региона, управление рисками, энергетическая политика, безопасность труда, модернизация, импортозамещение, топливно-энергетический комплекс.

REGIONAL ASPECT OF ENERGY SECURITY AGAINST THE BACKGROUND OF NEW FOREIGN POLICY CHALLENGES: ON THE EXAMPLE OF ENERGY ENTERPRISES OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN

Sebastiao Garcia Dos Santos
FSBEI HE KSPEU, Kazan, Russia
garciasestiao18@gmail.com

Abstract: the article discusses the main problems of energy security characteristic of Russia as a whole and specific to a particular region – the Republic of Tatarstan, as well as the prospects for their solution in the context of industrial risk management at energy enterprises.

Keywords: energy security of the region, risk management, energy policy, labor safety, modernization, import substitution, fuel and energy complex.

Энергетическая безопасность – достаточно широкое понятие. Согласно доктрине энергетической безопасности Российской Федерации, это «состояние защищенности экономики и населения страны от угроз национальной безопасности в сфере энергетики, при котором обеспечивается выполнение предусмотренных законодательством Российской Федерации требований к топливно- и энергоснабжению потребителей, а также выполнение экспортных контрактов и международных обязательств Российской Федерации» [1].

Энергобезопасность считают ключевым компонентом национальной безопасности государства. Национальный топливно-энергетический комплекс приносит 40 % от всех инвестиций в экономику России. Часто энергобезопасность ошибочно ассоциируют с уровнем обеспеченности страны энергоресурсами. В то время как основная проблематика этой сферы заключается в обеспечении оптимальных с точки зрения производственной безопасности условий труда.

Среди основных рисков для энергетики можно выделить эксплуатацию и ремонт энергоблоков на иностранных парогазовых установках (ПГУ) при условии дефицита импортных запчастей или отсутствия возможности сервисного обслуживания. В частности, принятый Евросоюзом пятый пакет санкций включает запрет на поставку в Россию запчастей для паровых турбин и котлов. Стоит отметить что с 2000-х гг. всего было привезено в Россию около 100 мощных газовых турбин,

основными производителями которых являются *Siemens, Ansaldo, General Electric, Mitsubishi*. Совокупная мощность ТЭС, на которых установлено иностранное оборудование, составляет около 35 ГВт, что соответствует 20% от мощности всех ТЭС и это весьма значимый показатель.

Требуют скорейшего решения и вопросы обслуживания автоматических систем управления технологическими процессами ТЭС, проблема увеличения стоимости проектов модернизации старых ТЭС и связанные с ними убытки компаний, облагаемых штрафами за задержку работ по модернизации и запуска объектов.

Энергетический потенциал генерирующих компаний Республики Татарстан за последние годы значительно возрос благодаря ускоренным процессам модернизации. Многие проекты ещё не завершены и на них уже установлено иностранное оборудование, которое в текущей политической ситуации создаёт угрозу энергетической безопасности региона.

Обратившись к стратегии развития топливно-энергетического комплекса Татарстана до 2030 г., мы можем выделить конкурентоспособность и обеспечение устойчивого развития на базе новых современных технологий как приоритет в электроэнергетике [2]. Поэтому энергетические предприятия Татарстана, независимые от крупных федеральных холдингов, выбрали путь развития через внедрение передовых парогазовых технологий с использованием в том числе иностранного оборудования.

Например, в Казани компания «Татэнерго» с 2014 по 2018 г. по договорам поставки мощности ввела ПГУ на трёх ТЭЦ, общей мощностью около 870 МВт, на всех - газовые турбины General Electric, которая ещё в марте объявила о приостановке деятельности в России. Казанская ТЭЦ-3 является крупнейшей в России установкой, обладает мощностью 405,6 МВт и имеет один из лучших показателей удельных расходов условного топлива (УРУТ) на отпуск электроэнергии в Татарстане и в России в целом - 217 г/кВт·ч [3].

ПГУ-ТЭС на «Нижнекамскнефтехиме» ещё один энергопроект Татарстана, столкнувшийся с влиянием санкций. Партнером проекта выступила немецкая компания Siemens, вскоре объявившая о приостановке поставок и работы с предприятиями в России. Была произведена совместная настройка газотурбинных и паротурбинной установок и достигнута мощность 500 МВт, а по данным Минпромторга Татарстана в полном объеме осуществилась поставка основного и вспомогательного оборудования [4].

Однако, есть пример ООО "Нижнекамской ТЭЦ" которая избежала санкционного влияния заключив долгосрочный контракт на поставку

основного оборудования средней мощности с ПАО "Силовые машины", крупнейшим российским производителем и поставщиком в области энергомашиностроения.

Продемонстрировала независимость от внешних поставщиков и одна из крупнейших теплоснабжающих организаций столицы Татарстана – компания «Казэнерго», использующая большую часть оборудования российского производства (трубы, запорная арматура, котлы, теплоизоляция) [5].

Значимым событием в энергетической политике Республики Татарстан стал Международный форум по энергетике и энергоресурсоэффективности «Энергофорум-2022». Среди авторов перспективных проектов, адаптированных новым внешнеполитическим вызовам, можно отметить:

– «Казанское моторостроительное производственное объединение» (КМПО) – собственная разработка и производство газотурбинной энергетической установки ГТЭУ «Волга».

– «Сетевая компания» - Ильшата Фардиева занимается установкой электрозаправочных станций для электрокаров.

– Сотрудничество «Татнефть» и «Рэкоинвест» по производству ветроэнергетических установок и строительству ветроэнергетических станций на территории республики по технологии и при участии оборудования HarbinElectricCorporationWindPower [6].

Таким образом, современные внешнеполитические вызовы выступают в качестве стимулирующих факторов развития собственных технологий внутри энергетической системы государства в целом и отдельных регионов в частности. Управление производственными рисками - процесс обучения и адаптации к экономическим, политическим, социальным, экологическим и другим изменениям.

Внимание к достижениям в энергетической отрасли и их поощрение со стороны государства, создание и развитие конкурентоспособного сообщества отечественных специалистов в области производства энергетического оборудования, материалов, запчастей, программного обеспечения закладывает основу для укрепления энергобезопасности на всех уровнях.

Список литературы

1. Утверждена Доктрина энергетической безопасности России. - Текст: электронный // Сайт президента России: официальный сайт. – 2019.

-13 мая. - URL: <http://www.kremlin.ru/acts/news/60516> (дата обращения: 01.05.2023)

2. Об утверждении стратегии развития топливно-энергетического комплекса Республики Татарстан на период до 2030 г. -Текст: электронный // Информационная компания кодекс: [сайт]. - 2015. - 17 июн. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/428595087> (дата обращения: 01.05.2023)

3. Турбины пока под парами: что ждет энергопроекты Татарстана в эпоху санкций? - Текст: электронный // Татар-информ: [сайт]. -2022. - 18 апр. – URL: <https://www.tatar-inform.ru/news/da-budet-svet-cto-ozidaet-energoproekty-v-tatarstane-v-usloviyax-sankcii-5862808> (дата обращения: 01.05.2023)

4. На Нижнекамскнефтехиме начались испытания паротурбинной установки ПГУ-ТЭС. – Текст: электронный // ПАО «Нижнекамскнефтехим»: [сайт]. -2022. - 04 мар. - URL: www.nknh.ru/pressroom/news/nanizhnekamskneftekhime-nachalis-ispytaniya-paroturbinnoy-ustanovki-pgu-tes/ (дата обращения: 01.05.2023)

5. В «Казэнерго» ежегодный эффект от внедрения энергосберегающих мероприятий составляет 12–14 млн рублей. – Текст: электронный // Watermagazine.ru: [сайт]. 2019.- 03 сен. – URL: <https://watermagazine.ru/novosti/teplosnabzhenie/22956-v-kazenergo-ezhegodnyj-effekt-ot-vnedreniya-energoberegayushchikh-meropriyatij-sostavlyayet-12-14-mln-rub.html> (дата обращения: 01.05.2023)

6. Энергофорум-2022: «Мы, конечно, зависим от импортного оборудования, и быстро не перейдем». – Текст: электронный // Бизнес Online [сайт]. 2022. - 20 апр. – URL:<https://www.business-gazeta.ru/article/547424> (дата обращения: 01.05.2023)

УДК 615.315.1:621.315.17

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ, МЕТАЛЛИЧЕСКИХ И КОМПОЗИТНЫХ ОПОР ЛЭП 110 КВ С ПРИМЕНЕНИЕМ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ SOLIDWORKS

Сергеев Егор Андреевич
ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», г. Москва, Российская Федерация
SergeevYegA@mpei.ru

Аннотация: в данной статье рассматривается проблема выбора определенных типов опор ЛЭП 110 кВ в зависимости от различных ветровых нагрузок. Основной целью исследования является оценка надежности композитных опор ЛЭП и сравнение их

с другими типами опор. Рассмотрены преимущества проведения виртуальных испытаний с использованием САПР. Представлен метод, состоящий из создания трехмерных моделей на основе реальных чертежей и типовых проектов, задания нагрузок и проведения статистического исследования. На основании результатов расчета напряжений, перемещений и коэффициентов запаса прочности был проведен сравнительный анализ надежности железобетонных, металлических и композитных опор, включающий в себя обоснование полученных результатов и рекомендации по использованию определенных типов опор в зависимости от условий эксплуатации.

Ключевые слова: композитные опоры ЛЭП, железобетонные опоры ЛЭП, металлические опоры ЛЭП, композитные материалы, САПР, SolidWorks, 3D-моделирование, ветровая нагрузка.

COMPARATIVE ANALYSIS OF RELIABILITY OF REINFORCED CONCRETE, STEEL AND COMPOSITE TOWERS OF 110 KV TRANSMISSION LINES SUPPORTS USING SOLIDWORKSCAD SOFTWARE

Sergeev Egor Andreevich
NRU "MPEI", Moscow, Russian Federation
SergeevYegA@mpei.ru

Abstract: this article deals with the problem of selecting certain types of 110 kV transmission line supports depending on various wind loads. The main purpose of the study is to assess the reliability of composite transmission line supports and to compare them with other types of supports. The advantages of conducting virtual tests using CAD are considered. A method consisting of creation of three-dimensional models on the basis of real drawings and standard designs, setting loads and conducting statistical research is presented. Based on the results of stress, displacement and factor of safety (FOS) calculations, a comparative analysis of the reliability of reinforced concrete, metal and composite supports has been made, including the substantiation of the results obtained and recommendations for the use of certain types of supports depending on the operating conditions.

Keywords: composite transmission line, reinforced concrete transmission line, steel transmission line, composite materials, CAD, SolidWorks, 3D-modeling, wind load.

Введение. Линия электропередач является одним из ключевых компонентов электрической сети. Сильный ветер может являться одной из причин разрушения опор ЛЭП, что приводит к авариям в электросети и к последующему отключению линии. При проектировании линий электропередач в районах со сложными климатическими условиями можно применить композитные опоры ЛЭП, к примеру ПК110-1. Они имеют ряд преимуществ перед традиционными железобетонными или металлическими опорами, такие как прочность, масса, диэлектрические свойства, долговечность, экологичность и гибкость. Благодаря последнему преимуществу, стойки способны выдержать большие ветровые и гололедные нагрузки [5], однако их надёжность требует дальнейшего исследования.

Согласно Правилам устройства электроустановок, обязательным условием расчета воздушной линии электропередач является учет ветрового давления [1]. Подобный расчет может быть затруднителен ввиду отсутствия наблюдений за силой ветра в том или ином районе, а также сложностью вычислений, связанных с большим количеством действующих на опору сил.

В настоящее время можно выделить два способа проведения исследований и испытаний опор: виртуальный и реальный. Последний имеет ряд существенных недостатков, а именно: затраты по времени, финансам и, более того, они могут быть опасны для человека. Несмотря на это, их весомым преимуществом является получение точных значений разрушающих нагрузок. В свою очередь, виртуальное исследование и проведение испытаний объектов с применением систем автоматизированного проектирования (САПР) постепенно набирает популярность на российских производствах. Это обусловлено тем, что 3D- моделирование позволяет минимизировать затраты финансовых средств, времени, риски для жизни людей, а также дать исчерпывающее представление о реальной работе оборудования, но подобная модель может предоставить только приближенное значение разрушающей нагрузки [4].

Целью настоящей работы является анализ надежности композитных опор ЛЭП 110 кВ путем проведения виртуальных испытаний в Программном комплексе SolidWorks, а также сравнение результатов исследования с характеристиками других типов опор.

Создание расчетных моделей. На первом этапе необходимо спроектировать геометрические модели (CAD) опор ПК110-1, ПМ110-1 и ПБ110-1 в *SolidWorks*. Полученные модели должны быть максимально приближены к реальным объектам. Для этого необходимо осуществлять моделирование по составным объектам опоры ЛЭП, а именно: стойка, траверса, изоляторы, хомуты, фундамент и т.д. После чего для проведения моделирования, требуется настроить механические характеристики материалов конструкций (модуль упругости E при изгибе, разрушающее напряжение при растяжении и сжатии, объемный вес и т.п.). Характеристики материала, которые были применены для опоры ПК110-1 взяты из технических характеристик компании ЗАО «Феникс-88» [3]. В результате мы получаем модель (CAD), каждый из элементов которой обладает своими механическими характеристиками, необходимыми для проведения исследования. Смоделированные опоры ПК110-1, ПМ110-1 и ПБ110-1 представлены на рис. 1.



Рис. 1. Геометрические модели опор ПК110-1, ПБ110-1 и ПМ110-1

Следующий шаг в процессе создания расчетной модели – дискретизация объема, а точнее создание сетки, состоящей из треугольников [2]. Данная сетка необходима для того, чтобы преобразовать геометрическую модель (CAD) в математическую модель (CAE). Статическое исследование и получение результатов. Следующим этапом исследования, является моделирование нагрузок в программном расширении SolidWorks Simulation. В первую очередь, настраиваем фундамент с помощью функции «Зафиксированная геометрия» во вкладке «Крепления» и устанавливаем исследуемый тип опоры ЛЭП на глубину согласно техническим требованиям. Затем во вкладке «Внешние нагрузки» задается воздушный поток с помощью функции «Давление» в Па, значение которого будет соответствовать одному из семи ветровых районов согласно ПУЭ-7 п.2.38.41, а именно: 400 Па, 500 Па, 650 Па, 800 Па, 1000 Па, 1250 Па и 1500 Па [1]. С помощью функции «Сила» задаются нагрузки проводов и грозотроса ЛЭП. В результате проведения статического исследования получаем значение перемещения, напряжения Мизеса и коэффициента запаса прочности. Пример моделирования расчетных нагрузок для опоры ПК110-1 при давлении в 400 Па представлен на рис. 2.

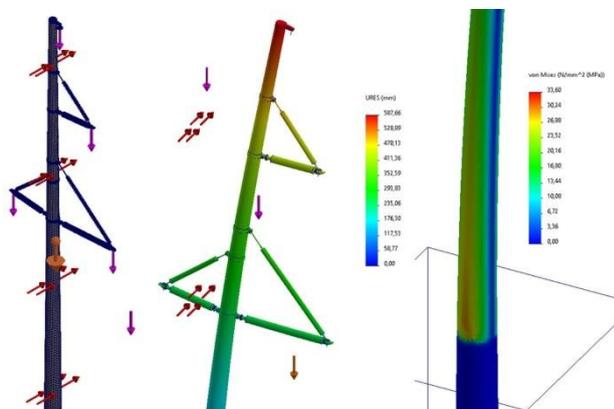


Рис. 2. Модель нагрузок ПК110-1. URES (мм) – перемещение; von Mises (Н/мм² (МПа)) – напряжение Мизеса

Таким образом, необходимо сравнить перемещения, напряжения Мизеса и коэффициент запаса прочности железобетонной, металлической и композитной опоры для каждого нормативного значения давления. Полученные результаты сведены в таблице 1. График зависимости коэффициентов запасов прочности от ветровой нагрузки для выбранных типов опор представлен на рис. 3.

Таблица 1

Результаты проведенных исследований

Ветровое давление, Па (м/с)	Напряжение Мизеса, Н/мм ² (МПа)			Максимальное перемещение, мм			Коэффициент запаса прочности		
	ПК110-1	ПБ110-1	ПМ110-1	ПК110-1	ПБ110-1	ПМ110-1	ПК110-1	ПБ110-1	ПМ110-1
400 (25)	33,60	26,12	27,95	679,61	18,11	86,69	6,11	1,73	7,40
500 (29)	40,87	31,70	32,07	823,14	22,64	97,83	5,01	1,42	6,31
650 (32)	52,10	40,06	40,42	1 047,12	29,43	116,22	3,94	1,12	5,12
800 (36)	63,36	48,42	49,21	1 269,23	36,22	135,91	3,23	0,93	4,20
1000 (40)	78,11	59,62	60,92	1 566,82	54,78	163,37	2,62	0,75	3,39
1250 (45)	96,01	73,52	75,57	1 940,64	56,61	198,82	2,13	0,61	2,74
1500 (49)	114,71	87,44	90,21	2 310,95	67,93	234,99	1,79	0,51	2,29

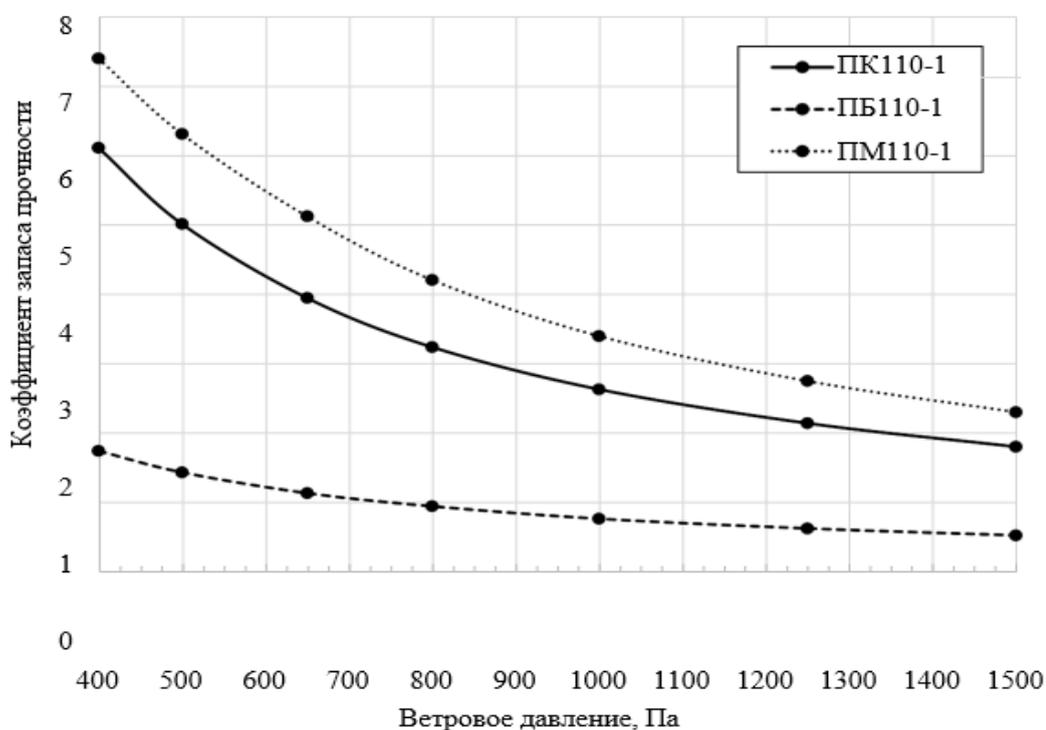


Рис. 3. Зависимость коэффициента запаса прочности опор ПМ110-1, ПК110-1 и ПБ110-1 от значения ветрового давления (Па)

В ходе исследования, установлено, что большей надежностью обладают металлические опоры ЛЭП типа ПМ110-1, нежели композитные ПК110-1 и железобетонные ПБ110-1.

Наибольшая надежность металлической опоры обусловлена тем, что она изготавливается из сталей марок С245 и С345, которые обладают большим модулем упругости и пределом прочности, чем армирующий и связующий компонент (сетка из стекловолокна и полиэфирная смола) композитной опоры. Однако, основным преимуществом последней является ее малый снаряжённый вес, который составляет не более 1,6 тонн в то время, как снаряженный вес многогранной металлической опоры составляет порядка 2,5 тонн. Более того, следует отметить, что композитная опора способна выдержать большие отклонения крайней точки, что свидетельствует об эластичности используемого материала.

Наименьшей надежностью обладают железобетонные опоры потому, что они имеют ограниченную гибкость и не могут адаптироваться к изменениям нагрузки или напряжениям, что может привести к их разрушению. Более того, необходимо учитывать такую особенность железобетона, как образование трещин, которая еще более ухудшает его прочностные характеристики. Фактор образования трещин не учитывался при моделировании нагрузок.

Выводы. По результатам проведенных расчетов можно сделать вывод, что применение многогранных опор ПМ110-1 и композитных опор ПК110-1 более целесообразно, чем железобетонных опор ПБ110-1. В свою очередь, выбор между металлическими и композитными опорами будет зависеть от конкретных требований проекта и условий эксплуатации опоры. Композитная может использоваться в тех проектах, где важна коррозионная стойкость, малый вес и удобство монтажа, а металлическая – в проектах, где требуется высокая надежность и удобство эксплуатации.

Таким образом, данный метод с использованием системы автоматизированного проектирования *SolidWorks* и программного расширения *SolidWorks Simulation* позволяет с минимальным рисками и затратами ресурсов исследовать различные типы опор воздушных линий электропередач и оценить воздействие на них нормативной ветровой нагрузки. Используемый метод может применяться с целью более точного и технически обоснованного выбора типа прокладываемых опор воздушных линий электропередач.

Список литературы

1. Правила устройства электроустановок (ПУЭ. 7-е изд.). -М.: Изд-во НЦ ЭНАС. 2003. – 464 с.

2. Алямовский А.А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation. М.: ДМК Пресс. 2010. 464 с., ил. (Серия «Проектирование»).

3. Каталог композитных опор ЗАО «Феникс-88» [сайт]. URL: http://www.fenix88.nsk.su/files/kom_opor/opori_1ep2014.pdf.

4. Чайкина К.А., Павленко П.А., Делков А.В., Абдуллаев М.У. Роль виртуальных испытаний в производстве современного энергетического оборудования // Решеневские чтения. 2021. С. 218–219.

5. Кожагелди Б.Ж., Жанпейсова А.О., Кушумкулов А.С., Абзалов Ж.М. Сравнительный анализ железобетонных опор с композитными опорами ЛЭП // Вестник КазАТК № 1 (100). 2017. С. 28–34.

УДК: 621.31

СПОСОБЫ БЕСКОНТАКТНОЙ ПЕРЕДАЧИ ЭНЕРГИИ

¹Сибагатова Ильсияр Габдрахимовна, ²Гибадуллин Рамил Рифатович
^{1,2}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Российская Федерация
¹Shaihutdinova.IL@yandex.ru, ²gibadullin.rr90@gmail.com

Аннотация: в наше время вопросы энергоэффективности и экологичности стали особенно актуальными. Поэтому, развитие технологий бесконтактной передачи энергии является одним из самых перспективных направлений в науке и промышленности. В этой статье мы рассмотрим существующие способы бесконтактной передачи энергии, а также новые технологии исследований в этой области. Мы проанализируем преимущества и недостатки каждого метода, а также возможные области применения.

Ключевые слова: бесконтактная передача энергии, *RFID*, электромагнитная индукция, беспроводная зарядка, электрическая энергия.

METHODS OF CONTACTLESS ENERGY TRANSFER

¹Sibagatova I. G., ²Gibadullin R. R.
^{1,2}FSBEI HE KSPEU, Kazan

Abstract: nowadays, the issues of energy efficiency and environmental friendliness have become especially relevant. Therefore, the development of contactless energy transfer technologies is one of the most promising areas in science and industry. In this article we will look at the existing methods of contactless energy transfer, as well as new research technologies in this area. We will analyze the advantages and disadvantages of each method, as well as possible applications.

Keywords: contactless power transmission, *RFID*, electromagnetic induction, wireless charging, electrical energy.

Бесконтактная передача энергии является одной из самых инновационных технологий нашего времени. Она позволяет передавать электрическую энергию без использования проводов и кабелей, что делает ее более удобной и безопасной в использовании. Бесконтактная передача

энергии используется в различных областях, таких как медицина, промышленность и бытовая техника. Эта технология основана на концепции переноса электромагнитной энергии от источника к приемнику через воздух или другие материалы.

Существует два способа бесконтактной передачи энергии: электромагнитная индукция и радиочастотная идентификация (RFID). Из этих двух методов, электромагнитная индукция является наиболее распространенным. Его используют в Qi и других стандартах беспроводной зарядки. При этом методе электрическая энергия передается через магнитное поле между двумя катушками: одна из катушек подключена к источнику питания, а другая работает как приемник. Когда переменный ток проходит через первую катушку (источник), он создает изменяющееся магнитное поле, которое связывается с другой катушкой (приемником), создавая ток в ее обмотке.

Благодаря методу электромагнитной индукции бесконтактной передачи энергии, пользователи могут заряжать свои смартфоны, планшеты и другие гаджеты без использования проводов. Эта технология также используется в медицине для беспроводной зарядки имплантируемых устройств, таких как кардиостимуляторы и дефибрилляторы. Это позволяет избежать необходимости частого хирургического вмешательства, чтобы заменить или подзарядить устройство.

В производстве автомобилей технология бесконтактной передачи энергии используется для быстрой и эффективной зарядки электромобилей. Заправочные станции с бесконтактным зарядным устройством уже начинают появляться по всему миру.

RFID-метод использует радиоволны для передачи энергии от передатчика к приемнику (рис. 1). Система RFID состоит из двух основных компонентов - транспондера (RFID-метка) и считывателя. RFID-метка представляет собой небольшую электронную метку, которая содержит хранимую информацию и антенну для приема и передачи радиоволн. Эта метка может быть присоединена к различным объектам и быть использована для их идентификации. RFID-метод широко используется в различных сферах деятельности, включая логистику, транспорт, медицину, военную промышленность и другие. В логистике, например, RFID-метки используются для идентификации товаров и контроля их перемещения в складских помещениях. В медицине RFID-метод используется для идентификации пациентов и медицинского оборудования, а также для контроля потребления медикаментов.

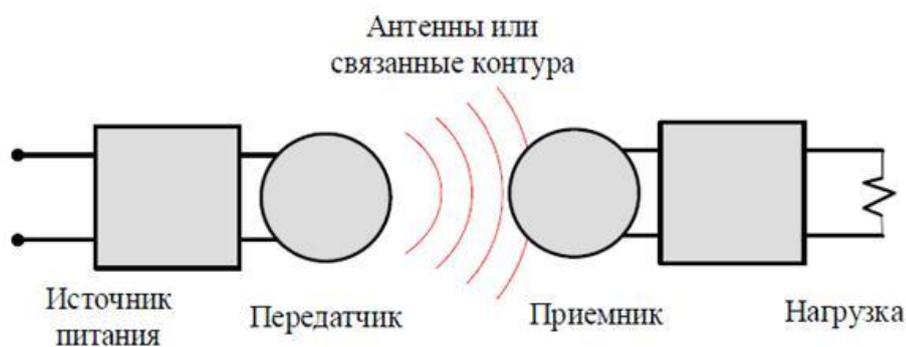


Рис. 1. Принцип передачи энергии через катушки

Существует также метод микроволновой передачи. Этот метод основан на использовании высокочастотных волн для передачи энергии через воздух или другие непрозрачные материалы. Метод может быть использован для передачи больших объемов энергии на дальние расстояния и часто используется в солнечной энергетике.

Бесконтактная передача энергии имеет множество преимуществ. Она позволяет уменьшить количество проводов и кабелей, что делает систему более компактной и портативной. Также она повышает безопасность использования, поскольку исключается контакт с электрическими проводами. Эта технология может быть особенно полезна для медицинских устройств, таких как импланты и протезы, которые требуют регулярной зарядки.

Однако есть и некоторые недостатки этой технологии. Во-первых, процесс передачи энергии через воздух не очень эффективен, что может привести к потерям энергии и нагреванию приемника. Во-вторых, расстояние между источником и приемником должно быть достаточно маленьким для обеспечения достаточной передачи мощности.

Тем не менее бесконтактная передача энергии является перспективной технологией для будущего развития различных отраслей промышленности и бытовой техники. Она позволяет упростить и облегчить жизнь людей, а также снизить вредное воздействие на окружающую среду, связанное с производством проводов и кабелей!

Список литературы

1. Александров, Георгий Николаевич. «Передача электрической энергии» / Г. Н. Александров; Санкт-Петербургский государственный политехнический университет. – Санкт-Петербург: Изд-во Политехн. ун-та, 2007 (Санкт-Петербург, 2020).

2. Герасимов Владимир Александрович, Кувшинов Геннадий Евграфович, Копылов Виталий Викторович, Филоженко Алексей Юрьевич, Чепурин Павел Игоревич «Результаты экспериментального исследования системы бесконтактной передачи электроэнергии» // Вологдинские чтения. 2012. № 80.

3. Горский Олег Владимирович Исследование базовой модели индуктивно связанных контуров бесконтактного зарядного устройства имплантируемых систем // Информационно-управляющие системы. 2013. № 6 (67).

4. Стребков Д. С. «Источники и способы передачи энергии – глобальные решения» // Окружающая среда и энерговедение. 2021. № 1.

5. Цыганков А. В. «Способы передачи электроэнергии беспроводными методами» / А. В. Цыганков, Б. Е. Кивенко, Д. К. Березовский. – Текст: непосредственный // Молодой ученый. – 2020. – № 42 (332). – С. 19-23.

УДК 621.3

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЕМ 35 кВ И ВЫШЕ ЗА СЧЕТ ЗАЗЕМЛЕНИЯ НЕЙТРАЛИ И ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ КОМПЕНСАЦИИ ЁМКОСТНЫХ ТОКОВ

¹Студеникин Андрей Сергеевич,

²Сурикова Ольга Павловна

^{1,2} ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

²As2003andr75@gmail.com, ³Lelyarads07.14@gmail.com

Аннотация: в данной статье рассматриваются способы повышения надежности электроснабжения. Системы электроснабжения напряжением 35 кВ и выше – это критически важные системы, используемые в различных отраслях, включая промышленность, электроэнергетику, транспорт и коммунальные услуги. Надежность таких систем является ключевым фактором, определяющим эффективность и безопасность работы как отдельных предприятий, так и всей экономики страны в целом. Одним из способов повышения надежности систем электроснабжения напряжением 35 кВ и выше является заземление нейтрали. А также исследуется системы компенсации ёмкостных токов.

Ключевые слова: надежность, заземление нейтрали, система компенсации, емкостные токи, трехфазная сеть, конденсаторы, система электроснабжения, эффективность.

INCREASING THE RELIABILITY OF POWER SUPPLY SYSTEMS WITH A VOLTAGE OF 35 kV AND HIGHER DUE TO GROUNDING OF THE NEUTRAL AND THE INTRODUCTION OF A CAPACITATIVE CURRENT COMPENSATION SYSTEM

¹Studenikin Andrey Sergeevich, ²Surikova Olga Pavlovna

^{1,2}FSBEI HE «KSPEU», Kazan

²As2003andr75@gmail.com, ³Lelyarads07.14@gmail.com

Abstract: this article discusses ways to improve the reliability of power supply. Power systems of 35 kV and above are mission-critical systems used in a variety of industries, including industry, power, transportation, and utilities. The reliability of such systems is a key factor determining the efficiency and safety of both individual enterprises and the entire economy of the country as a whole. One of the ways to improve the reliability of power supply systems with a voltage of 35 kV and above is neutral grounding. It also investigates systems for compensating capacitive currents.

Keywords: reliability, neutral grounding, compensation system, capacitive currents, three-phase network, capacitors, power supply system, efficiency.

Одной из основных проблем, связанных с системами электроснабжения, является несимметричность нагрузки, обусловленная различными факторами, такими как неодинаковый размер и характеристики потребителей, наличие нелинейных нагрузок и т.д. Несимметричность нагрузки приводит к неодинаковому распределению напряжения в трехфазной сети, что может вызвать перенапряжения и перегрузки оборудования, а также привести к возникновению повреждений и аварий.

Для повышения надежности систем электроснабжения напряжением 35 кВ и выше рекомендуется использовать систему заземления нейтрали и систему компенсации ёмкостных токов [1].

Система заземления нейтрали - это основной элемент электрической сети, который используется для снижения риска возникновения электрических поражений и повреждений оборудования, а также для повышения надежности системы электроснабжения.

В трехфазной электрической сети, один из проводников является нейтральным проводником. При заземлении нейтрали, нейтральный проводник соединяется с заземленным электродом, который обычно закладывается в землю. При этом, если на корпус оборудования попадает напряжение, то ток проходит по заземленному проводнику в землю, а не через тело человека, что позволяет избежать электрического поражения [2].

Система заземления нейтрали также помогает уменьшить несимметричность нагрузки в трехфазной сети. Если одна из фазовых нагрузок становится меньше, то ток, проходящий через нейтральный

проводник, сокращается, а это, в свою очередь, позволяет уравнять напряжение во всех трех фазах. Это позволяет уменьшить нагрузку на оборудование и снизить риск его повреждения.

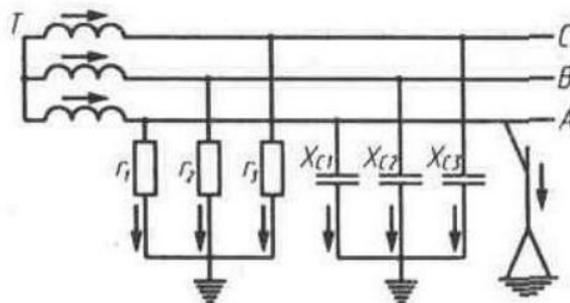


Рис. 1. Схема сети трехфазного тока с изолированной нейтралью

Использование системы заземления нейтрали также имеет преимущество в предотвращении возникновения аварийных ситуаций. Если ток не может идти через нейтральный проводник, он начинает идти через заземленный корпус оборудования [3].

Одним из недостатков системы заземления нейтрали является возникновение ёмкостных токов, которые могут приводить к скачкам напряжения и перегрузкам электрооборудования. Для решения этой проблемы используется система компенсации ёмкостных токов. Она состоит из компенсирующих контуров, которые позволяют компенсировать ёмкостные токи, возникающие в системе заземления нейтрали. Это позволяет решить проблему скачков напряжения и перегрузок, что повышает надежность системы электроснабжения. Компенсация емкостных токов осуществляется с помощью установки ДГР (дугогасящий реактор) [4].

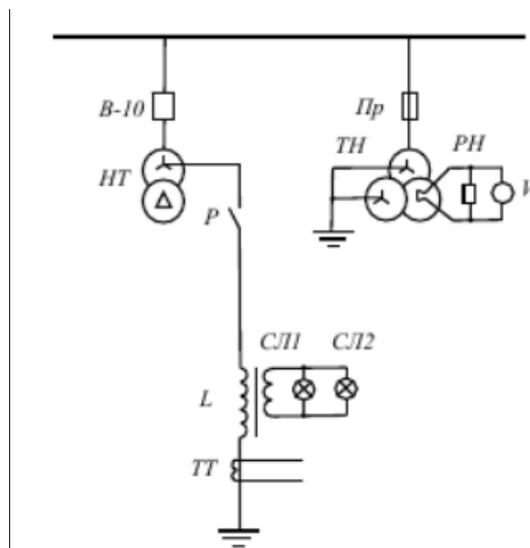


Рис. 2. Схема установки ДГР к шинам подстанции

Система компенсации ёмкостных токов состоит из батарей конденсаторов, которые устанавливаются вдоль линии электропередачи. Конденсаторы имеют определенную ёмкость и способны компенсировать ёмкостные токи в силовых кабелях и линиях электропередачи.

Принцип действия системы компенсации ёмкостных токов заключается в том, что конденсаторы цепляются на определенном расстоянии от источника, где возникают ёмкостные токи. Когда конденсаторы заряжаются, они начинают воспроизводить электрический ток, который находится в противофазе по отношению к ёмкостным токам, таким образом, что общий ток в силовой линии уменьшается или практически исчезает.

Для компенсации емкостных токов в электрических системах используются различные формулы, которые зависят от конкретной конфигурации электрической сети и ее параметров. Одна из таких формул может быть выражена следующим образом:

$$I_c = C \cdot \left(\frac{dU}{dt} \right) \quad (1)$$

где I_c - компенсационный ток, C - емкость системы, dU/dt - скорость изменения напряжения.

Для более сложных систем, таких как трехфазные сети, могут использоваться более сложные формулы. Например, для статической компенсации емкостных токов в трехфазных сетях использование схемы с реакторами и конденсаторами позволяет выразить коэффициент компенсации емкостных токов K через параметры схемы:

$$K = \frac{X_r - X_c}{X_r} \quad (2)$$

где X_r - индуктивность реактора, X_c - емкость конденсатора.

Система компенсации ёмкостных токов имеет ряд преимуществ. Она позволяет уменьшить потери энергии в кабелях и линиях электропередачи, что значительно повышает эффективность системы электроснабжения. Кроме того, это помогает снизить нагрузку на оборудование и увеличить его срок службы. Таким образом, использование системы заземления нейтрали и системы компенсации ёмкостных токов позволяет повысить надежность систем электроснабжения напряжением 35 кВ и выше, уменьшить вероятность возникновения повреждений и аварий, а также обеспечить безопасность и эффективность работы отдельных предприятий и всей экономики страны в целом [5].

Список литературы

1. Надежность систем электроснабжения / В. В. Зорин [и др.]. – Киев : Вища шк. Головное изд-во, 1984. – 192 с.
2. Бурчевский В. А., Владимиров Л. В., Ощепков В. А., Суриков В. А. Обзор режимов заземления нейтрали в электрических сетях 6–35 кВ // Омский научный вестник. 2009. № 1(77). С. 122–126.
3. Куликова Н. А., Титаренко О. Н., Тяпкина В. А. Резистивное заземление нейтрали – способ повышения надёжности работы электрических сетей 6–35 кВ // Энергетические установки и технологии. 2018. Т. 4, № 2. С. 32–38.
4. Лихачёв Ф. А. Замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью и с компенсацией ёмкостных токов. М.: Энергия, 1971. 152 с.
5. Михеев Г. М., Иванова Т. Г., Зиганшин А. Г. Один из путей уменьшения технологических потерь или к вопросу компенсации емкостного тока // Инновации в образовательном процессе: сб. тр. науч.-практ. конф. / ЧИ МГПУ. Чебоксары, 2019. Вып. 17. С. 16–19.

УДК 621.3.088

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ

¹Сультимова Валентина Дампиловна, ²Чмелёва Лариса Олеговна,

³Рустамов Руслан Акрамович, ⁴Дондупова Очирма Будаевна

^{1,2,3}Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления,
г. Улан-Удэ

⁴Бурятский институт инфокоммуникаций, филиал Сибирского государственного
университета телекоммуникаций и информатики, г. Улан-Удэ

¹elektrotehnika1962@mail.ru, ²chlari@mail.ru, ³odzii@yandex.ru, ⁴dondupova02@mail.ru

Аннотация: в предлагаемой статье анализируется влияние различных факторов на точность измерения аналого-цифрового преобразователя (АЦП) параллельного действия, основным преимуществом которого является высокое быстродействие порядка 30 нс. Для этого была разработана математическая модель, соответствующая принципу работы устройства. Сняты экспериментальные данные с лабораторного стенда. Построена графическая зависимость погрешности измерений от разрядности.

Ключевые слова: аналогово-цифровой преобразователь, погрешность измерений, Pascal, точность, разрядность, математическая модель АЦП.

INVESTIGATION OF THE OPERATION OF A PARALLEL-ACTING ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER

¹Sultimova Valentina Dampilovna, ²Chmeleva Larisa Olegovna,

³Rustamov Ruslan Akramovich, ⁴Dondupova Ochirma Budaevna

^{1,2,3}East Siberian State University of Technology and Management, Ulan-Ude

⁴Buryat Institute of Infocommunications, branch of the Siberian State University of Telecommunications and Informatics, Ulan-Ude

¹elektrotexnika1962@mail.ru, ²chlari@mail.ru, ³odzii@yandex.ru, ⁴dondupova02@mail.ru

Abstract: the proposed article analyzes the influence of various factors on the measurement accuracy of parallel-acting ADC, the main advantage of which is a high speed of about 30 ns. To do this, a mathematical model was developed that corresponds to the principle of operation of the device. Experimental data were taken from the laboratory stand. A graphical dependence of the measurement error on the bit depth is constructed

Keywords: analog-to-digital converter, inaccuracy of measurements, Pascal, accuracy, ADC bit depth, mathematical model of ADC.

Для изучения влияния разрядности и иных факторов на точность измерения была разработана математическая модель АЦП параллельного действия на языке программирования Pascal, в среде разработки PascalABC.NET.

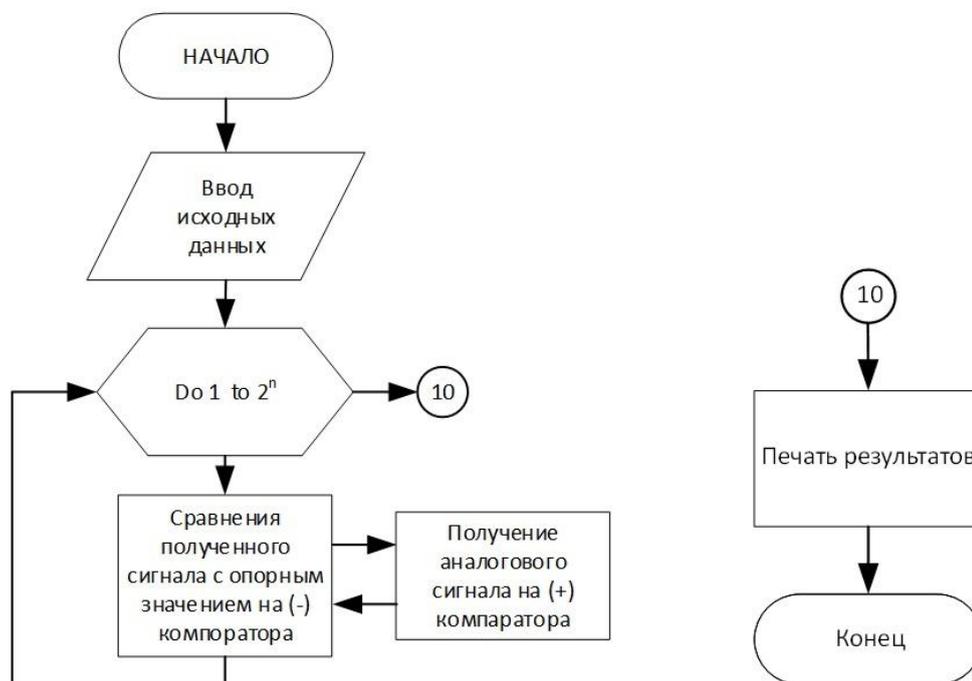


Рис. 1. Алгоритм работы АЦП параллельного действия

Диапазон $x_1 \text{ J } U_{\text{вх}} \text{ J } x_2$, в котором находится входное значение напряжения, определяется в соответствии с условием по формуле (1).

$$U_{ex} J (2^i - 1) \cdot 0,5 U_{опор} \frac{1}{2^n - 1}, \quad (1)$$

где n – разрядность, i – счётчик цикла, $U_{опор}$ – опорное напряжение.

Выходное значение определяется значением диапазона, ближайшим к входному напряжению.

Увеличение разрядности АЦП положительно сказывается на точности измерений. Зависимость погрешности от разрядности носит обратно пропорциональный характер. Величина погрешности также зависит от входной величины сигнала (рис. 3). Так, если эта величина равна половине опорной величины или близка к ней, погрешность вычислений будет практически равна нулю. Или же, если измеряемая величина близка к пределу соответствующего интервала, погрешность стремится к нулю.

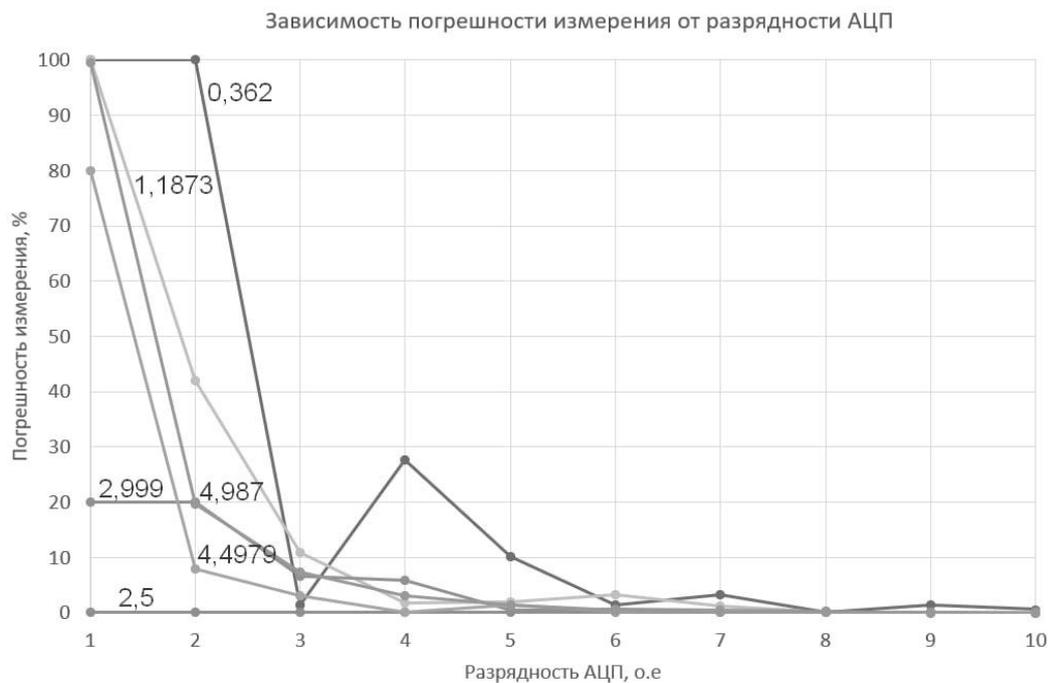


Рис. 2. Зависимость погрешности измерения от разрядности АЦП

На рис. 3 показана экспериментальная кривая, которая была снята на лабораторном стенде и соответствует трёхразрядному АЦП параллельного действия, где снимались показания, соответствующие переходу измеряемой величины в другой диапазон. Эти опытные данные были подставлены в математическую модель, соответствующую 5-ти, 7-ми и 10-ти разрядному АЦП. В большинстве случаев, увеличение разрядности положительно сказывается на точности измерений.

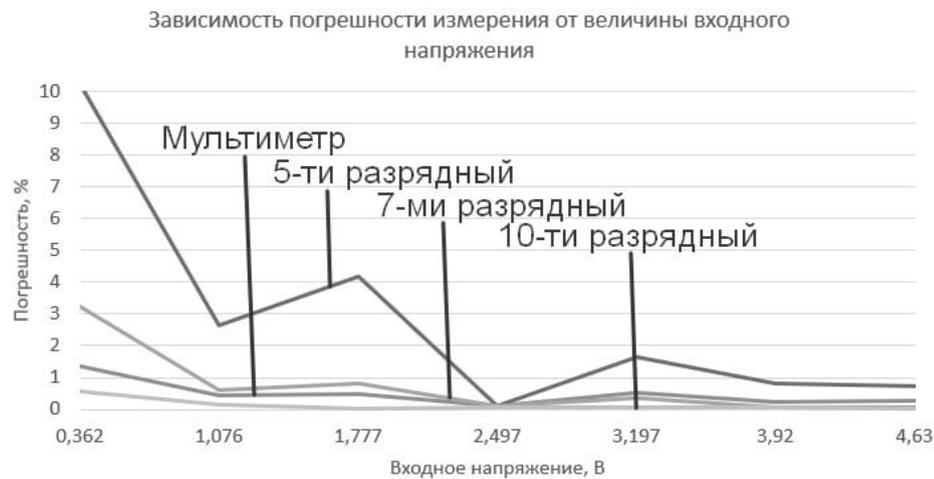


Рис. 3. Зависимость погрешности измерения от величины входного напряжения

Таким образом, в соответствии с экспериментальными кривыми, можно сделать следующий вывод: точность измерений АЦП параллельного действия можно увеличить не только за счёт увеличения разрядности системы, которая сопровождается увеличением числа компараторов до $2^n - 1$, что экономически не выгодно, но и за счёт оптимизации самой задачи. То есть требуемая величина должна приблизительно равняться $0.5 \cdot U_{опорн}$ или близка к одному из интервальных пределов x_1, x_2, \dots, x_n . Таким образом, основное преимущество АЦП параллельного действия – быстроедействие, в совокупности с предложенным методом оптимизации позволит различным коммутационным аппаратам увеличить их быстроедействие, без значительного увеличения погрешности и числа компараторов.

Список литературы

1. Кестер У. Аналого-цифровое преобразование. Ресурсы коммерческой организации: учебное пособие / У. Кестер; под ред. Е. Б. Володина. – Москва: Техносфера, 2007. – 1016 с.
2. Никамин В. А. Аналого-цифровое и цифро-аналоговые преобразователи. Ресурсы коммерческой организации: Справочник / В. А. Никамин. Санкт-Петербург: Корона; Изд-во Москва: Альтекс-А, 2003. – 224 с.
3. Каюков И. Ю. Аналого-цифровое преобразование // Международный студенческий научный вестник. – 2023 г – № 1.; URL: <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=21120> (дата обращения: 17.05.2023).
4. Зайцев А. Б. Оцифровка аналоговых сигналов – 2021 г – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsifrovka-analogovyh-signalov/viewer> (дата

обращения 13.05.2023). - Режим доступа – непосредственный. - Текст: электронный.

5. Добрынин В. В. Повышение точности АЦП с промежуточным преобразованием в частоту // Научный рецензируемый журнал "Вестник Концерна ВКО «Алмаз – Антей»" – 2021 –№1; URL: <https://doi.org/10.38013/2542-0542-2021-1-42-51> (дата обращения: 14.05.2023).

УДК 621.311

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ И КОММУНАЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Полякова Д. А.
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан
dnkhjk97@gmail.com

Аннотация: целью данной научной работы является изучение и анализ энергоэффективности современных промышленных и коммунальных предприятий. В работе рассматриваются основные принципы энергоэффективности, ее влияние на экономику и окружающую среду, а также методы анализа и улучшения энергоэффективности на предприятиях. Исследование проводится на основе литературного обзора и данных из существующих исследований.

Ключевые слова: энергоэффективность, инновационные системы, Smart Grid, потребление энергии, коммунальные предприятия, строительство зданий.

ENERGY EFFICIENCY AND ANALYSIS OF MODERN INDUSTRIAL AND MUNICIPAL ENTERPRISES

Polyakova D.A.
FSBEI HE KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan
dnkhjk97@gmail.com

Abstract: the aim of this scientific study is to examine and analyze the energy efficiency of modern industrial and municipal enterprises. The paper explores the fundamental principles of energy efficiency, its impact on the economy and the environment, as well as methods for analyzing and improving energy efficiency in enterprises. The research is conducted based on a literature review and data from existing studies.

Keywords: energy efficiency, innovative systems, Smart Grid, energy consumption, communal enterprises, construction of buildings.

В современном мире энергетическая эффективность является одним из главных факторов, влияющих на экономическую и экологическую устойчивость промышленных и коммунальных предприятий. В свете растущих затрат на энергию и необходимости снижения выбросов вредных веществ, вопрос повышения энергоэффективности становится все более

актуальным. Современные промышленные и коммунальные предприятия сталкиваются с вызовом эффективного использования энергетических ресурсов в контексте изменяющихся климатических условий и строгих экологических требований. Цель данной научной работы – проанализировать современные технологии и методы повышения энергоэффективности промышленных и коммунальных предприятий и рассмотреть их экономическую и экологическую эффективность.

Промышленные и коммунальные предприятия потребляют значительное количество энергии на производственные и бытовые нужды. При этом значительная часть энергии теряется из-за неэффективного использования оборудования и недостаточной энергетической эффективности зданий. Для снижения потребления энергии и повышения эффективности производства используются различные технологии и методы.

Одним из методов является использование энергосберегающих технологий. Они позволяют снизить потребление энергии на производственные нужды за счет внедрения новых технологических процессов и оборудования. Например, использование инверторных приводов позволяет снизить энергопотребление электродвигателей на 30-50 %. Также энергосберегающие технологии включают в себя внедрение систем управления энергопотреблением, которые позволяют контролировать и оптимизировать потребление энергии на производстве [4].

Важную роль в повышении энергоэффективности играет также оптимизация производственных процессов. Она направлена на снижение времени нахождения оборудования в режиме простоя и сокращение потерь энергии на хранение и переработку сырья. Этот метод включает в себя использование новых материалов и технологий, разработку инновационных производственных схем и рациональное планирование производственных операций.

Рассмотрим несколько инновационных подходов:

1. Системы смарт-сетей. Системы смарт-сетей (Smart Grid) являются одним из ключевых инновационных подходов к управлению энергопотреблением. Они основаны на использовании передовых сенсорных технологий, сетевой связи и аналитических инструментов для оптимизации энергетических процессов [2]. Системы смарт-сетей позволяют более точно контролировать и прогнозировать энергопотребление, оптимизировать распределение энергии и интегрировать возобновляемые источники энергии в сеть.

2. Использование возобновляемых источников энергии. Внедрение возобновляемых источников энергии, таких как солнечная и ветровая энергия, играет важную роль в снижении энергопотребления на предприятиях. Установка солнечных панелей и ветрогенераторов позволяет производить часть или даже всю необходимую энергию независимо от традиционных источников. Это не только снижает зависимость от энергосетей, но и сокращает выбросы парниковых газов [5].

3. Энергетическое управление. Развитие инновационных систем энергетического управления позволяет эффективно контролировать и оптимизировать энергопотребление на предприятиях. Использование современных систем мониторинга и управления энергией позволяет выявлять и устранять энергетические потери, оптимизировать настройки оборудования, планировать нагрузку и управлять энергетическими режимами [1].

Однако повышение энергоэффективности не может быть достигнуто только с помощью технологических изменений. Необходимо также обращать внимание на энергетическую эффективность зданий, в которых расположены предприятия. Использование энергосберегающих материалов при строительстве и реконструкции зданий, а также улучшение систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха позволяют снизить энергопотребление и повысить комфортность рабочих помещений. Необходимо также уточнение годового режима работы систем управления и измерения параметров воздуха. Расчетную нагрузку установок вентиляции и кондиционирования определяют из проекта предприятия или организации. При отсутствии таких данных ее можно определить аналитическими методами с учетом наружного и внутреннего объема зданий, удельной вентиляционной характеристики и температуры воздуха внутри и вне здания.

Анализ энергоэффективности промышленных и коммунальных предприятий также включает экономический аспект. Внедрение энергосберегающих технологий и методов требует определенных инвестиций. Однако, благодаря снижению расходов на энергию, затраты окупаются в течение определенного периода времени, что приводит к снижению общих эксплуатационных расходов предприятия. Более того, повышение энергоэффективности может способствовать улучшению конкурентоспособности предприятий на рынке [3].

В заключение, повышение энергоэффективности промышленных

и коммунальных предприятий является важной задачей с точки зрения экономической эффективности и экологической устойчивости. Внедрение энергосберегающих технологий, оптимизация производственных процессов и улучшение энергетической эффективности зданий позволяют снизить потребление энергии и выбросы вредных веществ. Это способствует сокращению эксплуатационных расходов и улучшению конкурентоспособности предприятий. Дальнейшие исследования и разработки в области энергоэффективности помогут создать более устойчивую и эффективную промышленность и коммунальную инфраструктуру. Также разработка и внедрение инновационных технологий для снижения энергопотребления на промышленных и коммунальных предприятиях является важной задачей современного общества. Эти технологии открывают новые возможности для энергоэффективности, экологической устойчивости и экономического развития. Правильное внедрение инноваций, поддержка со стороны государства и активное взаимодействие между предприятиями, научными учреждениями и обществом могут способствовать достижению снижения энергопотребления и созданию устойчивой будущей энергетической системы.

Список литературы

1. Алоян Р.М., Федосов С.В., Опарина Л.А. Энергоэффективные здания – состояние, проблемы и пути решения – Иваново: ПресСто, 2016. – С-166.
2. Бурнашев К.Г. Статья «Повышение энергоэффективности за счет внедрения новой концепции Smart Grid». Доступно по URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-energoeffektivnosti-za-schet-vnedreniya-novoy-kontseptsii-smart-grid/viewer>. Дата доступа: 2012.
3. Крылов Ю. А., Карандаев А. С., Медведев В. Н.. Издательство: Лань. Год: 2023. Серия: Электротехника и энергетика. ISBN: 978-5-507-45661-1, 978-5-8114-7281-9.- 176 с.
4. Пилипенко Н.В., Сиваков И.А. Энергосбережение и повышение энергетической эффективности инженерных систем и сетей. Учебное пособие. – СПб: НИУ ИТМО, 2013. – С. 212-217.
5. В.М. Матюшок, Серджио Бруно, С.А. Балашова, К.Г. Гомонов Статья «Влияние Smart Grid и возобновляемых источников энергии на энергоэффективность:зарубежный опыт». Доступно по URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-smart-grid-i-vozobnovlyaemyh-istochnikov-energii-na-energoeffektivnost-zarubezhnyy-opyt/viewer>.

НОРМИРОВАНИЕ РАСХОДА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Сурикова Ольга Павловна
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
Lelyarads07.14@gmail.com

Аннотация: в данной статье рассматривается нормирование расхода электрической энергии на промышленных предприятиях. Данная статья рассматривает будущее, настоящее потребление энергии и потенциальное повышение эффективности использования электроэнергии. В этой статье рассматривается связь между спросом на энергию в целом или конкретной экономической деятельностью. Дело в том, что электрическая энергия - это довольно дорогостоящий ресурс, и экономия на ее использовании способствует снижению затрат на производство и повышению его конкурентоспособности на рынке.

Ключевые слова: нормирование, электрическая энергия, расход, ресурсы, эффективность, информационно-логические схемы, электроприемник, состояние энергосистемы.

REGULATION OF THE CONSUMPTION OF ELECTRIC ENERGY AT INDUSTRIAL ENTERPRISES

Surikova Olga Pavlovna
FSBEI HE «KSPEU», Kazan
Lelyarads07.14@gmail.com

Abstract: this article discusses the regulation of electrical energy consumption in industrial enterprises. This article looks at future, present energy consumption and potential improvements in energy efficiency. This article examines the relationship between energy demand in general or specific economic activity. The fact is that electrical energy is a rather expensive resource, and saving on its use helps to reduce production costs and increase its competitiveness in the market.

Keywords: rationing, electrical energy, consumption, resources, efficiency, information and logic circuits, power receiver, state of the power system.

В настоящее время автоматическое регулирование режимов потребления электроэнергии на промышленных предприятиях является одним из более действующих вопросов в энергосистеме. Промышленные предприятия страдают не только от штрафов, которые выплачиваются в следствии несоблюдения поставленных норм потребления электроэнергии, но и в результате неизбежного отключения технологического оборудования, непосредственно задействованного в производственном процессе [1].

Возникает задача регулирования величины активной и реактивной мощности с целью определения оптимального значения актива полчасовой мощности предлагаемой энергосистемы и не превышения его установленной нормы. Для предотвращения такой циркуляции необходимо создание информационно-логической схемы управления режимами электропотребления технологических электроприборов промышленных предприятий, а также разработка оптимальных методов и моделей управления.

Информационно-логические схемы позволяют изучать методы управления режимами электропотребления промышленных предприятий, сооружать математические модели и исполнять следующие функции управления режимами электропотребления:

- проблема регулирования полчасового мощностного фонда предприятия;
- задача составления нормативных таблиц потребителей активной мощности цеха промышленных предприятий;
- проблема регулирования реактивной мощности предприятия;
- задача поддержания напряжения в узлах электрической сети предприятия в пределах установленных норм.

Информационно-логическая схема - это схема, которая позволяет представить сложную систему управления в упрощенном виде, используя логические элементы, блок-схемы и другие методы графического представления данных.

Для управления режимами электропотребления на промышленных предприятиях используются различные технические средства, такие как датчики, реле, счетчики и т.д. При этом каждое устройство имеет свои параметры, которые могут быть изменены в зависимости от различных условий работы предприятия. Информационно-логические схемы позволяют систематизировать данные параметры и создать цепочки управления, основанные на логических алгоритмах [2].

Одним из основных методов нормирования расхода электрической энергии является установление плановых квот на потребление электроэнергии для каждого участка предприятия в соответствии с производственными потребностями. Кроме того, можно использовать технологии автоматизации процессов, которые позволяют оптимизировать расход энергии.

Важно также следить за состоянием электросетей и оборудования на предприятии, чтобы избежать неисправностей, которые могут привести к утечкам энергии. Проведение регулярного технического обслуживания и замена старого оборудования на более энергоэффективное также может

снизить расход электрической энергии и повысить эффективность производства [3].

В общем случае все электроприемники по своему назначению можно разделить на две группы:

- основные, которые участвуют в основном производственном процессе предприятия. К таким электроприемникам относятся электротехнологические устройства (электротермические и сварочные аппараты, электролизные ванны), компрессоры, привод насосов и центрифуг, привод конвейеров и других транспортных средств, металлорежущие, деревообрабатывающие и другие станки и т.п.

- вспомогательные - то есть такие, которые не участвуют в основном производственном процессе предприятия. К ним относятся электроприемники, участвующие в создании и поддержании микроклимата на предприятии (приборы вентиляции и кондиционирования воздуха, воздухонагреватели), осветительные приборы и электроприемники, работающие на санитарно-технические нужды предприятия (насосы холодного и горячего водоснабжения, канализации, отходы и др.) [4]

В свою очередь, электроприемники основной группы могут группироваться по той или иной площади, участку, технологической линии.

Напряжение в электроприемниках промышленных предприятий не должно превышать допустимых пределов: значений U_{\max} и U_{\min} , установленных нормативными актами, и при превышении этих значений напряжение предприятие понесет большие убытки. Последний способ поддержания напряжения в узлах электросети предприятия в допустимых пределах обусловлен тем, что величина напряжения сильно связана с реактивной мощностью. В связи с поддержанием напряжений и их сильной взаимозависимости желательно в рамках данной задачи провести регулирование реактивной мощности в узлах электрических сетей предприятия [3]

В последнее время все чаще используются автоматизированные системы управления и учета ЭЭ нового поколения, которые разрабатываются на базе современных промышленных контроллеров. Эти системы предназначены для решения задач коммерческого учета ЭЭ и потребления мощности, а также технического учета и контроля электрических нагрузок промышленных предприятий в режиме реального времени [5]

Список литературы

1. Абдуллазянов Э. Ю. Прогнозирование и анализ электропотребления и потерь электроэнергии на промышленных объектах / Э. Ю. Абдуллазянов, Е. И. Грачева, А. Альзаккар [и др.] // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2022. – Т. 24, № 6. – С. 3-12.
2. Хошимов Ф. А., Аллаев К. Р., Энергосбережение на промышленных предприятиях, Ташкент, Изд-во «Фан», 2011 г., 209 с.
3. Дзевенцкий А. Я., Захидов Р. А., Баратов Н. А., Хошимов Ф. А. Энергосбережение в промышленности. – Т.: // «Фан» 1993, 140 с.
4. Хошимов Ф. А. Методические основы разработки параметров управления энергосбережением. – Т.: // Международная научно-техническая конференция «Инновация2010».
5. Мирончик С.Г. Нормирование электропотребления в промышленности // Изд-во “Картя Молдовеняскэ”, 1979, 208 с.

УДК: 621.31

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ В РОССИИ

Таепов Эрик Фанильевич
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Российская Федерация
taepov99@mail.ru,²

Аннотация: в данной статье изучен потенциал различных видов возобновляемых источников энергии (ВИЭ) изолированных от Единой Энергосистемы территорий на основе анализа климатических карт, выявлены проблемы источников электроснабжения нынешней децентрализованной энергосистемы, изучены способы и методы интеграции ВИЭ и потенциал развития этого направления.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, децентрализованная энергосистема, проблемы дизельгенераторов, интеграция ВИЭ, потенциал развития.

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF DECENTRALIZED POWER SUPPLY SYSTEMS IN RUSSIA

Таепов Эрик Фанильевич
Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russian Federation
taepov99@mail.ru

Abstract: this article examines the potential of various types of renewable energy sources (RES) isolated from the Unified Energy System of territories based on the analysis of climate maps, identifies the problems of power supply sources of the current decentralized

energy system, studied the ways and methods of RES integration and the development potential of this direction.

Keywords: renewable energy sources, decentralized energy system, problems of diesel generators, RES integration, development potential.

В условиях стремительного развития новых технологий и постепенного перехода на альтернативные источники энергии, вопрос децентрализованных систем электроснабжения становится особенно актуальным. Это особенно важно для такой крупной страны, как Российская Федерация, с её разнообразными географическими, климатическими и экономическими условиями. В России существует большое количество удаленных и труднодоступных территорий, где централизованные сети электроснабжения не всегда могут быть построены или эксплуатироваться эффективно. К таким территориям относятся северные (Крайний Север) и дальневосточные (ДВФО) районы страны [1]. В связи с чем возникает необходимость развития децентрализованного электроснабжения для данных регионов.

Основным источником энергии для изолированных от общей сети потребителей на данный момент являются дизельные электростанции (ДЭС). Только в северных районах их общая мощность составляет свыше 3 млн. кВт, а общая производимая ими энергия - 15 млрд. кВт·ч. Для обеспечения бесперебойного энергоснабжения населения изолированных регионов требуется иметь достаточный запас дизельного топлива, объем его поставки в населенные пункты в летний период составляет в среднем около 5,0-6,0 миллионов тонн, так как в другое время года возникают проблемы в логистике в виду суровых климатических условий регионов [4]. Из-за сложностей в логистике, а также по причине того, что многие ДЭС имеют устаревшее оборудование, отработавшее свой моторесурс, а следовательно расходующее больше топлива, удельная стоимость топлива возрастает примерно в 1,5-2,5 раза по сравнению с регионами, имеющими доступ к единой энергосистеме (ЕЭС). Стоимость производства энергии на таких дизельных электростанциях составляет от 35 до 150 рублей за кВт/час. В сложившейся ситуации резко увеличилась популярность применения возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Актуальность статьи также объясняет возросший интерес Правительства РФ к развитию Дальнего Востока, Севера и Арктического региона в целом.

Только экономически обоснованная часть энергопотенциала территорий Крайнего Севера и ДВФО, по данным ПАО "РусГидро" и АО "УК ГидроОГК", превышает 400 миллиардов кВт/час. Для наглядного сравнения, годовая производительность Саяно-Шушенской ГЭС, одной из

крупнейших гидроэлектростанций, составляет всего лишь 23,5 миллиона кВт/час [7]. Рассмотрим карты гидропотенциала, потенциала солнечной и ветровой источников энергии (рис. 1).

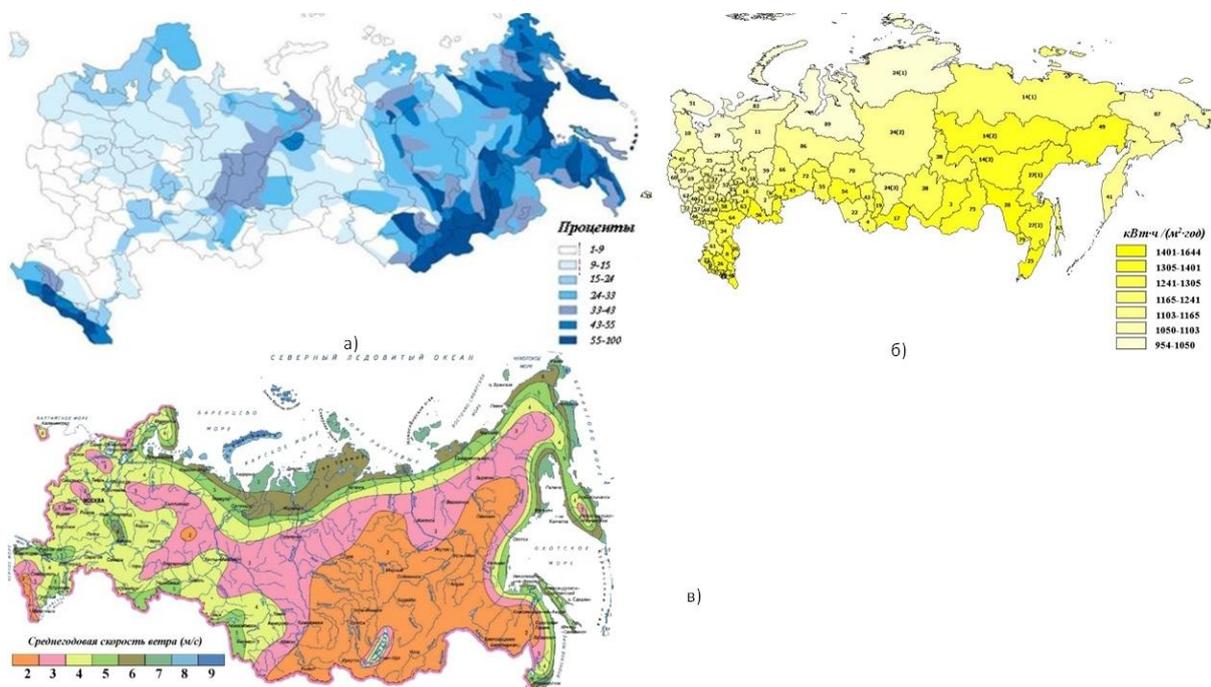


Рис. 1. Карты потенциала ВИЭ: а) гидропотенциал; б) уровень солнечной инсоляции; в) потенциал ветровой энергии (скорость ветра м/с.)

Исходя из анализа карт, ДВФО является наиболее перспективными в освоении гидропотенциала, а его суммарная солнечная инсоляция на 1 м^2 горизонтальной плоскости ($\text{кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\cdot\text{год})$) и уровень солнечной радиации на 1 м^2 в год сопоставимы с показателями Краснодарского края, что определяет также перспективы применения фотоэлектрических станций (ФЭС). Теоретический потенциал ветровой энергии районов Крайнего Севера, в частности по Республике Саха (Якутия), согласно справочным данным, составляет 279 млрд. кВт/ч, что объясняет рациональность использования здесь ветроэнергетических установок (ВЭУ) [5].

По причине вышеупомянутых проблем ДЭС, составляющих основную долю изолированной системы электроснабжения, а также учитывая темпы роста цен на дизельное топливо, начавшегося в 2018 году из-за скачка НДС от 0,6 до 1,7 % в зависимости от поставщика сырья, и сопоставимое с ними снижение стоимости солнечных панелей и другого оборудования ВИЭ, возникает вопрос интеграции ВИЭ в имеющуюся энергосистему. Выделим основные перспективы развития децентрализованной системы электроснабжения, преимущественно связанные с интеграцией ВИЭ.

Как уже было отмечено, территории Крайнего Севера большой ветропотенциал, поэтому разработка ветродизельных электростанций (ВДЭС) и модернизация неэффективных существующих дизельных электростанций путем интеграции ветроэлектростанций (ВЭС) являются крайне эффективными мерами [2]. Разрабатываемые ВДЭС должны быть специально приспособлены для работы в суровых климатических условиях, чтобы минимизировать технологические потери при производстве энергии и одновременно максимизировать энергетический и экономический эффекты. Зарубежный опыт эксплуатации систем, которые объединяют ДЭС и ВЭС в сложных климатических условиях, таких как Аляска (ВДЭС St. Paul (675 кВт), ВДЭС Unalakleet (600 кВт), ВДЭС Wales (130 кВт), ВДЭС Кокханок (580 кВт)), Антарктида (ВДЭС на острове Росса (600 кВт), ВДЭС Маусон (900 кВт)), а также в Канаде, Норвегии и других странах, показал, что создание ветродизельных электростанций является одним из самых экономически обоснованных подходов, позволяющих достичь значительной экономии дизельного топлива [6].

Также одним из распространенных методов снижения эксплуатационных расходов для систем электроснабжения переменного тока, работающих на ДЭС, заключается в интеграции ФЭС с сетевыми инверторами в их структуру. ФЭС частично заменяют генерацию ДЭС. Распределенная генерация на основе солнечной энергии может поддерживать систему в чрезвычайных ситуациях и предотвращать их возникновение или уменьшать воздействие [3]. В результате, тарифная нагрузка на потребителей, подключенных к энергосистеме, снижается благодаря частичной замене дизельного топлива солнечной энергией. Кроме того, диверсификация систем, включающая ДЭС и ФЭС, значительно снижает финансовые риски, связанные с производством электрической энергии в небольших и средних масштабах. Интеграция может быть реализована с помощью математического моделирования и последующего проведения технико-экономического анализа. Разрабатываемые системы обладают технической гибкостью, что позволяет им подключать дополнительные и независимые источники электроэнергии, что является привлекательным аспектом для научно-исследовательских задач.

Объединяются все перечисленные варианты в систему автономной дизельной системы электроснабжения (АДЭС) [5]. Но основная проблема ВИЭ в том, что их генерация электроэнергии носит стохастический характер. Решением для этого является развитие децентрализованных микросетей (microgrids) на основе постоянного тока, которые строятся

с использованием местных возобновляемых источников энергии, в частности ФЭС. Микросети представляют собой локально ограниченные и независимо управляемые электрические сети, где их ветвистая архитектура позволяет эффективно распределять неравномерные нагрузки электрической энергией от распределенных источников энергии. Микросети предлагают ряд преимуществ, например, по сравнению с централизованной энергосистемой, они более экономичны в установке и имеют более короткие сроки монтажа (для ФЭС пессимистический сценарий может быть выполнен за не более 1 года) [7], их размеры могут быть адаптированы под местные требования и могут изменяться в зависимости от растущих потребностей или изменяющихся технологий, а также может быть реализована на постоянном токе, переменном токе или их комбинации. Важно отметить, что использование постоянного тока в сети позволяет избежать многих этапов преобразования энергии, которые требуются при использовании переменного тока. Это, несомненно, способствует повышению технико-экономической эффективности системы.

Таким образом, децентрализованные системы электроснабжения имеют значительный потенциал для развития в России. С их помощью можно достичь более устойчивого, экологически чистого и энергоэффективного электроснабжения, благодаря внедрению ВИЭ, на местном уровне, повысить надёжность, гибкость электроснабжения и устойчивость к чрезвычайным ситуациям, они более экономичны при установке по сравнению с централизованными системами. Интеграция фотоэлектростанций и других возобновляемых источников энергии в микросети создает возможности для местной генерации и эффективного использования электроэнергии.

Список литературы

1. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года // Министерство энергетики Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/1920> (11.03.2020).
2. Дмитриенко В. Н., Лукутин Б. В. Методика оценки энергии солнечного излучения для фотоэлектростанции // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2017. Т. 328. № 5. С. 49–55.
3. Обухов С. Г., Плотников И. А. Имитационная модель режимов работы автономной фотоэлектрической станции с учетом реальных условий эксплуатации // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2017. Т. 328. № 6. С. 38–51.

4. Пашкевич Р. И., Павлов К. А. Математическое моделирование комбинированной дизель-солнечной электростанции для децентрализованного электроснабжения потребителей // Электрические станции. 2019. № 9. С. 30–35.

5. Лаврик А. Ю., Жуковский Ю. Л., Максимов Н. А. Определение оптимального состава резервируемой гибридной ветро-солнечной электростанции // Промышленная энергетика. 2019. № 10. С. 47–53.

6. Марцинкевич Б. Развитие ВИЭ энергетики в России // Геоэнергетика.ru. 2019. URL: <http://geoenergetics.ru/2019/09/27/razvitie-vie-energetiki-v-rossii/>

7. Киушкина В. Р. Повышение энергетической безопасности децентрализованных зон электроснабжения регионов северных территорий и арктических зон (на примере Республики Саха (Якутия)): дис. ... д-ра техн. наук. – Нерюнгри, 2019. – 400 с.

УДК 621.315.1

ВЛИЯНИЕ СОСРЕДОТОЧЕННЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ НА СКОРОСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ БЕГУЩЕЙ ВОЛНЫ

Тухфатуллин И. Р.¹

^{1,2}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

¹iskander.tukhfatullin@mail.ru, ²142892@mail.ru

науч. рук. канд. физ.-мат. наук, доц. Хузяшев Р. Г.²

Аннотация: в работе приведены результаты моделирования распространения бегущей волны скачка напряжения, вызванной аварийной коммутацией – однофазным замыканием на землю (ОЗЗ) в однопроводной модели распределительной сети с сосредоточенными неоднородностями.

Ключевые слова: PSCAD, сигнал переходного процесса (СПП), бегущие волны, коммутация, скачок напряжения, переходной процесс, сосредоточенные неоднородности, начало сигнала.

THE INFLUENCE OF CONCENTRATED INHOMOGENEITIES OF THE DISTRIBUTION NETWORK ON THE SPEED OF PROPAGATION OF THE TRAVELING WAVE

Tukhfatullin I. R.¹

^{1,2} FSBEI HE KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

¹iskander.tukhfatullin@mail.ru, ²142892@mail.ru

Scientific advisor PhD in physics and mathematics, associate professor Huzashev R. G.²

Abstract: this paper presents the results of modeling the propagation of the traveling voltage surge wave caused by emergency switching - single-phase ground fault (SPGF) in a single-wire distribution network model with concentrated inhomogeneities.

Keywords: PSCAD, transient signal (TS), traveling waves, switching, voltage jump, transient, concentrated inhomogeneities, onset of signal.

Определение мест повреждения в распределительной сети среднего напряжения усложняется разветвленностью и протяженностью. Поэтому исследование формирования и развития аварийных сигналов переходного процесса представляет научно-практический интерес

Волновые комплексы определения места повреждения (ВОМП) реализуют измерение времени начала сигнала переходного процесса (НСПП и СПП) [1, 2]. Измерение начала сигнала переходного процесса происходит с погрешностью не более 1 мкс в единой спутниковой шкале времени. В однородных сетях высокого класса напряжений они определяют место повреждения в линиях длиной несколько сот километров [3]. Для неоднородных сетей среднего класса напряжений определение места повреждения ограничено длинами линий несколько десятков километров [4], что обусловлено разрушительным воздействием механизма дисперсии в сильно неоднородной линии.

Рассмотрим результаты моделирования СПП в пакете PSCAD [5] для простейших моделей электрической сети. На рис. 1 изображена модель однопроводной линии с обратным земляным проводом, с источником переменного ЭДС промышленной частоты в начале и замыкающим ключом, имитирующим короткое замыкание (КЗ), в конце линии.

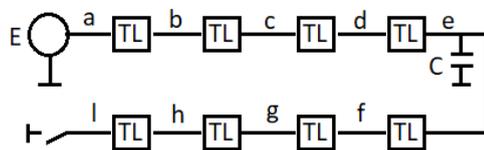


Рис. 1. Модель однородной однопроводной линии с сосредоточенной неоднородностью

На рис. 2 изображен проект линии в пакете PSCAD.

Источник ЭДС с фазным напряжением 10 кВ обладает нулевым сопротивлением. Линия, длиной 10 км, изображена восемью одинаковыми сегментами с распределенными параметрами длиной 1,25 км. Сосредоточенная неоднородность моделируется конденсатором в узле «e». Паразитная емкость электрического оборудования оценивается значениями 0,3–0,6 нФ, емкость обмотки силового трансформатора 10 кВ приблизительно составляет 2,7 нФ, емкость тарельчатого изолятора составляет 50 пФ, емкость опорного штыревого изолятора составляет 1–5 пФ. В данной модели емкость C равна 1000 мкФ. Ключ в конце линии имитирует короткое замыкание, генерирующее скачок напряжения размахом 14,1 кВ в нулевой момент времени.

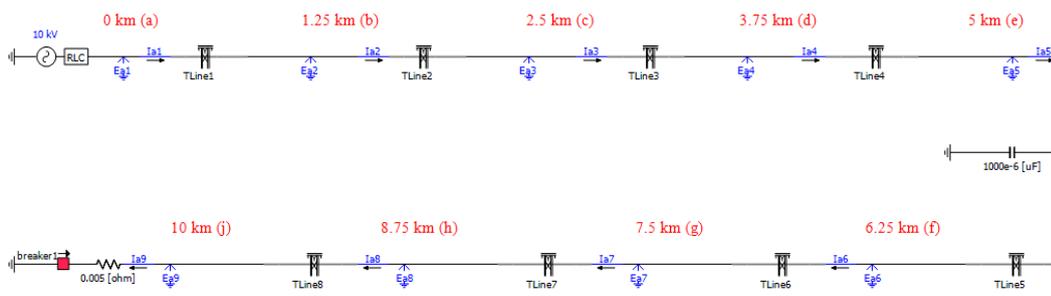


Рис. 2. Проект исследуемой линии в пакете PSCAD

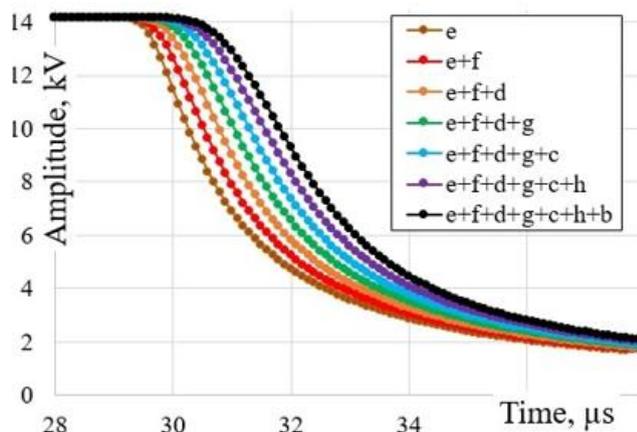


Рис. 3. Результаты моделирования при расположении одинаковых неоднородностей в нескольких узлах линии: передний фронт бегущей волны, замеренный в узле «b»

При увеличении числа неоднородностей в узлах линии от одного до семи (рис. 3) пропорционально увеличивается задержка времени распространения переднего фронта бегущей волны. Задержка переднего фронта бегущей волны соответствует увеличению временной задержки распространения бегущей волны величиной в 1,4 % на каждые 1000 мкФ сосредоточенной емкости или уменьшению ее скорости распространения.

Таким образом, расположение семи емкостей величиной 1000 мкФ вызывает уменьшение скорости распространения переднего фронта бегущей волны до 270 м/мкс. Бегущая волна, отраженная от начала линии и зарегистрированная в узле «h» (рис. 4) показывает еще большую временную задержку.

Бегущая волна скачка напряжения ослабляется с коэффициентом 0,75 на единичной неоднородности емкостью 1000 мкФ на протяжении нескольких микросекунд (рис. 4). Ослабление от семи емкостей достигает величины 0,25. Бегущая волна скачка напряжения отражается от емкостной неоднородности с коэффициентом отражения 0,25 (рис. 4), но емкость 1000 мкФ быстро заряжается и ее коэффициент отражения через несколько микросекунд уменьшается до нуля.

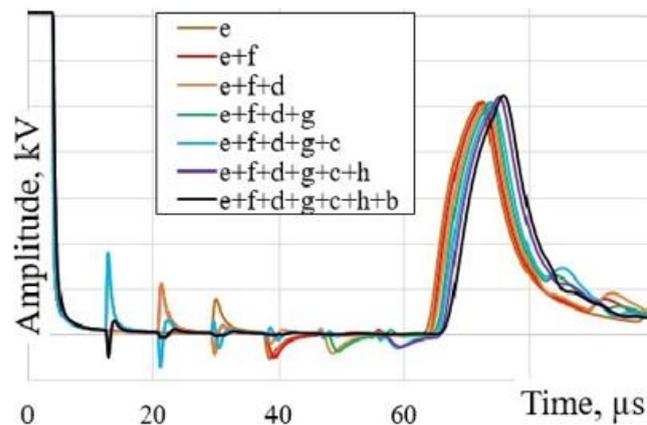


Рис. 4. Результаты моделирования при расположении одинаковых неоднородностей в нескольких узлах линии: интерференция переотраженных и бегущих волн, замеренных в узле «h»

Таким образом, было показано влияние неоднородностей в однопроводной линии с помощью экспериментально полученных осциллограмм напряжений, зарегистрированных в двух точках: начале линии для просмотра переднего фронта волны и конце линии, в которой график формируется как результат интерференции переотраженных и бегущих волн. В дальнейшем планируются замеры напряжения в тех же точках с помощью схемы RC-фильтра.

Список литературы

1. Практическая реализация волнового метода определения места повреждения в разветвленных распределительных электрических сетях 6 (10) кВ / Р. Г. Хузяшев, И. Л. Кузьмин, В. Д. Васильев, С. М. Тукаев // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2019. – № 2(53). – С. 98–107. – EDN ZBXMGT.
2. Смирнов А. Н. Волновой метод двухсторонних измерений для определения места повреждения воздушной линии электропередачи 110–220 кВ. URL: <https://www.twirpx.com/file/2376241>.
3. Львов А., Пинчуков П. Оптимизация поиска мест повреждения воздушных линий электропередачи 220 кВ, расположенных на территории Республики Саха (Якутия) с применением волновых ОМП. // Электроэнергия. Передача и распределение, №S1(28), 2023, С.44-48.
4. Феоктистов А. В. Технические решения для определения мест повреждения в распределительных сетях 6–35 кВ. // Электроэнергия. Передача и распределение, №6(69), 2021, С.94-95.
5. PSCAD [Электронный ресурс] // URL: <https://www.pscad.com> (дата обращения: 10.09.23).

ПРИМЕР РАСЧЁТА ИМПУЛЬСА НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ГЕОМАГНИТНЫХ БУРЬ НА ОБОРУДОВАНИЕ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ

¹Федяй Олег Валерьевич, ²Бычков Александр Владимирович

^{1,2}Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти

¹o.fedyai@yandex.ru, ²omgwtf955@gmail.com

Аннотация: проблема воздействия геомагнитных бурь на электрические сети общеизвестна [4]. Написано большое количество трудов посвященных данной проблеме. Для корректной оценки воздействия геомагнитных бурь на оборудование электроэнергетических систем необходимо правильно оценивать величину импульса напряженности электрического поля. В данной статье на примере Самарской области произведен расчёт импульса напряжённости электрического поля воздействующего на систему электроснабжения.

Ключевые слова: импульс напряженности электрического поля, геоиндуцированный ток, удельная проводимость земли, геомагнитная буря.

AN EXAMPLE OF CALCULATING THE IMPULSE OF THE ELECTRIC FIELD STRENGTH UNDER THE INFLUENCE OF GEOMAGNETIC STORMS ON THE EQUIPMENT OF POWER SUPPLY SYSTEMS IN THE SAMARA REGION

¹Fedyai Oleg Valerievich, ²Bychkov Alexander Vladimirovich

^{1,2}Togliatti State University, Togliatti

¹o.fedyai@yandex.ru, ²omgwtf955@gmail.com

Abstract: the problem of the impact of geomagnetic storms on electrical networks is well known. A large number of works devoted to this problem have been written. For a correct assessment of the impact of geomagnetic storms on the equipment of electric power systems, it is necessary to correctly assess the magnitude of the impulse of the electric field strength. In this article, on the example of the Samara region, a calculation was made of the impulse of the electric field strength affecting the power supply system.

Keywords: electric field strength impulse, geo-induced current, earth conductivity, geomagnetic storm.

Форма импульса напряженности электрического поля воссоздана на основе рекомендуемой в соответствии с [2] (рисунок 1). Рекомендуемая форма импульса получена на основе наблюдений и изучения геоиндуцированных токов (ГИТ).

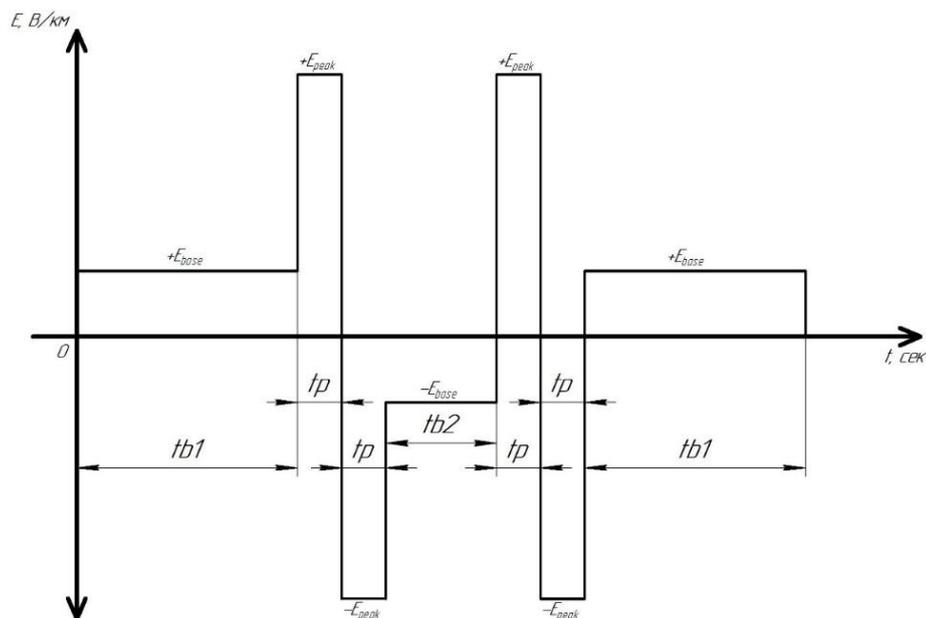


Рис. 1. Импульс напряженности электрического поля

Величина E_{peak} определяет пиковую амплитуду регионального геоэлектрического поля. Расчет основан на событии марта 1989 года в Квебеке. Пиковая величина поверхностного электрического поля в тот момент составляла 8 В/км (принимается за эталонное значение) с опорной точкой в Квебеке 60° северной геомагнитной широты. Масштабирование для других местоположений основано на локальной геомагнитной широте и удельной проводимости земли [3].

Так как за место дислокации принимается территория Самарской области, то E_{peak} была рассчитывается для неё. Методика расчета взята из [3]:

$$E_{peak} = 8 \cdot \alpha \cdot \beta, \quad (1)$$

где 8 В/км – эталонное значение геоэлектрического поля;
 α – коэффициент учета местной геомагнитной широты;
 β – коэффициент учета местной проводимости земли (грунта).

Коэффициент α рассчитывается по формуле 2:

$$\alpha = 0,001 \cdot e^{(0,115 \cdot L)}, \quad (2)$$

где L – геомагнитная широта в градусах (геомагнитная широта аналогична географической широте, за исключением того, что азимут относится к магнитным полюсам, а не к географическим).

В табл. 1 представлены коэффициенты масштабирования L.

Таблица 1

Коэффициенты масштабирования геомагнитной широты

L (градусы)	Коэффициент
≤ 40	0,1
45	0,2
50	0,3
54	0,5
56	0,6
57	0,7
58	0,8
59	0,9
≥ 60	1,0

Самарская область располагается в пределах от $51,47^\circ$ до $54,41^\circ$ северной широты, поэтому примем усредненный коэффициент масштабирования равный 0,4.

Коэффициент учета местной проводимости грунта (β), взят из [3]. В документе рассмотрены слоистые модели земли с глубиной до 1000 км и представлена географическая карта с коэффициентами масштабирования для регионов Северной Америки (рисунок 2).



Рис. 2. 1-D модель проводимости грунта Канады

В табл. 2 представлены коэффициенты масштабирования β .

Таблица 2

Коэффициенты масштабирования проводимости грунта β

Регион	Коэффициент
BC	0,67
PRAIRES	0,96
SHIELD	1,0
ATLANTIC	0,79

Так как в нашей стране подобные исследования не проводились, то сделаем допущение, что на одной широте грунты одинаковые, при этом учтем местоположение исследуемого объекта (близость к стыку литосферных плит, схожий климатический район, близость к морям и океанам).

Исходя из допущений, наиболее подходящим является грунт региона «PRAIRES», следовательно, $\beta=0,96$.

$$E_{peak} = 8 \cdot 0,4 \cdot 0,96 = 3,072 \frac{B}{км}$$

Анализ трудов [1,2] показал, что величина базового значения составляет 5–10 % от пикового значения. Значение величины E_{base} примем как 10 % от E_{peak} , тогда $E_{base} = 0,3072$ В/км. Геоиндуцированные токи обычно характеризуются низким уровнем воздействия продолжительностью от 10 минут до нескольких часов с короткими пиковыми импульсами. Из [1] $tb1 = 60$ минут, $tr = 3$ минуты, $tb2 = 20$ минут.

В результате получены пиковое и базовое значения напряженностей электрического поля характерные для территории Самарской области. Приведены продолжительности воздействия указанных напряжённостей.

Список литературы

1. Girgis R., Vedante K., Gramm K. Effects of Geomagnetically Induced Currents on Power Transformers and Power Systems. CIGRE. January 2012. P. 1-8.

2. IEEE Std C57.163-2015. IEEE Guide for Establishing Power Transformer Capability while under Geomagnetic Disturbances. IEEE Standards associations. 2015.

3. NERC TPL-007-1. New Reliability Standard. Siemens. 2017.

4. Механизмы воздействия квазипостоянных геоиндуцированных токов на электрические сети: монография / В. В. Вахнина, А. А. Кувшинов, В. А. Шаповалов, В. Н. Кузнецов, В. Д. Селемир, В. И. Карелин, В. В. Горохов. М.: Инфра-Инженерия, 2018. 256 с.

5. Гершенгорн А. И. Воздействия геомагнитных токов на электрооборудование энергосистем // Электрические станции, 1993 № 6 С. 54-63.

УДК: 621.315.3

РАСЧЁТ ВОЗМОЖНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ПРОВОДА И ОБМОТКИ ТРАНСФОРМАТОРА, ИЗЪЯТЫХ С МЕСТА ПОЖАРА

¹Филимонов Сергей Сергеевич, ²Николаев Кирилл Валерьевич

^{1,2}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

¹serfv43@gmail.com

Науч.рук. к.т.н. Аскарлов Р.Р.

Аннотация: в данной работе производится исследование в рамках электротехнической экспертизы. Работа включает расчёт возможных режимов работы осветительной сети. Зафиксированы нарушения проектной и нормативно-технической документации. Подготовлены материалы, для проведения эксперимента по электротехнической экспертизе.

Ключевые слова: ток нагрузки, сечение провода, температура клеммных соединений, выбор автоматического выключателя, номинальный ток, осветительная сеть.

CALCULATION OF POSSIBLE MODES OF OPERATION OF THE WIRE AND TRANSFORMER WINDINGS REMOVED FROM THE FIRE SITE

¹Filimonov Sergey Sergeevich, ²Nikolaev Kirill Valrievich

^{1,2}FSBEI HE «KSPEU», Kazan, Russia

¹serfv43@gmail.com

Scientific adv. P.h.D. Askarov R.R.

Abstract: in this work, a study is carried out within the framework of electrical expertise. The work includes the calculation of possible modes of operation of the lighting network. Violations of design and regulatory and technical documentation were recorded. Materials have been prepared for conducting an experiment on electrical expertise.

Keywords: load current, wire cross-section, terminal connection temperature, circuit breaker selection, rated current, lighting network.

В данной работе описан этап проведения электротехнической экспертизы, проводимой с целью выявления несоблюдений требований

нормативно-технической документации по монтажу осветительных сетей на Объекте, где произошёл пожар. На рассматриваемом Объекте пожарной экспертизой установлено, что причиной возникновения пожара является ненормальный режим работы электроустановки – осветительной сети чердачного помещения, запитывающейся от трансформатора ТСЗИ-4,0 220/36.

В ходе осмотра трансформатора, изъятого с места пожара, зафиксировано разрушение текстолитового клеммника около одной из клемм, предположительно из-за чрезмерного нагрева болтового соединения вследствие его ослабления. Тогда проверке надлежит следующая версия возникновения пожара: при протекании в осветительной сети рабочего тока и ослаблении болтового соединения одной из клемм происходило увеличение нагрева этого болтового соединения и окружающих его материалов, в т.ч. изоляции провода осветительной сети. Чрезмерный нагрев изоляции провода предположительно мог привести к его возгоранию. Для проверки версии выполнен расчёт рабочего тока осветительной сети: из технического отчёта по монтажу осветительной следует, что суммарная нагрузка на провод составляет 800 Вт – в качестве нагрузки было 20 ламп по 40 Вт каждая. В ходе расчётов получен результат, что на болтовом соединении протекал рабочий ток $I_{раб} = 22,2$ А. Для проверки возможности возгорания изоляции при изложенных обстоятельствах проведён эксперимент. В эксперименте по определению возможной температуры болтового соединения клеммы низшего напряжения в составе понижающего трансформатора использовался автотрансформатор, к которому подключался фрагмент провода «ВВГ-П НГ(А)-LS 2x1,5ок(N)-0,66», изъятого с места пожара, и фрагмент провода обмотки трансформатора стороны низшего напряжения, между собой подключённые болтовым соединением. Измерение тока производилось Микротоковыми клещами-ваттметром АТК-2301, а температура болтового соединения измерялась Мультиметром АРРА 506В. В ходе эксперимента наблюдалось нагревание болтового соединения более 57 °С, при том, что разрушения изоляции провода вследствие нагрева не наблюдалось, поэтому проверяемая версия опровергнута.

В ходе изучения проекта электроснабжения исследуемого участка выявлено, что на стороне низшего напряжения трансформатора должен быть автоматический выключатель. Но по результатам осмотра Объекта обнаружено, что автоматический выключатель не был установлен, что является нарушением проектной документации и п. 6.1.35 ПУЭ [1].

В таком случае, имеет место быть такой ненормальный режим работы электроустановки, как длительное короткое замыкание в осветительной сети. Рассмотрим версию возгорания изоляции провода вследствие нагрева ослабленного болтового соединения при протекании по нему тока короткого замыкания. Проверку этой версии также проведём экспериментально, но прежде проведём расчёт возможных наибольшего и наименьшего токов короткого замыкания.

Перед трансформатором, т.е. на стороне высокого напряжения был установлен автоматический выключатель с номинальным током 25 А категории срабатывания «С». Ток условного нерасцепления (ток, при котором автомат гарантированно проработает не меньше часа) для такого автомата рассчитывается по формуле (1):

$$I_{\text{усл.нерасц.}} = 1,13 \cdot I_{\text{ном.ав}} = 1,13 \cdot 25 = 28,25 \text{ А} \quad (1),$$

где $I_{\text{усл.нерасц.}}$ – ток условного нерасцепления, А;

$I_{\text{ном.ав}}$ – номинальный ток автоматического выключателя, А.

Таким образом, значение тока, протекающего по цепи со стороны высшего напряжения, при котором автоматический выключатель гарантированно не сработает в течении часа может достигать 28,25 А. Отметим, что, понижая значение напряжения, трансформатор увеличивал значение тока в количество раз равное коэффициенту трансформации трансформатора, которое вычисляется по формуле:

$$K_{\text{тр}} = \frac{U_{\text{ном.вн}}}{U_{\text{ном.нн}}} = \frac{220}{36} = 6,11 \quad (2),$$

где $K_{\text{тр}}$ – коэффициент трансформации;

$U_{\text{ном.вн}}$ – номинальное напряжение обмотки высокого напряжения, В;

$U_{\text{ном.нн}}$ – номинальное напряжение обмотки низкого напряжения, В.

Коэффициент трансформации трансформатора равен 6,11 [2]. Учитывая вышеизложенное, если по проводникам со стороны высшего напряжения без срабатывания автоматического выключателя может протекать ток 28,25 А при возникновении короткого замыкания в осветительной сети, то со стороны низкого напряжения, по жилам провода, также без срабатывания автоматического выключателя может протекать ток величиной 172,64 А.

Отметим, что при осмотре изоляции обмоток низкого напряжения трансформатора не обнаружено признаков термического воздействия на нее, вследствие протекания по обмоткам низшего напряжения токов выше номинального. Номинальный ток обмоток низкого напряжения рассчитывается так:

$$I_{\text{ном}_{\text{НН}}} = \frac{P_{\text{ном}_{\text{НН}}}}{U_{\text{ном}_{\text{НН}}}} = \frac{4000}{36} = 111,11 \text{ А} \quad (3),$$

где $I_{\text{ном}_{\text{НН}}}$ – номинальный ток обмотки низкого напряжения, А;

$P_{\text{ном}_{\text{НН}}}$ – номинальная мощность обмотки низкого напряжения, Вт;

$U_{\text{ном}_{\text{НН}}}$ – номинальное напряжение обмотки низкого напряжения, В.

Таким образом, возможное наибольшее значение тока короткого замыкания, протекающего по жилам провода осветительной сети, $I_{\text{КЗ}_{\text{маиб}}} = I_{\text{ном}_{\text{НН}}} = 111,11 \text{ А}$.

Возможное замыкание произошло вдали от трансформатора, тогда значение тока короткого замыкания будет меньше. Предположительно самая дальняя точка возникновения короткого замыкания может быть у противоположной от трансформатора стены в помещении, где произошел пожар. Расстояние до возможной дальней точки короткого замыкания определено визуально и по проектной документации – 16,2 м. Провели расчёт наименьшего значения тока короткого замыкания, протекающего по жилам провода осветительной сети, при возникновении короткого замыкания на расстоянии 16,2 м и получили результат 68,83 А.

В представленном исследовании, выявлено, что рабочий ток представленной сети не составлял значительных пожарных рисков. Также отметим, что зафиксированы обстоятельства, при которых возможно длительное протекание токов короткого замыкания от 68,83 до 111 А. В рамках работы планируется проведение экспериментов по определению температур болтового соединения при вычисленных значениях токов короткого замыкания для дальнейшей оценки пожарных рисков при возникновении ненормального режима работы осветительной сети.

Список литературы

1. Правила устройства электроустановок. 7-е и 6-е издания (в ред. Приказов Министерства энергетики Российской Федерации от 20 декабря 2017 года №1196 и №1197). – СПб.: Издательство ДЕАН, 2020. – 1168 с.

2. ГОСТ 28249-93 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ.

ВЕКТОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ АСИНХРОННЫМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ МАШИНАМИ, ЧАСТОТНЫЙ ПРИВОД

А.И. Хаертдинова
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
adelya.haertdinova@mail.ru

Аннотация: в статье описывается векторное управление асинхронными электрическими машинами, частотный привод и описание его работы

Ключевые слова: асинхронный двигатель, электропривод, частотный регулируемый привод, векторное управление, двигатель, частота, ток, напряжение, статор.

VECTOR CONTROL OF ASYNCHRONOUS MACHINES, FREQUENCY DRIVE

A.I. Khaertdinova
«KSPEU» s. Kazan
adelya.haertdinova@mail.ru

Abstract: the article describes the vector control of asynchronous electric machines, the frequency drive and the drive of its operation

Keywords: asynchronous motor, electric drive, variable frequency drive, vector control, motor, frequency, current, voltage, stator.

Асинхронный двигатель (далее: АД) является неуправляемой по скорости конструкцией. На данный момент АД считается надежным и простым по конструкции компонентом автоматизированного электропривода, метод частотного регулирования скорости считается лучшим согласно ключевым признакам регулирования, кроме того возникли быстродействующие микропроцессорные приборы и надежные источники питания и преобразования частоты [1].

В 1925 г. М. П. Костенко были сформулированы основы скалярного управления АД. Он был первым, кто описал метод сопряженного изменения амплитуды и частоты напряжения статора в зависимости от требуемого этапа (скалярное управление напряжением). Далее в 1963 г. В. Н. Бродовский описал правило скалярного управления током – управление моментом двигателя, объединено меняя амплитуду, а также частоту тока статора [6].

Следующий шаг в формировании теории и практики управления двигателя – векторное управление. Оно представляет собой дифферен-

циальные уравнения, описывающие электрическую машину как в динамике, так и в статике. В отличие от скалярного управления, векторный метод управления дает возможность изменять скорость вала и момент одновременно, существенно повышает точность регулировки во всем спектре, уменьшает потери на намагничивание, а также на нагревание, гарантирует плавное вращение ротора на маленьких скоростях. Кроме того, способ дает возможность подстраивать момент на валу при переменной нагрузке без изменения частоты вращения.

При векторном управлении АД способен питаться не только от источника напряжения, но и от источника тока. Данный способ управления широко распространен, так как при регулировании тока вне зависимости от частоты питания АД гарантируется также регулирование его момента. Напряжения на обмотках статора АД формируются автоматически в зависимости от тока, что не только упрощает схему управления, но и в то же время не дает перегреваться двигателю. При частотно-токовом векторном управлении меняется электромагнитный момент вместе с составляющими векторов тока статора, что создает АД аналогичным двигателю постоянного тока с независимым возбуждением.

Методы векторного управления подразделяются на линейное (схемы с широтно-импульсной модуляцией) и нелинейное [3]. При линейном регулировании применяется объемно векторная модуляция, регулятор работает вместе с усредненными величинами за момент дискретизации сигналов, когда нелинейный способ предполагает обработку моментальных величин сигналов.

На рисунке 1 изображена упрощенная структура системы векторного управления скорости АД [2]:

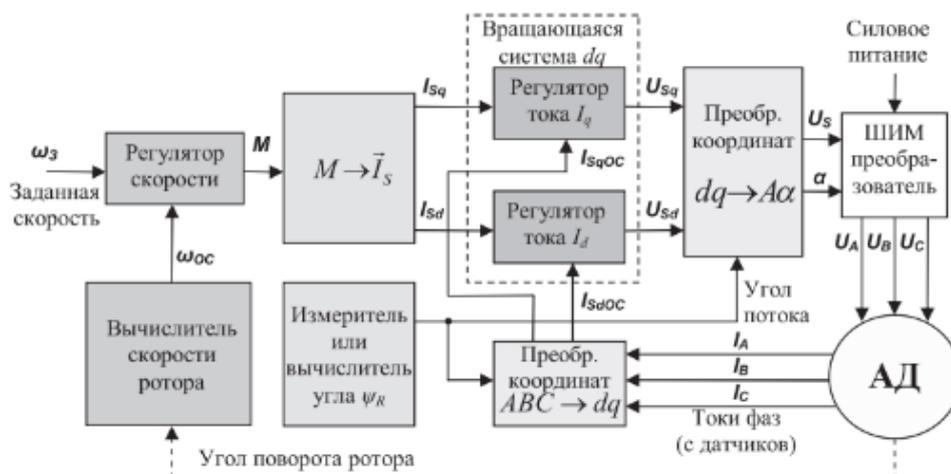


Рис. 10. Упрощенная структура системы векторного управления скорости АД

Частотный регулируемый привод (далее: ЧРП) представляет собой вид электропривода, который регулирует скорость и крутящий момент путем изменения частоты потребляемой электрической энергии. Частотный привод управляет соответствующим изменением напряжения, либо тока.

ЧРП применяется от небольших устройств до крупных компрессоров. Системы, использующие ЧРП, имеют все шансы стать более результативными, чем гидравлические системы.

ЧРП, используемый в системе привода, состоит из 3-х основных подсистем: двигатель переменного тока, узел контроллера главного привода и интерфейс привода [5].

Электродвигатель переменного тока, применяемый в ЧРП, как правило считается трехфазным АД. Определенные виды однофазных двигателей или синхронных двигателей имеют все шансы быть выгодными, однако, как правило, преимущественны трехфазные АД, так как они являются более экономичными.

В преобразователях вместе с прямой взаимосвязью частотный привод предполагает собой контролируемый выпрямитель.

Переменное напряжение сети сперва изменяется в постоянное, сглаживается в звене постоянного тока и поступает в инвертирующий элемент. Изменение постоянного напряжения выполняется из-за поочередного открытия и закрытия транзисторных ключей.

Частотно-регулируемый привод вместе с векторным управлением считается одним из наиболее выгодных и надежных электроприводов. Применение энергосберегающего электропривода уменьшает потребление электрической энергии приблизительно в 40 %. Общий коэффициент полезного действия способен доходить до 80-90 %, что дает возможность уменьшить потери мощности в среднем на 15-30 % [4].

Вследствие этого основные инновационные решения:

1. редуктор с усовершенствованными характеристиками;
2. новейшая концепция двигателя- Коэффициент полезного действия достигает класса IEP (Премиум);
3. новейшие электронные элементы, а также высокоинтеллектуальные системы управления двигателем.

Список литературы

1. Патент на полезную модель № 195978 U1 Российская Федерация, МПК G01R 31/34. автоматизированный стенд для исследования

и испытания частотно-регулируемых электроприводов : № 2019126056 : заявл. 16.08.2019 : опубл. 12.02.2020 / В. Ю. Корнилов, И. В. Ившин, А. Н. Цветков [и др.] ; заявитель Акционерное общество "Чебоксарский электроаппаратный завод".

2. Калачев Ю. Н. Векторное регулирование (заметки практика). ЭФО, 2013. 63 с.

3. Клевцов А. В. Преобразователи частоты для электропривода переменного тока. – Тула: Гриф и К, 2008.

4. Браславский И. Я., Ишматов З. Ш., Поляков В. Н. Энергосберегающий асинхронный электропривод: учеб. для студ. высш. учеб. заведений / под ред. И.Я. Браславского. – М.: Изд. центр «Академия», 2004.

5. Соколовский Г. Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием: учеб. для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Изд. центр «Академия», 2006.

6. Терехов В. М., Осипов О. И. Системы управления электроприводов: учеб. для студ. высш. учеб. заведений / под ред. В. М. Терехова. – М.: Изд. центр «Академия», 2005.

УДК 621.311

РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ГЕНЕРАЦИЯ В ЭЛЕКТРОСЕТЕВОМ КОМПЛЕКСЕ

¹Хайретдинов Руслан Маратович, ²Куракина Ольга Евгеньевна
^{1,2}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
¹hannanov.ruslan1999@mail.ru, ²esis.kgeu@bk.ru

Аннотация: данная статья рассматривает вопросы, связанные с применением распределенной генерации в электросетевом комплексе и ее влияние на территориальные сетевые организации. Кроме того, в работе анализируются проблемы и риски, связанные с использованием распределенной генерации, такие как сбои в работе сети, потери энергии и возможные нарушения безопасности. Также описываются возможные решения для снижения рисков и улучшения работы системы, такие как внедрение новых технологий и совершенствование существующих инфраструктурных систем.

Ключевые слова: распределенная генерация, электросетевой комплекс, территориальная сетевая организация, проблемы, инфраструктура.

DISTRIBUTED GENERATION IN THE POWER GRID SECTOR

¹Ruslan Khayrettinov, ²Olga KurakinaKSPEU, Kazan
¹hannanov.ruslan1999@mail.ru, ²esis.kgeu@bk.ru

Abstract: this article considers issues related to the application of distributed generation in the power grid complex and its impact on territorial grid organisations. In

addition, the paper analyses the problems and risks associated with the use of distributed generation, such as network failures, energy losses and possible security breaches. Possible solutions to reduce risks and improve system performance, such as the introduction of new technologies and improvement of existing infrastructure systems, are also described.

Key words: distributed generation, power grid complex, territorial grid organisation, problems, infrastructure.

Без надежной и стабильной работы электросетевого комплекса (ЭСК) может возникнуть прерывание электроснабжения, что способно привести к остановке производственных процессов и повреждению оборудования, а также к нарушению жизненно важных услуг, таких как здравоохранение и образование. Цель работы заключается в исследовании проблем, рисков и возможных решений, связанных с распределенной генерацией электроэнергии в ЭСК, а также в выявлении способов минимизации рисков для территориальных сетевых организаций.

В последние годы распределенная генерация электроэнергии получает все большее распространение в мире благодаря своим преимуществам, таким как надежность, гибкость и возможность использования возобновляемых источников энергии. Однако, недостатком является отсутствие единой системы управления и мониторинга за работой этих установок, что может привести к непредсказуемому влиянию на работу сетей электроснабжения, нарушению баланса между производством и потреблением электроэнергии, а также к ухудшению качества электроснабжения и увеличению риска аварийных ситуаций [1].

Проблемы с управлением напряжением в электросетях в условиях распределенной генерации могут возникнуть из-за непостоянной и непредсказуемой генерации электроэнергии, что может привести к нестабильности напряжения и повышенному риску перенапряжения в системе. Риск перегрузки электросетей возрастает при увеличении распределенной генерации из-за разбалансировки потребителя и производителя электроэнергии, что может привести к перегрузке электросетей и повреждению оборудования. Недостатки в экономическом аспекте могут включать высокие затраты на установку и обслуживание оборудования и низкую частоту использования электроэнергии в сети.

Риски для территориальных сетевых организаций могут включать в себя нестабильность сетевого напряжения, увеличение нагрузки на электросеть, необходимость в модернизации и обновлении сетевой инфраструктуры, рост затрат на поддержание стабильности и надежности энергосистемы, а также возможные проблемы с безопасностью и качеством электроснабжения [2].

Для управления и контроля можно рекомендовать следующие меры: разработку и внедрение специальных программ управления и контроля; регулярный мониторинг состояния сети и анализ полученных данных для выявления возможных проблем и принятия своевременных мер; применение «умных» сетей и систем хранения энергии; обучение и повышение квалификации персонала, занятого в управлении и обслуживании энергосистемы; а также разработку эффективной стратегии взаимодействия с производителями и потребителями энергии.

Для минимизации рисков можно рассмотреть следующие решения: внедрение «умных» сетей и систем хранения энергии; развитие новых технологий управления и контроля над энергосистемой; установку автоматических регуляторов напряжения и другого оборудования для обеспечения стабильности энергосистемы; разработку и реализацию мер по обеспечению безопасности и качества электроснабжения; расширение сетевой инфраструктуры и модернизацию существующих объектов; совершенствование системы управления и координации работы; а также развитие экономических механизмов стимулирования использования энергии из возобновляемых источников. [3]

Внедрение объектов распределенной генерации имеет существенные отличия, поскольку включают в себя линии интеллектуальных систем, доступных и надежных для потребителя. Особенностью данной структуры является минимализация затрат со стороны сетевых компаний при ее параллельном включении с региональными производителями. Данный вопрос требует конкретизации в сфере нормативных и законодательных актов, поскольку принципы планирования развития единой электрической системы в России несколько отличны от развития распределенной генерации. Так, нормативные ограничения на мощность и величину перетока из энергосистемы в интеллектуальные системы не позволяют эффективно влиять данным линиям на работу всей системы, тем самым нарушается баланс. В Федеральном законе от 26.03.2003 № 35-ФЗ «Об электроэнергетике» существуют требования по разделению энергетического бизнеса по видам деятельности, повышая операционные расходы и снижая оперативность в принятии решений в отношении распределенной генерации. В законе от 27.07.2010 №190-ФЗ «О теплоснабжении» отсутствует требование по внедрению рассматриваемых технологий непосредственно в схемы теплоснабжения населенных пунктов. А в Федеральном законе от 17.10.2009 № 823-ФЗ «О схемах и программах перспективного развития электроэнергетики» необходимо конкретизировать информацию по объектам распределенной генерации с целью

оптимизирования затрат на строительство и внедрения конкуренции в розничной торговле.

Для развития распределенной генерации и линий интеллектуальных сетей необходимо создавать благоприятные условия не только в рамках нормативных и законодательных актов, но и создавать благоприятные условия на коммунальном уровне, улучшая качество и относительную дешевизну электроэнергии для потребителя. Содействовать улучшению сетей можно благодаря популяризации данного вопроса и поиску частных инвесторов в малом энергетическом бизнесе, а также расширению конкуренции на рынке электроэнергии.

Совместная работа с производителями оборудования и разработчиками программного обеспечения необходима для эффективного управления распределенной генерацией электроэнергии, чтобы обеспечить совместимость и взаимодействие между различными источниками энергии и системами управления, а также для разработки новых технологий и решений, учитывающих особенности распределенной генерации.

Основные проблемы и риски в области распределенной генерации электроэнергии включают: недостаток регулирования и контроля, проблемы с управлением напряжением, риски перегрузки электросетей и экономические недостатки. Для минимизации рисков необходимо использовать технологии управления и контроля, включая мониторинг и диагностику систем, а также совместно работать с производителями оборудования и разработчиками программного обеспечения для разработки новых решений, учитывающих особенности распределенной генерации. В целом, распределенная генерация представляет собой важное направление развития энергетической отрасли, но требует комплексного и внимательного подхода к управлению и интеграции в существующую систему.

Список литературы

1. Дзюба А. П., Семиколонов А. В. Актуальность применения активных энергетических комплексов в промышленности России // Проблемы экономики и управления нефтегазовым комплексом. – 2021. – №9(201). – С. 31-40.

2. Земскова Л. В. Когенерация в распределенной энергетике // Тинчуринские чтения. Т. 1 Ч. 2. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2019. – С. 306-309.

3. Рахмонов И. У. Автоматизированная система управления элект-

ропотреблением промышленных предприятий // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2022. – Т. 14, № 4(56). – С. 30-38.

УДК 621.31

РЕЛЕ НАПРЯЖЕНИЯ ПЕРЕКОСА И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ФАЗ

¹Харисов Наиль Ильдарович, ²Фетисов Леонид Валерьевич
^{1,2}«Казанский государственной энергетический университет», г. Казань
¹nlkhrsv@gmail.com
²leonidfetisov@mail.ru

Аннотация: в статье представлен обзор устройства РНПП (реле напряжения перекоса и последовательности фаз). Данный прибор используется в трехфазных сетях, он контролирует не только напряжение, но и перекос фаз – состояние электрической сети, приводящее асимметрию токов и нестабильную работу, когда линейные напряжения остаются константами, а фазовые имеют переменные значения.

Данная ситуация способна привести к перегреву обмотки трансформаторов и электродвигателей, которые могут перегореть, и оборудование выйдет из строя. Наиболее часто встречающихся случаев – это обрыв фазы.

Также еще одной ситуацией, приводящая к поломке оборудования является слипание фаз. Это явление электрической цепи, когда по двум питающим кабелям приходит только одно фазное напряжение. Такое напряжение в сети способно привести к преждевременной поломке оборудования. Для нормальной работы электрооборудования необходим порядок чередования фаз. Наиболее часто возникают ситуации, когда в трехфазной сети в каждой фазе находится 220 В относительно земли, но при этом две фазы замкнуты между собой.

Ключевые слова: слипание фаз, реле напряжения, перекос фаз, РНПП, защита электрооборудования.

COMPENSATION OF HIGHER HARMONICS

¹Kharisov Nail Ildarovich, ²Fetisov Leonid Valeryevich
^{1,2}FSBEI HE KSPEU, Kazan
¹nlkhrsv@gmail.com
²leonidfetisov@mail.ru

Abstract: the article presents an overview of the RNPP device (relay voltage bias and phase sequence). This device is used in three-phase networks, it monitors not only the voltage, but also the phase distortion - the state of the electrical network, which leads to current asymmetry and unstable operation when line voltages remain constant, and phase voltages have variable values.

This situation can lead to overheating of the winding of transformers and electric motors, which can burn out, and the equipment will fail. The most common cases are phase breakage.

Also, another situation that leads to equipment failure is the sticking of phases. This is the phenomenon of an electrical circuit when only one phase voltage comes through two

supply cables. Such a voltage in the network can lead to premature equipment failure. For the normal operation of electrical equipment, the order of phase alternation is necessary. The most common situations arise when in a three-phase network in each phase there is 220 V relative to the ground, but at the same time the two phases are closed to each other.

Keywords: phase adhesion, voltage relay, phase misalignment, RNPP, protection of electrical equipment.

Напряжение является одним из основных критериев питающей сети. Несмотря на то, что к современным видам оборудования предъявляются достаточно жесткие требования в плане их качества и стабильной работы, но во многом корректность будет зависеть от параметров питающей электрической сети, в особенности от напряжения. Для защиты электрооборудования и корректной работы всей системы на питающих контурах устанавливаются электронные приборы, обеспечивающие защиту оборудования от перепадов напряжения [1,2]. Одним из таких приборов является реле напряжения и контроля фаз РНПП.

РНПП защищает трехфазную сеть от перекоса фаз, слипания фаз, а также от отклонения фазы от номинальных значений. Существует большая вероятность перепада напряжения от номинального в больших пределах, как вниз, так и вверх. Если напряжение будет завышенным, то его не выдержит ни одно электрооборудование. С пониженным не будет работать электрооборудование с механическим приводом [3].

Данное реле является многофункциональным электронным устройством микропроцессорного типа. Основным преимуществом является продолжение работы даже после отключения нагрузки. И при аварийной ситуации в сети, он не пропустит электричество на оборудование. Как только параметры электрической сети придут в норму, устройство тут же в автоматическом режиме включает питание. Настройка производится при помощи DIP-переключателей, расположенных на лицевой стороне корпуса.

Также устройство может быть использовано для защиты импортного оборудования, в котором максимальный предел напряжения равен 400 В, по сравнению с отечественным 380 В. Дополнительно конструкция прибора снабжена двумя потенциометрами. С их помощью выставляется время: первый выставляет диапазон отключения, второй включения. Есть возможность увеличить порог срабатывания в пределах 5–50 % по показателю напряжения. Также небольшие габаритные размеры позволяют установить прибор в любой электрический шкаф. Монтаж производится на DIN рейку.

Существует достаточно широкая модельная линейка этого

электронного устройства. Существует РНПП для однофазной цепи. Именно его сегодня часто используют электрики, собирая распределительный шкаф для частных домов и квартир, куда входит однофазная линия на 220 В [4].

Этот прибор предназначен для одного – разорвать питающую сеть при скачках напряжения. На данное устройство, как и на предыдущей модели, можно выставить минимальный и максимальный показатель срабатывания. Также можно выставить время, после которого устройство должно включиться автоматически при выравнивании до номинальной величины.



Рис. 1. Внешний вид устройства РНПП

Список литературы

1. Новокрещенов, В. В. Обзор устройств релейной защиты и автоматики и измерительных преобразователей электрического тока, применяемых при проектировании интеллектуальных и активно-адаптивных сетей / В. В. Новокрещенов, В. Р. Иванова // Энергоэффективность и энергобезопасность производственных процессов (ЭЭПП-2019) : сборник трудов, Тольятти, 12–13 ноября 2019 года / Ответственный за выпуск В. В. Вахнина. – Тольятти: Тольяттинский государственный университет, 2019. – С. 313-317.

2. Новокрещенов, В. В. Обзор современных устройств релейной защиты и автоматики и измерительных преобразователей, используемых при модернизации электротехнических комплексов и систем / В. В. Новокрещенов, В. Р. Иванова // Тинчуринские чтения : Материалы XIV Международной молодежной научной конференции. В трех томах, Казань, 23–26 апреля 2019 года. Том 1 Ч.2. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2019. – С. 81-85..

3. Реле защиты / В. С. Алексеев, Г. П. Варганов, Б. И. Панфилов, Р. З. Розенблюм. М.: Энергия. 1976.

4. Неклепаев Б. Н., Крючков И. П., Электрическая часть электростанций и подстанций.

ТОЧНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСТАВОК ТОКОВЫХ РЕЛЕЙНЫХ ЗАЩИТ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПУСКА И САМОЗАПУСКА ДВИГАТЕЛЕЙ

Черных Дмитрий Артёмович,
КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, г. *Казань*
dachernykhwork@gmail.com

Аннотация: в данной статье рассматривается расчет уставок релейной защиты систем электроснабжения среднего напряжения промышленных предприятий, а именно токовых защит электродвигателей, секционного и вводного выключателей и питающих линий распределительных подстанций. При расчете токовые защиты должны учитываться процессы пуска и самозапуска электродвигателей. В традиционных методах расчета используются приближенные коэффициенты, из-за чего ухудшаются параметры проектируемой РЗА. Предлагается использовать современные инструменты математического и компьютерного моделирования для точного определения токов при пуске и самозапуске различных электродвигателей. Производится сравнения расчета уставок асинхронного двигателя по традиционной методике и по результатам моделирования его пуска, делается вывод об эффективности моделирования. Рассматривается также процесс группового самозапуска для различного количества двигателей. Производится сравнение оценки самозапуска традиционным методом и посредством моделирования. Делается вывод о полезности и необходимости моделирования при проектировании РЗА промышленного предприятия.

Ключевые слова: релейная защита и автоматика, пуск асинхронного двигателя, самозапуск электродвигателей, максимальная токовая защита, защита с зависимой характеристикой, компьютерное моделирование, имитационное моделирование.

PRECISE CURRENT RELAY SETTING CALCULATION USING MATHEMATICAL MODELING OF MOTOR STARTING

Dmitrii Chernykh
KNRTU-KAI named after A. Tupolev, *Kazan*
dachernykhwork@gmail.com

Abstract: this article deals with the relay protection settings calculation for medium-voltage power supply systems of industrial enterprises, namely the current protection of electric motors, sectional and input circuit breakers and supply lines of distribution substations. When calculating current protection, the processes of starting and self-starting of electric motors must be taken into account. In traditional methods of calculation approximate coefficients are used, because of which the parameters of the designed RPA deteriorate. It is offered to use modern tools of mathematical and computer modeling for exact definition of currents at start-up and self-starting of various electric motors. Comparison of calculation of induction motor settings by traditional methods and by results of modeling of its start is made, the conclusion about efficiency of modeling is made. The process of group self-starting for different number of motors is also considered. A comparison is made between the evaluation of self-starting by the traditional method and by simulation. The conclusion is made about the usefulness and necessity of modeling in the design of RPA of industrial enterprise.

Keywords: relay protection and automation, induction motor starting, self-starting of electric motors, maximum current protection, protection with dependent characteristic, computer modeling, simulation modeling.

Частой задачей при проектировании систем электроснабжения промышленных предприятий является расчет уставок релейной защиты и автоматики (РЗА) присоединений среднего напряжения 6-10 кВ, в частности, кабельных линий, питающих высоковольтные электродвигатели и распределительные подстанции (РП), а также вводных и секционных выключателей РП. В таких расчетах для токовых защит необходимо учитывать процессы пуска и самозапуска электродвигателей, во время которых протекают токи, сравнимые по значению с токами короткого замыкания. В традиционных методах расчета уставок отстройка от токов пуска и самозапуска производится на основании приближительных коэффициентов, в результате чего может ухудшаться быстродействие и чувствительность проектируемых защит. Современные инструменты математического и компьютерного моделирования позволяют точно рассчитать процессы пуска и самозапуска для различных типов электродвигателей и различного состава оборудования рассматриваемых систем электроснабжения.

Актуальными становятся следующие вопросы:

- насколько расчет, основанный на результатах такого моделирования, будет точнее расчета по традиционным методикам;
- позволит ли он улучшить характеристики проектируемых защит;
- если позволит, то в каких ситуациях моделирование будет наиболее полезно, а в каких можно будет обойтись без него?

На рисунке 1 представлена типовая двухсекционная РП 10 кВ, получающая питание по кабельным линиям от вышестоящей подстанции (например, главной понизительной подстанции), к которой, в свою очередь, подключаются высоковольтные асинхронные двигатели (АД) и некоторая статическая нагрузка. Выбор тока срабатывания токовой отсечки (ТО) защиты асинхронного двигателя осуществляется по условию отстройки от пускового тока [1]:

$$I_{ТО} = k_{отс} * k_{п} * I_{ном}, \quad (1)$$

где $k_{отс}$ – коэффициент отстройки, зависящий от типа терминала защиты, $k_{п}$ – кратность пускового тока, $I_{ном}$ – номинальный ток двигателя.

Пусковой ток АД либо указывается в паспортных данных, либо выбирается из диапазона $(5-7) * I_{ном}$ [4]. Зачастую, для гарантированной отстройки защиты от пускового тока, выбирается скорее большее значение (например, $6,5 I_{ном}$), чем меньшее.

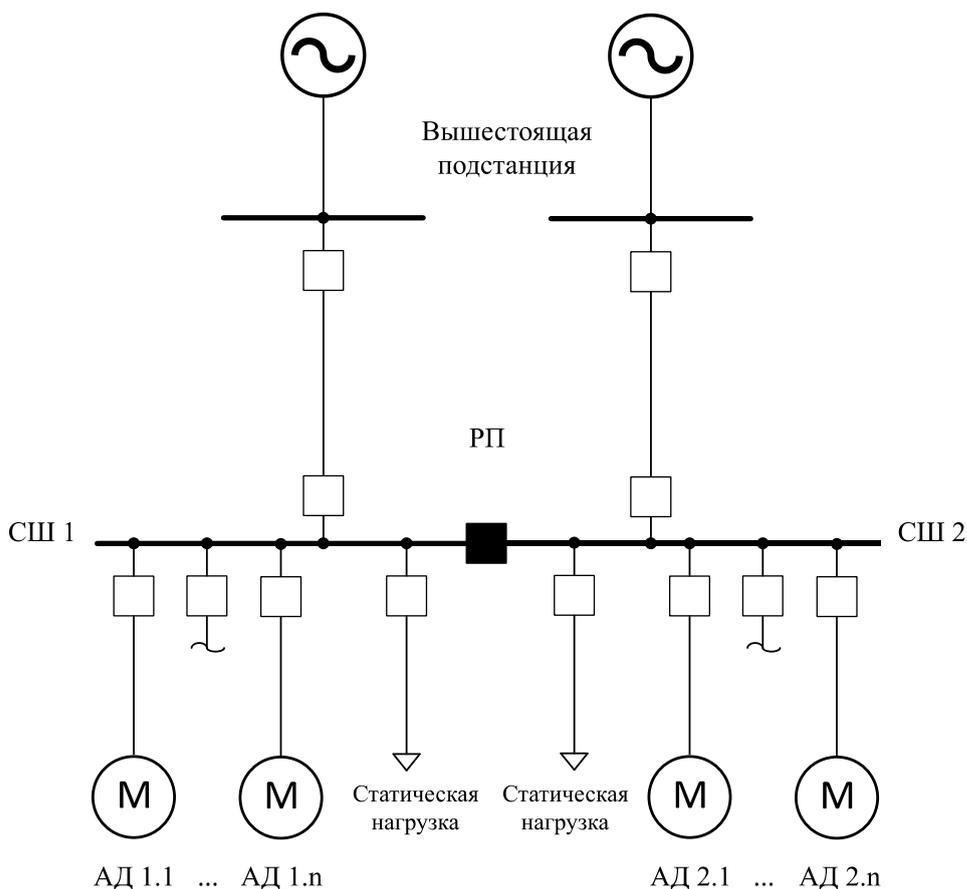


Рис. 1. Типовая РП 10 кВ

Важной защитой для многих АД также является защита от перегрузки, которая может также реализовываться посредством максимальной токовой защиты (МТЗ) с зависимой характеристикой. В отечественной практике зависимость для определения времени срабатывания от тока имеет следующий вид [5]:

$$t = \frac{\beta * K}{\left(\frac{I}{I_{сз}}\right)^\alpha - 1}, \quad (2)$$

где α , β – постоянные, характеризующие выбор зависимости, K – задаваемая уставка по времени, $I_{сз}$ – задаваемый на основе номинального тока двигателя и коэффициента трогания ток срабатывания МТЗ, I - измеряемый ток. Далее производится расчет уставок токовых защит для некоторого асинхронного двигателя АД1.1 мощностью 200 кВт.

Ток срабатывания ТО рассчитывается согласно (1) и составляет в данном случае 200 А. Для зависимой МТЗ выбирается экстремально-инверсная характеристика ($\alpha = 2$, $\beta = 80$). Характеристика срабатывания указанных защит представлена на рисунке 2, а.

Как видно из рисунка, характеристику срабатывания МТЗ и ТО необходимо отстроить от пусковой характеристики АД, при этом должна сохраняться чувствительность к току двухфазного КЗ на выводах двигателя.

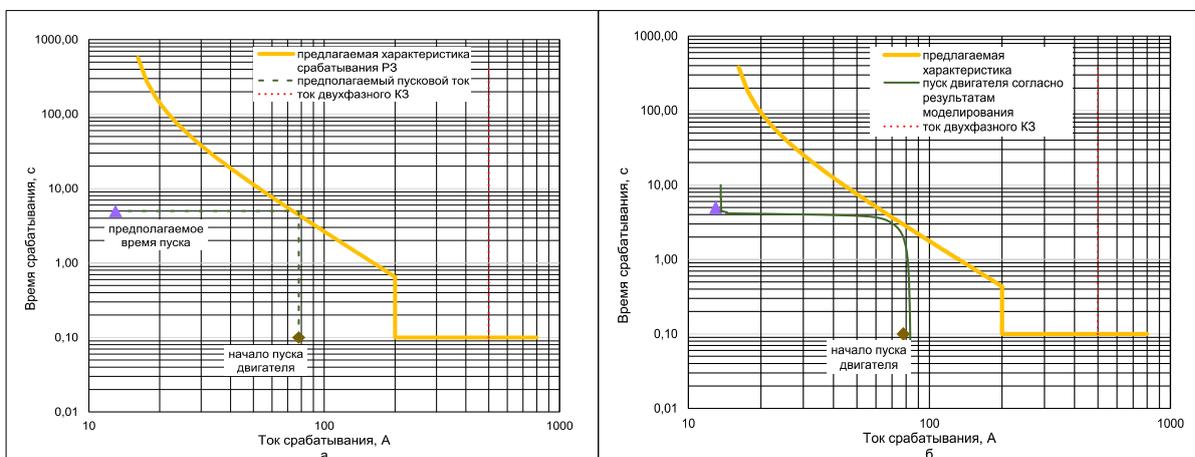


Рис. 2. Характеристики РЗ для АД1.1

Для выполнения этих условий при традиционном расчете можно лишь отметить на карте селективности приблизительное значение пускового тока, примерно оценить по постоянной инерции время пуска двигателя, провести для наглядности некоторую “ступень” и затем отстроить от нее характеристику зависимой МТЗ. При этом, для гарантированного исключения ложного срабатывания защиты при пуске, пусковой ток и время пуска будут выбираться по верхнему краю диапазона, в результате чего быстродействие и чувствительность защиты будет ухудшаться.

На рисунке 2, б изображена пусковая характеристика двигателя, полученная в результате моделирования. Теперь можно точно отстроить характеристику зависимой МТЗ от пуска двигателя, так, в первом случае коэффициент уставки по времени K для формулы (2) составил 1,2, для второго случая он уменьшился до 0,8. Таким образом, улучшилось быстродействие защиты.

Для защиты кабельных линий, питающих РП, применяется МТЗ, ток срабатывания которой определяется следующим образом:

$$I_{CЗ} = \frac{k_{отс} * k_{сзп}}{k_B} * I_{ном}, \quad (6)$$

где $k_{сзп}$ – коэффициент группового самозапуска двигателей, принимаемый в диапазоне от 1,5 до 6 [2].

При возникновении на одной из питающих РП кабельных линий КЗ и отключения ее защитой произойдет замедление всех АД, подключенных к обесточенной секции шин РП, и, после срабатывания автоматического ввода резерва (АВР), произойдет групповой самозапуск этих АД, условия которого могут быть значительно тяжелее, чем пуск одного двигателя. Традиционные методы расчета уставок не предлагают сколько-нибудь точной оценки токов, протекающих в неповрежденной линии и секционном выключателе РП. Значение тока самозапуска и длительность его замыкания придется завышать для гарантированной отстройки МТЗ, быстрдействие и чувствительность защиты будет ухудшаться.

Исследуется значение тока, протекающего через секционный и вводной выключатель РП при отключении одной из питающих линий и замыкании СВ действием АВР через 1,5 секунды для трех случаев - к каждой секции шин подключен один, два и три АД мощностью 1620 кВт.

На рисунке 3, а показан график тока, протекающего через секционный выключатель для трех случаев, на рисунке 3, б показан график тока, протекающего через вводной выключатель для трех случаев. Как видно из рисунка 3, при увеличении количества двигателей, подключенных к одной секции шин, ток самозапуска увеличивается пропорционально и примерно в 5 раз (то есть по верхней границе диапазона значений, предлагаемого традиционными методами расчета) превышает суммарный номинальный ток подключенных двигателей. При этом протекает этот ток более двух секунд, что может привести к ложному срабатыванию МТЗ. Знание точного максимального значения тока при самозапуске и длительности его протекания позволит произвести оптимальный выбор уставок МТЗ секционного и вводного выключателя и вышестоящих защит и их согласование.

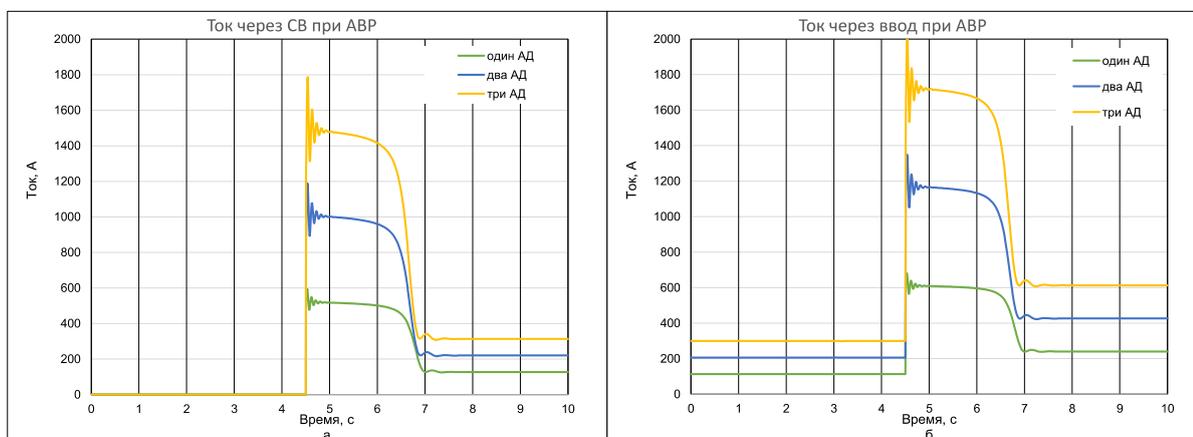


Рис. 3. Значения токов, протекающих через секционный и вводной выключатель при самозапуске различного количества двигателей

Таким образом, моделирование процесса пуска и группового самозапуска электродвигателей позволяет значительно повысить точность выбора уставок токовых защит как самих двигателей, так и вышестоящих элементов. Значительно улучшается быстродействие МТЗ двигателя любой мощности. Чувствительность МТЗ двигателя к двухфазному КЗ на его выводах ощутимо улучшается для двигателей большой мощности, когда значение пускового тока сравнимо с током двухфазного КЗ. РЗ вышестоящих элементов – секционного и вводного выключателей и питающей РП линии необходимо отстраивать от процесса самозапуска, который тем сложнее, чем больше количество и мощность питаемых электродвигателей. Следовательно, необходимость применения моделирования при проектировании уставок релейной защиты зависит от мощности и количества защищаемых двигателей. При малой мощности защищаемых двигателей и небольшом их количестве традиционные методы достаточны. Возможно исследование пуска отдельных двигателей для расчета их защиты от перегрузки и увеличения ее быстродействия. При большом количестве двигателей и их суммарной мощности рекомендуется моделирование как пусков двигателей, так и процесса самозапуска при аварийных возмущениях как без действия, так и с действием АВР, что позволит значительно улучшить быстродействие, чувствительность и согласование защит.

Список литературы

1. Валиуллин, К. Р. РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ / К. Р. Валиуллин – Оренбург: Оренбургский гос. ун-т., 2019. – 98 с.– ISBN 978-5-7410-2410-2. – Текст : непосредственный.
2. Кривенков, В. В. Релейная Защита и Автоматика Систем Электро-снабжения / В. В. Кривенков, В. Н. Новелла – Москва: Энергоиздат, 1981. – 328 с. – Текст : непосредственный.
3. Чернобровов, Н. В. Релейная защита энергетических систем / Н. В. Чернобровов, В. А. Семенов – Москва: ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ, 1998. – 800 с.– ISBN 5-283-010031-7. – Текст : непосредственный.
4. СТО ДИВГ-046-2017 ТЕРМИНАЛЫ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ СИНХРОННЫХ И АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ 6–10 кВ. Расчет уставок. Методические указания. – Санкт-Петербург: МЕХАНОТРОНИКА, 2017.
5. Зависимые времятоковые характеристики защит Д. Василевский. – URL: <https://pro-rza.ru/zavisimye-vremyatokovye-harakteristiki-zashhit-chast-1/> (дата обращения: 03.09.2023) – Текст: электронный.

СПОСОБ КОМПЕНСАЦИИ ВЫСШИХ ГАРМОНИК ПРИ ПЛАВНО-ДИСКРЕТНОМ УПРАВЛЕНИИ ТРАНСФОРМАТОРА С ТИРИСТОРНЫМ РЕГУЛЯТОРОМ НАПРЯЖЕНИЯ

¹Чивенков Александр Иванович, ²Соснина Елена Николаевна,
³Бедретдинов Рустам Шамилевич, ⁴Еременко Владимир Викторович²
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева,
г. Нижний Новгород
¹chyvenkov@mail.ru, ²sosnyna@yandex.ru, ³rsb88@yandex.ru,
⁴eryomenko.vladimir96@mail.ru

Аннотация: применение управляемых трансформаторов 10/0,4 кВ с тиристорным регулятором напряжения (ТТРН) позволяет снижать отклонения, колебания и несимметрию напряжения в сети 0,4 кВ, обеспечивая работу в оптимальном режиме низковольтных электроприемников, чувствительных к низкому качеству электроэнергии. Однако при плавно-дискретном регулировании ТТРН в сеть 0,4 кВ генерируются высшие гармоники. Авторами предлагается способ компенсации высших гармоник с помощью инвертора, генерирующего в противофазе соответствующие гармонические составляющие. Предложенный способ позволит исключить влияние ТТРН на несинусоидальность электрической сети, повысив качество электроснабжения низковольтных потребителей.

Ключевые слова: трансформатор с тиристорным регулятором напряжения, плавно-дискретное регулирование, высшие гармоники, инвертор, качество электрической энергии.

METHOD OF THE HIGHER HARMONICS COMPENSATION WITH SMOOTH DISCRETE CONTROL OF A TRANSFORMER WITH A THYRISTOR VOLTAGE REGULATOR

¹Chivenkov Alexander Ivanovich, ²Sosnina Elena Nikolaevna,
³Bedretdinov Rustam Shamilevich, ⁴Eremenko Vladimir Viktorovich
Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev,
Nizhny Novgorod
¹chyvenkov@mail.ru, ²sosnyna@yandex.ru, ³rsb88@yandex.ru,
⁴eryomenko.vladimir96@mail.ru

Abstract: the application of 10/0.4 kV controlled transformers with a thyristor voltage regulator (TTVR) makes it possible to reduce deviations, fluctuations and voltage unbalance in the 0.4 kV network, ensuring operation in optimal mode of low-voltage electric consumers sensitive to low quality of electricity. However, higher harmonics are generated into the 0.4 kV network with smooth-discrete TTVR regulation. The authors propose a method for higher harmonics compensation using an inverter that generates the corresponding harmonic components in the opposite phase. The proposed method will eliminate the influence of TTVR on the non-sinusoidal of the electrical network, improving the power supply quality to low-voltage consumers.

Key words: transformer with thyristor voltage regulator, smooth-discrete regulation, higher harmonics, inverter, power quality.

Одной из проблем в низковольтных электрических сетях является низкое качество электрической энергии: отклонения напряжения, его колебания, вызываемые работой электроприемников с резко-переменным и импульсным режимом работы, и несимметрия, обусловленная несимметричной нагрузкой. Силовые трансформаторы 10/0,4 кВ с устройством ПБВ, обеспечивающие электроснабжение низковольтных потребителей, по сути, являются нерегулируемыми [1–4]. Применение управляемых трансформаторов с тиристорным регулятором напряжения (ТТРН) 10/0,4 кВ для питания потребителей, чувствительных к низкому качеству электроэнергии, позволит решить проблему [5, 6].

ТТРН представляет собой двухобмоточный трансформатор 10/0,4 кВ с расщепленной первичной обмоткой и тиристорным регулятором, подключаемым в нейтраль со стороны высокого напряжения (рисунок 1). При таком способе включения тиристоры находятся под нулевым потенциалом и напряжением равным напряжению ступени.

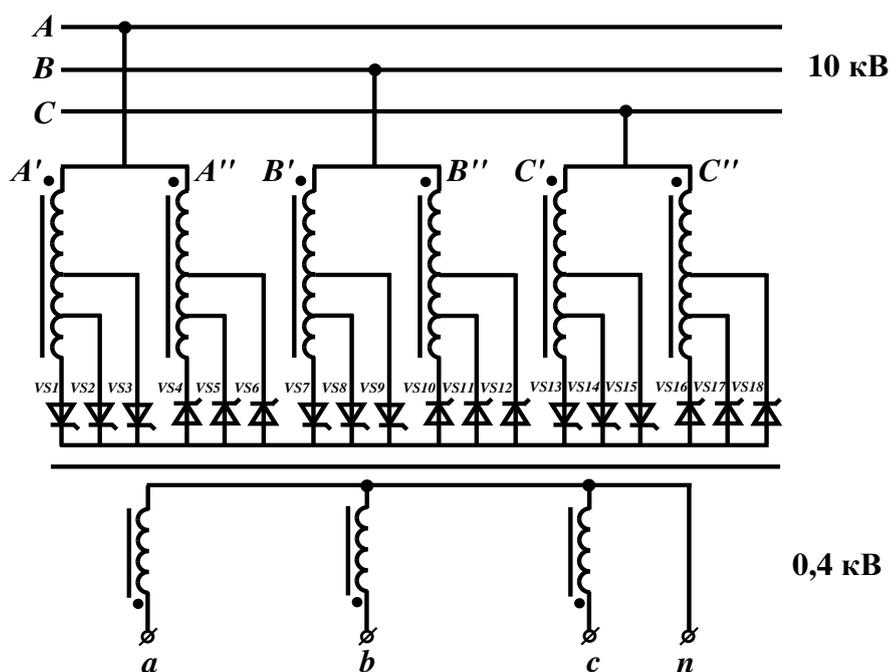


Рис.1. Принципиальная электрическая схема силовой части ТТРН

Расщепленная обмотка трансформатора позволяет снизить коммутационные токи до номинальных значений. Схема обладает быстроедействием, так как уже в текущем полупериоде происходит ограничение тока КЗ, при этом в сети не возникает перенапряжений

Двухуровневая система управления (СУ) координирует работу ТТРН: активно-адаптивная система управления (ААСУ) выполняет функцию измерения и контроля параметров режима на выводах 0,4 кВ,

а технологическая система управления (ТСУ) формирует управляющие воздействия на тиристорный коммутатор. Алгоритмы СУ ТТРН позволяют регулировать напряжение как дискретным, так и плавно-дискретным способом.

Разработанный в НГТУ им. Р. Е. Алексеева опытный образец ТТРН внедрен в 2016 г. в систему электроснабжения университета, обеспечивая качественное электропитание лаборатории реакторной гидродинамики. Опыт эксплуатации ТТРН показал, что при плавно-дискретном регулировании появляются высшие гармонические составляющие напряжения и тока [7], и амплитуда высших гармоник тем выше, чем шире диапазон регулирования напряжения,

Для исключения негативного влияния ТТРН 10/0,4 кВ на несинусоидальность сети при глубоком регулировании напряжения предлагается способ компенсации высших гармоник (рисунок 2).

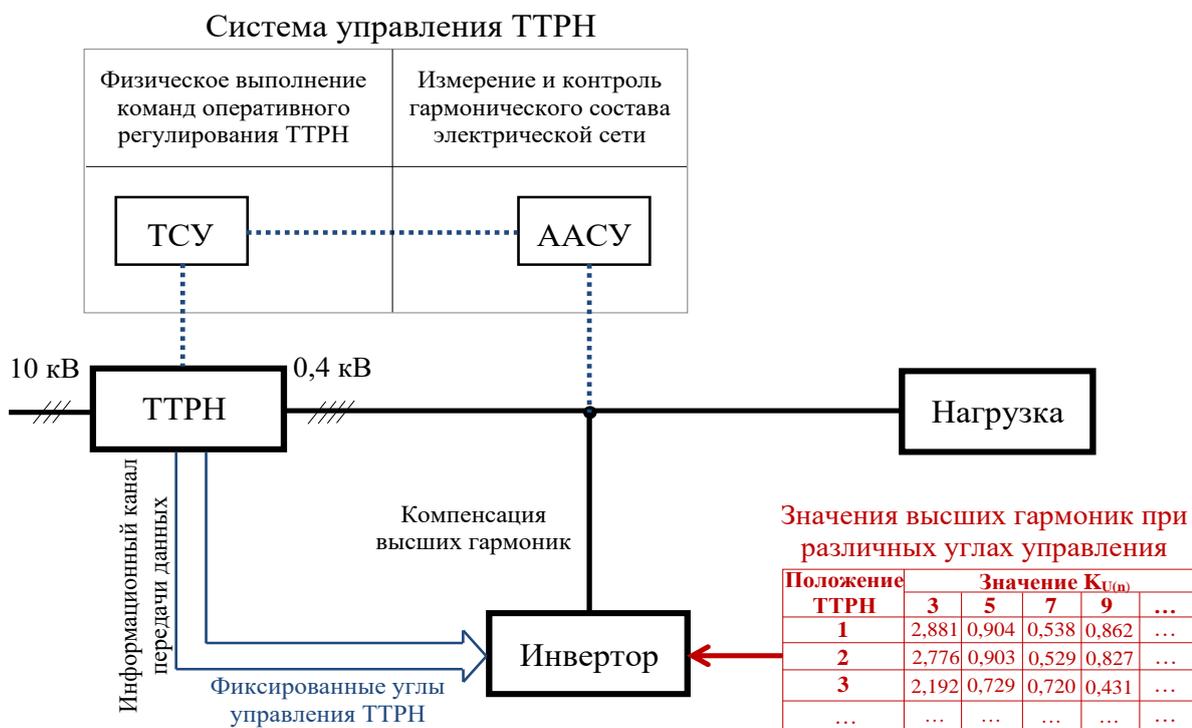


Рис.2. Структурная схема компенсации высших гармоник при плавно-дискретном регулировании напряжения ТТРН

Идея заключается в использовании информации об уровне гармоник при различных фиксированных углах управления тиристоров и генерации инвертором в противофазе соответствующих гармонических составляющих. AACU дает команду TCU на переключение отводов. По информационному каналу от ТТРН инвертору передаются данные о текущем положении отводов, каждому из которых соответствуют фиксированные

значения углов управления тиристорами. На основе переданной информации инвертор компенсирует высшие гармоники.

Способ плавно-дискретного регулирования с компенсацией высших гармоник позволит исключить влияние ТТРН на несинусоидальность электрической сети 0,4 кВ, повысив качество электроснабжения низковольтных потребителей.

Список литературы

1. Исмоилов И. И. Повышение управляемости энергетическими системами и улучшение качества электроэнергии / И. И. Исмоилов, Е.И. Грачева // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14, № 1(53). С. 3-12.

2. Наумов И. В. Устройство для снижения потерь в электрических сетях с нелинейно-несимметричной нагрузкой / И. В. Наумов // Электричество. – 2023. – № 6. – С. 57-66.

3. Коверникова Л. И. Качество электрической энергии: вчера, сегодня, завтра / Л. И. Коверникова // Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири: Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Иркутск, 20–24 апреля 2021 года. Том 1. – Иркутск: Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2021. – С. 10-22.

4. Управление качеством электрической энергии: Сборник трудов Международной научно-практической конференции, Москва, 25 декабря 2020 года. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Центр полиграфических услуг " РАДУГА", 2020. – 108 с.

5. Патент на изобретение 2552842 РФ: МПК Н 02 В 7/00. Цифровая трансформаторная подстанция / А. Б. Лоскутов, А. И. Чивенков, Е. Н. Соснина и др.; заявитель и патентообладатель НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – № 2013146200/07; заявл. 17.10.2013; опубл. 10.06.2015.

6. Алтунин Б. Ю., Чивенков А. И., Панфилов С. Ю. Трансформаторно-тиристорные регуляторы переменного напряжения: учебное пособие. Н. Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2014. 110 с.

7. Sosnina E., Loskutov A., Sevostyanov A., Bedretdinov R. EMC research of transformer-Thyristor regulator // 2017 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference - Latin America, ISGT Latin America 2017, Quito, 2017. P. 1-6.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ СЛЕДЯЩЕГО ВЕНТИЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

¹Чиляева Маргарита Романовна, ²Малёв Николай Анатольевич
^{1,2}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан
²maleev@mail.ru

Аннотация: в работе получены модели чувствительности по параметрам уравнений динамики следящего электропривода с вентильным двигателем. В качестве критерия оценки влияния вариаций параметров электропривода на выходные координаты принят квадратичный интегральный критерий. На основании результатов исследования показаны пути упрощения расчетов и сформулированы рекомендации по применению параметрической модели чувствительности при формировании систем идентификации.

Ключевые слова: чувствительность, следящий электропривод, вентильный двигатель, вариации параметров, моделирование.

STUDY OF A PARAMETRIC MODEL SENSITIVITIES OF THE BRUSHLESS SERVO DRIVE

¹Chilyaeva Margarita Romanovna, ²Malev Nikolay Anatolievich
^{1,2}Kazan State Power Engineering University, Kazan, Republic of Tatarstan
²maleev@mail.ru

Abstract: in this paper, sensitivity models are obtained by the parameters of the equations of the dynamics of a servo drive with a brushless motor. As a criterion for assessing the influence of variations in the parameters of the servo drive on the output coordinates, a quadratic integral criterion is adopted. Based on the results of the study, ways to simplify calculations are shown and recommendations are planned for the use of a parametric sensitivity model in the formation of identification systems.

Keywords: sensitivity, servo drive, brushless motor, parameter variations, modeling.

Процесс функционирования электроприводов сопровождается, как правило, влиянием дестабилизирующих факторов, имеющих параметрическую или координатную природу, причем изменение параметров может быть вызвано как эндогенными, так и экзогенными причинами [1, 2]. Количественная оценка влияния параметрических возмущений на выходные координаты электропривода, а значит и на показатели качества функционирования следящей системы могут быть получены с применением уравнений чувствительности [4, 5].

Для передаточной функции замкнутой системы с входным сигналом $X(s)$ и выходной координатой $Y(s)$ $\Phi_{yx}(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{B(s)}{A(s)}$ модель

чувствительности определяется по выражению

$$G_{\chi_i}^{(1)y}(s) = \frac{\frac{\partial B(s)}{\partial \chi_i} X(s) - \frac{\partial A(s)}{\partial \chi_i} Y(s)}{A(s)}, \quad (1)$$

где χ_i – i -тый нестабильный (возмущенный) параметр полиномов числителя $B(s)$ и знаменателя $A(s)$ передаточной функции объекта исследования.

Из преобразования выражения (1) к виду

$$G_{\chi_i}^{(1)y}(s) = \frac{\frac{\partial B(s)}{\partial \chi_i} A(s) - \frac{\partial A(s)}{\partial \chi_i} B(s)}{A^2(s)} X(s) = \frac{\partial \Phi(s)}{\partial \chi_i} X(s) \quad (2)$$

следует, что порядок модели чувствительности в два раза превышает порядок объекта исследования.

В настоящей работе объектом исследования является следящий электропривод с вентильным двигателем типа ДВУ2М [3] с передаточной функцией замкнутой системы

$$\Phi(s) = \frac{K_{\Pi} K_{\text{ДВ}} K_{\text{ОС}}}{\left(\frac{L_q J}{c^2} s^2 + \frac{R_{\Phi} J}{c^2} s + 1 \right) s + K_{\Pi} K_{\text{ДВ}} K_{\text{ОС}}}. \quad (3)$$

Продифференцируем выражение (3) по каждому параметру:

1) модель чувствительности по сопротивлению фазы обмотки статора R_{Φ}

$$\frac{\partial \Phi(s)}{\partial R_{\Phi}} = - \frac{JK_{\Pi} K_{\text{ДВ}} K_{\text{ОС}} s^2}{c^2 \left(\frac{L_q J}{c^2} s^3 + \frac{R_{\Phi} J}{c^2} s^2 + s + K_{\Pi} K_{\text{ДВ}} K_{\text{ОС}} \right)^2};$$

2) модель чувствительности по индуктивности обмотки статора по поперечной оси L_q

$$\frac{\partial \Phi(s)}{\partial L_q} = - \frac{JK_{\Pi} K_{\text{ДВ}} K_{\text{ОС}} s^3}{c^2 \left(\frac{L_q J}{c^2} s^3 + \frac{R_{\Phi} J}{c^2} s^2 + s + K_{\Pi} K_{\text{ДВ}} K_{\text{ОС}} \right)^2};$$

3) модель чувствительности по коэффициенту потока c

$$\frac{\partial \Phi(s)}{\partial c} = \frac{2JK_{\Pi}K_{дв}K_{ос}cs^2(L_qs + R_{\phi})}{(L_qJs^3 + R_{\phi}Js^2 + c^2s + K_{\Pi}K_{дв}K_{ос}c^2)^2};$$

4) модель чувствительности по моменту инерции J

$$\frac{\partial \Phi(s)}{\partial J} = -\frac{K_{\Pi}K_{дв}K_{ос}c^2s^2(L_qs + R_{\phi})}{(L_qJs^3 + R_{\phi}Js^2 + c^2s + K_{\Pi}K_{дв}K_{ос}c^2)^2};$$

5) модель чувствительности по коэффициенту передачи управляемого преобразователя K_{Π}

$$\frac{\partial \Phi(s)}{\partial K_{\Pi}} = \frac{K_{дв}K_{ос}c^2s(JL_qs^2 + JR_{\phi}s + c^2)}{(L_qJs^3 + R_{\phi}Js^2 + c^2s + K_{\Pi}K_{дв}K_{ос}c^2)^2};$$

6) модель чувствительности по коэффициенту передачи двигателя $K_{дв}$

$$\frac{\partial \Phi(s)}{\partial K_{дв}} = \frac{K_{\Pi}K_{ос}c^2s(JL_qs^2 + JR_{\phi}s + c^2)}{(L_qJs^3 + R_{\phi}Js^2 + c^2s + K_{\Pi}K_{дв}K_{ос}c^2)^2};$$

7) модель чувствительности по коэффициенту передачи датчика обратной связи $K_{ос}$

$$\frac{\partial \Phi(s)}{\partial K_{ос}} = \frac{K_{\Pi}K_{дв}c^2s(JL_qs^2 + JR_{\phi}s + c^2)}{(L_qJs^3 + R_{\phi}Js^2 + c^2s + K_{\Pi}K_{дв}K_{ос}c^2)^2}.$$

Моделирование полученных уравнений чувствительности показало, что установившиеся значения дополнительного движения выходной координаты следящего электропривода $\Delta\alpha_i(t, \chi_i)$ при вариациях указанных семи нестабильных параметров $\chi_i, i = \overline{1, 7}$ равны нулю, однако имеют место динамические различия соответствующих переходных

характеристик. Для количественной оценки влияния вариаций нестабильных параметров примем квадратичный интегральный критерий

$$Q_{\chi_i}(t, \chi_i) = \int_0^t [\Delta\alpha_i(t, \chi_i)]^2 dt.$$

Результаты моделирования параметрической модели чувствительности следящего вентиляльного электропривода представлены на рисунке.

$Q_{\chi_i}(t, \chi_i)$, о.е.

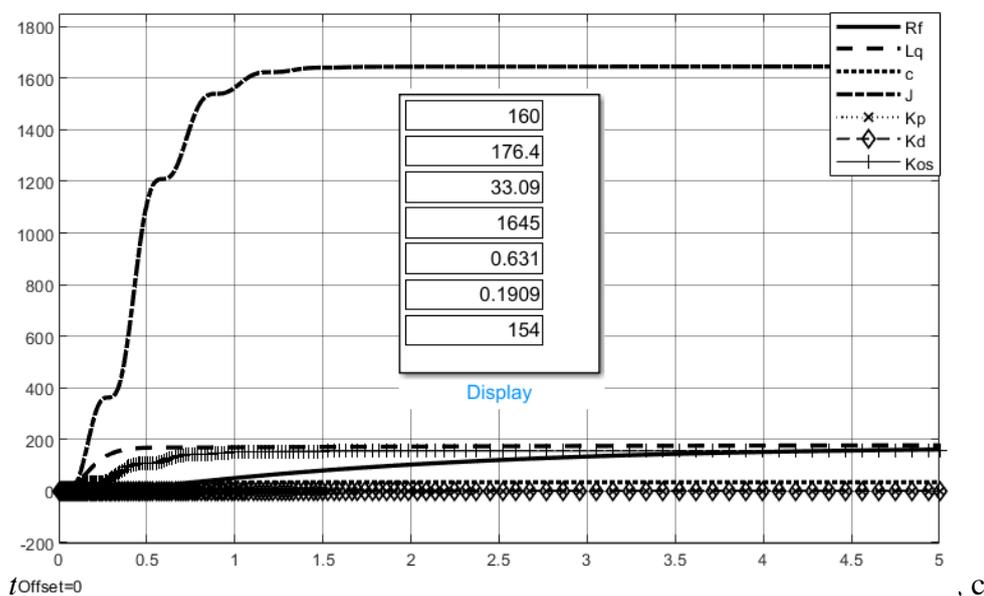


Рис. 1. Временные зависимости квадратичного интегрального критерия качества функционирования следящего электропривода $Q_{\chi_i}(t, \chi_i)$

Из анализа полученных результатов следует, что определяющий вклад в дополнительное движение вносит изменение момента инерции, – наиболее значимого параметра, – и величина $Q_J(t, J) = 1645$ как минимум на порядок превышает прочие значения $Q_{\chi_i}(t, \chi_i)$ (см. Display на рисунке).

Следует отметить, что вычисление модели чувствительности целесообразно производить в векторно-матричной форме с получением матричной параметрической передаточной функции чувствительности значительно более компактной структуры.

Полученные в работе выражения составляют основу вычислительной процедуры алгоритма идентификации электропривода с градиентным методом определения оценок параметров.

Список литературы

1. Малёв Н. А., Погодицкий О. В., Цветкович А. М. Особенности применения теории чувствительности для анализа влияния параметрических возмущений на динамические свойства электромеханических преобразователей. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2019, № 21(6). – С. 101-110.

2. Малёв Н. А., Погодицкий О. В. Статистический анализ динамических характеристик асинхронного электромеханического преобразователя с изменяющимися параметрами. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2019, № 21(1-20). – С. 120–130.

3. Чиляева М. Р., Малёв Н. А. Определение допустимого диапазона изменения параметров следящего вентильного электропривода // Сб. материалов VIII Поволжской научно-практической конференции «Приборостроение и автоматизированный электропривод в ТЭК и ЖКХ». Казань: Казан. гос. энерг. ун-т. 2022. С. 292 – 294.

4. В. С. Levy and R. Nikoukhah. Robust state-space filtering under incremental model perturbations subject to a relative entropy tolerance, IEEE Trans. Automat. Control, 58 (2013), pp. 682–695.

5. Rojas-Moreno A. Parameter extraction of an induction motor with gearbox for dynamic simulation//2016 IEEE ANDESCON. – 2016. – pp. 1–4.

УДК 621.316.72

СНИЖЕНИЕ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРАХ

Шаймарданов Ильназ Инсафович
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан
ilnazshai@mail.ru

Аннотация: потери электроэнергии в силовых трансформаторах оказывают значительное влияние на энергоэффективность, эксплуатационные расходы и экологическую устойчивость. В этой научной статье исследуются проблемы, связанные с этими потерями, и рассматриваются различные стратегии их сокращения. Рассматриваются факторы, способствующие потерям, важность их минимизации и представляем инновационные подходы, внедренные в конструкцию трансформаторов, изоляционные материалы и системы мониторинга. За счет оптимизации компонентов трансформатора и внедрения передовых технологий можно добиться существенного снижения потерь электроэнергии, что приведет к повышению энергоэффективности и экономии средств.

Ключевые слова: силовые трансформаторы, потери электроэнергии, энергоэффективность, конструкция трансформатора, изоляционные материалы, системы мониторинга.

REDUCTION OF ELECTRICITY LOSSES IN POWER TRANSFORMERS

Shaimardanov Ilnaz Insafovich
FSBEI HE KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan
ilnazshai@mail.ru

Abstract: electricity losses in power transformers have significant implications on energy efficiency, operational costs, and environmental sustainability. This scientific article explores the challenges posed by these losses and examines various strategies for their reduction. The factors contributing to losses, the importance of minimizing them, and present innovative approaches implemented in transformer design, insulation materials, and monitoring systems are considered. By optimizing transformer components and adopting advanced technologies, substantial reductions in electricity losses can be achieved, leading to enhanced energy efficiency and cost savings.

Keywords: power transformers, electricity losses, energy efficiency, transformer design, insulation materials, monitoring systems.

Растущий спрос на электроэнергию требует повышения энергоэффективности в системах передачи и распределения электроэнергии. Силовые трансформаторы, важнейшие компоненты этих систем, испытывают потери электроэнергии во время работы. Эти потери проявляются в виде тепла и приводят к потере энергии, увеличению эксплуатационных расходов и воздействию на окружающую среду. В этой статье рассматривается необходимость снижения потерь электроэнергии в силовых трансформаторах и исследуются различные стратегии повышения их эффективности [1].

Виды и источники потерь электроэнергии. В этом разделе потери электроэнергии в силовых трансформаторах подразделяются на два основных типа: потери в меди и потери в железе. Потери меди в обмотках происходят из-за сопротивления, в то время как потери железа обусловлены свойствами магнитного сердечника. Мы исследуем источники этих потерь, включая потери в нагрузке, случайные потери и потери на гистерезис, подчеркивая их влияние на общую эффективность трансформатора [2].

Оптимизация конструкции трансформатора. Эффективная конструкция трансформатора играет решающую роль в снижении потерь электроэнергии. В этом разделе рассматриваются ключевые конструктивные параметры, такие как материалы сердечника, конструкция обмотки и системы охлаждения. Оптимизация этих аспектов может свести к минимуму потери энергии и повысить производительность трансформатора. Рассмотрим данный способ подробнее.

Выбор основных материалов. Выбор материалов сердечника существенно влияет на эффективность трансформатора. Традиционные сердечники трансформаторов изготавливаются из кремниевой стали, но достижения в области материалов привели к появлению альтернативных вариантов. Аморфные металлические сплавы, например, демонстрируют меньшие потери в сердечнике благодаря своей уникальной атомной структуре. Эти материалы обладают улучшенными магнитными свойствами, снижая потери на гистерезис и потери на вихревые токи. Выбирая подходящие материалы сердечника, разработчики трансформаторов могут добиться существенного снижения потерь.

Конструкция обмотки. Оптимизация конструкции обмотки является еще одним важным фактором эффективности трансформатора. Потери в обмотке возникают из-за сопротивления материала проводника. Чтобы свести к минимуму эти потери, трансформаторы могут быть сконструированы с большей площадью поперечного сечения обмоток, что снижает сопротивление и связанные с ним потери меди. Кроме того, тщательное расположение обмоток для минимизации утечки магнитного потока помогает снизить случайные потери, повышая общую эффективность.

Системы охлаждения. Эффективные системы охлаждения играют жизненно важную роль в работе трансформатора. Такие методы охлаждения, как охлаждение с погружением в масло или принудительная циркуляция воздуха, помогают поддерживать оптимальную рабочую температуру и снижать потери. Эффективное охлаждение повышает способность трансформатора выдерживать более высокие нагрузки и предотвращает чрезмерное накопление тепла, тем самым снижая как потери меди, так и потери в сердечнике. Правильная конструкция системы охлаждения, включая выбор охлаждающей среды и эффективных механизмов отвода тепла, вносит значительный вклад в снижение потерь.

Высоковольтные обмотки. Высоковольтные обмотки трансформаторов испытывают значительное электрическое напряжение, приводящее к увеличению потерь. Одним из подходов к оптимизации высоковольтных обмоток является использование материалов с улучшенными диэлектрическими свойствами, сводящих к минимуму диэлектрические потери. Кроме того, тщательные конструктивные решения, такие как выбор изоляционных материалов, толщина изоляции и конфигурация обмотки, способствуют снижению потерь высокого напряжения.

Магнитное экранирование. Минимизация утечки магнитного потока имеет решающее значение для снижения случайных потерь. Методы

магнитного экранирования, такие как использование магнитных экранов или немагнитных материалов, помогают ограничить магнитное поле внутри сердечника трансформатора. Эффективно сдерживая магнитный поток, можно свести к минимуму случайные потери, что приводит к повышению КПД трансформатора.

Расчет и моделирование потерь. Передовые вычислительные инструменты и методы моделирования имеют неоценимое значение при оптимизации конструкции трансформатора. Эти инструменты позволяют инженерам точно рассчитывать потери, оценивать конструктивные изменения и оптимизировать производительность трансформатора. Модели расчета потерь учитывают такие факторы, как потери в сердечнике, потери на обмотках и случайные потери, чтобы получить представление об общих потерях и определить области для улучшения. Методы моделирования также помогают прогнозировать распределение температуры, горячие точки и потенциальное ухудшение изоляции, помогая проектировщикам создавать оптимальные конструкции с минимальными потерями.

Применяя эти стратегии оптимизации конструкции трансформатора, можно добиться существенного снижения потерь электроэнергии. Эффективные материалы сердечника, оптимизированные конструкции обмоток, эффективные системы охлаждения, высоковольтные обмотки, магнитное экранирование и передовые инструменты моделирования в совокупности способствуют повышению энергоэффективности, снижению потерь и повышению производительности трансформатора.

Непрерывные исследования и разработки в области проектирования трансформаторов в сочетании с достижениями в области материаловедения и инженерии являются ключом к дальнейшему повышению эффективности трансформаторов и удовлетворению растущего спроса на устойчивые энергетические системы [3].

Современные изоляционные материалы. Изоляционные материалы, используемые в трансформаторах, влияют как на электрические характеристики, так и на потери энергии. Мы исследуем потенциал диэлектрических материалов с низкими потерями и нанокompозитов в снижении потерь и повышении общей эффективности трансформатора [4].

Системы мониторинга и управления. Системы мониторинга и управления в режиме реального времени необходимы для выявления и снижения потерь электроэнергии. В этом разделе рассматривается важность мониторинга нагрузки, переключателей отводов под нагрузкой и передовых методов управления для оптимизации работы трансформатора и минимизации потерь энергии [5].

Тематические исследования и оценка эффективности. В этом разделе представлены примеры успешного внедрения методов снижения потерь в силовых трансформаторах. Методологии оценки эффективности, включая анализ энергосбережения, экономические соображения и оценку воздействия на окружающую среду, дают представление об эффективности этих стратегий.

Проблемы и перспективы на будущее. Преодоление проблем, связанных со снижением потерь в силовых трансформаторах, имеет решающее значение для широкого внедрения. В этом разделе обсуждаются технологические барьеры, усилия по стандартизации, признание на рынке и направления будущих исследований для достижения дальнейших успехов в снижении потерь электроэнергии.

В заключение, усилия по снижению потерь электроэнергии в силовых трансформаторах жизненно важны для устойчивых энергетических систем. Оптимизация конструкции трансформатора, использование передовых изоляционных материалов и внедрение эффективных систем мониторинга и управления открывают значительный потенциал для снижения потерь. Сводя к минимуму потери, можно повысить энергоэффективность, что приведет к экономии средств и снижению воздействия на окружающую среду. Непрерывные исследования, технологические инновации и промышленное сотрудничество необходимы для достижения кардинальных изменений в эффективности силовых трансформаторов. В дополнение к типу технологии важным фактором является размер объекта. Небольшие энергообъекты, как правило, рассчитаны на удовлетворение потребностей конкретного населенного пункта, их мощность варьируется от нескольких киловатт до нескольких мегаватт. При проектировании должны учитываться энергетические потребности сообщества или местности, а также изменчивость источника энергии.

Список литературы

1. Барсуков Н. Е. Основы эксплуатации силовых трансформаторов. М.: Энергетика, 2009. – 288с.
2. Долин В. С. Справочник энергетика. М.: ИНФРА-М, 2017. – 688с.
3. Кацман М. М. Электрические машины: Учеб. для студентов сред. проф. учебных заведений. – 3-е изд., испр. – М.: Высш. шк.; Издательский центр «Академия»; 2000. – 463 с.
4. Кузьмин О. Б. Минимизация потерь энергии как фактор эффективности работы электрического оборудования. М.: Аспект-Пресс, 2015. – 88 с.
5. Макаров Е. Ф. Обслуживание и ремонт электрооборудования

электростанций и сетей: Учебник для нач. проф. образования / Евгений Федорович Макаров. – М.: ИРПО: Издательский центр «Академия», 2003. – 448 с.

УДК 621.315

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННОГО ПЛАКАТА ЭКСТРЕННОГО ОПОВЕЩЕНИЯ НА БАЗЕ STM32

¹Шайхутдинов Карим Азатович, ²Якупов Нияз Маратович
^{1,2}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
¹karimaz@list.ru, ²janijaz@yandex.ru

Аннотация: в статье рассматривается разработка электронного плаката, обеспечивающего большую безопасность на промышленных предприятиях. Было собрано устройство, состоящее из дисплея, управляемого микросхемой ILI9341, программатора ST-Link/ V2-A, отладочной платы STM32F407G-DISC1 и микроконтроллера STM32F407VGT6.

Ключевые слова: STM32, аварийные сообщения, электронный плакат, безопасность.

DEVELOPMENT OF AN ELECTRONIC EMERGENCY ALERT POSTER BASED ON STM32

¹Shaikhutdinov Karim Azatovich, ²Yakupov Niyaz Maratovich
^{1,2}KSPEU, Kazan
¹karimaz@list.ru, ²janijaz@yandex.ru

Abstract: the article discusses the development of an electronic poster that provides greater security at industrial enterprises. A device consisting of a display controlled by an ILI9341 chip, an ST-Link/V2 programmer, a STM32F407G-DISC1 debugging board and an STM32F407VGT6 microcontroller was assembled.

Keywords: STM32, emergency messages, electronic poster, security.

Техника помогает людям обезопасить жизнь в быту и на работе. А безопасность на предприятиях особенно важна в наше время. Устройство электронного плаката могло бы позволить своевременно уведомлять сотрудников сетевых и промышленных предприятий об аварийных ситуациях. Был проведен теоретический обзор необходимый для разработки, собрана схема изделия на базе микроконтроллера STM32F407VGT6 и написано программное обеспечение на языке C для реализации работы устройства.

Для устройства отображения аварийных сообщений была выбрана отладочная плата STM32F407G-DISC1, имеющая в себе 32-битный ARM Cortex-M4 микроконтроллер STM32F407VGT6 и возможность быстро писать высокопроизводительные приложения. Непосредственно на плате

есть все необходимое для создания и отладки базовых разработок. На плате установлен программатор ST-Link/ V2-A с возможностью ренумерации и тремя различными интерфейсами: виртуальный COM порт, устройство хранения (Mass Storage) и порт отладки.

Для вывода аварийных сообщений используется 2,8-дюймовый дисплей, управляемый микросхемой ILI9341. В качестве стандарта для обмена данными был использован стандарт SPI, который используется в режиме полного дуплекса. Этот стандарт позволяет просто и достаточно быстро обмениваться данными со сторонней периферией

Для разработки был собран испытательный стенд, представленный на рисунке 1. Работа программы начинается при подаче питания на плату с микроконтроллером.

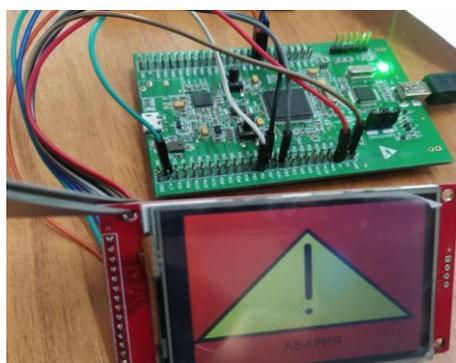


Рис. 1. Испытательный стенд

На рисунке 2 представлена блок-схема основной программы.

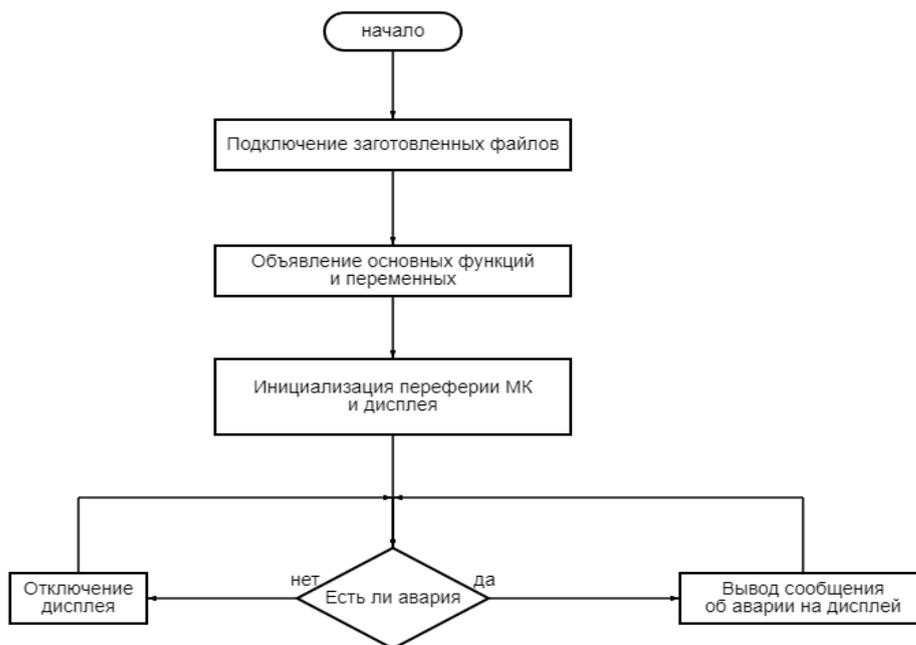


Рис. 2. Блок-схема основной программы

Представленная в данной работе разработка актуальна по причине увеличения безопасности жизнедеятельности на промышленных предприятиях, многие компании заинтересованы в снижении количества несчастных случаев в зонах повышенной опасности.

Список литературы

1. Техническая документация LCD дисплея, управляемого микросхемой ILI9341 [Электронный ресурс]: URL: http://www.lcdwiki.com/2.8inch_SPI_Module_ILI9341_SKU:MSP2807 (дата обращения 26.04.2023)
2. Техническая документация по отладочной плате STM32F407G-DISC1 [Электронный ресурс]: URL: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/792967/ETC2/STM32F407G-DISC1.html> (дата обращения 26.04.2023).
3. Техническая документация микросхемы ILI9341 [Электронный ресурс]: URL: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1131760/ETC2/ILI9341.html> (дата обращения 26.04.2023).
4. Техническая документация микроконтроллера STM32F407VGT6y [Электронный ресурс]: URL: <https://www.chipdip.ru/product/stm32f407vgt6> (дата обращения 26.04.2023).
5. Учебник по STM32 [Электронный ресурс]: URL: <https://arduino-master.ru/stm32/stm32-mikrokontroller-dlya-nachinayushhih-posle-arduino> (дата обращения 26.04.2023).

УДК 338.46: 621.31

ОЦЕНКА И ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Шагалиев Ришат Илшатович
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
shagalievx@gmail.com

Аннотация: компенсация реактивной мощности является важнейшим аспектом работы энергосистемы, поскольку она помогает улучшить качество электроэнергии, повысить эффективность системы и снизить затраты. Целью данной работы является оценка и оптимизация методов и средств компенсации реактивной мощности, используемых в системах электроэнергетики, в частности, при выборе оптимального размера и расположения компенсирующих устройств для максимизации выгод и минимизации затрат на внедрение.

Ключевые слова: экономическая целесообразность, компенсация реактивной мощности, постоянные конденсаторы, коммутируемые конденсаторы, реакторы, оптимальные размеры и расположение

EVALUATION AND OPTIMIZATION OF REACTIVE POWER COMPENSATION IN ELECTRIC POWER SYSTEMS

Shagaliev Rishat Ilshatovich
FSBEI HE «KSPEU», Kazan
shagalievx@gmail.com

Abstract: reactive power compensation is a crucial aspect of power system operation. It involves the use of capacitors, reactors, and other devices to regulate voltage and improve power quality. The optimal size and location of compensating devices must be selected to maximize benefits and minimize implementation costs. This paper aims to evaluate and optimize the methods and means of reactive power compensation used in electric power systems and evaluate the economic feasibility of implementing these methods and their impact on the overall performance of the system.

Keywords: economic feasibility, reactive power compensation, fixed capacitors, switched capacitors, reactors, optimal size and location

Компенсация реактивной мощности необходима для эффективной и надежной работы электроэнергетических систем. Реактивная мощность требуется для создания магнитных полей в электрооборудовании, но она не способствует полезной работе. Поэтому важно компенсировать реактивную мощность, чтобы избежать чрезмерных потерь в системе и обеспечить оптимальную производительность. Компенсация реактивной мощности обычно достигается за счет использования конденсаторов или реакторов, которые устанавливаются в важных местах системы для поддержания стабильности напряжения, улучшения коэффициента мощности и снижения энергопотребления.

Оценка и оптимизация методов и средств компенсации реактивной мощности:

Одной из ключевых целей данной работы является оценка и оптимизация методов и средств компенсации реактивной мощности, используемых в электроэнергетических системах. В промышленности были предложены и внедрены различные методы и средства компенсации реактивной мощности, включая стационарные и коммутируемые конденсаторы, реакторы и статические компенсаторы VAR (SVCS). Каждый метод имеет свои преимущества и недостатки, и выбор наиболее подходящего метода зависит от конкретных характеристик системы и целей компенсации.

Стационарные конденсаторы являются самым простым и наиболее широко используемым методом компенсации реактивной мощности. Обычно они устанавливаются в конце длинных линий электропередачи для повышения стабильности напряжения и снижения потерь реактивной мощности [1]. Однако стационарные конденсаторы не подходят для систем

с изменяющимися нагрузками и могут привести к перенапряжению в периоды небольшой нагрузки.

Переключаемые конденсаторы — это еще один метод компенсации реактивной мощности, который является более гибким, чем стационарные конденсаторы. Обычно они устанавливаются в особо важных местах системы и могут включаться или выключаться в зависимости от условий нагрузки. Переключаемые конденсаторы могут значительно улучшить стабильность напряжения и снизить энергопотребление, но затраты на их внедрение выше, чем на стационарные конденсаторы.

Реакторы – это еще одно средство компенсации реактивной мощности, которое может быть использовано для ограничения перенапряжения в системе. Обычно они устанавливаются параллельно с конденсаторами, образуя настроенную схему, которая может поглощать или подавать реактивную мощность в зависимости от условий работы системы [2]. Однако установка и обслуживание реакторов могут быть дорогостоящими, и их эффективность зависит от конкретных характеристик системы.

Статические компенсаторы VAR (SVCS) являются более совершенным средством компенсации реактивной мощности, которое может обеспечить быстрый и точный контроль реактивной мощности. SVCS обычно устанавливаются в особо важных местах системы и могут использоваться для улучшения стабильности напряжения, снижения энергопотребления и ограничения условий перенапряжения. Однако SVCS дороги в установке и обслуживании, и их эффективность зависит от конкретных характеристик системы [3].

Оптимальные размеры и расположение компенсирующих устройств:

Другой целью данной работы является определение оптимального размера и расположения компенсирующих устройств для максимизации преимуществ и минимизации затрат на внедрение. Оптимальный размер и расположение компенсирующих устройств зависят от конкретных характеристик системы, включая условия нагрузки, распределение реактивной мощности и пределы стабильности напряжения. Были предложены различные методы для определения оптимального размера и расположения компенсирующих устройств, включая метод максимального коэффициента мощности, метод минимальных потерь в системе и метод запаса стабильности напряжения.

Метод максимального коэффициента мощности направлен на максимизацию коэффициента мощности системы путем регулировки компенсации реактивной мощности. Этот метод направлен на повышение

эффективности системы за счет минимизации потерь реактивной мощности и снижения общего энергопотребления.

Метод минимальных системных потерь направлен на минимизацию общих потерь мощности в системе путем регулировки компенсации реактивной мощности. Этот метод направлен на снижение потерь в линиях электропередачи и распределения, что может привести к значительной экономии средств в долгосрочной перспективе.

Наконец, метод запаса стабильности напряжения направлен на улучшение стабильности напряжения в системе путем регулировки компенсации реактивной мощности [4]. Этот метод направлен на поддержание стабильного профиля напряжения в системе, что может предотвратить падение напряжения и отключения электроэнергии.

На практике комбинация этих методов может быть использована для определения оптимального размера и расположения компенсирующих устройств. Конкретный используемый метод зависит от целей системного оператора и конкретных характеристик системы.

В заключение следует отметить, что оценка и оптимизация методов и средств компенсации реактивной мощности являются важнейшими аспектами функционирования энергосистемы. Надлежащее использование компенсации реактивной мощности может улучшить качество электроэнергии, повысить эффективность системы и снизить затраты [5]. Выбор оптимального размера и расположения компенсирующих устройств необходим для получения максимальной выгоды и минимизации затрат на внедрение. Также необходимо оценить экономическую целесообразность внедрения различных методов и средств компенсации реактивной мощности и их влияние на общую производительность системы. Результаты этой оценки могут быть использованы для информирования системных операторов в процессе принятия решений и для обеспечения эффективной работы энергосистем.

Список литературы

1. P. N. Rathore, N. K. Rana, and V. K. Jain, "Reactive Power Compensation: A Comprehensive Review," *International Journal of Emerging Electric Power Systems*, vol. 22, no. 6, 2021, pp. 1-16.

2. S. S. M. Chowdhury, M. Alam, and A. Biswas, "Optimal Placement of Reactive Power Compensation Devices Using Hybrid Particle Swarm Optimization Algorithm," *Electric Power Components and Systems*, vol. 48, no. 4, 2020, pp. 355-372.

3. Сайтбаталова, Р. С. Ступенчатое регулирование батарей конденсаторов для обеспечения устойчивости нагрузки промышленных предприятий / Р. С. Сайтбаталова, Р. Р. Гибадуллин, Р. Г. Загидуллин // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2019. – Т. 11, № 1(41). – С. 79-84. – EDN ZYACTB.

4. J. M. Castro, A. Padilla-Medina, and J. L. Guardado, "Optimal Allocation of Capacitor Banks and Static Var Compensators in Distribution Networks," Electric Power Components and Systems, vol. 47, no. 13-14, 2019, pp. 1595-1610.

5. F. Liu, W. Liu, and L. Xiao, "An Improved Differential Evolution Algorithm for Optimal Placement and Sizing of Reactive Power Compensation Devices," IEEE Access, vol. 9, 2021, pp. 47857-47868.

УДК 338.46

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ

Шагалиев Ришат Илшатович
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
shagalievx@gmail.com

Аннотация: это исследование направлено на оптимизацию эффективности электродвигателей в энергетическом оборудовании с учетом различных факторов. Колебания нагрузки значительно влияют на КПД двигателя, поэтому для оптимизации рекомендуются стратегии адаптивного управления. Методы управления скоростью, такие как частотно-регулируемые приводы (VFD), позволяют точно контролировать скорость и крутящий момент двигателя. Интеграция силовой электроники, включая устройства плавного пуска и устройства коррекции коэффициента мощности, влияет на эффективность, регулируя подачу питания и снижая потери. Усовершенствованные методы управления, такие как алгоритмы адаптивного управления, прогнозирующее управление и управление на основе моделей, открывают многообещающие возможности для оптимизации.

Ключевые слова: факторы, колебания нагрузки, стратегии адаптивного управления, методы управления скоростью, интеграция силовой электроники, конструктивные особенности, рабочие параметры, оптимизация эффективности.

EVALUATION AND OPTIMIZATION OF REACTIVE POWER COMPENSATION IN ELECTRIC POWER SYSTEMS

Shagaliev Rishat Ilshatovich
KSPEU, Kazan
shagalievx@gmail.com

Abstract: this study is aimed at optimizing the efficiency of electric motors in power equipment, considering various factors. Load fluctuations significantly affect motor efficiency,

so adaptive control strategies are recommended for optimization. Speed control methods such as Variable Frequency Drives (VFDs) allow precise control of motor speed and torque. The integration of power electronics, including soft starters and power factor correction devices, affects efficiency by regulating power delivery and reducing losses. Advanced control methods such as adaptive control algorithms, predictive control, and model-based control open up promising opportunities for optimization.

Keywords: factors, load fluctuations, adaptive control strategies, speed control methods, power electronics integration, design features, operating parameters, efficiency optimization.

На эффективность двигателя влияют различные факторы, которые необходимо тщательно учитывать для эффективной оптимизации. Колебания нагрузки существенно влияют на КПД двигателя, поскольку двигатели работают в различных условиях нагрузки на протяжении всей своей эксплуатации. Понимание профилей нагрузки и внедрение стратегий адаптивного управления могут помочь оптимизировать эффективность двигателя. Методы регулирования скорости, такие как частотно-регулируемые приводы (ЧРП), играют решающую роль в эффективности двигателя, позволяя точно регулировать частоту вращения и крутящий момент двигателя. Интеграция силовой электроники, включая использование устройств плавного пуска и коррекции коэффициента мощности, также влияет на эффективность двигателя за счет регулирования подачи питания и снижения потерь [1].

Передовые методы управления открывают многообещающие возможности для оптимизации эффективности двигателя. Адаптивные алгоритмы управления динамически корректируют параметры управления на основе обратной связи в режиме реального времени, позволяя двигателям работать с максимальной эффективностью при различных условиях нагрузки. Методы прогнозирующего управления используют модели для прогнозирования будущего двигательного поведения, позволяя осуществлять упреждающую корректировку для оптимизации эффективности. Стратегии управления, основанные на моделях, используют математические модели для оптимизации работы двигателя с учетом различных факторов, таких как нагрузка, скорость и условия окружающей среды. Внедрение этих передовых методов управления требует точной настройки параметров и надежных алгоритмов управления для достижения максимальной эффективности двигателя.

Конструктивные особенности играют жизненно важную роль в оптимизации эффективности двигателя. Конструкция двигателя, включая конструкцию ротора и статора, влияет на ключевые рабочие параметры, такие как магнитный поток, потери и тепловыделение. Оптимизация

геометрии ротора и статора, выбора материалов и конфигурации обмоток может повысить эффективность двигателя [2]. Материалы с высокой магнитной проницаемостью и низкими потерями на гистерезис и вихревые токи способствуют повышению эффективности двигателя. Эффективные системы охлаждения, такие как принудительное воздушное или жидкостное охлаждение, имеют решающее значение для отвода тепла, выделяющегося во время работы двигателя, минимизации тепловых потерь и поддержания оптимальной производительности двигателя.

Рабочие параметры существенно влияют на КПД двигателя. Температура напрямую влияет на потери в двигателе, и тщательное регулирование температуры имеет важное значение для эффективной работы двигателя [3]. Поддержание соответствующих уровней напряжения и тока в пределах заданных допусков сводит к минимуму потери на сопротивление и обеспечивает оптимальную работу двигателя. Регулирование частоты, особенно в двигателях, работающих с переменными скоростями, имеет важное значение для эффективного преобразования мощности. Оптимизация рабочих параметров включает в себя методы динамической оптимизации, которые непрерывно корректируют параметры управления на основе обратной связи в режиме реального времени для достижения максимальной эффективности двигателя в различных условиях эксплуатации.

Интеграция устройств силовой электроники в двигательные системы открывает возможности для оптимизации эффективности. Частотно-регулируемые приводы (ЧРП) позволяют точно регулировать частоту вращения и крутящий момент двигателя путем регулировки частоты и напряжения, подаваемого на двигатель. Плавный пуск обеспечивает плавное ускорение и замедление, снижая нагрузку на двигатель и повышая эффективность при запуске и переходных режимах. Блоки коррекции коэффициента мощности повышают качество электроэнергии и КПД двигателя за счет минимизации реактивной мощности и снижения потерь. Правильный выбор и интеграция устройств силовой электроники, наряду с эффективными стратегиями управления, могут значительно повысить эффективность двигателя при применении в силовом оборудовании [4].

Чтобы оптимизировать эффективность двигателя, необходимо реализовать комплекс стратегий. Эти стратегии охватывают передовые методы управления, конструктивные соображения и методы эксплуатации. Адаптивные алгоритмы управления динамически корректируют параметры управления для оптимизации эффективности двигателя при различных условиях нагрузки. Для достижения максимальной эффективности двигателя следует использовать оптимальные конструктивные особен-

ности, такие как оптимизация геометрии ротора и статора и выбор магнитного материала. Методы эксплуатации, включая надлежащее техническое обслуживание, управление нагрузкой и мониторинг, гарантируют, что двигатели работают в оптимальных пределах. Кроме того, внедрение методов интеграции силовой электроники, таких как VFDS и блоки коррекции коэффициента мощности, обеспечивает точное управление и улучшенное преобразование энергии [5]. Сочетание этих стратегий приведет к повышению КПД двигателя, снижению энергопотребления и общему повышению производительности силового оборудования.

В заключение оптимизация эффективности электродвигателей в энергетическом оборудовании требует всестороннего понимания факторов, влияющих на производительность двигателя. Передовые методы управления, конструктивные особенности, рабочие параметры, интеграция силовой электроники и эффективные стратегии являются важнейшими элементами в достижении этой цели. Учитывая изменения нагрузки, используя передовые методы управления, оптимизируя конструктивные особенности, точно настраивая рабочие параметры, интегрируя силовую электронику и внедряя эффективные стратегии, можно значительно повысить эффективность электродвигателей в силовом оборудовании.

Список литературы

1. Johnson, R., Smith, L., & Anderson, M. Optimization of Electric Motor Efficiency in Power Equipment: A Comprehensive Review. *Journal of Electrical Engineering and Power Systems*, 25(3), 2021, pp. 123-135.

2. Wilson, A., Thompson, B., & Brown, C. Advanced Control Strategies for Optimizing Electric Motor Efficiency in Power Equipment. *IEEE Transactions on Power Systems*, 35(6), 2020, pp. 2345-2356.

3. Davis, E., Garcia, S., & Lee, J. Design Considerations for Improving Efficiency in Electric Motors. *International Journal of Power Electronics*, 10(2), 2021, pp. 87-99.

4. Влияние количества фаз обмотки статора на тяговое усилие линейного синхронного двигателя / А. Г. Логачева, Ш. И. Вафин, Р. Р. Гибадуллин, А. М. Копылов // Национальная Ассоциация Ученых. – 2015. – № 2-3(7). – С. 138-143. – EDN YMGQTH.

5. Thompson, R., Wilson, M., & Anderson, B. Integration of Power Electronics for Improved Efficiency in Motor Systems. *Journal of Power Electronics and Energy Conversion*, 8(4), 2020, pp. 210-223.

АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ И ЗАРЯДНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

¹Широбокков Ефим Алексеевич, ²Зацаринная Юлия Николаевна
^{1,2}Казанский государственный энергетический Университет, г. Казань
¹efimsirobokov@gmail.com, ²waysubbota@gmail.com

Аннотация: на сегодняшний день автомобили стали важной частью нашей жизни. Личное средство передвижения позволяет удобно и за небольшое время преодолевать значительные расстояния. Но, к сожалению, машины наносят вред окружающей среде, что в перспективе может иметь серьёзный характер. На сегодняшний день существуют электромобили, это тоже самое, что и обычные автомобили, но работают без вредных выбросов. Весь мир начал уже постепенный переход на этот новый вид транспорта. Россия тоже не отстаёт от мирового тренда и для поддержки развития было принято Распоряжение Правительства Российской Федерации от 23.08.2021 № 2290-р. Авторами статьи была поставлена цель проанализировать ситуацию для России. Были рассчитаны цифры по количеству зарядных электрических станций и электромобилям для Республики Татарстан. Сделан вывод о текущем развитии электротранспорта.

Ключевые слова: Электромобиль, зарядная электрическая станция, Татарстан, Электротранспорт.

ANALYSIS OF THE DEVELOPMENT OF ELECTRIC VEHICLES AND CHARGING INFRASTRUCTURE ON THE TERRITORY OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN

¹Shirobokov Efim Alekseevich, ²Zatsarina Yulia Nikolaevna
^{1,2} Kazan State Power Engineering University, Kazan
¹efimsirobokov@gmail.com, ²waysubbota@gmail.com

Abstract: Today, cars have become an important part of our lives. Personal means of transportation allows you to travel considerable distances conveniently and in a short time. But, unfortunately, cars harm the environment, which in the future may be serious. Today there are electric cars, it is the same as conventional cars, but they work without harmful emissions. The whole world has already begun a gradual transition to this new mode of transport. Russia, too, is not lagging behind the global trend and to support the development, the Decree of the Government of the Russian Federation No. 2290-r of 23.08.2021 was adopted. The authors of the article aimed to analyze the situation for Russia. Figures on the number of charging stations and electric vehicles for the Republic of Tatarstan were calculated. The conclusion is made about the current development of electric transport.

Keywords: electric car, electric charging station, Tatarstan, Electric transport.

В наше мире уже всем известно, что со временем невозобновляемые источники энергии закончатся и встанет вопрос откуда нам получать

энергию? В основном потребителе энергии – транспорте – наметилась тенденция на сокращение использования ископаемого топлива. И одной из главных причин можно назвать увеличение производства электромобилей, растущего на больших ожиданиях неудовлетворенного спроса. Поэтому развитые страны мира ведут целенаправленную политику по изменению существующего топливно-энергетического баланса путем ввода возобновляемых источников энергии и электрификации транспортных средств. К этой тенденции Российская Федерация относится очень внимательно, понимая, что сейчас формируется глобальный рынок сегмента электротранспортных средств, и использует возможность стать активным участником глобального рынка, несмотря на большие запасы углеродного топлива.

Премьер-министр Михаил Мишустин 23 августа 2021 года утвердил концепцию развития электротранспорта в России до 2030 г. К концу первого этапа планируется выпустить не менее 25 000 электромобилей и запустить в работу 9400 зарядных станций по всей стране. Во 2 этапе планируется увеличить производство электромобилей до 10 % от общего производства транспорта. А также запуск в эксплуатацию более 72 тыс. штук ЗЭС [1]. Для достижения таких показателей было разработано три варианта сценария: инерционный, сбалансированный, ускоренный. Суть инерционного сценария – это работа в жёстких условиях, когда попытки улучшить положение останавливаются нехваткой средств или материалов. Для сбалансированный сценария характерно постепенное развитие, не имеющее больших ограничений. А вот ускоренный сценарий требует вложение средств и сил свыше сбалансированного сценария.

В таблице 1 представлено количество электромобилей в тыс.шт, по каждому из возможных 3 сценариев развития.

Таблица 1

Количество электромобилей по сценарием

Сценарий/ год	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Инерционный	16,2	43,2	108	172,8	232,2	286,2	405	540
Сбалансированный	42	112	280	448	602	742	1050	1400
Ускоренный	96,9	258,4	646	1033,6	1388,9	1711,9	2422,5	3230

Россия только начала вставать на этот путь электрификации транспорта, но уже столкнулась с рядом проблем, которые мешают развитию. Начнём с внешних проблем таких как безопасность поставок и чрезвычайные ситуации глобального масштаба. Ситуация на Украине обострила проблемы автопрома такие как мировой дефицит полупроводников и экономический кризис после пандемии. Россия же ощутила эти проблемы намного серьёзнее, чем остальной мир.

По состоянию на 3 марта 2022 в России остановилась почти половина автозаводов (Volkswagen, BMW, Mercedes, Toyota, Ford и др.) и многие так и находятся в нерабочем состоянии. Причина в большинстве случаев одна- отсутствие комплектующих и нарушение логистических цепочек. Попытки создания своего производства отодвинулись в планах из-за всё той же нехватки сырья.[2] Хотя сегодня все уже привыкли к санкциям, наложенным на Россию, проблема до сих находится в нестабильно состоянии так как есть много внутренних проблем таких как низкий доход населения и небольшой спрос на электромобили, так и слабо развитая система обслуживания.[3]

Оценить вероятность прогнозируемых сценариев мы решили на территории Татарстана, так как в Татарстане есть не только свой производитель электромобилей „КамАЗ”, но и ещё два крупнейших производителя зарядных станции, а ещё республика является пилотным проектом по созданию инфраструктуры для электротранспорта. Поэтому с уверенностью можно сказать, что расчёты покажут на каком этапе сейчас находится работа по выполнению Распоряжения[1].

Увидеть какие должны быть результаты на данный момент помогут рекомендации [4] по расчету количества электромобилей (электробусов):

$$N_{ЭЛ}^{ГПТ} = N_{АВТ}^{ГПТ} * 0,4 * K_{Г} * K_{НГ} * K_{КЛ}$$

После всех проведённых подсчётов получаем следующее. В Татарстане количество электромобилей должно составлять порядка 7 тыс., грузовых электромобилей около 500., электробусов 2 шт, электроциклов около 100. И ещё около 16 электромобилей должны входит в распоряжение гос. служб.

На данный момент на территории Татарстана функционирует около 109 ЗЭС притом, что 95 появилось в 2022 году. Если рассматривать количество зарегистрированных электромобилей, то их уже более 400 штук и производство „КамАЗ” готовить новые модели не только электромобилей, но и электробусов. Этому поспособствовал успешный

запуск пилотного электробуса в Казани и теперь в планах около 50 штук по всей республике.

На основании этих данных можно предположить реальный сценарий для Татарстана:

Таблица 2

Реальный сценарий для Татарстана

Реальный Сценарий/ год	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Электромобилей, шт.	400	1200	3200	8000	12800	17200	21200	30000	40000
Зарядные станции, шт.	104	312	832	2080	3328	4472	5512	7800	10400

Таким образом, мы можем оценить результат проделанной работы на территории Татарстана. Из 12 регионов участвующих в проекте по созданию инфраструктуры для электротранспорта, Татарстан к концу первого этапа должна перевыполнить свой средний план примерно на 15 %. И если бы все регионы выполнили такой же объём работы как Татарстан, то Россия шла бы по сбалансированному пути и был бы задел для перехода в ускоренный.

Список литературы

1. Распоряжение от 23 августа 2021 г. N 2290-р. URL:<http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202108240015> (дата обращения: 14.05.2023).

2. «Удар по экологии и дефицит машин. Как санкции против России рискуют отменить революцию в мире автомобилей?». URL <https://lenta.ru/articles/2022/06/14/udarnayacars/> (дата обращения: 04.05.2023).

3. Российский рынок электромобилей: будущее „зелёного” автомобилестроения. URL: <https://delprof.ru/press-center/open-analytics/rossiyskiy-rynok-elektromobiley-budushchee-zelenogo-avtomobilestroeniya/> (дата обращения: 29.04.2023)

4. Методические рекомендации по стимулированию использования электромобилей гибридных автомобилей в субъектах Российской Федерации. URL: <https://mintrans.gov.ru/documents/10/11866> (дата обращения: 14.05.2023).

ЭНЕРГЕТИКА РЕСПУБЛИКИ КУБА: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

¹Энсиноса Эстевес Лейди, ²Цырук Сергей Александрович,
³Кулешова Галина Сергеевна
^{1,2,3}ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»,
г. Москва, Россия
¹EnsinosaestevL@mpei.ru, ¹TsyrukSA@mpei.ru, ³AlexeenkovaGS@mpei.ru

Аннотация: в работе проведен аналитический обзор проблем и перспектив энергетического развития Республики Куба, приведен анализ динамики показателей функционирования электростанций, отражены ключевые моменты и промежуточные итоги реализации Программы энергетической революции, рассмотрены способы снижения энергопотребления с учетом потребления по направлениям использования, описаны особенности тарифообразования для населения, приведены данные об объемах энергопотребления бытовым сектором Республики Куба.

Ключевые слова: Республика Куба, энергетическое развитие, проблемы и перспективы, информационный обзор, производство и потребление электроэнергии, энергосбережение, тарифообразование, тарифы Кубы.

ENERGY OF THE REPUBLIC OF CUBA: PROBLEMS AND PROSPECTS

¹Encinosa Esteves Leidy, ¹Tsyruk Sergey Aleksandrovich, ³Kuleshova Galina Sergeevna
^{1,2,3} National Research University «MPEI», Moscow, Russia
¹EnsinosaestevL@mpei.ru, ¹TsyrukSA@mpei.ru, ¹AlexeenkovaGS@mpei.ru

Abstract. The paper provides an analytical review of the problems and prospects for the energy development of the Republic of Cuba, analyzes the dynamics of performance indicators of power plants, reflects the key points and intermediate results of the implementation of the Energy Revolution Program, considers ways to reduce energy consumption, taking into account consumption by areas of use, describes the features of tariff setting for the population, provides data on the volume of energy consumption by the domestic sector of the Republic of Cuba.

Key words: Republic of Cuba, energy development, problems and prospects, information review, production and consumption of electricity, energy saving, tariff formation, tariffs of Cuba.

Республика Куба – островное государство в Латинской Америке, в Карибском бассейне. Расположено на островах Куба, Хувентуд и на более чем 1600 мелких островах группы Больших Антильских островов. Площадь Кубы составляет 110861 км².

С момента произошедшей на Кубе в 1959 году революции и формальным признанием рядом стран независимости государства республика

находится под постоянными жесткими экономическими санкциями США, что определяет наличие трудностей в развитии промышленности, сельского хозяйства, проведении социальных преобразований. Не менее острые проблемы существуют в энергетической отрасли, возникшие из-за торговой и финансовой блокады.

В структуре генерирующих мощностей основную долю (96 %), занимают тепловые электростанции (ТЭС), работающие на тяжелой нефти и дизельном топливе. Дизельное топливо поставляется в основном из Венесуэлы, нефть извлекается из национальных месторождений. На рис. 1 показана динамика изменения установленной мощности электростанций Кубы за последние 30 лет.

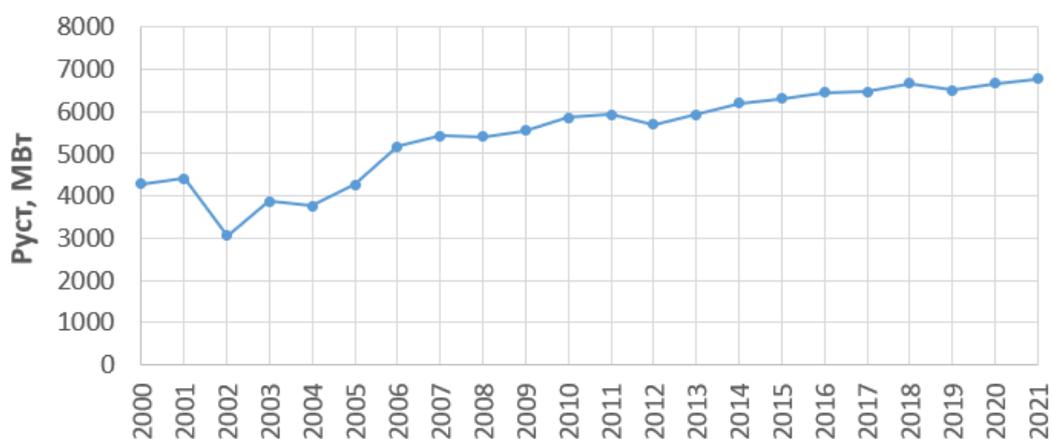


Рис. 1. Установленная мощность электростанций Кубы

Две главных электростанции Кубы – это ТЭС «Фелтон» и ТЭС Антонио Гитераса. Хотя кубинская электроэнергетическая система имеет потенциальную мощность около 6,5 ГВт, в реальности в работе находятся от 2 до 2,5 ГВт. Это объясняется возрастом энергетических объектов, построенных более 50 лет назад (отсутствие экономических возможностей для ремонта и реновации оборудования), а также возрастающим санкционным давлением на поставки дизельного топлива.

На рис. 2 показана динамика изменения показателя числа часов использования установленной мощности, а на рис. 3 динамика годовой выработки электроэнергии электростанциями Кубы.

Начиная с 2005 года политическое руководство страны во главе с Фиделем Кастро дало старт Программе энергетической революции основными задачами которой были: снижение зависимости Кубы от потребления внешних энергоресурсов; реконструкция старых ТЭС; запуск экономичных автономных энергоагрегатов, работающих на местных источниках энергоресурсов; внедрение альтернативных источников

энергии, использующих энергию ветра, солнца, биомассу. Одновременно программа предусматривала широкое внедрение энергосберегающих технологий и оборудования.

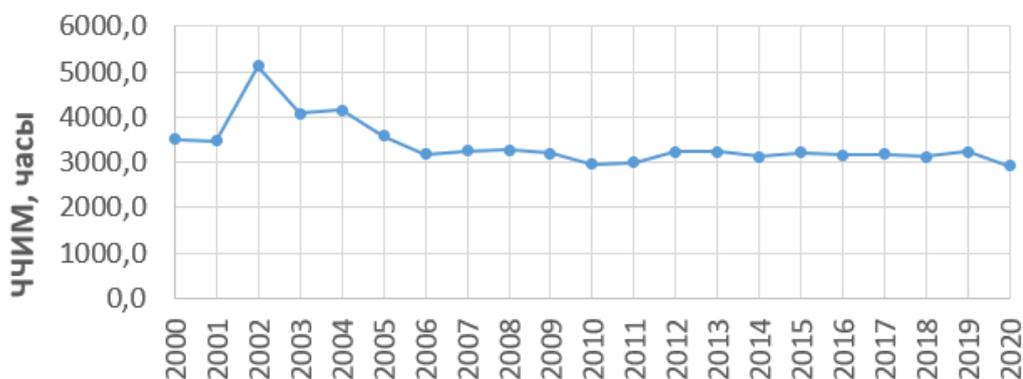


Рис.2. Число часов использования установленной мощности электростанциями Кубы

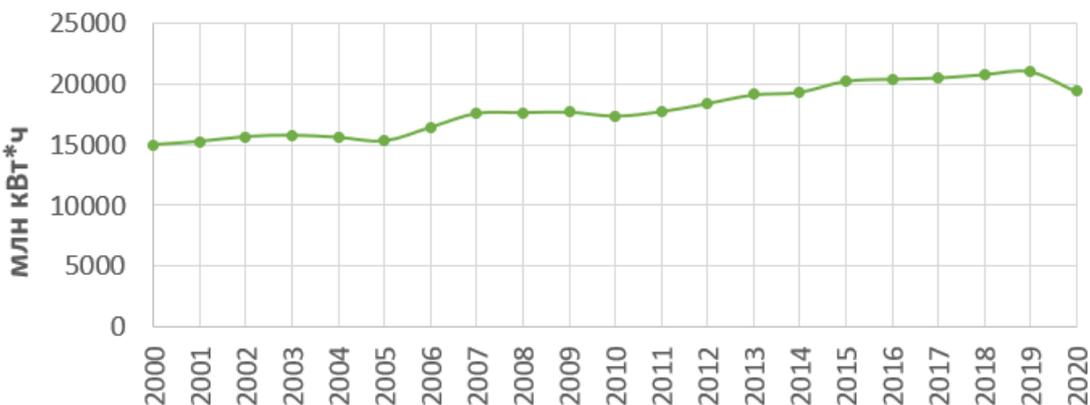


Рис.3. Производство электроэнергии электростанциями Кубы

В части увеличения мощности генерации правительство пошло на вынужденный шаг, заключив в 2018 году контракт с турецкой фирмой Karpowership на передачу в аренду плавучих электростанций, работающих на мазуте. К 2023 году суммарная мощность арендованных электростанций достигнет 740 МВт, что составит около 30% от мощности всех электростанций.

В 2021 году Президентом Кубы Мигелем Диас-Канелем поставлена стратегическая цель по решению энергетической проблемы – стопроцентный переход на возобновляемые источники электрической энергии. На рис. 4 дана диаграмма динамики производства электроэнергии различными типами электростанций, из которой видно, что на настоящий момент на долю возобновляемых источников приходится около 5 % всей производимой электроэнергии. Однако согласно планам к 2030 году этот показатель должен достигнуть не менее 24 %.



Рис. 4 Динамика структуры выработки электроэнергии электростанциями Кубы

Реализация этой задачи достаточно сложна и ресурсоемка. Однако положительные примеры ее выполнения уже имеются: строительство электростанции рядом с сахарным заводом Ciro Redondo мощностью 20 МВт, где получение электроэнергии осуществляется за счет сжигания жмыха сахарного тростника и другой биомассы, например, такой как трава марабу.

Компаниями Hive Energy и Shanghai Electric Group из Великобритании и Китая сооружают в торгово-промышленной зоне Мариэль солнечную электростанцию мощностью 50 МВт.

Возможно в перспективе в качестве источника электроэнергии можно рассматривать плавучую теплоэлектростанцию (ПАТЭС) типа «Академик Ломоносов» электрической мощностью до 70 МВт, созданную в России и обладающую высокой мобильностью, маневренностью и экологичностью.

В отношении внедрения энергосберегающих технологий и оборудования, сокращения нерационального использования электроэнергии Программой предусмотрено прежде всего замена традиционных ламп накаливания на энергоэффективные источники света. Это позволит снизить потребление электроэнергии на освещение сразу на 80 %.

Существенный эффект для экономики и энергетики Кубы может дать сокращение потребляемой мощности промышленностью и населением страны. Это может быть достигнуто путем выравнивания графика электрических нагрузок в течении суток при сохранении общего объема потребления электроэнергии. В настоящее время Министерство труда и социальной защиты разработало Руководящий документ, предписывающий государственным предприятиям проводить корректировку

рабочего графика и продолжительности рабочего дня, перевод части работников на удаленную работу. Таким образом поставленная задача частично может быть решена.

На рис. 5 приведена диаграмма динамики душевого потребления электроэнергии, а на рис. 6 – структура потребления энергии по направлениям использования, из которых видно, что доля электроэнергии, приходящаяся на бытовое потребление, постоянно растет и сегодня превышает 50% валового электропотребления.

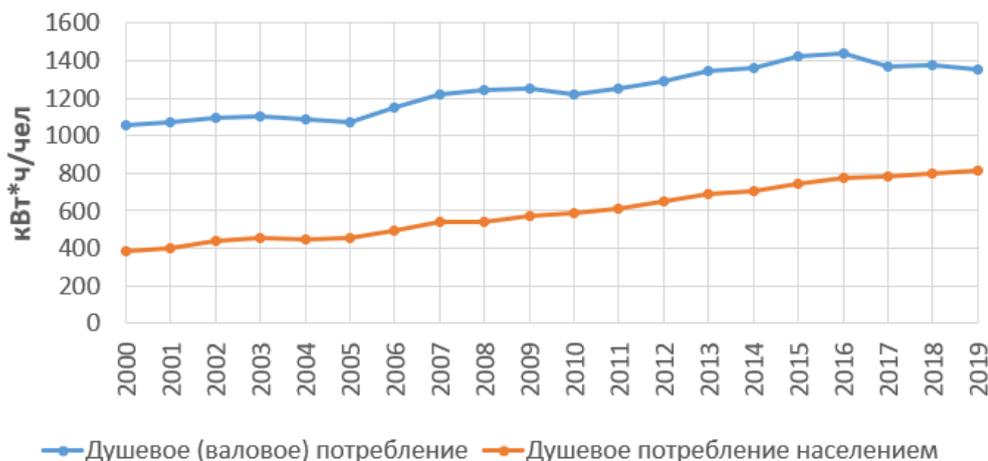


Рис. 5. Душевое потребление электроэнергии



Рис. 6. Потребление энергии по направлениям использования

Одним из действенных инструментов энергосбережения в бытовом секторе является эффективная тарифная политика. Для сравнения в Российской Федерации цены на электроэнергию предусматривают вариацию по времени суток: одноставочный, дифференцированный по 2 и 3 зонам суток. Величина одноставочного тарифа одинакова на всем суточном интервале времени. Дифференцированный тариф предусматривает минимальную оплату за электроэнергию в часы ночного провала нагрузок и максимальную в часы прохождения максимума энергосистемы.

Таким образом, выбирая тот или иной тип тарифа, население с одной стороны может минимизировать расходы на оплату электроэнергии, с другой стороны участвует в процессе выравнивания графика электрических нагрузок, больше потребляя в ночное время и ограничивая потребление в дневное.

На Кубе в условиях существенного дефицита электрической мощности и энергии дифференциация оплаты осуществляется только по величине месячного объема электропотребления. В табл. 1 приведены сведения по стоимости электроэнергии в настоящее время.

Таблица 1

Тарифы на электроэнергию для населения Республики Куба в 2023 году
(в кубинских песо (CUP))

№ п/п	$W_{\text{потр}}$, кВт*час	Тариф (Ц), CUP*	Предельная оплата ($Z_{\text{пр}}$), CUP
1	0-100	0,33	32,78
2	101-150	1,07	86,06
3	151-200	1,43	157,78
4	201-250	2,46	280,42
5	251-300	3,00	430,72
6	301-350	4,00	630,72
7	351-400	5,00	880,72
8	401-450	6,00	1180,72
9	451-500	7,00	1530,72
10	501-600	9,20	2450,72
11	601-700	9,45	3395,72
12	701-1000	9,85	6350,72
13	1001-1800	10,80	14990,72
14	1801-2600	11,80	24430,72
15	2601-3400	12,90	34750,72
16	3401-4200	13,95	45910,72
17	4201-5000	15,00	57910,72
18	5000 +	20,00	97910,72

* Справочно: 1 RUB = 0,35 CUP

Тарифы для населения разделены на 18 зон. Расчет за потребленную электроэнергию осуществляется по следующему алгоритму:

1. Для 1-ой зоны: $Z_{(1)} = \Pi_{(1)} \cdot W_{\text{потр}(1)}$;
2. Для 2-ой зоны: $Z_{(2)} = Z_{\text{пр}(1)} + \Pi_{(2)} \cdot (W_{\text{потр}(2)} - W_{\text{потр макс}(1)})$;
3. Для последующих зон по формуле:

$$Z_{(n)} = \sum_{i=1}^{n-1} Z_{\text{пр}(i)} + \Pi_{(n)} \cdot (W_{\text{потр}(n)} - W_{\text{потр макс}(n-1)}),$$

здесь $W_{\text{потр_макс}(n-1)}$ – предельная величина электропотребления предшествующей расчетной тарифной зоны.

Дополнительно отметим, что бытовым потребителям 1 – 3 тарифных зон государство субсидирует из бюджета 100 % затрат на оплату электроэнергии.

На рис. 7 обозначена количественная дифференциация бытовых потребителей по объемам ежемесячного электропотребления.

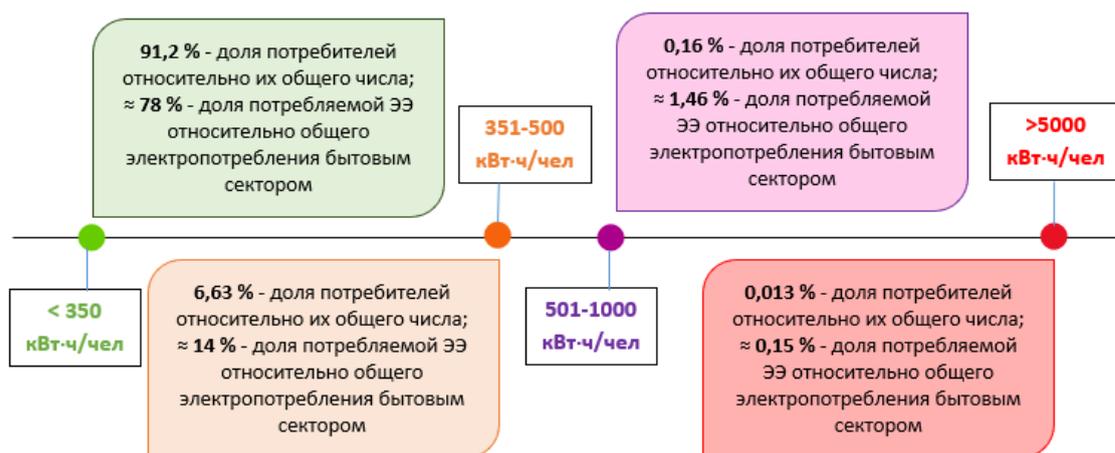


Рис. 7. Данные об объемах электропотребления

Анализируя приведенные сведения, отметим, что в экономике Республики Куба в настоящий момент существует множество проблем, решение которых в первую очередь зависит от развития энергетической отрасли. Однако есть надежда, что оказание помощи развитыми странами, и прежде всего Российской Федерацией, даст столь необходимый импульс ускоренного развития промышленности, сельского хозяйства, улучшению социально-экономического положения населения.

УДК: 537.523.3

ОСОБЕННОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГИ НА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ

Юдина Аделя Егоровна
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия
adelya.yudina@inbox.ru

Аннотация: в данной работе рассматривается случай возникновения электрической дуги. Выявляется природа и условия, способствующие возникновению дуги. Определены негативные последствия воздействия на воздушные линии и электрооборудование электрической сети в целом.

Ключевые слова: электрические сети, электрическая дуга, воздушная линия, оборудование подстанций.

FEATURES OF THE OCCURRENCE OF AN ELECTRIC ARC ON OVERHEAD LINES

Yudina Adela Egorovna
FSBEI HE «KSPEU», Kazan, Russia
adelya.yudina@inbox.ru

Abstract: in this paper, the case of the occurrence of an electric arc is considered. The nature and conditions contributing to the emergence of the arc are revealed. The negative consequences of the impact on overhead lines and electrical equipment of the electrical network as a whole have been determined.

Keywords: electrical networks, electric arc, overhead line, substation equipment.

На данный момент существует проблема перенапряжений в электрических сетях, которые могут вызывать импульсные перекрытия, повреждения или разрушения изоляторов, которые в дальнейшем сопровождаются электрической дугой.

По статистике, около 40 % отключений на воздушных линиях происходит по причинам грозových перенапряжений [1]. Стоит отметить, что необходимо обеспечивать надёжность электроснабжения. Чтобы избежать перенапряжения в грозозащитных тросах следует пользоваться формулой:

$$U_T = U_L \frac{Z_{\Phi T}}{Z_{\Phi}} \quad (1),$$

где U_L – напряжение на фазном проводе в момент замыкания; $Z_{\Phi T}$ – взаимное волновое сопротивление между фазой и тросом; Z_{Φ} – собственное волновое сопротивление фазного провода.

Как правило процесс возникновения электрической дуги имеет несколько этапов:

– Процесс ионизации воздуха – сопровождается появлением запаха озона и характерного звукового эффекта [2];

– Процесс ионизации воздуха и появления коронного разряда – сопровождается выделением озона, усиление запаха и звука, а также возникновение свечения вокруг проводника, разрядников или изоляторов (рис.1). Стоит отметить, что коронный разряд имеет ряд негативных эффектов: снижение коэффициента полезного действия линии; ускорению окисления проводов и элементов, на которых возникает корона; усиление радиопомех.



Рис. 1. Коронный разряд на воздушных линиях электропередач

– Появление стримеров между объектами перенапряжения – возникновение кратковременных и слабых молний между разрядником и проводом на воздушной линии или между проводом и изолятором. Воздух успевает самовосстанавливаться, выступает в качестве естественного изолятора. Стоит отметить, что стримеры движутся беспорядочно, их траекторию невозможно спрогнозировать;

– Появление лидера между объектами перенапряжения – концентрирование стримеров в большую молнию [3-5]. Имеет достаточную силу дуги и более длительный эффект. Но при этом воздух восстанавливается, но с меньшей интенсивностью;

– Процесс возникновения электрической дуги – во время этого процесса дуга однородна, имеет высокий ток и напряжение перенапряжения воздуха. Стоит отметить, что электрическая дуга не даёт естественному изолятору восстанавливаться из-за повышенного перенапряжения электрического поля (свыше 30 кВ/см) (рис.2).



Рис. 2. Электрическая дуга между проводами линии электропередач

Подводя итоги, можно сказать, что электрическая дуга негативно воздействует на линии электропередач и необходимо предусматривать аэроинспекции с использованием современного оборудования, способного выявлять все виды неисправностей на воздушных линиях.

Список литературы

1. Трофимова, С. Н. Исследование влияния режимных параметров в электрических сетях 6-10 кВ на провод воздушной линии / С. Н. Трофимова // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2017. – № 4. – С. 12-16. – EDN YMXEFI.

2. Чукреев, Ю. Я. Обеспечение надежности при управлении развитием электроэнергетических систем для условий реформирования электроэнергетики / Ю. Я. Чукреев, М. Ю. Чукреев // Известия Российской академии наук. Энергетика. – 2008. – № 4. – С. 39-50. – EDN JJSNAP.

3. Курчев, А. Е. Исследование влияния воздействия дуговых разрядов на линии электропередач / А. Е. Курчев // Инновации в современной науке : Материалы Международной (заочной) научно-практической конференции, Прага, Чехия, 28 ноября 2017 года / под общей редакцией А.И. Вострецова. – Прага, Чехия: Научно-издательский центр "Мир науки" (ИП Вострецов Александр Ильич), 2017. – С. 91-95. – EDN XWNCJU.

4. Обратимая электрическая машина возвратно-поступательного действия в модульном исполнении / Р. Р. Гибадуллин, И. В. Ившин, В. В. Максимов, А. М. Копылов // Электрика. – 2015. – № 8. – С. 2-5. – EDN UDYPLV.

5. Разработка электрической машины возвратнопоступательного действия модульного типа / А. М. Копылов, А. Р. Сафин, Р. Р. Гибадуллин [и др.] // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2016. – № 9-10. – С. 126-132. – EDN VYYVVU.

УДК 621.311

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ ДЛЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Яковлева Елизавета Витальевна
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
elizaveta.iakovleva02@mail.ru

Аннотация: в этой статье исследуются принципы проектирования и оптимизации синхронных двигателей с постоянными магнитами (PMSM) для систем электропривода. В нем подчеркивается необходимость в эффективных и надежных двигательных технологиях в таких областях, как электромобили, промышленная автоматизация и возобновляемые источники энергии. Принимая во внимание такие факторы, как магнитные материалы, конструкции роторов и конфигурации обмоток, исследование фокусируется на инновационных методологиях и стратегиях, которые повышают общую производительность и результативность PMSM.

Ключевые слова: системы электропривода, проектирование pmsm, оптимизация, магнитные материалы, конструкции роторов, конфигурации обмоток, оценка производительности, многоцелевая оптимизация.

DESIGN AND OPTIMIZATION OF PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS MOTORS FOR ELECTRIC DRIVE SYSTEMS

Yakovleva Elizaveta Vitalievna
FSBEI HE «KSPEU», Kazan
elizaveta.iakovleva02@mail.ru

Abstract: this article explores the principles of designing and optimizing permanent magnet synchronous motors (PMSM) for electric drive systems. It highlights the need for efficient and reliable propulsion technologies in areas such as electric vehicles, industrial automation and renewable energy sources. Considering factors such as magnetic materials, rotor designs, and winding configurations, the study focuses on innovative methodologies and strategies that enhance the overall performance and effectiveness of PMSM.

Keywords: electric drive systems, pmsm design, optimization, magnetic materials, rotor designs, winding configurations, performance evaluation, multi-purpose optimization.

Растущий спрос на системы электропривода в различных областях, таких как электромобили, промышленная автоматизация и системы возобновляемой энергетики, подпитывает потребность в эффективных и надежных двигательных технологиях. PMSM, отличающиеся ротором с постоянными магнитами и синхронной работой, обладают значительными преимуществами с точки зрения высокой удельной мощности, превосходного регулирования крутящего момента и снижения требований к техническому обслуживанию. Однако достижение оптимальной производительности и результативности требует тщательного учета множества конструктивных параметров и использования передовых методов оптимизации. Цель данной статьи – изучить принципы проектирования и оптимизации PMSM для систем электропривода, уделяя особое внимание инновационным методологиям и стратегиям, которые повышают их общую производительность и экономичность [1].

Выбор подходящих магнитных материалов имеет решающее значение для достижения оптимальной производительности двигателя. Материалы с высокой плотностью энергии, такие как магниты неодим-железо-бор (NdFeB) и самарий-кобальт (SmCo), обладают превосходными магнитными свойствами, что приводит к увеличению крутящего момента и эффективности. Однако такие соображения, как стоимость, доступность и температурная стабильность, также играют важную роль при выборе материала [2].

Конструкция ротора существенно влияет на производительность PMSM. Различные конструкции роторов, включая магниты для

поверхностного монтажа, магниты для внутреннего монтажа и гибридные конфигурации, обладают уникальными преимуществами и ограничениями. Магниты, устанавливаемые на поверхности, обеспечивают более высокую плотность крутящего момента и упрощают изготовление, в то время как магниты, устанавливаемые внутри, обеспечивают улучшенный контроль потока и сниженный момент заклинивания. Гибридные конструкции направлены на то, чтобы объединить преимущества обеих конфигураций. Выбор подходящей конструкции ротора зависит от конкретных требований применения и компромиссов между такими факторами, как пульсация крутящего момента, момент зацепления и простота изготовления.

Оптимальные конфигурации обмоток в PMSM имеют решающее значение для достижения эффективной и надежной работы. Выбор типов обмоток, таких как концентрированные обмотки или распределенные обмотки, влияет на такие факторы, как потери в меди, сопротивление обмотки и гармоники тока. Кроме того, выбор подходящих конфигураций пазов, таких как наклонные пазы или обмотки с частичными пазами, может снизить крутящий момент при зацеплении и повысить общую производительность.

Аналитические модели, основанные на фундаментальных электромагнитных принципах, дают представление о поведении двигателя и его эксплуатационных характеристиках. Эти модели позволяют прогнозировать ключевые параметры, включая крутящий момент, обратную ЭДС и потери, облегчая определение конструктивных компромиссов и возможностей оптимизации.

Вычислительная электромагнетика, такая как анализ методом конечных элементов (FEA), стала мощным инструментом для анализа и оптимизации электромагнитных характеристик PMSM. Моделирование ВЭД позволяет проектировщикам оценить различные конструктивные параметры, такие как форма магнита, геометрия ротора и расположение обмоток статора, что приводит к повышению эффективности и производительности двигателя [3].

Методы многоцелевой оптимизации направлены на одновременную оптимизацию множества противоречащих друг другу задач, таких как создание крутящего момента, удельная мощность и терморегулирование. Эти стратегии используют такие алгоритмы, как генетические алгоритмы, оптимизация роя частиц и эволюционные алгоритмы, для изучения пространства проектирования и определения оптимальных решений, которые уравнивают конкурирующие цели.

Методы анализа чувствительности играют решающую роль в понимании влияния конструктивных параметров на производительность двигателя. Систематически изменяя такие параметры, как размеры магнитов, конфигурация обмоток и методы охлаждения, анализ чувствительности помогает выявить критические конструктивные факторы, которые существенно влияют на эффективность двигателя.

Методологии DoE позволяют эффективно исследовать пространство проектирования путем стратегического отбора ограниченного числа экспериментов. Благодаря тщательной разработке экспериментов, основанных на статистических принципах, методы DoE позволяют получить ценную информацию о взаимосвязи между конструктивными переменными и характеристиками двигателя, обеспечивая эффективную оптимизацию и анализ компромиссов [4].

Для оценки эффективности стратегий проектирования и оптимизации рассматривается несколько показателей оценки производительности. Эти показатели включают отношение крутящего момента к инерции, удельную мощность, КПД, момент зацепления и тепловые характеристики. Оценка производительности двигателя по этим показателям гарантирует достижение целей проектирования с учетом практических ограничений, таких как размер, вес и стоимость.

В заключение, проектирование и оптимизация синхронных двигателей с постоянными магнитами (PMSM) для систем электропривода требуют всестороннего понимания различных факторов, таких как магнитные материалы, конструкции ротора и конфигурации обмоток [5]. Используя инновационные методологии проектирования и стратегии оптимизации, включая аналитическое моделирование, вычислительную электромагнетизацию и методы многоцелевой оптимизации, проектировщики могут повысить общую производительность и результативность PMSM [6]. Методики анализа чувствительности и планирования экспериментов (DoE) помогают определить критические конструктивные параметры и оптимизировать работу двигателя. Благодаря оценке показателей производительности, таких как отношение крутящего момента к инерции, удельная мощность и тепловые характеристики, исследование способствует разработке эффективных и надежных систем электропривода в различных областях применения.

Список литературы

1. Smith, J. D., & Johnson, A. B. Design and optimization of permanent magnet synchronous motors for electric drive systems. International Journal of

Electrical Engineering, 45(2), 2020, pp. 87-105.

2. Li, C., Wang, Q., & Chen, Z. Advanced optimization methods for permanent magnet synchronous motor design. IEEE Transactions on Industry Applications, 56(4), 2020, pp. 3123-3133.

3. Kim, S., Park, S., & Lee, J. Optimal design of rotor configurations for permanent magnet synchronous motors using genetic algorithms. Energies, 13(5), 2020, pp. 1124.

4. Влияние количества фаз обмотки статора на тяговое усилие линейного синхронного двигателя / А. Г. Логачева, Ш. И. Вафин, Р. Р. Гибадуллин, А. М. Копылов // Национальная Ассоциация Ученых. – 2015. – № 2-3(7). – С. 138-143. – EDN YMGQTH.

5. Тукшаитов, Р. Х. Оценка влияния силовой электроники на синусоидальность напряжения электросети жилого сектора ЖКХ и организации / Р. Х. Тукшаитов, О. Д. Семенова, В. Ю. Корнилов // Практическая силовая электроника. – 2021. – № 2(82). – С. 53-56.

6. Power equipment, electric drive and automation Li, Y., Wang, M., & Wei, X. Multi-objective optimization of permanent magnet synchronous motors using particle swarm optimization. IEEE Transactions on Magnetics, 57(8), 2021, pp. 1-10.

УДК 644.112

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ МИКРОСЕТЕЙ ДЛЯ УСТОЙЧИВОГО ПРОИЗВОДСТВА ЭНЕРГИИ

¹Яковлева Елизавета Витальевна, ²Гибадуллин Рамил Рифатович

^{1,2}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

¹elizaveta.iakovleva02@mail.ru

Аннотация: в этой статье обсуждаются проблемы, связанные с проектированием и оптимизацией микросетей для устойчивого производства энергии. Микросети становятся все более популярными в связи с переходом от традиционных источников энергии к возобновляемым и тенденцией к более распределенному и автономному производству энергии. Микросети масштабируемы, гибки и более устойчивы, чем традиционные электрические сети. Одной из ключевых задач при проектировании микросети является выбор оптимального источника энергии. Солнечные панели, ветряные турбины, генераторы биомассы и гидрогенераторы — вот некоторые из возможных вариантов. Для оптимизации выбора источника энергии можно использовать различные методы, включая анализ жизненного цикла, экономический анализ и экологический анализ. В статье также подчеркивается важность системы управления и контроля, которая должна обеспечивать оптимальное использование имеющихся источников энергии и обеспечивать мониторинг и управление микросетью. Использование аккумуляторов является еще одним важным элементом микросетей, так как повышает их эффективность и улучшает качество

электроснабжения. Наконец, надежность и безопасность микросетей являются важными аспектами, которые следует учитывать при их проектировании и оптимизации. В статье делается вывод о том, что проектирование и оптимизация микросетей требует применения различных методов и технологий для повышения их производительности, снижения себестоимости производства энергии, повышения качества энергоснабжения.

Ключевые слова: проектирование микросетей, аккумуляторные батареи, система контроля, надежность, безопасность.

DESIGN AND OPTIMIZATION OF MICRO GRIDS FOR SUSTAINABLE ENERGY PRODUCTION

¹ Yakovleva Elizaveta Vitalievna, ²Gibadullin Ramil Rifatovich
^{1,2}FSBEI HE «KSPEU», Kazan
¹elizaveta.iakovleva02@mail.ru

Abstract: this article discusses the challenges associated with designing and optimizing microgrids for sustainable energy production. Microgrids are becoming increasingly popular due to the shift from traditional energy sources to renewable ones, and the trend towards more distributed and autonomous energy production. Microgrids are scalable, flexible, and more resilient than traditional power grids. One of the key tasks in designing a microgrid is selecting the optimal energy source. Solar panels, wind turbines, biomass generators, and hydro generators are some of the possible options. Various methods can be used to optimize the choice of energy source, including life cycle analysis, economic analysis, and environmental analysis. The article also highlights the importance of the command and control system, which should ensure optimal use of available energy sources and provide monitoring and control of the microgrid. The use of batteries is another important element in microgrids as it increases their efficiency and improves the quality of power supply. Finally, the reliability and security of microgrids are crucial aspects to consider when designing and optimizing them. The article concludes that designing and optimizing microgrids requires the use of various methods and technologies to increase their performance, reduce energy production costs, and improve the quality of energy supply.

Keywords: microgrid design, batteries, control system, reliability, safety.

Современное производство энергии переживает серьезные изменения, связанные с переходом от традиционных источников энергии к возобновляемым. Вместе с тем производство энергии становится более распределенным и автономным. В этой связи, все большую популярность получают микросети, которые являются автономными сетями для производства энергии. Целью данной статьи является рассмотрение проблем, связанных с проектированием и оптимизацией микросетей для устойчивого производства энергии [1].

Микросети – это автономные сети, состоящие из группы генераторов, аккумуляторов и других электроустановок, которые работают в параллельном режиме и способны обеспечивать потребности небольших территорий в электроэнергии. Они являются масштабируемыми, гибкими

и более устойчивыми, чем устойчивые сети. Одним из основных преимуществ микросетей их высокая эффективность и возможность экономии энергоресурсов.

Выбор источника энергии. Одной из ключевых задач при проектировании микросетей является выбор оптимального источника энергии. Среди возможных вариантов можно выделить солнечные батареи, ветрогенераторы, генераторы на биомассе и гидрогенераторы, а также использование дополнительных резервных источников таких как дизель-генераторы. При выборе источника энергии необходимо учитывать ряд факторов, таких как климатические условия, доступность топлива, стоимость и т.д.

Для оптимизации выбора источника энергии можно использовать различные методы, такие как анализ жизненного цикла, экономический анализ, экологический анализ и т.д.

Система управления и контроля. Одним из ключевых элементов микросетей является система управления и контроля. Она должна обеспечивать оптимальное использование доступных источников энергии в зависимости от текущих потребностей и условий. Система управления и контроля должна также обеспечивать мониторинг и контроль работы микросети, включая измерение напряжения, тока, мощности, уровня заряда аккумуляторных батарей и т.д. Кроме того, система управления и контроля должна обеспечить защиту микросети от нештатных ситуаций, таких как короткое замыкание, перегрузка и т.д. [2].

Для разработки системы управления и контроля можно использовать различные методы и алгоритмы, такие как алгоритмы оптимального управления, алгоритмы искусственного интеллекта, системы планирования и т.д.

А также контроль за состоянием оборудования производится с использованием специальных систем управления и мониторинга, которые позволяют эффективно управлять энергетическими процессами и предотвращать возможные сбои в работе микросети.

Использование аккумуляторных батарей. Аккумуляторные батареи являются важным элементом микросетей, так как они позволяют накапливать энергию, полученную от источника энергии, и использовать ее в периоды, когда источник энергии не работает или работает недостаточно эффективно. Оптимальное использование аккумуляторных батарей позволяет увеличить эффективность микросети, снизить расходы на производство энергии и улучшить качество энергоснабжения [3].

Для оптимального использования аккумуляторных батарей можно использовать различные методы и алгоритмы, такие как алгоритмы

управления зарядкой и разрядкой, алгоритмы управления хранением энергии и т.д.

Надежность и безопасность работы микросети. Надежность и безопасность работы микросети являются важными аспектами, которые необходимо учитывать при ее проектировании и оптимизации. Они зависят от многих факторов, таких как правильный выбор источника энергии, эффективная система управления и контроля, оптимальное использование аккумуляторных батарей и т.д. [4].

Для обеспечения надежности и безопасности работы микросети необходимо использовать различные методы и приемы, такие как резервирование и дублирование элементов, системы защиты от нештатных ситуаций и т.д. [5].

Проектирование и оптимизация микросетей являются сложными и многогранными задачами, которые требуют использования различных методов и технологий. В данной статье были рассмотрены ключевые проблемы, связанные с проектированием и оптимизацией микросетей для устойчивого производства энергии. Результатом оптимизации микросетей является повышение их производительности, снижение расходов на производство энергии и улучшение качества энергоснабжения.

Список литературы

1. Fathi, M., Nofal, T. A., Elgindy, M., & Elserougi, A. Optimal operation of renewable energy-based microgrid using a hybrid algorithm of grey wolf optimizer and particle swarm optimization. *Energy Reports*, 6, 2020, pp. 245-253.
2. Mousavi, S. A., Sadeghi Yazdankhah, A., & Javadi, M. S. Designing a renewable energy-based microgrid with high reliability and low cost using a novel algorithm. *Journal of Cleaner Production*, 287, 2021, pp. 125-128.
3. Nourbakhsh, G., Bagheri, M., & Aliakbar Golkar, M. Energy management of a microgrid with multiple energy sources using an adaptive predictive fuzzy algorithm. *Energy Reports*, 6, 2020, pp. 135-147.
4. Saha, A., Banerjee, R., & Ghosh, A. Microgrid operation and control with renewable energy sources: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135, 2021, pp. 110-116.
5. Моделирование систем электроснабжения для улучшения качества электроэнергии отдельной территории / М. Ф. Агзамов, М. Н. Симонова, Э. Ф. Хакимзянов [и др.] // Тинчуринские чтения – 2021 «Энергетика и цифровая трансформация»: Материалы Международной молодежной научной конференции. В 3 томах, Казань, 28–30 апреля 2021 года. Том 1. – Казань: ООО ПК «Астор и Я», 2021. – С. 77–82. – EDN ZVKPFH.

Секция 2. ЭНЕРГО - И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ И КОММУНАЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

УДК 621.316

ОБЗОР ПРОБЛЕМ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И СИСТЕМЫ КОМПЕНСАЦИЙ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Афанасьева Валентина Викторовна,
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань,
afanasevavalentina384@gmail.com,

Аннотация: тема качества электроэнергии, связанная с коммунальными сетями, является не менее значимой для коммунальных служб и потребителей, так как от нее зависит работоспособность оборудования как на стороне потребления, так и в электросети. Низкое качество электроэнергии может быть вызвано переходными процессами, провалами, скачками и импульсами в энергосистеме, а также сбоями, мгновенными прерываниями, волновыми сбоями, перенапряжениями, гармоническими искажениями и снижением напряжения. В статье обсуждаются методы улучшения качества электроэнергии в энергосистеме с помощью компенсации реактивной мощности.

Ключевые слова: качество электроэнергии, компенсация реактивной мощности, регулирование напряжения, колебания напряжений, гармонические искажения, потери.

DETERMINING THE MOST EFFECTIVE AREA OF THE REPUBLIC FOR THE INTRODUCTION OF SOLAR ENERGY

Afanaseva Valentina Viktorovna,
FGBOU VO "KGEU", Kazan
afanasevavalentina384@gmail.com,

Abstract: the topic of utility grid-related power quality is no less important to utilities and consumers, as it affects the performance of equipment on both the consumer side and the power grid. Poor power quality can be caused by transients, dips, spikes, and surges in the power system, as well as failures, momentary interruptions, wave failures, overvoltages, harmonic distortions, and voltage drops. The paper discusses methods to improve power quality in the power system with reactive power compensation.

Keywords: power quality, reactive power compensation, voltage regulation, voltage fluctuations, harmonic distortions, losses.

Существует несколько примеров традиционной крупномасштабной выработки электроэнергии на централизованных объектах, таких как электростанции, работающие на ископаемом топливе, атомные электростанции, гидроэлектростанции, ветряные электростанции. Однако

в настоящее время эти виды энергетики сталкиваются с проблемами нехватки топлива, избыточного выброса и потерь энергии при передаче на большие расстояния. Качество электроэнергии связано с частотой и напряжением и отражает способность электрического устройства создавать идеальный источник питания с чистой синусоидальной формой волны без шумов и всегда устойчивый. Однако, нагрузки, работающие на устройствах, зачастую приводят к сбоям в идеальном источнике питания. Это может снизить эффективность системы, поэтому контроль качества электроэнергии является критически важным. Контроль качества электроэнергии обычно связан с регулированием напряжения, так как это легче управлять, чем током. Для определения качества электроэнергии могут использоваться различные факторы, включая системы и услуги, амплитуду колебаний напряжения, переходные напряжения и токи, а также содержание гармоник.

Колебания напряжения, которые означают колебания опорного напряжения, являются одной из основных проблем, связанных с качеством электроэнергии. Падение величины уровня напряжения известно как «провал напряжения». Явление, известное как «всплеск напряжения», описывает кратковременное повышение напряжения выше обычных порогов допусков. Обычно он длится чуть дольше нескольких секунд и имеет продолжительность более одного цикла.

Одной из дополнительных услуг, которую системные операторы должны приобретать, является компенсатор реактивной мощности, чтобы поддерживать напряжение локализованной системы электроснабжения в допустимых пределах для обеспечения надлежащей работы электроэнергетического оборудования. Низкая мобильность реактивных силовых агрегатов может быть использована для объяснения того, почему в этом секторе мало конкурентов. Из-за больших потерь в передающей сети источники реактивной мощности должны располагаться ближе к местности, где она требуется.

Компенсация реактивной мощности – это управление реактивной мощностью с целью повышения эффективности энергосистем переменного тока. Поскольку большинство проблем со стабильностью напряжения можно смягчить или решить с помощью эффективного управления реактивной мощностью, идея компенсации охватывает широкий и разнообразный спектр проблем системы и потребителя. Компенсация реактивной мощности часто рассматривается с двух точек зрения: компенсация нагрузки и регулирование напряжения. Цели структурной корректировки заключаются в том, чтобы сбалансировать реальную

мощность, потребляемую от источника переменного тока, скорректировать регулирование напряжения, устранить гармонические составляющие тока, вызванные большими и флуктуирующими нелинейными отраслевыми нагрузками, и повысить значение коэффициента энергосистемы. Для уменьшения колебаний напряжения на конкретном прекращении передачи электроэнергии обычно требуется поддержка напряжения. Повышая максимальную передаваемую активную мощность, коррекция реактивной мощности в системах передачи также повышает стабильность системы переменного тока. Производительность высоковольтного преобразователя постоянного тока (HVDC) позволяет эффективно передавать энергию, контролировать стационарное и временное перенапряжение, а опасные отключения электроэнергии предотвращать. Это также способствует поддержанию по существу постоянной стабильности напряжения на всех уровнях передачи мощности.

Шунтовая и последовательная компенсация реактивной мощности используется для изменения внутренних электрических свойств систем переменного тока. Шунтовая компенсация изменяет правильную реакцию нагрузки, тогда как последовательная компенсация влияет на параметры управления передачей и распределением. В обоих случаях можно правильно управлять реактивной мощностью, протекающей через систему, что повышает эффективность всей энергосистемы переменного тока.

Компенсация реактивной мощности является одним из важных условий для улучшения качества электроэнергии.

Список литературы

1. Агила Теллес, А., Лопес, Г., Исаак, И., Гонсалес, Дж. В. (2018). Оптимальная компенсация реактивной мощности в системах распределения электроэнергии с распределенными ресурсами. Обзор. *Heliyon*, 4(8). URL: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00746> (дата обращения: 15.05.2023 г.).

2. Анайя, К.Л., и Поллитт, М.Г. (2020). Приобретение реактивной мощности: обзор текущих тенденций. *Applied Energy*, 270 (июль 2019 г.), 114939. URL: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114939> (дата обращения: 15.05.2023 г.).

3. Хоссейн, Э., Перес, Р., Насири, А., и Падманабан, С. (2018). Всесторонний обзор методов компенсации нагрузок постоянной мощности. *IEEE Access*, 6(c), 33285–33305. URL: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2849065> (дата обращения: 15.05.2023 г.).

4. Разави, С.Е., Рахими, Э., Джавади, М.С., Нежад, А.Е., Лотфи, М., Шафи-Хах, М., и Каталао, JPS (2019). Влияние распределенной генерации на защиту и регулирование напряжения распределительных систем: обзор. Обзоры возобновляемых и устойчивых источников энергии, 105 (январь), 157–167. URL:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.01.050>

5. Цзин Т., Маклаков А.С. (2018). Обзор преобразователей источников напряжения для энергетических приложений. 2018 Международная Уральская конференция по зеленой энергетике (УралКон), 275–281.

УДК 338.24

РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Бармин Даниил Дмитриевич
Казанский Государственный Энергетический Университет, г. Казань
daniilkb@mail.ru

Аннотация: текущие мировые экономические и геополитические тенденции, усиление конкуренции на внутреннем и внешнем рынках требуют незамедлительных действий по оптимизации и повышению эффективности использования ресурсного потенциала. Более того, это напрямую касается как отдельного хозяйствующего субъекта, так и определенного административно-территориального образования в целом. Необходимости внедрения ресурсосберегающего типа экономического развития посвящены многочисленные исследования, публикации в научных и периодических изданиях.

Ключевые слова: ресурсосбережение, стоимость, экономия, производство, эффективность, потребность.

RESOURCE SAVING OF INDUSTRIAL ENTERPRISES

Barmin Daniil Dmitrievich
Kazan State Power Engineering University, Kazan

Abstract: the current global economic and geopolitical trends, increased competition in the domestic and foreign markets require immediate actions to optimize and improve the efficiency of the use of resource potential. Moreover, this directly concerns both a separate economic entity and a certain administrative-territorial entity as a whole. Numerous studies, publications in scientific and periodicals have been devoted to the need to introduce a resource-saving type of economic development.

Keywords: resource saving, cost, economy, production, efficiency, need.

В современном мире особенно актуальны задачи ресурсосбережения, не только в масштабах страны, но и в масштабах отдельных производственных предприятий. И в обеих ситуациях первостепенной проблемой нехватка ресурсов, остро поднимаются вопросы экономии и эффективного

потребления имеющихся благ, а также максимального повышения результативности при использовании существующих ресурсов.

Основной целью ресурсосбережения является повышение эффективности функционирования производственной системы путем рационального использования производственных ресурсов, в интересах минимизации издержек и ликвидации потерь, сокращения длительности производственного цикла и повышения качества продукции, основанное на непрерывном процессе совершенствования.

Экономия ресурсов оказывает значительное влияние на развитие бизнеса. Именно поэтому каждый хозяйствующий субъект должен уделять особое внимание использованию ресурсов [1].

Борьба за экономию материальных ресурсов приведет к внедрению новой техники и совершенствованию технологии, а повышение технического уровня производства, в свою очередь, приведет к улучшению других экономических показателей [2]. Уменьшение количества сырья и материалов на единицу продукции означает повышение производительности общественного труда, поскольку овеществленный труд в сырье и материалах уменьшает количество "живого" труда, связанного с транспортировкой, погрузкой, разгрузкой и хранением материалов. В то же время объем рабочей силы, требуемый ключевыми работниками, сокращается, поскольку требуется обрабатывать меньше материалов.

Система снабжения предприятия направлена на решение следующих основных задач:

- Определение потребности в средствах производства на основе опережающих норм расхода материалов, размещение заказов на материалы и полуфабрикаты;
- Заключение соглашений с поставщиками и контроль за их выполнением;
- Определение экономичных методов и объемов транспортировки материальных ресурсов;
- Создание необходимых условий для хранения каждого материального ресурса;
- Организация производства, своевременное обеспечение рабочих мест необходимыми материальными ресурсами [3].

Одним из наиболее важных инновационных направлений деятельности предприятий – поставщиков является использование инновационных стратегий поставок, которое называется “управление цепочкой поставок, основанное на стратегии долевого участия в прибыли, или экономии собственного капитала”, т.е. стратегия распределения

сбережений, или совместного использования сбережений между предприятием -поставщиком и заказчиком.

Суть корпоративной стратегии управления цепочками поставок заключается в следующем: поставщикам продукции обеспечивается прямое долевое участие в прибыли от повышения эффективности использования из продуктов в компании-потребителе. Эта корпоративная стратегия обеспечивает ключевые преимущества для руководства предприятия, которое является потребителем продукции, включая снижение эксплуатационных расходов и повышение производительности, а также значительно улучшает экологические показатели предприятия [4].

Своевременное обеспечение предприятий материальными ресурсами зависит, прежде всего, от совершенствования логистического планирования. Качество и обоснованность логистического плана также влияют на выполнение производственной программы. Это связано с тем, что план производства и продаж основан на контрактах на поставку и выполненных работах. Характер материальных ресурсов и выбор качественного технологического процесса влияют на уровень его выполнения, уровень использования машин и времени, продолжительность производственного цикла и все технико-экономические показатели производства в целом [5].

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что необходимо принять меры по внедрению современных систем использования ресурсов на промышленных предприятиях, а также поощрять тех, кто добивается высоких результатов в этой области. Рациональное управление ресурсами, используемыми в производственной системе, является основой не только деятельности промышленных предприятий, но и обеспечения экономической стабильности нашей страны.

Список литературы

1. Денисова, А. Р. Анализ эффективности использования энерго-ресурсов в средних общеобразовательных учреждениях / А. Р. Денисова, Г. А. Сафина, Д. Ю. Панов // Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники : Материалы III Всероссийской научно-практической конференции, Казань, 17–18 марта 2021 года. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2021. – С. 166-175.

2. Иванова, В. Р. Устройства для эффективного и безопасного функционирования систем электроснабжения / В. Р. Иванова // Проблемы

и перспективы развития энергетики, электротехники и энергоэффективности : Материалы III Международной научно-технической конференции, Чебоксары, 14–16 ноября 2019 года. – Чебоксары: Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, 2019. – С. 462-466.

3. Коротков П. А. Еварестов А. П. Овчарова Г. П. Ресурсосберегающие направления научно-технического прогресса промышленности. Учебное пособие. - Л.: ЛФЭИ, 1984.

4. Экономика ресурсосбережения / Певелев А. М., Сиренко В. А., Гааб В. Н. и др.; Под ред. А. М. Певплева; Госплан УССР. НИЭИ. - Киев, 1989.

5. Скляренко В. К. Экономика предприятия: учебное пособие для студентов вузов / В. К.Скляренко, В. М. Прудников. – 2-е изд. – М.: ИНФРА-М, 2013. – 192 с.

УДК 621.311.4

ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Былинкин Ярослав Юрьевич¹, Атрашенко Ольга Сергеевна²,
Тулчинский Дмитрий Сергеевич³, Ахмедова Ольга Олеговна⁴

¹²³⁴ Камышинский технологический институт(филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волгоградский государственный технический университет», г. Камышин, Россия

¹yarusb3@gmail.com, ²olgapasmenko@yandex.ru, ³tulchinsky16@yandex.ru,

⁴Ahmedova-olga@mail.ru

Аннотация: ультразвуковая диагностика электрооборудования – это метод, который позволяет обнаруживать дефекты на ранней их стадии. Ультразвуковая диагностика может использоваться для обнаружения проблем с различными типами оборудования, включая трансформаторы, изоляторы, КРУЭ и РУ. В отличие от других методов диагностики, ультразвуковая дефектоскопия не требует выключения оборудования, что обеспечивает минимальное время простоя. Развитие ультразвукового контроля электроприборов, во время производства, поспособствует выявлению неисправностей ещё до их отправки на объекты энергосистемы, и дальнейшему улучшению качества их производства, что, в свою очередь, повлечёт за собой также и увеличение срока эксплуатации оборудования. Перспективным направлением развитие данного метода является использование нейронной сети для дистанционного слежения за состоянием трансформаторов и РУ.

Ключевые слова: дефект, изолятор, электрооборудование, ультразвук, нейронная сеть, трансформатор.

APPLICATION OF ULTRASONIC NON-DESTRUCTIVE TESTING FOR DIAGNOSTICS OF ELECTRICAL EQUIPMENT

Bylinkin Yaroslav Yurievich¹, Atrashenko Olga Sergeevna², Tulchinsky Dmitry Sergeevich³
Akmedova Olga Olegovna⁴
¹²³⁴ Kamyshin Technological Institute Volgograd state technical university, Kamyshin
¹yarusb3@gmail.com, ²olgapasmenko@yandex.ru, ³tulchinsky16@yandex.ru,
⁴Ahmedova-olga@mail.ru

Abstract: ultrasound diagnostics of electrical equipment is a method that allows detecting defects at an early stage. Ultrasound diagnostics can be used to detect problems with various types of equipment, including transformers, insulators, control switchgears and switchgears. Unlike other diagnostic methods, ultrasonic flaw detection does not require turning off the equipment, which ensures minimal downtime. The development of ultrasonic monitoring of electrical appliances, during production, will contribute to the identification of malfunctions even before they are sent to the facilities of the power system, and further improve the quality of their production, which, in turn, will also entail an increase in the service life of the equipment. A promising direction for the development of this method is the use of a neural network for remote monitoring of the state of transformers and switchgears.

Keywords: defect, insulator, electrical equipment, ultrasound, neural network, transformer.

Диагностирование трансформаторов, изоляторов, КРУЭ и РУ является необходимым для обеспечения безопасности работы электросетей и увеличения их надежности. В ходе их эксплуатации или во время производства, у различных изделий, предназначенных для работы в системе электроснабжения могут проявиться разные дефекты, которые в дальнейшем приводят к аварийным отключениям и самим авариям. Большая часть дефектов электрических машин сопровождается ультразвуком [1].

Исходя из статистики, проведенной АО “Тюменьэнерго”, с помощью ультразвуковых дефектоскопов, в период с 2009 г. по 2018 г. из 2493 изделий для номинального напряжения 110кВ, 305 изоляторов подлежали срочной замене и находились в разрушенном состоянии, 172 изолятора рекомендовалось использовать лишь в крайних случаях и 2016 изоляторов были в пригодном для эксплуатации состоянии [2].

Осуществление диагностики ультразвуком возможно производить до введения электрооборудования и электромашин в эксплуатацию и уже в смонтированном состоянии. Испытания изоляторов ультразвуковой дефектоскопией предусмотрены в ГОСТ 26093-84 “Изоляторы керамические. Методы испытаний” [3].

Этот вид дефектоскопии не пользуется особо большой популярностью и является достаточно недооценённым. К примеру, на новый

уровень ультразвуковая диагностика была выведена Бельгийской компанией SDT. Компания разработала ультразвуковые датчики. Одни являются контактными и улавливают ультразвук, распространяющийся по элементам оборудования. Такие датчики применяются для диагностики трансформаторов, РУ, КРУЭ и т.д. Компания продемонстрировала работу своих датчиков на примере двух трансформаторов, один из которых был предварительно дефектным (рис. 1.)



Рис. 1.а. Трансформатор не имеющий дефектов

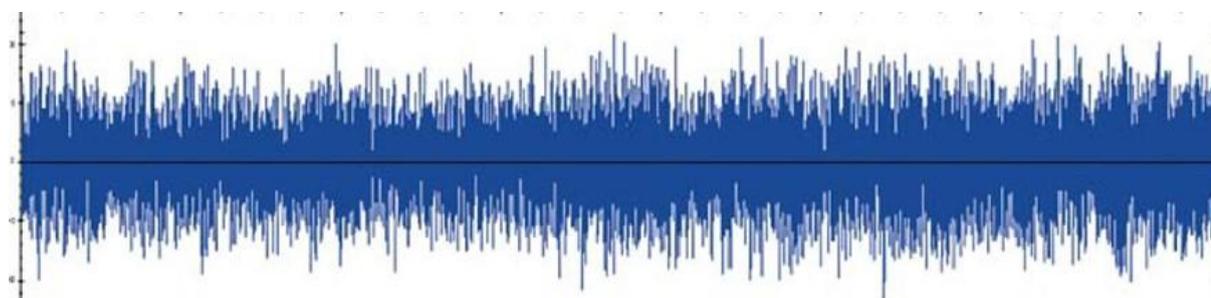


Рис. 1.б. Трансформатор с дефектом

Также в серию входят и воздушные датчики, улавливающие ультразвук, распространяющийся по воздуху. Полученные данные, компания обработала и визуализировала благодаря своей системе дистанционного онлайн мониторинга Viligant. Она сигнализирует о возникших неисправностях напрямую диспетчеру, что помогает сэкономить время на обследование электрооборудования [4].

В России тоже были предприняты попытки развития ультразвуковой дефектоскопии. Для специальных выездных бригад, которые занимаются диагностикой электрооборудования, был разработан прибор “Ультраскан-2004”. Прибор имеет возможность регулировки чувствительности для более точного установления места возникновения дефекта. Работа с ним может проводиться на расстоянии до 15 метров. По словам разработчиков данного девайса, “Ультраскан-2004” хорошо зарекомендовал себя в обнаружении неисправностях в сетях до 35кВ и получил положительную оценку от сотрудников сети ОАО “РЖД”. Диапазон принимаемых частот прибора составляет 37-42 кГц, возможность записи полученного сигнала на время более 2 часов, время непрерывной работы от одной зарядки составляет не менее 8 часов, вес около 2,5 кг [5].

Ультразвуковой контроль является очень эффективным методом для диагностики энергетического оборудования. Дальнейшим направлением его развития, в России, должно быть схоже с тем, что сделала компания SDT. Предлагается строить свою систему онлайн мониторинга основанную на GRU (Gated Recurrent Unit). GRU представляет собой модификацию стандартных RNN, а именно, в GRU добавлены два ключевых элемента контроля. Первым является Update gate (ворота обновления): влияет на то, насколько сильно следующий вход должен быть интегрирован в состояние скрытого слоя. Update gate контролирует, какую часть прошлого состояния следует сохранить, а какую заменить новым состоянием. А второй – Reset gate (ворота сброса): определяет, насколько сильно следующий вход должен переопределить текущее состояние скрытого слоя.

Архитектура GRU состоит из трех основных элементов: входного слоя, скрытого слоя и выходного слоя. Входной слой принимает последовательность входных данных, которые затем передаются на скрытый слой, в котором выполняется основная часть вычислений. Затем выходные данные передаются на выходной слой, который генерирует результат моделирования. Преимущества GRU включают улучшенную способность моделировать долгосрочные зависимости, более быструю сходимость и более экономное использование памяти, чем обычные RNN [6].

Список литературы

1. Петрушенко Ю.Я., Шаров В.В., Шибанов Р.С. Оценка технического состояния электрических машин виброакустическими параметрами в условиях эксплуатации с использованием измерительной технологии LabVIEW // УДК 621.311 Проблемы энергетики 2009, № 7-8.

2. Филиал АО «ТЮМЕНЬ ЭНЕРГО» — Сургутские электрические сети. Оценка эксплуатационной надёжности опорно-стержневых изоляторов и покрышек маломасляных выключателей методом ультразвукового неразрушающего контроля // Ежеквартальный спецвыпуск «РОССЕТИ» №2(9), июль 2018.

3. ГОСТ 26093-84. Изоляторы керамические. Методы испытаний. М.: Государственный комитет СССР по стандартам 1986. 15 с.

4. Георгий Череев. Ультразвуковая и оптическая диагностика оборудования. // № 1(127) 2021 • Новости ЭлектроТехники.

5. ООО НПП «Метакон». Применение прибора «ультраскан-2004» для выявления дефектов изоляции высоковольтного оборудования

в нефтегазовой отрасли // Российский деловой журнал “Точка опоры” № 246 ноябрь 2018 тема: нефть и газ.

6. Fathi Salem, Rahul Dey. Gate-variants of Gated Recurrent Unit (GRU) neural networks. // 2017 IEEE 60th International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS) doi: 10.1109/ MWSCAS.2017.8053243.

УДК: 621.31

ПРИМЕНЕНИЕ ДВУХОСНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ТРЕКЕРОВ, УПРАВЛЯЕМЫХ ШАГОВЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ

¹ Васильев Альберт Валерьевич, ² Шириев Равиль Рафисович
^{1,2} ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Российская Федерация
¹ vasilev_albert123@mail.ru, ² shrr@list.ru

Аннотация: в данной статье рассмотрено применение двухосных солнечных трекеров, управляемых шаговыми двигателями. Исследованы основные принципы работы двухосных солнечных трекеров и шаговых двигателей, их преимущества и недостатки. Описано взаимодействие шаговых двигателей с системой управления трекерами, изучены составляющие системы трекинга и шаговых двигателей, проведён анализ эффективности системы.

Ключевые слова: солнечная энергия, трекеры, шаговый двигатель, принцип действия, двухосная система.

APPLICATION OF BIAxIAL SOLAR TRACKERS CONTROLLED BY STEPPER MOTORS

¹ Albert Valeryevich Vasilyev, ² Ravil Rafisovich Shiriev
^{1,2} Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russian Federation
¹ vasilev_albert123@mail.ru, ² shrr@list.ru

Abstract: this paper considers the application of biaxial solar trackers controlled by stepper motors. The basic principles of biaxial solar trackers and stepper motors, their advantages and disadvantages are investigated. The interaction of stepper motors with tracker control system, the components of tracking and stepper motors system are studied, the analysis of system efficiency is performed.

Keywords: solar energy, trackers, stepper motor, principle of operation, biaxial system.

Солнечная энергетика стала существенным компонентом в сфере обновляемых источников энергии. Производственные предприятия, стремящиеся улучшить свою энергетическую эффективность и экологическую устойчивость, все чаще обращаются к использованию солнечных панелей [1]. Однако максимизация их эффективности может быть затруднена из-за угла наклона солнца и его пути по небу в течение дня. Именно здесь вступают в игру двухосные солнечные трекеры [2].

Солнечные трекеры – это устройства, которые поворачивают солнечные панели таким образом, чтобы они всегда были направлены к солнцу и максимизировали получаемую энергию.

Двухосные солнечные трекеры являются более сложной и эффективной формой технологии слежения за солнцем по сравнению с одноосевыми трекерами (рис. 1). В то время как одноосевые трекеры двигаются вдоль одной оси (обычно с востока на запад), двухосные трекеры могут двигаться вдоль двух осей – горизонтальной и вертикальной. Это позволяет им следовать за солнцем не только в течение дня, но и учитывать его сезонные перемещения, что влияет на угол восхождения и зенита [5].

Основные компоненты двухосного солнечного трекера включают:

1. Солнечные панели: Они собирают солнечный свет и преобразуют его в электрическую энергию. В двухосных трекерах панели установлены на поворотной структуре, которая может вращаться по двум осям.

2. Шаговые двигатели: Они приводят в действие механизм поворота. Шаговые двигатели обеспечивают точное и контролируемое вращение, что позволяет точно ориентировать панели на солнце [5].

3. Система контроля и управления: Эта система использует данные о положении солнца и текущем времени для определения оптимального положения солнечных панелей. Она затем отправляет сигналы шаговым двигателям, чтобы скорректировать положение панелей.

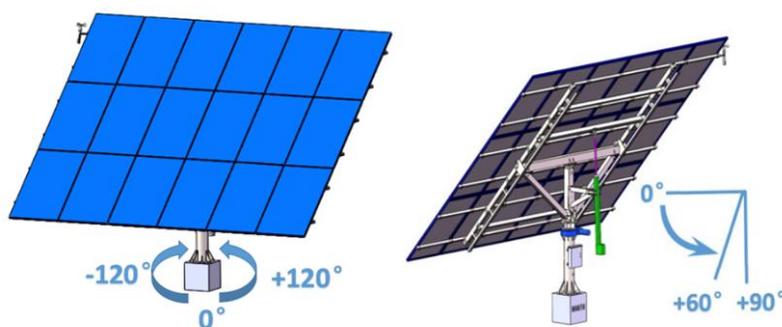


Рис. 1. Двухосевой солнечный трекер

Двухосные солнечные трекеры позволяют увеличить производство энергии с солнечных панелей до 45% по сравнению со стационарными установками. Они особенно эффективны в областях с высокой солнечной радиацией и в течение долгих летних дней, когда солнце остается на небе дольше.

Однако они также требуют более сложной технологии и управления, а также больше места, поскольку вращение вокруг двух осей требует

дополнительного пространства для предотвращения теневого влияния на соседние панели. Эти факторы могут делать их более дорогими в установке и обслуживании по сравнению с одноосевыми трекерами или стационарными установками.

Стоит отметить, что существуют различные типы двухосных трекеров, включая азимутальные трекеры, которые вращаются вокруг вертикальной оси, и наклонные трекеры, которые вращаются вокруг оси, наклоненной к горизонту. Выбор между ними обычно зависит от географического положения и конкретных требований к проекту.

На производственных предприятиях использование двухосных солнечных трекеров обеспечивает некоторые преимущества. Например, по сравнению со статичными солнечными панелями, двухосные трекеры могут увеличить производство энергии на 30-45 % [4]. Это может существенно сократить затраты на энергию и улучшить экологическую устойчивость предприятия.

К тому с их помощью предприятия могут стать более независимыми от внешних источников энергии, что поможет снизить риски, связанные с колебаниями цен на энергию.

В то же время увеличение использования солнечной энергии поможет снизить выбросы углекислого газа, внося вклад в борьбу с изменением климата.

Шаговые двигатели являются одним из ключевых элементов в системах солнечных трекеров, особенно в двухосных моделях. Эти двигатели вращают солнечные панели для того, чтобы они всегда были максимально перпендикулярны к солнечным лучам. Двигатели работают на основе электромагнитного взаимодействия. Внутри двигателя находятся два основных элемента: статор, который является фиксированной внешней частью, и ротор, внутренняя часть, которая вращается. Статор имеет серию электромагнитных катушек, которые при включении создают магнитное поле, вызывающее вращение ротора [6].

Основное преимущество шаговых двигателей состоит в их способности вращаться на очень точный и повторяемый угол (шаг) в ответ на каждый электрический импульс. Это позволяет им управлять положением солнечных панелей с высокой точностью, без необходимости в дополнительных сенсорах для контроля позиции.

Шаговые двигатели могут работать без обратной связи для контроля позиции, что упрощает их конструкцию и снижает стоимость. Однако они также могут использовать системы обратной связи для улучшения точности и надежности, особенно в условиях, когда на панели могут воздействовать сильные ветры или другие силы.



Рис. 2. Шаговый двигатель для двухосевого трекера

В солнечных трекерах шаговые двигатели обычно используются для управления механизмом, который вращает панели вокруг одной или двух осей [3]. Они получают команды от контроллера трекера, который определяет необходимое положение панелей на основе текущего времени дня и года, географического положения и, в некоторых случаях, непосредственных измерений положения солнца.

Контроллер подает на двигатель серию электрических импульсов, каждый из которых заставляет его вращаться на определенный угол. Таким образом, количество импульсов определяет общий угол поворота, позволяя контроллеру точно управлять положением солнечных панелей.

Рассмотрим ключевые преимущества и недостатки двухосных солнечных трекеров с шаговыми двигателями. По сравнению со стационарными установками, двухосные трекеры позволяют солнечным панелям всегда быть ориентированными перпендикулярно к солнечным лучам, что значительно увеличивает эффективность и производительность. Шаговые двигатели могут вращать солнечные панели на очень точный угол, что обеспечивает высокую точность позиционирования. К тому же они просты в управлении и не требуют сложных систем обратной связи, что упрощает конструкцию трекера и снижает его стоимость.

Однако необходимо учесть, что установка и эксплуатация двухосных трекеров требует значительных инвестиций и может потребовать больше пространства по сравнению с традиционными стационарными солнечными установками. В связи с этим, необходимо провести тщательный анализ стоимости и преимуществ перед принятием решения о переходе на такую технологию.

У шаговых двигателей также есть некоторые недостатки. Они обычно потребляют энергию даже тогда, когда они не двигаются, чтобы поддерживать свое текущее положение. Это может привести к увеличению потребления энергии и неэффективности в системах с большим количеством двигателей [5].

Также, хотя шаговые двигатели могут работать без обратной связи, в некоторых случаях они могут "пропускать шаги", если на них оказывается большая нагрузка или возникают внезапные возмущения. Это может привести к ошибкам позиционирования. В связи с этим, в некоторых высокопроизводительных системах солнечных трекеров могут быть использованы сервоприводы или шаговые двигатели с системами обратной связи для обеспечения более высокой точности и надежности [5].

Подводя итог всему выше сказанному, применение двухосных солнечных трекеров, управляемых шаговыми двигателями, на предприятии может существенно улучшить энергетическую эффективность, уменьшить экологическую нагрузку и повысить энергетическую независимость. Несмотря на некоторые проблемы, такие как высокие начальные затраты и необходимость специализированного обслуживания, преимущества использования этой технологии часто превосходят эти недостатки, особенно с учетом долгосрочной перспективы.

Список литературы

1. Иванова, В. Р. Обоснование проектирования и эксплуатации электротехнических комплексов на основе возобновляемых источников энергии / В. Р. Иванова, Г. Р. Гильманова // Проблемы и перспективы развития энергетики, электротехники и энергоэффективности : Материалы III Международной научно-технической конференции, Чебоксары, 14–16 ноября 2019 года. – Чебоксары: Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, 2019. – С. 95-98.

2. Мехмуд Н. Разработка и оценка производительности системы двухосевого солнечного трекера с использованием LabVIEW // Мехмуд Н., Али А., Али Р. и др. / Солнечная энергия. 2020. Т. 201. С. 89-99.

3. Валент Л. Влияние различных технологий трекеров на энергетическую производительность фотоэлектрических систем // Валент Л., Гимарайнш Ф.Г. и Перейра Н. / Возобновляемая энергетика. 2018. Т. 160. С. 29-41.

4. Марков В. В. Методика определения рабочего диапазона скорости вращения трекеров // Марков В. В., Мирошниченко В. А. / Проблемы автоматизированного электропривода. 2021. № 2(42). С. 79-85.

5. Петров И. И. Применение шаговых двигателей в солнечных трекерах // Петров И. И., Мирошниченко В. А., Брунгардт А. Е. / Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2017. № 3. С. 175-179.

6. Шоудер А. Методология для точного извлечения параметров эквивалентной схемы фотоэлектрического массива на основе измеренной В-А характеристики // Шоудер А., Сильвестр С., Кара К. / Нетрадиционные источники энергии. 2019. Т. 57. С. 362-367.

УДК: 621.31

ОСВЕЩЕНИЕ ЗАТОЧНО-ШЛИФОВАЛЬНОГО УЧАСТКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОМЫШЛЕННЫХ ДИММЕРОВ С ДАТЧИКОМ ОСВЕЩЁННОСТИ

¹ Галиев Рашид Рамильевич, ² Шириев Равиль Рафисович
^{1,2} ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Российская Федерация
¹ rashid.galiev@list.ru, ² shrr@list.ru

Аннотация: в статье рассмотрено применение промышленных диммеров с датчиками освещенности на заточно-шлифовальном участке промышленного предприятия. Описаны основные методы регулировки освещенности посредством диммеров. Обсуждены основные типы датчиков освещенности, принципы их работы и способы установки, а также ключевые требования к освещенности рабочих мест, согласно нормативам. Исследуется влияние этих факторов на безопасность и производительность работников. Рассмотрены этапы установки диммеров.

Ключевые слова: датчики освещенности, нормативы, методы регулировки, этапы установки, принцип работы.

LIGHTING OF THE SHARPENING AND GRINDING AREA USING INDUSTRIAL DIMMERS WITH A LIGHT SENSOR

¹ Rashid Ramilievich Galiev, ² Ravil Rafisovich Shiriev
^{1,2} Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russian Federation
¹ rashid.galiev@list.ru, ² shrr@list.ru

Abstract: the paper considers the application of industrial dimmers with light sensors on the sharpening and grinding area. The basic methods of dimming by means of dimmers are investigated. The main types of light sensors, the principles of their operation and methods of installation are discussed, as well as the key requirements for workplace illumination, according to the regulations. The impact of these factors on worker safety and productivity is explored. The stages of installation of dimmers are considered.

Keywords: light sensors, regulations, adjustment methods, installation steps, principle of operation.

В последние десятилетия промышленные процессы шлифовки и заточки стали ключевыми в производственной деятельности во многих отраслях, включая металлообработку, производство стекла, электронику и многие другие. Одним из важных аспектов успешной работы в этих областях является поддержание оптимального освещения на заточно-шлифовальном участке.

Освещение играет решающую роль в эффективности и безопасности работы операторов, а также в качестве выполняемых операций [1]. Недостаточное освещение может привести к ошибкам, ухудшению качества обработки, а также к возникновению травм и несчастных случаев. С другой стороны, избыточное освещение может вызывать зрительное утомление и негативно влиять на концентрацию и точность работы.

Диммеры – это современные устройства, предназначенные для регулирования яркости освещения [2]. Они позволяют изменять уровень освещения, обеспечивая гибкость и комфорт в различных ситуациях. Простейший вариант диммера может представлять собой переменный резистор, известный как реостат, а в настоящее время наибольшей популярностью пользуются компактные электронные диммеры, где в качестве силового элемента используется полупроводниковый симистор или транзисторный ключ [3]. Промышленные диммеры используются в производственных средах, где точное и эффективное освещение является залогом высокой эффективности производства.

Одна из основных особенностей промышленных диммеров – их способность работать с высокими нагрузками и электрическими системами, характерными для промышленных объектов. Они обеспечивают стабильное и плавное изменение яркости освещения, предотвращая мерцание или нежелательные эффекты.

Существуют 2 основных метода регулировки освещённости при использовании диммеров.

Фазовый угол, или фазовое управление, является наиболее распространенным методом. Он основан на изменении момента включения или выключения напряжения переменного тока (АС) в сети. Путем задержки или ускорения фазы напряжения, диммеры фазового угла регулируют яркость освещения [4]. Они обычно используются для управления галогенными лампами или некоторыми типами светодиодных (LED) ламп.

Широтно-импульсное модулирование (ШИМ) – это метод регулировки освещения, основанный на изменении длительности импульсов напряжения. Диммеры ШИМ периодически включают и выключают

питание для создания серии быстрых импульсов с изменяемой длительностью. Чем дольше импульс, тем ярче свет. Этот метод обычно применяется для управления светодиодными лентами и другими типами светодиодного освещения.

Современные диммеры обладают интеллектуальными функциями, включая автоматическое распознавание нагрузки, настройку яркости и программирование сценариев освещения. Они могут использовать различные типы датчиков, таких как датчики освещенности, движения и окружающей среды. Датчики освещенности автоматически регулируют яркость освещения в зависимости от условий, обеспечивая комфорт и энергоэффективность [5]. Датчики движения включают свет при обнаружении присутствия людей и выключают его, когда помещение пустует. Интеллектуальные диммеры также могут использовать временные выключатели для автоматического включения и выключения освещения по заданному расписанию. Эти функции повышают удобство использования и энергоэффективность систем освещения.

Принцип работы датчиков освещенности в основном базируется на применении фотоселов или фотореле, способных изменять свои электрические характеристики в зависимости от интенсивности света. Наиболее распространенным типом фотореле является – фотосопротивление (LDR), у которого сопротивление меняется от количества света, падающего на его поверхность [6]. К другим типам датчиков освещенности можно отнести фототранзисторы и фотодиоды. Фотодиоды преобразуют свет в электричество, увеличивая ток при облучении. Фототранзисторы работают аналогично, но обычно обеспечивают большее усиление сигнала.

Для максимально эффективного использования диммеров с датчиками освещенности изначально проводят оценку требований к освещенности.

Определение оптимального уровня освещенности на рабочем месте, как заточно-шлифовальный цех, важно для безопасности, производительности и точности работы. В России требования к освещенности регулируются СНиП 23-05-95, согласно которому система освещения должна быть спроектирована таким образом, чтобы обеспечить равномерное и адекватное освещение на всех рабочих местах, а рекомендуемый уровень освещенности для точных работ в машиностроении составляет 500-1000 лк (люкс) [6].

При установке датчиков освещенности необходимо выбирать места, которые точно отражают уровень освещенности на рабочих местах и избегать прямого попадания света из окон или светильников.

Размещение датчиков на высоте рабочей поверхности помогает получить точные показания для каждой зоны работы. Важно также избежать перекрытия датчиков, чтобы избежать искажения общей картины освещенности и обеспечить эффективное регулирование яркости.

Установка диммеров и датчиков освещенности происходит в соответствии с требованиями ПУЭ и других нормативных документов. Этапы включают разметку мест установки, саму установку и подключение к электросети. После установки проводится настройка и калибровка оборудования для обеспечения точного и стабильного функционирования, а затем проверка работоспособности [3]. Наконец, настройка системы освещения и калибровка датчиков осуществляются на основе измерений люксметра для достижения требуемых уровней освещенности. Проводится серия тестов и корректировка настроек при необходимости.

В итоге, использование промышленных диммеров с датчиками освещенности на заточно-шлифовальном участке помогает обеспечить оптимальный уровень освещенности, соблюдая при этом регламентированные нормы [7]. Правильное размещение, установка и калибровка этих устройств критичны для точности измерений и эффективной работы системы. В результате, обеспечивается безопасность и повышается производительность рабочих, что подтверждает важность дальнейшего изучения и совершенствования технологий в данной области.

Список литературы

1. Бугров В. Е. Оптоэлектроника светодиодов. Учебное пособие. / В. Е. Бугров, В. А. Виноградова. СПб: НИУ ИТМО, 2013. 174с. 8. Варфоломеев Л.П. Элементарная светотехника. / Л. П. Варфоломеев. М: ООО «Световые Технологии», 2013. С. 286.

2. Денисова, А. Р. Энергосберегающие технологии в системах освещения / А. Р. Денисова, З. Р. Закирова // Энергоэффективность и энергобезопасность производственных процессов (ЭЭПП-2019) : сборник трудов, Тольятти, 12–13 ноября 2019 года / Ответственный за выпуск В. В. Вахнина. – Тольятти: Тольяттинский государственный университет, 2019. – С. 48-53.

3. Николаев Н. Н. Искусственное освещение в промышленности: требования и рекомендации // Современное машиностроение. 2019. № 2. С. 80-90.

4. Васильев В.В., Попов П.П. Системы управления освещением на основе диммеров и датчиков освещенности // Энергоэффективность в промышленности. 2021. № 3. С. 20-35.

5. Шириев Р. Р., Борисов А. Н., Валеев А. А. Об обеспечении теплового режима светодиодного источника света // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т.24. № 3. С. 112-120.

6. Свод правил СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение». Актуализированная редакция СНиП 23-05- 95*. М: НИИСФ РААСН и ООО «ЦЕРЕРА-ЭКСПЕРТ», 2017. С. 136.

7. Иванова, В. Р. Обзор систем управления освещением / В. Р. Иванова, Р. Р. Даутов // Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники : Материалы III Всероссийской научно-практической конференции, Казань, 17–18 марта 2021 года. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2021. – С. 430-433.

УДК 378.1

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИИ

Ганюшкина Юлия Дмитриевна
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г.Казань
yliya.ganyushkina@yandex.ru

Аннотация: в статье представлены несколько проверенных методов и процессов разделения, термической обработки, борьбы с бактериями и рекуперации энергии. Поскольку цель этой статьи состоит в том, чтобы указать читателю на решения, применимые в промышленном контексте, мы решили ограничиться методами, которые хорошо зарекомендовали себя и доступны на рынке.

Ключевые слова: энергоэффективность, ресурсосберегающие технологии, мембранная фильтрация, тепловые насосы, когенерация, потребление энергии.

RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES IN POWER SUPPLY

Ganyushkina Yulia Dmitrievna
Kazan State Power Engineering University, Kazan
yliya.ganyushkina@yandex.ru

Abstract: the article presents several proven methods and processes for separation, heat treatment, bacteria control and energy recovery. Since the purpose of this article is to point the reader to solutions applicable in an industrial context, we have decided to limit ourselves to methods that are well established and available on the market.

Key words: energy efficiency, resource-saving technologies, membrane filtration, heat pumps, cogeneration, energy consumption.

Ресурсосберегающие технологии в электроснабжении, или, если говорить коротко, то энергоэффективность – это использование меньшего количества энергии для выполнения той же задачи или получения того же

результата. Энергоэффективные дома и здания потребляют меньше энергии для обогрева, охлаждения и работы бытовой техники и электроники, а энергоэффективные производственные предприятия потребляют меньше энергии для производства товаров, тем самым сберегая ресурсы.

Энергоэффективность – один из самых простых и экономически эффективных способов борьбы с изменением климата, снижения затрат на энергию для потребителей и повышения конкурентоспособности предприятий. Энергоэффективность также является жизненно важным компонентом в достижении нулевых выбросов углекислого газа за счет декарбонизации.

Управление по энергоэффективности и возобновляемым источникам энергии выступает за чистую энергию через свои технические офисы и программы, которые финансируют исследования и разработки и способствуют повышению энергоэффективности во всех секторах экономики государства.

В последние годы многие технологические инновации позволили процессам в производстве продуктов питания и напитков стать более эффективными, менее громоздкими, более безопасными, менее энергоемкими и более экологически безопасными.

Мембранная фильтрация

Мембранная фильтрация используется для удаления из жидкостей частиц, слишком мелких для обычных методов фильтрации, таких как белки, бактерии, вирусы и растворенные соли. Его также можно использовать для концентрирования, фракционирования, очистки и регенерации жидкостей, частично или полностью заменяя традиционные методы разделения выпариванием и центрифугированием [1].

Основные преимущества мембранных технологий заключаются в следующем: выраженное снижение энергопотребления по сравнению с традиционными термическими процессами; проверенное применение в нескольких отраслях промышленности, особенно в молочной промышленности; экологические выгоды, возникающие в результате повышения потенциала переработки и сокращения или отказа от использования определенных химических веществ [5].

Тепловые насосы

Тепловые насосы — это холодильные аппараты на основе сжатия, предназначенные для передачи тепла для обогрева, а не для охлаждения. Они улавливают тепловую энергию при относительно низких температурах (холодный источник), нагревают ее и передают к радиатору [2].

В испарителе низкотемпературный источник тепла передает энергию хладагенту, который затем испаряется. Температура и давление компрессора увеличиваются, в то время как хладагент остается в парообразном состоянии. В конденсаторе хладагент передает накопленную энергию радиатору. На выходе из конденсатора расширительный клапан снижает давление хладагента. Затем жидкость под низким давлением возвращается в испаритель, чтобы возобновить цикл.

Механическая и термическая рекомпрессия пара

МТРП – это технология, относящаяся к семейству тепловых насосов с «открытым контуром», которые особенно хорошо подходят для процессов испарения. МТРП позволяет восстановить скрытое тепло, содержащееся в паре, которое часто теряется в традиционных процессах. Пар, образующийся при испарении, регенерируется компрессором, который повышает давление и температуру на несколько градусов выше точки кипения жидкости.

После того, как этот пар достигает высокой температуры и давления, он обеспечивает источник тепла для испарения, выделяя скрытую теплоту. Рекуперация энергии, содержащейся в паре, обеспечивает значительную экономию энергии. Фактически для испарения 1 м^3 пара требуется всего 30 кВт·ч по сравнению с 800 кВт·ч при традиционном испарении [3].

Когенерация – комбинированное производство тепла и электроэнергии.

Традиционные системы выработки электроэнергии имеют средний КПД от 35 до 40 процентов (до 55 процентов для систем с комбинированным циклом), высвобождая от 60 до 65 процентов энергии, содержащейся в их топливе, в окружающую среду. Когенерация восстанавливает эти потери тепла и использует их для отопления или охлаждения. Отопление включает производство пара и горячей воды. Для охлаждения необходимо использовать абсорбционные чиллеры, преобразующие тепло в холод. Таким образом, одновременно вырабатывая электроэнергию и тепло, когенерационные установки имеют более высокий общий КПД. Это означает экономию топлива до 40 процентов по сравнению с производством электроэнергии и тепла с использованием тепловых электростанций, и паровых котлов.

Поскольку электричество может передаваться на большие расстояния легче, чем тепло, промышленные когенерационные установки обычно располагаются близко к месту, где будет использоваться тепловая энергия. Эти объекты также масштабируются для удовлетворения потребностей в тепле конкретного процесса. Если количество выраба-

тываемой электроэнергии ниже технологических требований, остаток должен быть приобретен в местной сети. И наоборот, если вырабатывается излишек электроэнергии, ее можно продать в сеть. Однако это предполагает, что подключение к сети соответствует очень строгим стандартам и что существуют правила покупки и продажи электроэнергии.

Сокращение потребления энергии имеет важное значение в борьбе с изменением климата, поскольку традиционные электростанции работают на ископаемом топливе, которое выделяет парниковые газы и способствует загрязнению воздуха.

Итак, программы повышения энергоэффективности повышают устойчивость сообществ и обеспечивают равенство источников энергии за счет предоставления эффективных и экономичных технологий и инфраструктуры недостаточно обслуживаемым сообществам [4].

Сокращение использования ископаемого топлива приводит к более чистому воздуху, воде и земле, что напрямую влияет на здоровье человека, особенно в маргинализированных сообществах и людей, состояние которых усугубляется загрязнением.

А также, сокращение потребления энергии имеет важное значение в борьбе с изменением климата, поскольку традиционные электростанции работают на ископаемом топливе, которое выделяет парниковые газы и способствует загрязнению воздуха. Энергоэффективные дома и здания также лучше приспособлены для перехода на возобновляемые источники энергии, которые не производят вредных выбросов.

Список литературы

1. Щелоков, Я. М. Эффективность и энергетические основы устойчивой экономики / Я. М. Щелоков, В. Г. Лисиенко. – Екатеринбург: УІТУ-УПИ, 2019. - 400 с.

2. Плотников, В. В. Анализ энергетической эффективности технологической схемы полимеризации этилена / В.В. Плотников, Ю.С. Сидорова, Л.В. Плотникова // Вестник Казан. технол. ун-та. – 2018. - №3. – С. 67-72.

3. Хасаншин, Р. Р. Повышение эксплуатационных характеристик композиционных материалов, созданных на основе термически модифицированной древесины / Р. Р. Хасаншин, Р. Р. Сафин, Ф. Г. Валиев, Р.В. Данилова // Вестник Казан. технол. ун-та. – 2019. - №7. – С. 64-66.

4. Данилов, Н. И. Основы энергосбережения: учебник / Н. И. Данилов, Я.М. Щелоков; под ред. Н. И. Данилова. - Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2018. - 564 с.

5. Петухова, С. Составляющие системы управления процессами энергосбережения предприятий / С. Петухова // Дальневосточный энергопотребитель. 2018. [Электронный ресурс], URL: <http://dalenergy.ru/2007/04/4680/> (дата обращения 17.05.2023).

УДК 614.8.084

ОЦЕНКА ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ РИСКОВ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ОХРАНОЙ ТРУДА НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ ПРЕДПРИЯТИИ

¹Андрей Андреевич Закревский, ²Илья Викторович Королев
^{1,2}Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва
²koroleviv@mail.ru

Аннотация: в данной статье анализируются ключевые изменения в сфере охраны труда, направленные на обеспечение безопасности работников путём проведения процедуры оценки профессиональных рисков (ОПР). Эта процедура представляет собой фундаментальный элемент системы управления охраной труда (СУОТ), особенно на энергетических предприятиях. В статье был проведен сравнительный анализ процедур ОПР и специальной оценки условий труда. В статье представлены этапы мероприятий по управлению профессиональными рисками.

Ключевые слова: оценка профессиональных рисков, риск, система управления охраной труда, охрана труда, безопасность.

ASSESSMENT OF OCCUPATIONAL RISKS IN THE LABOR MANAGEMENT SYSTEM AT THE ENERGY ENTERPRISE

¹Andrey Andreevich Zakrevsky, ²Ilya Viktorovich Korolev
^{1,2}National Research University "MPEI," Moscow

Abstract: the article discusses the main changes in labor safety related to ensuring the safety of employees by assessing occupational risks. Occupational risk assessment is the basic procedure of the occupational health and safety management system at energy enterprises. The article analyzed the comparison of occupational risks procedures and a special assessment of working conditions. The stages of measures to manage professional risks are considered. The occupational risks procedure allows not only to work out the existing risks, but also to prevent the occurrence of new ones, which is a preventive approach to labor protection, which allows to reduce the number of traumatic situations and accidents at work.

Keywords: occupational risk assessment, risk, occupational safety management system, occupational health, safety.

В 2022 году вступили в силу изменения X главы Трудового кодекса, целью которых является повышение безопасного выполнения работ на производстве, в том числе и на энергетических предприятиях [1]. Среди нововведений – учет риск-ориентированного подхода с учетом факторов и обстоятельств, которые вызвали или могут вызвать травмы или

несчастные случаи среди работников, а также учет обстоятельств возникновения микротравм, так как они могут иметь долгосрочные последствия для здоровья работников и свидетельствовать о наличии потенциальных рисков и проблем в системе охраны труда.

Согласно ст.214 ТК обязанностью работодателя является обеспечение систематического выявления опасностей и профессиональных рисков, их регулярный анализ и оценка [2]. Работодатель должен осуществлять анализ профессиональных рисков при создании новых рабочих мест, а также до внедрения в эксплуатацию новых производственных объектов. Работодатель должен разрабатывать систему управления охраной труда (СУОТ), в которую входит оценка профессионального риска. Это нужно для создания безопасных условий работы и уменьшения количества травм на рабочем месте.

Профессиональный риск представляет собой вероятность нанесения ущерба здоровью работника при выполнении им своих трудовых обязанностей при воздействии на него опасных и/или вредных производственных факторов. Факторы могут быть самые различные в зависимости от специфики предприятия [7]. Например, на энергетических предприятиях могут быть механические: падение с высоты, уколы, порезы или, связанные с микроклиматом – холодом, жарой, высокой влажностью, отчего у человека может ухудшиться самочувствие. Также есть риск получения работником электротравм как при работах в электроустановках, так и попадание под напряжение шага [3].

Приказ Минтруда России от 29.10.2021 № 776н «Об утверждении Примерного положения о системе управления охраной труда» предназначен для помощи работодателям в соблюдении требований по охране труда. Этот приказ нацелен на создание, внедрение и обеспечение функционирования системы управления охраной труда (СУОТ) в организации. Он также устанавливает процедуры для осуществления мероприятий по управлению профессиональными рисками, включая:

- а) выявление опасных ситуаций;
- б) оценку уровней профессиональных рисков;
- в) снижение уровней профессиональных рисков.

Это делается с целью обеспечения безопасности и здоровья работников в рабочей среде.

В данном положении представлена новая стратегия в сфере охраны труда, выполняющая следующие задачи: обеспечивать безопасные рабочие условия и управлять профессиональными рисками и заболеваниями; учитывать особенности профессиональных рисков, характерных для данной организации; включать в себя обязанности со стороны

работодателя по устранению опасных ситуаций и снижению уровней профессиональных рисков; совершенствовать СУОР на предприятии; принимать во внимание мнение профсоюзов.

Эта новая политика охраны труда разрабатывается с целью обеспечения безопасности и здоровья работников и соответствия организации современным стандартам и нормативам. На энергетических предприятиях подход к оценке и управлению профессиональными рисками позволяет учитывать специфику конкретной сферы деятельности и принимать меры по предотвращению производственных травм и заболеваний [5]. Этот подход повышает производительность трудового процесса и эффективность производственной деятельности. Однако необходимо постоянно отслеживать изменения в производственной среде и корректировать методы оценки и управления профессиональными рисками в соответствии с новыми условиями. Только так можно гарантировать максимальную безопасность и здоровье работников.

Процесс управления профессиональными рисками является непрерывным и последовательным. Сначала начинается идентификация опасностей и выявления рисков, затем следует анализ и оценка этих рисков. После этого разрабатывается план предупредительных и компенсирующих мероприятий. Завершается процесс контролем и оценкой эффективности принятых мер, после чего цикл снова начинается с идентификации новых опасностей и рисков (рис. 1).



Рис.1 Управление профессиональными рисками

Анализ процедуры ОПР показывает, что в СУОТ есть процедура, похожая на оценку профрисков – это специальная оценка условий труда (СОУТ). В случае, если работник получил травму или даже микротравму, необходимо провести пересмотр факторов, которые могли вызвать эту ситуацию, оценить вероятность наступивших событий, а также пересмотреть эффективность мер по устранению возможных опасностей и их источников. Сравнительный анализ процедур СУОТ таких, как ОПР и СОУТ представлено в таблице 1.

Таблица 1

Сравнительный анализ процедур СУОТ: СОУТ и ОПР

Сходства	Отличия
Идентификация опасностей	Специальная оценка условий труда (СОУТ) фокусируется на оценке рабочего места, в то время как оценка профессиональных рисков (ОПР) рассматривает весь трудовой процесс с точки зрения потенциальных опасностей, которым работник может подвергать себя.
Обоснование, выработка планов и выделение средств для реализации мероприятий по улучшению рабочих условий.	Специальная оценка условий труда (СОУТ) включает в себя инструментальные измерения вредных и опасных факторов, и на основе этих данных составляется заключение. В случае оценки профессиональных рисков (ОПР) замеры не проводятся.
Информирование работников об условиях труда	Для СОУТ установлена чёткая периодичность: 1 раз в 5 лет, а ОПР проводится каждый раз, как только происходят серьёзные изменения условий труда
Накопление статистических данных об условиях труда	
Включение в трудовой договор характеристик условий труда	
Коллективная работа (комиссии)	

Сравнение процедур ОПР и СОУТ в рамках СУОТ показало, что несмотря на то, что при расчете профессиональных рисков также приходится производить идентификацию, как и в СОУТ, в этой процедуре необходимо оценить вероятность риска в отличие определения его уровня воздействия. Информацию, полученную в ходе проведения СОУТ, можно применить при анализе профессиональных рисков.

Все действия, направленные на управление профессиональными рисками, могут быть разделены на четыре основных этапа:

- Подготовительный этап.
- Идентификация опасностей на рабочем месте.
- Оценка уровня профессиональных рисков на рабочем месте.
- Управление профессиональными рисками.

В приказе Минтруда от 28.12.2021 года № 926 [6] содержатся рекомендации, касающиеся выбора методов оценки профессиональных рисков и способов их снижения. В этом документе представлены критерии, которые рекомендуется учитывать работодателям при выборе методов для оценки профессиональных рисков. Также предоставлено краткое описание различных методов анализа профессиональных рисков, описан процесс анализа таких рисков, и представлены примеры инструментов для их оценки. Следует отметить, что в Приказе Минтруда РФ от 31.01.2022 года № 36 даны рекомендации по классификации, обнаружению, распознаванию и описанию опасностей.

Следовательно, согласно законодательству, работодатель должен осуществлять регистрацию и анализ событий, вызвавших несчастные случаи, проводить учёт микротравм, а также оценку профессиональных рисков в рамках системы управления охраной труда на энергетических предприятиях. Внесенные изменения в нормативно-правовые документы о профессиональных рисках позволяют обеспечить безопасность и защиту здоровья работников.

В статье показано, что внедренный риск-ориентированный подход в управлении профессиональными рисками помогает своевременно выявлять возможные опасности и предотвращать несчастные случаи на производстве. Благодаря этому, работники могут быть уверены в своей безопасности и здоровье, а работодатели соблюдают законодательные требования и несут ответственность за условия труда в своих предприятиях.

Сравнение процедур ОПР и СОУТ в рамках СУОТ показало, что в процедуре ОПР необходимо оценить вероятность риска в отличии определения его уровня воздействия, как в процедуре СУОТ.

Помимо выявления и оценки, процедура оценки профессиональных рисков также включает в себя их надлежащий контроль и усилия по их снижению. Эффективное выполнение этой процедуры составляет неотъемлемую часть системы управления охраной труда (СУОТ). Эта процедура позволяет не только анализировать существующие риски, но и предотвращать возникновение новых, что подразумевает ответственный и превентивный подход к обеспечению безопасности и охране труда.

Список литературы

1. Гвоздев, Д. Б. Методические подходы к оценке рисков в сложных электроэнергетических системах / Д. Б. Гвоздев, О. Д. Архангельский //

Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники: материалы Всероссийской научно-практической конференции, Казань, 20–21 марта 2019 года. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2019. – С. 81-85.

2. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 25.02.2022) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2022).

3. Анализ применяемых мер по обеспечению безопасности при производстве работ под напряжением в электроустановках / А. С. Тимченко, И. В. Королев, Д. А. Бурдюков, Н. В. Васильева // Вестник Московского энергетического института. Вестник МЭИ. – 2022. – № 2. – С. 113-118. – DOI 10.24160/1993-6982-2022-2-113-118.

4. Приказ Минтруда России № 776н от 29 октября 2021 г. «Об утверждении Примерного положения о системе управления охраной труда»

5. Королев, И. В. Анализ применения средств индивидуальной защиты для электромонтеров на основании трудовых функций профессионального стандарта / И. В. Королев, А. А. Закревский, Д. А. Шамин // Вестник НЦБЖД. – 2023. – № 1(55). – С. 131-137.

6. Приказ Минтруда от 28.12.2021 г. № 926 «Рекомендации по выбору метода оценки уровня профессионального риска и по снижению уровня такого риска»

7. Сурова, Л. В. Оценка профессиональных рисков / Л. В. Сурова // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2014. – № 1(20). – С. 84-91.

УДК 621.311.1

РЕГУЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ В ТРАНСФОРМАТОРАХ С ПОМОЩЬЮ УСТРОЙСТВ РПН И ПБВ

Иванов Тимур Дмитриевич
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
timurka.ivanov.2002@list.ru
Науч. рук. к.т.н. Гибадуллин Р.Р.

Аннотация: в данной статье рассматриваются принципы регулирования трансформатора. Изложена характеристика двух систем регулирования: РПН и ПБВ. А также рассмотрены основные плюсы и минусы этих систем.

Ключевые слова: силовой трансформатор, регулирование напряжения, регулирование под нагрузкой, переключение без возбуждения.

VOLTAGE REGULATION IN TRANSFORMERS USING ON-LOAD TAP-CHANGERS AND TAP-CHANGERS

Ivanov Timur Dmitrievich
FGBOU VO "KGEU", Kazan
timurka.ivanov.2002@list.ru

Abstract: this article discusses the principles of transformer regulation. The characteristic of two control systems is stated:RPN and PBV.And also the main pros and cons of these systems are considered.

Keywords: power transformer, voltage regulation, regulation under load, switching without excitation.

Напряжение в энергосистеме изменяется в зависимости от нагрузки потребителей. Для продуктивной работы многих потребителей необходимо поддерживать напряжение в определенном диапазоне.

Поэтому нужны способы регулирования сетевого напряжения. Один из самых простых способов является изменение коэффициента трансформации с помощью уменьшения или увеличения числа витков в первичной или вторичной обмотке силового трансформатора [1]. Коэффициент трансформации – это отношение числа витков первичной обмотки к вторичной (1).

$$k = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (1)$$

Есть два вида систем регулирования напряжения: регулирование напряжения под нагрузкой (РПН) и переключение без возбуждения (ПБВ) [2].

В силовых трансформаторах с системой РПН присутствует система контактов, с помощью которых возможно изменять число витков обмотки, при этом не разрывая электрическую цепь. Регулирование напряжения под нагрузкой имеет широкий диапазон регулирования– от $\pm 10\%$ до $\pm 16\%$. Стоит отметить, что РПН располагают на стороне высшего напряжения (ВН).

Как отметили выше, имеется система контактов. Один контакт касается с определенным витком обмотки, который соответствует какому-то значению напряжения. Второй контакт может переводится к другому витку, в котором напряжение может быть либо выше, либо ниже. Таким образом, переключение контактов происходит без размыкания цепи [3].

Регулировка может происходить ручным или автоматическим способом. РПН используется при оперативных переключениях (с ростом и

падением нагрузки в течение суток). При изменении числа витков обмотки возможны значительные перенапряжения, поэтому для безопасности этого процесса используют токоограничивающие резисторы или реакторы. Отметим основные достоинства и недостатки данной системы регулирования напряжения.

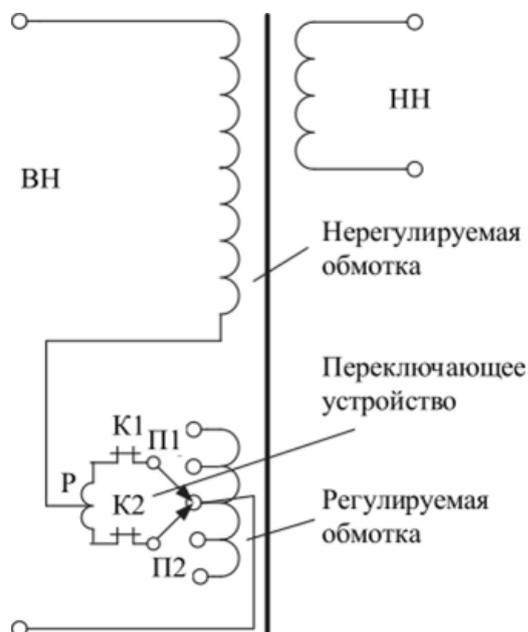


Рис.1.Схема регулирования напряжения трансформатора с помощью РПН

Преимущество РПН заключается в том, что регулирование происходит без отключения трансформатора. В процессе переключения параметры устройства, к которому подключена РПН, остаются неизменными.

Недостатки связаны с тем, что для безопасной работы данной системы необходимо дополнительно конструктивно усложнять трансформатор, т.е. укомплектовываются реакторами или токоограничивающими резисторами. Также увеличивается масса агрегата и вероятность поломки [4].

Далее рассмотрим следующую систему – переключение без возбуждения (ПБВ). Данная система дает возможность регулировать напряжение в диапазоне до $\pm 5\%$. ПБВ, в отличие от РПН, не имеет такой возможности, чтобы совершать оперативные переключения. Оно используется при сезонных изменениях нагрузки, т.е. трансформаторы выводятся в ремонт. Главное отличие ПБВ от РПН, заключается в том, что переключение возможно лишь при полном отключении трансформатора от нагрузки. Устройство ПБВ можно устанавливать на обмотках высокого

и низкого напряжений. Но переключатель целесообразнее располагать на стороне ВН, т.к. ток на данной обмотке значительно ниже, чем во вторичной обмотке низкого напряжения. Также из-за большего количества витков на обмотке ВН возможно более точно выбирать ступени регулировки напряжения. Рассмотрим принцип работы: в начальный период времени витки замкнуты, трансформатор отключается от нагрузки, затем поворотом рукоятки или с использованием механизированного привода происходит перемещение замыкающего элемента, тем самым изменяя рабочее число витков [5].

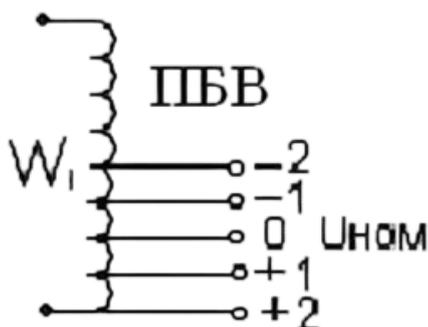


Рис. 2. Отпайки трансформатора с ПБВ

Отпайки соответствуют какой-то разности напряжений. Отпайка «0» – это номинальное напряжение трансформатора. Если произвести переключение на отпайку «+1», то произойдет увеличение напряжение на 2,5 %, т.е. степень регулирования $E = 2,5 \%$.

Преимуществом ПБВ является компактность и простота, которая придаёт высокую надёжность трансформатора. К недостаткам же можно отнести: необходимо полностью отключать устройство от нагрузки. Также в процессе переключений происходит окисление замыкающих контактов, поэтому нужно периодически проводить техническое обслуживание.

Таким образом, мы рассмотрели системы регулировки напряжения РПН и ПБВ. Оба устройства позволяют поддерживать требуемое напряжение в нужном диапазоне.

РПН позволяет выполнять оперативное переключение ступеней регулировки напряжения во время работы без отключения потребителя от нагрузки. Данное устройство имеет широкий диапазон регулировки от $\pm 10 \%$ до $\pm 16 \%$.

ПБВ же, в свою очередь, применяют при сезонных отключениях, когда трансформаторы выводятся в ремонт. Оно, в отличие от РПН, обладает более узким диапазоном регулировки.

Список литературы

1. Правила технической эксплуатации станций и сетей [Текст]. Москва : Энергия, 1968.
2. Брускин Д. Э. Электрические машины. Часть первая. [Текст] / Брускин Д.Э.,
3. Зорохович А. Е., Хвостов В. С. Москва : Высшая школа, 1987. – 319с.
4. Переключение без возбуждения – ПБВ трансформатора [Электронный ресурс]. – URL:<https://ofaze.ru/teoriya/pbv-transformatora> (дата обращения: 20.05.2023).
5. Электрические системы. Электрические сети / Под ред. В.А. Веникова, В.А.Строева. Москва: Высшая школа, 1998. 256 с.

УДК 620.91/98

ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ И КОММУНАЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Ильасова Ильсия Ильсуровна
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан
ilsiya.ilyasova@gmail.com

Аннотация: в данной статье рассматривается значимость и актуальность энерго- ресурсосбережения на производственных предприятиях и описываются факторы, влияющие на энерго-ресурсоэффективность предприятия. Также приведены основные проблемы, которые создают препятствие на пути к широкому использованию энерго- и ресурсосбережения.

Ключевые слова: энерго- и ресурсосбережение, эффективность, ресурсы, энергия, предприятие, сбережение.

ENERGY AND RESOURCE CONSERVATION OF INDUSTRIAL AND MUNICIPAL ENTERPRISES

Ilyasova Ilsiya Ilsurovna
FSBEI HE KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan
ilsiya.ilyasova@gmail.com,

Abstract: this article examines the importance and relevance of energy conservation in industrial enterprises and describes the factors affecting the energy and resource efficiency of the enterprise. The main problems that create an obstacle to the widespread use of energy and resource conservation are also presented.

Keywords: energy and resource conservation, efficiency, resources, energy, enterprise, conservation.

Проблема нехватки ресурсов и их эффективного использования является важным вызовом для многих предприятий. Недостаточное снабжение ресурсами может негативно сказываться на производительности, качестве продукции, конкурентоспособности и финансовом состоянии предприятия. Актуальность энерго- и ресурсосбережения для предприятий заключается в их способности эффективно использовать ресурсы, справляться с ограничениями по их доступности и добиваться устойчивого развития в долгосрочной перспективе.

Вот несколько аспектов, которые подчеркивают их значимость:

1. Экономическая эффективность: Энерго- и ресурсосбережение позволяют предприятиям сократить расходы на энергию, воду, сырье и другие ресурсы. Это приводит к снижению операционных затрат и повышению рентабельности бизнеса. Компании, которые активно внедряют меры по сбережению ресурсов, могут получить конкурентные преимущества на рынке и укрепить свою финансовую устойчивость.

2. Снижение негативного воздействия на окружающую среду: Промышленные и коммунальные предприятия являются значительными потребителями энергии и ресурсов, и их деятельность может негативно влиять на окружающую среду. Энерго- и ресурсосбережение позволяют снизить выбросы парниковых газов, уменьшить загрязнение воды и воздуха, а также сократить разрушительное воздействие на экосистемы. Таким образом, сбережение ресурсов способствует экологической устойчивости и сохранению природных ресурсов для будущих поколений.

3. Инновационное развитие. Промышленные и коммунальные предприятия, стремящиеся к эффективному использованию ресурсов, стимулируют развитие новых технологий, процессов и продуктов, способствуя росту инноваций и созданию рабочих мест в сфере "зеленой" экономики [1].

4. Социальная ответственность: Реализация энерго- и ресурсосберегающих мер помогает предприятиям повысить свою социальную ответственность и улучшить свою репутацию в глазах общества, клиентов и инвесторов. Потребители все больше ориентируются на компании, которые заботятся о окружающей среде и обществе в целом, и готовы поддерживать такие предприятия своими покупками и инвестициями [2].

Существует ряд внутренних и внешних факторов, которые оказывают влияние на энерго- и ресурсоэффективность на предприятиях. К внутренним факторам относятся:

- управление и политика предприятия (если предприятие уделяет приоритет сбережению ресурсов и энергии, разрабатывает соответствующие цели, меры и планы действий, то вероятность успешной

реализации сберегательных мер значительно выше);

- организационная культура и осведомленность сотрудников (организационная культура, основанная на ценностях эффективного использования ресурсов и энергии, способствует вовлеченности сотрудников и их готовности принимать активное участие в сберегательных инициативах);

- технологии и оборудование (обновление и модернизация технологических процессов и оборудования могут существенно повысить эффективность использования ресурсов) [6].

К внешним относятся:

- энергетическая и экологическая политика (разработка регуляторных механизмов, таких как субсидии, налоговые льготы или торговля выбросами парниковых газов, может способствовать усилиям по сбережению ресурсов);

- энергетические цены (рост стоимости энергии может способствовать принятию мер по эффективному использованию энергии и поиску альтернативных источников энергии);

- общественное мнение и потребительские предпочтения (растущая осведомленность общественности о проблемах окружающей среды и потребительский спрос на экологически чистые и энергоэффективные продукты могут стимулировать предприятия к внедрению сберегательных мер).

Повысить энерго- и ресурсоэффективности на предприятиях можно с помощью энергетического аудита. Он позволяет провести детальный анализ энергопотребления предприятия и выявить потенциальные области сбережения энергии и включает оценку энергетической эффективности оборудования, процессов и систем. Также внедряют системы управления энергией, такие как ISO 50001, которые позволяют предприятию систематически управлять своим энергопотреблением и принимать меры по сокращению энергозатрат [3]. Системы мониторинга и управления энергопотреблением позволяют предприятиям отслеживать свое энергопотребление, выявлять потенциальные проблемы и принимать меры по оптимизации потребления. Использование современных технологий, таких как системы автоматизированного управления и сенсорные сети, помогает эффективно управлять энергией и ресурсами.

На пути к широкому использованию энерго- и ресурсосбережения существуют ряд проблем и препятствий. Основной проблемой является финансовые ограничения, т.к. внедрение таких технологий и практик может потребовать значительных инвестиций. Многие предприятия не всегда готовы выделить средства на обновление оборудования или

внедрение новых технологий, даже если это может привести к долгосрочной экономии ресурсов [4].

Недостаточное знание и понимание принципов энерго- и ресурсосбережения также могут быть препятствием для их широкого использования. Некоторые предприятия и работники не осознают потенциальные выгоды и не обладают достаточными знаниями о методах и технологиях эффективного использования ресурсов. Некоторые предприятия сталкиваются с инерцией и сопротивлением со стороны сотрудников, которые привыкли к старым методам работы и не видят необходимости в изменениях.

Стоит учитывать, что внедрение новых энерго- и ресурсосберегающих систем может столкнуться с проблемами интеграции с уже существующими системами и инфраструктурой предприятий. Это может потребовать дополнительных затрат и изменений в организационных процессах [5].

Преодоление этих проблем требует комплексного подхода, включая образование и информирование, создание стимулов и мотивации, разработку поддерживающей инфраструктуры и политической поддержки со стороны правительства.

В заключение хотелось бы отметить, что энерго- и ресурсосбережение являются неотъемлемой частью устойчивого развития промышленных и коммунальных предприятий. Они способствуют экономической эффективности, охране окружающей среды, инновационному развитию и социальной ответственности, что является важным фактором в современном бизнесе и обществе.

Список литературы

1. Энерго- и ресурсосбережение : учеб. пособие / А. А. Черенцова ; [науч. ред. Л. П. Майорова]. - Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2018. – 125 с.
2. Основные направления энерго- и ресурсосбережения в промышленности. // StudFiles URL: <https://studfile.net/preview/8205780/page:7/> (дата обращения: 18.05.2023).
3. Энергосбережение на предприятии. Эффективная экономия ресурсов. // Power Coup Electric URL: <https://powercoup.by/energoberezhnie/energoberezhnie-na-predpriyatii> (дата обращения: 18.05.2023).
4. Перспективы развития мировой энергетики с учетом влияния технологического прогресса / под ред. В.А. Кулагина // М.: ИНЭИ РАН, 2020. - 320 с.

5. Агзамов, М. Ф. Моделирование системы электроснабжения для анализа условий перспективного развития отдельной территории / М. Ф. Агзамов, Э. Ф. Хакимзянов, Р. Р. Гибадуллин // Тинчуринские чтения - 2022 "Энергетика и цифровая трансформация" : Сборник статей по материалам конференции. В 3-х томах, Казань, 27–29 апреля 2022 года / Под общей редакцией Э.Ю. Абдуллазянова. Том 1. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. – С. 167-169.

6. Каримуллин, С. М. Аудит электрооборудования подстанций / С. М. Каримуллин, Л. В. Фетисов // Актуальные проблемы электроэнергетики : материалы VI Всероссийской (XXXIX Региональной) научно-технической конференции, посвящается 100-летию плана ГОЭЛРО, Нижний Новгород, 17–18 декабря 2020 года. – Нижний Новгород: Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, 2020. – С. 192-196. – DOI 10.46960/39255930_2020_192.

УДК 621.338.012

РАЗВИТИЕ ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ В ТАТАРСТАНЕ

¹Катеев Раушан Рамисович, ²Ярыш Равия Фоатовна
ГБОУ «Альметьевский государственный нефтяной институт», г. Альметьевск
¹kateevrasuhan@bk.ru

Аннотация: в современном мире очень важно стратегически правильно использовать энергетические ресурсы с применением различных новейших технологий. В России стали развивать это направление, к примеру Татарстан не так давно одним из важнейших направлений поставил развитие экономической политики республики, а для этого разрабатывается стратегический план, но как и везде существует ряд препятствий и рисков на пути, в свою очередь есть и положительные стороны такие как: повышение энергоэффективности предприятий, развитие инфраструктуры возобновляемых источников энергии и т.д. Из-за этого необходимо провести анализ для выбора наиболее эффективных методов по сокращению потребления энергии.

Ключевые слова: энергия, ресурсы, развитие, ресурсосбережение, риски, решения, стратегические способы, возобновляемые источники энергии, электроэнергетика.

DEVELOPMENT OF ENERGY AND RESOURCE SAVING IN TATARSTAN

¹Kateev Raushan Ramishovich, ²Yarysh Ravya Foatovna
«Almetyevsk State Oil Institute», Almetyevsk
¹kateevrasuhan@bk.ru

Abstract: in the modern world, it is very important to use energy resources strategically correctly using various latest technologies. In Russia, they began to develop this

direction, for example, Tatarstan not so long ago set the development of the economic policy of the republic as one of the most important directions, and a strategic plan is being developed for this, but like everywhere there are a number of obstacles and risks on the way, in turn, there are positive aspects such as: improving the energy efficiency of enterprises, developing infrastructure for renewable energy sources, etc. Because of this, it is necessary to conduct an analysis to select the most effective methods to reduce energy consumption.

Keywords: energy, resources, development, resource saving, risks, solutions, strategic methods, renewable energy sources, electric power industry.

Развитие энерго- и ресурсосбережения в Татарстане является одним из важнейших направлений экономической политики республики. Целью данного развития является достижение экологической, энергетической и экономической устойчивости.

Для достижения данной цели необходимы стратегические пути, которые должны учитывать множество факторов. [1]

Первым путем может стать оптимизация общего потребления энергии в регионе. Это может быть достигнуто введением модернизированных технологий в производство, эффективным использованием общественных зданий и жилых помещений, а также установкой экономичных систем отопления и освещения.

Вторым путем может стать поддержка использования возобновляемых источников энергии. Правительство Татарстана уже начало работу в этом направлении. Так, на территории республики был создан кластер по производству солнечных панелей, а также проводятся работы по модернизации парка ветроэлектростанций.

Третьим путем может стать улучшение текучести ресурсов. Это достигается за счет оптимизации производства и использования вторичных ресурсов и устранения потерь в ходе транспортировки. Также может быть реализовано повышение качества и продуктивности работающих в этом секторе сотрудников. [4]

Тем не менее, при развитии энерго- и ресурсосбережения существует ряд возможных рисков и проблем, среди которых:

- Высокие затраты на модернизацию производства и инфраструктуры;

- Снижение доходности бизнеса, что может привести к сокращению рабочих мест;

- Отсутствие эффективного управления отходами и снижение качества окружающей среды. Борьба с этими рисками и проблемами возможна только при поддержке государства и направленной на эту цель работе экспертов и специалистов. [3]

Таким образом, развитие энерго- и ресурсосбережения в Татарстане является важным шагом в направлении достижения экономической,

экологической и энергетической устойчивости. Для достижения данной цели необходимо использовать стратегические пути и при этом быть готовыми к различным рискам и проблемам, которые могут возникнуть в процессе развития.

Плюсы данной стратегии:

1. Повышение энергоэффективности предприятий, что приведет к снижению затрат на энергию и сокращению выбросов парниковых газов.

2. Развитие инфраструктуры для использования возобновляемых источников энергии, таких как солнечная и ветровая энергия. Это позволит снизить зависимость от нефтегазовых ресурсов.

3. Создание новых рабочих мест в сферах, связанных с энерго- и ресурсосбережением, например, в сфере энергетической аудиторрии и оценки эффективности энергосистем.

Минусы данной стратегии:

1. Необходимость значительных инвестиций для реализации мер по энерго- и ресурсосбережению.

2. Необходимость внедрения новых технологий и оборудования, что может повлечь за собой дополнительные затраты на обучение и установку.

3. Политические, экономические и бюрократические препятствия могут замедлить процесс внедрения мер по энерго- и ресурсосбережению.[3]

В отношении новых технологий, которые могут использоваться для развития энерго- и ресурсосбережения в Татарстане, можно упомянуть следующие:

1. Использование систем умного дома, которые позволяют оптимизировать потребление энергии.

2. Применение систем сбора и анализа больших данных для улучшения эффективности энергосистем.

3. Использование технологий беспроводной передачи энергии, таких как технология Qi, и сенсоров для мониторинга потребления энергии и оптимизации ее использования.

4. Использование систем управления зданиями и сетями для эффективного управления потреблением ресурсов. [5]

Существует несколько способов сэкономить потребление энергии на предприятиях:

1. Провести аудит энергопотребления и выделить области, где можно улучшить энергоэффективность. Аудит позволит проанализировать все процессы на предприятии и определить меры по уменьшению затрат энергии.

2. Оптимизировать процессы производства. Можно использовать методы, такие как оптимизация схемы оборудования, пересмотр рабочих процессов и уменьшение времени холостого хода оборудования, чтобы сократить потребление энергии.

3. Установить оборудование с высокой энергоэффективностью. Выбирать оборудование, которое потребляет меньше энергии, например, использовать LED-подсветку или обновить кондиционеры на более эффективные модели.

4. Использовать возобновляемые источники энергии. Если на предприятии есть возможность установить солнечные панели, турбины или ветрогенераторы, это позволит снизить зависимость от традиционных источников энергии.

5. Внедрить системы мониторинга и управления энергопотреблением. Системы управления энергопотреблением позволяют отслеживать потребление энергии в режиме реального времени и управлять им, что позволяет снизить затраты на энергию.

6. Проводить обучение своих сотрудников. Обучение сотрудников наставлять на более эффективное использование энергии в рабочих процессах, что позволит сэкономить энергию на предприятии.

7. Внедрить системы сбора и анализа данных. Анализ полученных данных поможет определить области, где можно улучшить производительность и снизить потребление энергии. [2]

Важно понимать, что каждое предприятие имеет уникальные особенности и потребности, поэтому необходимо провести анализ для выбора наиболее эффективных методов по сокращению потребления энергии.

Список литературы

1. "Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии" – URL: https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/34646/1/978-5-321-02436-2_v2.pdf (Свободный доступ) (Дата обращения 7.04.2023).

2. "Способы экономии электроэнергии на производстве и повышение конкурентоспособности выпускаемой продукции". – URL: http://www.energsovet.ru/bul_stat.php?idd=380 (Свободный доступ) (Дата обращения 7.04.2023).

3. "Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники ". - URL: <https://kgeu.ru/Document/GetDocument/59a55925->

2846-43aa-b87f-52377b7fb90a (Свободный доступ) (Дата обращения 7.04.2023).

4. "Богданович П.Ф. Основы энергосбережения : учебное пособие / П.Ф. Богданович, Д.А. Григорьев, В.К. Пестис. - Гродно : ГГАУ, 2007. - 174 с.". -URL: <https://www.ggau.by/downloads/topppz/Учебное%20пособие%20Основы%20энергосбережения.pdf> (Свободный доступ) (Дата обращения 7.04.2023).

5. "Заводчиков Н.Д. Управление эффективностью использования энергоресурсов в растениеводстве: монография / Н.Д. Заводчиков, Е.А. Воронкова. - Оренбург : Издательский центр ОГАУ, 2012.- 172 с. ". - URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01006510428> (Свободный доступ) (Дата обращения 7.04.2023).

УДК 621.311.26: 621.311.1.00

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ С ТОПЛИВНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ДЛЯ ПИТАНИЯ ВДОЛЬТРАССОВЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ГАЗОПРОВОДОВ

¹Липужин Иван Алексеевич, ²Карпова Екатерина Александровна
^{1,2}Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева,
г. Нижний Новгород
¹lipuzhin@nntu.ru, ²karpova23.04.2000@yandex.ru

Аннотация: в последние годы в мире активно исследуются возможности перехода на экологически чистые и возобновляемые источники энергии. Также актуальной проблемой является сложность обеспечения электроэнергией удаленных районов, которые не имеют подключения к электрической сети. Для решения этой проблемы могут применяться гибридные энергосистемы, состоящие из возобновляемых источников энергии, так как использование таких систем в удаленных районах может оказаться более экономичным вариантом, а также может решить проблему загрязнения окружающей среды. Одним из перспективных типов источников в составе гибридной системы являются водородные топливные элементы. Задачей исследования является выбор оптимального состава и мощности оборудования энергоустановки на основе водородных топливных элементов для питания вдольтрассовых потребителей газопроводов, расположенных в пустыне Гоби (Центральная Азия). В работе представлены результаты технико-экономического сравнения двух конфигураций энергоустановок (с системой накопления энергии и без) с помощью моделирования в программе HOMER PRO. По итогам расчета программа определяет оптимальный сценарий на основе чистой приведенной стоимости каждого варианта.

Работа выполнена в рамках государственного задания на оказание государственных услуг (тема №FSWE-2022-0006).

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, водород, топливный элемент, система накопления, экономическая эффективность

TECHNICAL AND ECONOMIC ANALYSIS OF POWER PLANT WITH FUEL CELLS FOR CONSUMERS ALONG THE ROUTE OF GAS PIPELINES

¹Lipuzhin Ivan Alekseevich, ²Karpova Ekaterina Aleksandrovna,
^{1,2}Nizhniy Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Nizhniy Novgorod
¹lipuzhin@ntu.ru, ²karpova23.04.2000@yandex.ru

Abstract: in recent years, the world has been actively exploring the possibilities of transition to environmentally friendly and renewable energy sources. Also, the difficulty of providing electricity to remote areas that are not connected to the power grid is an urgent problem. Hybrid power systems consisting of renewable energy sources are being investigated to solve this problem, as the use of such systems in remote areas may prove to be a more economical option and may also solve the problem of environmental pollution. Hydrogen fuel cells are one of the promising types of sources in the hybrid system. The objective of the study is to select the optimal composition and capacity of the equipment of the hydrogen fuel cell-based power plant for consumers along the route of gas pipelines located in the Gobi Desert (Central Asia). The paper presents the results of technical and economic comparison of two configurations of power plant (with and without energy storage system) by modeling in HOMER PRO. The program determines the optimal scenario based on the net present value of each option.

The work is carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (state task № FSWE-2022-0006).

Keywords: renewable energy sources, hydrogen, fuel cell, battery, economic efficiency

Для решения глобальной проблемы изменения климата во всем мире активно исследуются возможности перехода на экологически чистые и возобновляемые источники энергии [1]. Одним из наиболее перспективных направлений является внедрение водородных топливных элементов, так как водород – экологически чистое топливо, побочным продуктом сгорания которого является только вода. Топливные элементы на водороде обладают высокой эффективностью и при их использовании отсутствуют выбросы парниковых газов [2]. Также водород удобен для длительного хранения большого количества энергии и для транспортировки на большие расстояния [3].

Задачей исследования является выбор оптимального состава и мощности оборудования энергоустановки на основе водородных топливных элементов для питания вдольтрассовых потребителей газопровода. Для решения поставленной задачи использована программа HOMER PRO, которая позволяет смоделировать различные конфигурации энергосистем с возобновляемыми источниками энергии для определения наилучшей конфигурации с экономической, технической и экологической точки зрения [4].

Моделируемая система (рис. 1) состоит из водородного топливного элемента с полимерной протонообменной мембраной, электролизера,

резервуара для хранения водорода, солнечных фотоэлектрических панелей, системы накопления энергии, инвертора и нагрузки. Солнечная панель преобразует солнечную энергию в электричество, которое используется для питания нагрузки и электролизера. В электролизере вырабатывается водород, который запасается в резервуаре для хранения и, когда необходимо, используется топливным элементом для выработки электричества. Излишнее количество выработанной электроэнергии запасается в системе накопления энергии на основе свинцово-кислотных аккумуляторных батарей.

Исходными данными для моделирования являются метеорологические данные в исследуемой местности (солнечная радиация, индекс ясности неба, температура), профиль нагрузки, а также стоимость и единичная мощность отдельных компонентов системы. Среднегодовое значение солнечной радиации в исследуемой местности составляет 4,69 кВтч/м²/день. Наибольшая солнечная радиация наблюдается в июне (7,092 кВтч/м²/день), а наименьшая – в декабре (1,989 кВтч/м²/день).

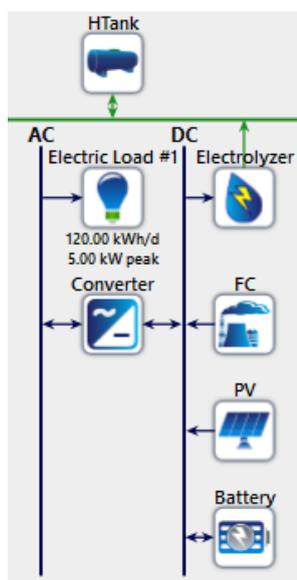


Рис. 1. Конфигурация моделируемой системы: *HTank* – резервуар для хранения водорода; *FC* – топливный элемент; *PV* – солнечная панель; *Battery* – система накопления; *Electric Load* – нагрузка; *Electrolyzer* – электролизер; *Converter* – инвертор

К вдольтрассовым потребителям газопроводов относятся двигатели электромагнитных задвижек, телемеханика и электрохимическая защита. Принято, что нагрузка в течение дня постоянна и составляет 5 кВт. Суточное потребление 120 кВт.

Начальный уровень заполнения водорода в резервуаре – 10 %. Свинцово-кислотная батарея мощностью 7,5 кВт с пропускной способностью 9645 кВтч. Допустимый минимальный уровень заряда 30 %.

Прогнозируемый срок службы энергоустановки оценивается в 25 лет при уровне инфляции 11,3 % и ставке дисконтирования 8 %.

В таблице 1 представлены исходные параметры каждого компонента [5].

Таблица 1

Параметры компонентов энергоустановки

Компонент	Удельные капитальные затраты, \$/кВт	Стоимость замены, \$/кВт	Стоимость эксплуатации и обслуживания	Срок службы, лет
Солнечная панель	3400	2700	25 \$/год	25
Конвертер	900	900	15 \$/год	15
Топливный элемент	2600	2600	0,02 \$/час	5000 ч
Электролизер	2500	1800	10 \$	15
Резервуар для водорода	490 \$/кг	490 \$/кг	1,2 \$	25
Батарея	1300\$	1100\$	12 \$	9645 кВтч

В рамках данного исследования было проведено моделирование двух конфигураций системы: без системы накопления (№ 1) и с аккумуляторными батареями (№ 2). Для каждой конфигурации программа определила оптимальную мощность компонентов системы, которая бы обеспечивала минимальную чистую приведенную стоимость (Таблица 2).

Таблица 2

Результаты моделирования

№	Мощности компонентов, кВт				Вместимость водородного бака, кг	Кол-во аккумуляторов, шт
	Солнечная панель	Топливный элемент	Электролизер	Конвертер		
1	49,2	6	30	5,5	100	-
2	34,1	6	1	5,55	32	59

В конфигурации № 1 солнечные панели производят электроэнергию с 6:00 до 18:00, обеспечивая питание нагрузки и электролизера, который днем вырабатывает водород, накапливаемый в водородном баке. С 18:00 до 6:00 нагрузка питается только от топливного элемента.

В конфигурации №2 практически вся электроэнергия производится солнечной панелью, которая днем питает нагрузку и электролизер, при этом излишнее количество энергии запасается в аккумуляторах. Ночью нагрузка питается от аккумуляторных батарей. Топливный элемент запускается только один раз в январе и августе и несколько раз в ноябре и декабре, когда снижается солнечная радиация и батареи в течение дня

не успевают зарядиться полностью и их заряда недостаточно для питания нагрузки в ночные часы.

В таблице 3 приведено сравнение конфигураций. Расчет производился в долларах, а результаты переведены в рубли по курсу на 22.08.2023 г. (1 \$ = 94,14 руб).

Таблица 3

Сравнение конфигураций энергоустановок

Параметр	Система 1	Система 2
Чистая приведенная стоимость, руб	98 847 000	29 076 833,52
Капитальные вложения, руб	29 341 649,34	21 794 445,54
Стоимость эксплуатации и технического обслуживания, руб/год	1 832 435,1	192 422,16
Нормированная стоимость энергии (<i>LCOE</i>), руб/кВтч	59,59	17,51
Производство электроэнергии:		
– солнечной панелью, кВтч/год	104290 (80,4%)	72410 (99%)
– топливным элементом, кВтч/год	25409 (19,6%)	724 (0,99%)
– общее, кВтч/год	129700	73134
Неиспользованная электроэнергия, кВтч/год	23990 (18,5%)	19422 (26,6%)
Необеспеченная электрическая нагрузка, кВтч/год	39,1 (0,0893%)	38,1 (0,0869%)

Конфигурация с аккумуляторными батареями по всем показателям намного эффективнее системы без аккумуляторных батарей. Это объясняется тем, что в конфигурации № 1 топливный элемент работает каждую ночь, и число часов его использования составляет 5334 ч/год. Учитывая низкий паспортный срок службы топливного элемента (5000 ч), ежегодно потребуется проводить его замену, что повлечет большие расходы (стоимость топливного элемента с учетом замены составляет 60,65 % от стоимости всей системы). В конфигурации № 2 топливный элемент практически не используется, замена потребуется только для аккумуляторов после 20 лет использования, поэтому расходы у данной системы значительно меньше.

Список литературы

1. Salameh T., Alkasrawi M., Juaidi A., Abdallah R., Monna S. Hybrid renewable energy system for a remote area in UAE // 2021 12th International Renewable Engineering Conference (IREC), Amman, Jordan. 2021. pp. 1-6. doi: 10.1109/IREC51415.2021.9427823.

2. Лисин Е.М., Паршина А.С., Замешаева И.С., Мусаева Д.Э. Технико-экономические аспекты производства и использования водорода на тепловых электростанциях // Вестник КГЭУ. 2022. №2(54). С. 120-133.

3. Филимонов А.Г., Филимонова А.А., Чичирова Н.Д., Чичиров А.А. Глобальное энергетическое объединение: новые возможности водородных технологий // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. №2. С. 3-13. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-2-3-13.

4. Barakat S., Samy M.M. A Hybrid photovoltaic/wind green energy system for outpatient clinic utilizing fuel cells and different batteries as a storage devices // 2022 23rd International Middle East Power Systems Conference (MEPCON), Cairo, Egypt. 2022. pp. 1-6. doi: 10.1109/MEPCON55441.2022.10021784.

5. Yaïci W., Entchev E., Annuk A., Longo M. Hybrid renewable energy systems with hydrogen and battery storage options for stand-alone residential building application in canada // 2022 11th International Conference on Renewable Energy Research and Application (ICRERA), Istanbul, Turkey. 2022. pp. 317-323. doi: 10.1109/ICRERA55966.2022.992270.

УДК 338.516.2

ТЕХНОЛОГИИ ИНДУСТРИИ 4.0 ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОСЕТЕВОГО КОМПЛЕКСА

¹Мазитов Дамир Рустамович, ²Гибадуллин Рамил Рифатович
^{1,2}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
¹mazitovish@gmail.com

Аннотация: статья рассматривает применение инновационных подходов и технологий в электросетевой отрасли в контексте концепции индустрии 4.0. В статье описываются основные проблемы, с которыми сталкивается электросетевой комплекс. Рассматриваются возможности применения цифровых технологий, таких как искусственный интеллект, облачные технологии, блокчейн и другие, в целях улучшения функционирования электросетевой инфраструктуры. В статье также обсуждаются практические примеры внедрения технологий индустрии 4.0 в различных странах мира, их положительный опыт и перспективы дальнейшего развития.

Ключевые слова: искусственный интеллект; цифровизация; электроэнергетика; большие данные; развитие.

INDUSTRY 4.0 TECHNOLOGIES FOR SOLVING THE PROBLEMS OF FUNCTIONING AND DEVELOPMENT OF THE ELECTRIC GRID COMPLEX

¹Mazitov Damir Rustamovich, ²Gibadullin Ramil Rifatovich
¹mazitovish@gmail.com

Abstract: the article considers the application of innovative approaches and technologies in the power grid industry in the context of the concept of industry 4.0. The

article describes the main problems faced by the power grid complex. The possibilities of using digital technologies, such as artificial intelligence, cloud technologies, blockchain and others, are considered in order to improve the functioning of the power grid infrastructure. The article also discusses practical examples of the implementation of industry 4.0 technologies in various regions of the world, their positive experience and prospects for further development.

Keywords: artificial intelligence; digitalization; electric power industry; big data; development.

Такое понятие, как «Индустрия 4.0» появилось относительно недавно, был разработан план по развитию промышленности, который заключался в том, чтобы в целостное информационное поле были объединены промышленные оборудования и информационные системы. В настоящее время киберфизические системы широко используются в производственных процессах, передаче электроэнергии, ее сбыте и потреблении. Технологии четвертой промышленной революции, такие как блокчейн, интернет вещей, виртуальная и дополненная реальность, квантовые вычисления, 3D печать и беспилотные устройства, оказывают значительное влияние на Единую энергетическую систему России и преобразуют ее.- [1]



Рис. 1. Структура Индустрии 4.0

К технологиям, которые сегодня развиваются в рамках концепции Индустрии 4.0 в электроэнергетике России, следует отнести:

1. В будущем управление спросом энергии будет выполняться с помощью интеллектуальных счетчиков, которые экономят как для энергетических компаний, так и для потребителей за счет управления профилем потребления и энергозатратных устройств.

2. Для быстрой и эффективной проверки инфраструктуры электросетей можно использовать дроны/роботов/роботизированную диагностику. Они могут раньше обнаружить обрывы линий электропередач, следить за растительностью в местах прокладки линий электропередачи, доставлять мелкие запасные части в места проведения аварийных работ.

3. Система активного энергокомплекса превращает электрическую сеть из пассивного устройства транспорта и распределения электроэнергии в активный элемент, параметры и характеристики которого изменяются в зависимости от режима работы энергосистемы.

4. Внедрение систем инфраструктуры интеллектуального учета позволяет снизить потребление электроэнергии на 11-17 %.

5. Мониторинг работы производственных активов может выполняться с помощью беспилотников. Применение в работе беспилотников значительно ускоряет осмотры линий электропередачи и поиск повреждений на них.

6. Предиктивное техническое обслуживание энергетических объектов экономит деньги на техническом обслуживании, сокращает простой оборудования и увеличивает его срок службы.

7. Прогнозирование производства энергии помогает упростить интеграцию ветровой и солнечной энергии в электросеть.

Следует обратить внимание на опыт зарубежных стран в технологии Индустрии 4.0. Япония активно развивает концепцию в рамках своей программы "Интернет вещей и робототехника для улучшения производства". Они изучаются новые подходы к автоматизации производственных процессов с помощью роботизации и IoT. Также США и Китай активно внедряют новые технологии для автоматизации производства, такие как блокчейн, нейронные сети и машинное обучение. Особенно активно развивается индустрия 4.0 в отраслях промышленной автоматизации, автомобилестроении и энергетике. – [2]

В качестве успешного отечественного кросс-отраслевого проекта внедрения цифровых технологий можно привести проект 2018 года, когда на линейной производственно-диспетчерской станции «Уват» «Транснефть-Сибири» было завершено строительство первой российской цифровой подстанции. В проекте были опробованы технические решения, разработанные специалистами «НИИ Транснефть», с использованием

цифровых измерительных трансформаторов и централизованных устройств релейной защиты и управления электрической подстанцией, а также первой в России цифровой системой коммерческого учета электроэнергии. – [3]

В настоящее время цифровые технологии помогают решать множество проблем в электросетевой области, например :

1. Управление энергопотреблением: цифровые технологии, такие как системы управления энергопотреблением и умный дом, позволяют эффективно управлять потреблением электроэнергии, уменьшая затраты и снижая нагрузку на энергосистему.

2. Управление распределением энергии: цифровые технологии теперь позволяют управлять распределением электроэнергии по сети более эффективно. Например, используя смарт-сети для мониторинга и управления распределением энергии, можно минимизировать потери электроэнергии и обеспечить надежность системы.

3. Мониторинг и диагностика: системы мониторинга и диагностики помогают понимать, где происходят проблемы в энергосистеме и как можно устранить их, что в свою очередь позволяет сократить время простоя и улучшить надежность работы сети.

4. Обновление сетевой инфраструктуры: цифровые технологии могут помочь в модернизации сетевой инфраструктуры, обновлении старых систем и налаживании взаимодействия между разными типами электрооборудования.

5. Безопасность и киберзащита: цифровые технологии позволяют повышать безопасность и обеспечивать киберзащиту системы электроснабжения. Например, мониторинг сети позволяет раньше обнаруживать угрозы и проводить превентивные меры. – [4]

Цифровизация электроэнергетики является важной задачей, которая требует системного подхода на уровне всей отрасли. Реализация перехода к цифровым технологиям должна привести к повышению эффективности работы генерирующих и электросетевых компаний, ускорению процесса технологического присоединения к электрическим сетям, улучшению технического состояния производственных фондов электроэнергетики, а также укреплению надежности электроснабжения потребителей.

Список литературы

1. Тарасов, И. В. Индустрия 4.0: Понятие, концепция, тенденции развития / И. В. Тарасов. – Текст: непосредственный // Стратегии бизнеса. – 2018. – № 6. – С. 58.

2. Шваб, К. Четвертая промышленная революция / К. Шваб. –: Бомбора, 2016. – 230 с.

3. Как работает Индустрия 4.0 – Текст: электронный // [Электронный ресурс] – <https://kustov.online/industry-4-how-it-works/> (дата обращения 10.05.2023).

4. Индустрия 4.0: Big Data, цифровизация и рост экономики – Текст: электронный // [Электронный ресурс] <https://habr.com/ru/articles/507822/> (дата обращения 10.05.2023)

УДК 621.311

ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ДЛЯ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ И ТРАНСПОРТА

Мигманова Алина Даниловна
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,
г.Казань
migmanovaalina@yandex.ru

Аннотация: в статье «Источники питания для железной дороги и транспорта» исследуются некоторые эксплуатационные проблемы, с которыми сталкиваются железнодорожные приложения, и почему понимание технических аспектов является обязательным перед выбором подходящих источников питания.

Ключевые слова: экологические проблемы, источники питания, железнодорожные приложения, напряжение, стандарты окружающей среды.

POWER SUPPLIES FOR RAILWAYS AND TRANSPORT

Miganova Alina Danilovna
FGBOU VO "Kazan State Power Engineering University", Kazan
migmanovaalina@yandex.ru

Abstract: The article "Power Supplies for Railways and Transport" explores some operational problems faced by railway applications, and why understanding the technical aspects is mandatory before choosing suitable power supplies.

Keywords: environmental problems, power supplies, railway applications, voltage, environmental standards.

На протяжении десятилетий железнодорожный сектор был важной областью для отрасли электроснабжения, которая нуждается в разработке очень специфических решений для удовлетворения требований этого сложного рынка. Сектор состоит из трех основных категорий: новое оборудование, модернизация и обслуживание оборудования, введенного в эксплуатацию 10 и более лет назад. Каждая из этих категорий предьяв-

ляет определенные требования к разработчику и требует определенных навыков.

Из всех секторов, в которых источники питания должны надежно работать, все, что требует воздействия элементов, должно быть самым требовательным. Возьмем, к примеру, железнодорожный транспорт. Детали электроустановки двигателя, пассажирских вагонов и грузовых автомобилей могут быть установлены снаружи и подвергаться воздействию воды, масла и различных видов пыли. Даже если они установлены внутри вагона, они все равно могут ежедневно подвергаться ударам и сильным вибрациям. Кроме того, существуют электрические условия, которые часто включают большие колебания напряжения, мгновенную потерю мощности и мощные переходные процессы [3].

С точки зрения пассажира, большинство современных железнодорожных вагонов комфортабельны, хорошо освещены и оборудованы современной техникой. Сиденья обычно предлагают сетевые розетки и питание от USB. Информационные дисплеи показывают прогресс в пути и вероятность задержек. За кулисами общественный Wi-Fi, системы отопления и вентиляции вагонов, информационно-развлекательные онлайн-системы занимают пассажиров и делают поездку приятной. Везде присутствуют такие функции безопасности, как детекторы дыма и системы видеонаблюдения. Дверные органы управления, открыватели дверей и аварийное освещение сегодня основаны на электронных системах, и, как уже отмечалось, все они требуют питания. Кроме того, электронные системы и связанные с ними источники питания чувствительны к колебаниям напряжения, перебоям и условиям окружающей среды.

Мощность, вероятно, является чем-то само собой разумеющимся в наших домах и офисах. Перебои в подаче электроэнергии, как правило, случаются редко, и доступ к надежному и стабильному основному источнику питания становится нормой. Однако для железнодорожного и другого транспорта стабильность и надежность электроснабжения не столь гарантированы [1].

Электричество в поезде поступает от генератора, прикрепленного к главному двигателю, или через пантограф над головой. Оба подвержены скачкам напряжения, скачкам и пропадающим напряжения - некоторые из них возникают из-за множества электрического и электромеханического оборудования, используемого для систем подвижного состава, например, тормозов. Также случаются кратковременные перебои в подаче электроэнергии.

Другим важным аспектом применения на железной дороге являются условия окружающей среды. Некоторые системы монтируются снаружи

из-за экстремальных погодных условий, дождя, снега, льда и связанных с ними перепадов температуры. Пыль, особенно с токопроводящими элементами, представляет особую опасность. Даже внутри пассажирского вагона регулярно возникает конденсат. Кроме того, есть множество толчков, вибраций и сил быстрого движения, с которыми мы все сталкиваемся.

При выборе источника питания для железнодорожного приложения рассмотрим несколько важных соображений, начиная с напряжения питания [5].

Большинство железнодорожных поставок для электронного оборудования имеют постоянный ток, что подчеркивает применение преобразователей постоянного тока в постоянный. Как уже подчеркивалось, источник питания в электрической терминологии шумный. В ходе эволюции железнодорожных электрических систем появились стандарты, которые обеспечивают относительно четко определенные спецификации, в соответствии с которыми должен работать источник питания. EN50155:2017 является основным стандартом, охватывающим большую часть оборудования в отношении характеристик напряжения, окружающей среды и безопасности.

Любой преобразователь постоянного тока в постоянный, выбранный для применения на железной дороге, должен соответствовать стандарту EN50155, и, следовательно, многие подходящие преобразователи могут работать с диапазоном входного напряжения не менее 4:1. Например, при номинальном напряжении 24 В постоянного тока диапазон входного напряжения составляет от 9 до 36 В постоянного тока. Вне этих спецификаций дополнительные удерживающие конденсаторы обеспечивают короткий период непрерывной работы и должны выдерживать скачки напряжения. В какой-то степени перенапряжения можно подавить с помощью активных клещей, хотя затрачиваемая энергия может быть значительной. Железнодорожный стандарт требует повышенной устойчивости к скачкам напряжения до 8,5 кВ длительностью 100 нс [4].

Короткие наносекундные переходные процессы высокого напряжения в тысячи вольт могут легко повредить или нарушить работу чувствительных электронных систем. Такие переходные процессы могут излучаться электромагнитным путем или проходить через шины питания. Работа блока питания не должна вызывать проблем или мешать работе другого оборудования. Точно так же источник питания должен быть невосприимчив к любым излучениям от других электромагнитных источников.

Удары, вибрация и защита окружающей среды.

Удары и вибрация, возможно, являются наиболее значительными механическими нагрузками, которым подвергается преобразователь постоянного тока. Стандарт EN61373 устанавливает различные категории в зависимости от места установки. Незначительные усилия воздействуют на корпус подвижного состава или внутри него, в то время как установка на ось в сборе является наиболее серьезной.

Стандарты окружающей среды, такие как температура и влажность, подробно описаны в стандарте EN50155 и разделены на категории в зависимости от места установки: во внутреннем или внешнем шкафу. Еще одним требованием настоящего стандарта является воздействие внезапного температурного скачка между существенно различающимися температурами, который потенциально может привести к образованию конденсата.

По соображениям безопасности пассажиров преобразователи постоянного тока в постоянный, используемые на железных дорогах, также должны соответствовать стандарту EN45545-2. Этот стандарт определяет материалы, используемые для изготовления преобразователя, возможность возникновения пожара и его использование [2].

Подводя итог вышесказанному отметим, что железнодорожные приложения требуют надежных и прочных источников питания. Когда дело доходит до эксплуатации оборудования с питанием от постоянного тока в сложных условиях, железнодорожные приложения занимают первое место в списке. В этой статье освещаются некоторые важные факторы, которые инженеры должны тщательно учитывать при выборе подходящих продуктов. Соответствие конкретным железнодорожным стандартам, касающимся рельсов электропитания, электромагнитных помех, электромагнитной совместимости и электростатического разряда, а также условий окружающей среды, является обязательным.

Список литературы

1. Герман Л. А., Серебряков А. С. Регулируемые установки емкостной компенсации в системах тягового электроснабжения железных дорог. М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2018. 315 с.
2. Тер-Оганов Э. В., Пышкин А. А. Электроснабжение железных дорог. Екатеринбург : УрГУПС, 2018. 432 с.
3. Третьяков Е. А. Исследование компонент интеллектуальной системы электроснабжения нетяговых потребителей // Инновационные

проекты и технологии в образовании, промышленности и на транспорте. Омск, 2019. С. 76–83.

4. Третьяков Е. А. Мультиагентное управление распределением электрической энергии в системе электроснабжения нетяговых потребителей железных дорог // Наука и образование в XXI веке: теория, практика, инновации. М.: АР-Консалт, 2019. С. 45–48.

5. Третьяков Е. А. Повышение экономичности и пропускной способности системы электроснабжения за счет управления режимами и внедрения современного оборудования и материалов // Современные тенденции развития науки и технологий. 2020. № 3-1. С. 139–142.

УДК 331.452

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ ЗОНЫ УСТАНОВКИ ПО ИСПЫТАНИЯМ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ

¹Миранов Салих Ришадович, ²Жалмаганбетова Севара Тугеловна,
³Черноволенко Ермолай Алексеевич, ⁴Николаев Кирилл Валерьевич
Науч. рук. к.т.н. Аскарков Рафаэль Рафилевич
^{1,2,3,4}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан
¹salihmiranov@gmail.com, ²sevajt859@gmail.com,
³ermoxa2004@gmail.com, ⁴mr.nikolaev.2000@mail.ru

Аннотация: правила по охране труда при эксплуатации электроустановок предписывают особые требования к конструкции установки по испытанию средств индивидуальной защиты, которые обезопасят рабочее место испытателя. В работе рассмотрены вопросы разработки технологической защиты высоковольтной зоны. Сформированы технические условия, по которым подобраны элементы технологической защиты с последующим расчётом ориентировочной стоимости работ.

Ключевые слова: высокое напряжение, средства индивидуальной защиты, испытание повышенным напряжением, технологическая защита, охрана и безопасность труда, организация рабочего места.

DESIGN OF TECHNOLOGICAL PROTECTION OF THE HIGH- VOLTAGE ZONE OF THE INSTALLATION FOR TESTING PERSONAL PROTECTION EQUIPMENT

¹Miranov Salikh Rishadovich, ²Jalmaganbetova Sevara Tugelovna,
³Chernovolenko Ermolay Alekseevich, ⁴Nikolaev Kirill Valerevich
Scientific adviser p.h.d Askarov Rafael Rafilevich
^{1,2,3,4}FSBEI HE «KSPEU», Kazan
¹salihmiranov@gmail.com, ²sevajt859@gmail.com,
³ermoxa2004@gmail.com, ⁴mr.nikolaev.2000@mail.ru

Abstract: the labor protection rules for the operation of electrical installations prescribe special requirements for the design of the installation for testing personal protective equipment

that will secure the workplace of the tester. The paper considers the development of technological protection of the high-voltage zone. Technical conditions were formed, according to which the elements of technological protection were selected with the subsequent calculation of the estimated cost of work.

Keywords: high voltage, personal protective equipment, high voltage testing, technological protection, labor protection and safety, workplace organization.

В ФГБОУ ВО «КГЭУ» создана Электроизмерительная лаборатория, которой Ростехнадзором дано разрешение на проведение испытаний и измерений в электроустановках до 0,4 кВ. Перед нами стоит задача расширить перечень разрешённых работ и включить в него испытания средств индивидуальной защиты (диэлектрические перчатки, боты, галоши, изолирующие штанги, отвертки, указатели напряжения и т.д.). Данный вид работ позволит производить ФГБОУ ВО «КГЭУ» испытания своих СИЗ самостоятельно и экономить на этом до 30 тыс. рублей в год, а также оказывать услуги промышленным предприятиям.

Установка по испытаниям СИЗ содержит высоковольтную зону, несмотря на наличие организационных мер по защите жизни и здоровья испытателя – ознакомление инструкции по безопасности труда, наличие аттестации по электробезопасности и прохождение по обучение по испытаниям и измерениям в электроустановках, согласно Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок (ПОТЭУ), необходимо снабдить установку по испытаниям СИЗ (УИСИЗ) техническими мерами по защите испытателя, чтобы в большей степени исключить человеческий фактор [1].

Согласно пунктам 39.5 и 39.6 ПОТЭУ, испытание с подачей напряжения выше 1000 В проводится при условии, что рабочее место оператора установки отделено от высоковольтной зоны. Высоковольтная зона должна иметь сплошное или сетчатое ограждение. В нашем случае будет металлическое сетчатое защитное ограждение. Для возможности входа за ограждение устанавливается дверь, положение которой контролируется. Открывание двери должно приводить к срабатыванию блокировки и отключению высокого напряжений с электроустановки.

Также в пункте 39.6 регламентируется порядок работы световой и звуковой сигнализации, световая отвечает за извещение о включении высокого напряжения, на верхней панели электроустановки АИИ-70 установлены лампы накаливания сигнализации режимов «Готов» и «В работе», которые соответствуют требованиям, поэтому установка дополнительных средств сигнализации не требуется, звуковая отвечает за оповещение о подаче напряжения выше 1000 В. Пункт 39.14 технические

требования к подключению установки к сети 380/220 В: установка должна подключаться через коммутационный аппарат с видимым разрывом цепи или через штепсельную вилку, расположенные на месте управления установкой.

С учетом изложенных положений разработана принципиальная электрическая схема технологической защиты (рис. 1), которая соответствует требованиям безопасности.

Согласно схеме, на пункте управления оператора размещаются 3 кнопки: «Разомкнуть заземляющий нож» – SB1, «Стоп» – SB2 и «Пуск» – SB3. Подача напряжения на повышающий трансформатор происходит при замыкании контакторов магнитного пускателя КМ1, он же зажигает лампу сигнализации режима «В работе!». Концевой (путевой) выключатель SQ1 контролирует положение двери ограждения высоковольтной зоны. Включение технологической защиты и всей УИСИЗ выполняется держателем плавких вставок, которые обеспечивают наличие видимого разрыва в отключенном положении.

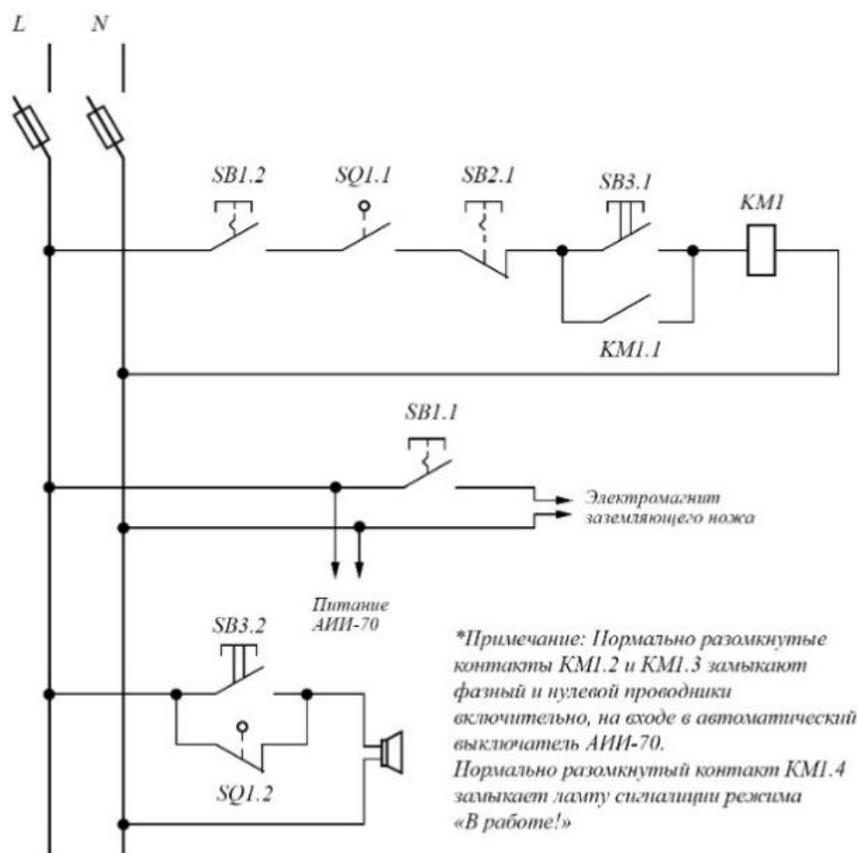


Рис. 11. Схема технологической защиты УИСИЗ

На основании схемы разработали технические условия к устройствам технологической защиты, которые изложены в таблице 1.

Устройства технологической защиты

№ п/п	Название устройства	Технические условия
1.	Держатель плавких вставок	– Номинальное напряжение: АС 230 В; – Количество полюсов: 2; – В положении «выкл.» имеет видимый разрыв; – Форм-фактор плавких вставок: 10х38; – Устанавливается на DIN-рейку
2.	Плавкая вставка	– Номинальный ток: не менее 20 А; – Форм-фактор плавких вставок: 10х38
3.	Кнопка «Стоп»	– Номинальное напряжение: АС 230 В; – Номинальный ток: не менее 2 А; – Имеет не менее одного нормально замкнутого контакта; – С фиксацией в нажатом состоянии; – Тип кнопки «гриб»
4.	Кнопка «Пуск»	– Номинальное напряжение: АС 230 В; – Номинальный ток: не менее 2 А; – Имеет не менее двух нормально разомкнутых контактов
5.	Концевой выключатель	– Номинальное напряжение: АС 230 В; – Номинальный ток: не менее 2 А; – Имеет не менее одного нормально разомкнутого контакта и не менее одного нормально замкнутого контакта; – Поворотного типа
6.	Контактор	– Номинальное напряжение: АС 230 В; – Номинальный ток: не менее 2 А; – Имеет не менее четырёх нормально открытых контактов; – Устанавливается на DIN-рейку
7.	Звукоизвещатель	– Номинальное напряжение: АС 230 В; – Уровень звука не менее 60 дБ; – Устанавливается на DIN-рейку
8.	Кнопка «Разомкнуть заземляющий нож»	– Номинальное напряжение: АС 230 В; – Номинальный ток: не менее 2 А; – Не менее двух нормально разомкнутых контактов; – С фиксацией в нажатом состоянии

Согласно техническим условиям, на онлайн площадках нами найдены устройства необходимые для сборки технологической защиты: держатель плавких вставок, плавкая вставка, кнопка «Стоп», кнопка «Пуск», концевой выключатель, контактор модульный КМ25-40, звонок ЗД-47, кнопка «Разомкнуть заземляющий нож». Ориентировочная стоимость всех устройств 6 172,27 руб.

Результатом работы является проект технологической защиты, техническое задание для закупки устройств и оценка стоимости. Дальней-

шим этапом работы будет закупка устройств и монтаж УИСИЗ в специально подготовленном помещении с удовлетворяющими требованиям НТД показателями безопасности рабочего места.

Список литературы

1. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок : [Приказ Минтруда РФ от 15.12.2020 N 903Н] (в ред. Приказа Минтруда РФ от 29.04.2022 N 279Н) – Текст : электронный // КонтурНорматив : [сайт]. – 2023 – URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=430799> (дата обращения: 15.05.2023).
2. Звонок ЗД-47 на din-рейку ИЭК : [сайт]. – URL: https://electroset.ru/catalog/modulnaya_apparatura_na_din_reyku_ekf_proxima/zvonok-zd-47-na-din-reyku-iek/ (дата обращения: 16.05.2023). – Текст : электронный.
3. АУВ, 20 А, 500 В, 10х38 мм, Предохранитель керамический : [сайт]. – URL: <https://www.chipdip.ru/product/aub-20-a-500-v-10h38-mm> (дата обращения: 15.05.2023). – Текст : электронный
4. Держатель плавких вставок ДПВ 10х38 2П TDM SQ0216-0002 : [сайт]. – URL: <https://tdm-elektro.ru/TDM-product/derzhatel-plavkih-vstavok-dpv-10h38-2p-tdm-sq0216-0002/> (дата обращения: 16.05.2023). – Текст : электронный.
5. Новый оригинальный ХСКР2145G11 концевой переключатель : [сайт]. – URL: https://electroset.ru/catalog/modulnaya_apparatura_na_din_reyku_ekf_proxima/zvonok-zd-47-na-din-reyku-iek/ (дата обращения: 15.05.2023). – Текст : электронный.

УДК 332.87

ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Мубаракшина Рузиля Радиковна
ФГБОУ ВО "Казанский государственный энергетический университет",
г. Казань, Россия
e-mail: ruzilya.mubarakshina.01@mail.ru

Аннотация: в статье рассматриваются проблемы в использовании ресурсосберегающих технологий в жилищно-коммунальном хозяйстве. Среди основных сложностей можно выделить недостаточную информационную базу, высокие затраты на введение новых технологий, низкую эффективность использования и отсутствие инвестиций. Тем не менее, при правильной эксплуатации и поддержке со

стороны государства использование ресурсосберегающих технологий может принести значительные результаты по экономии электричества и сохранению природных ресурсов.

Ключевые слова: ресурсосберегающие технологии, ЖКХ, разработки, энергосбережение, эффективность, ресурсосбережение, энергоресурсы, экономичность.

PROBLEMS OF APPLICATION OF RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES IN HOUSING AND UTILITIES

Mubarakshina Ruzilya Radikovna
FGBOU VO "Kazan State Power Engineering University",
Kazan, Russia
e-mail: ruzilya.mubarakshina.01@mail.ru

Abstract: the article deals with the problems in the use of resource-saving technologies in housing and communal services. Among the main difficulties, one can single out an insufficient information base, high costs for the introduction of new technologies, low efficiency of use and lack of investment. However, with proper operation and support from the state, the use of resource-saving technologies can bring significant results in saving electricity and conserving natural resources.

Keywords: resource-saving technologies, housing and communal services, developments, energy saving, efficiency, resource saving, energy resources, economy.

Жилищно-коммунальное хозяйство является одной из сфер, которая потребляет огромное количество энергоресурсов. В условиях нестабильного экономического и экологического развития мировой общественности, повышение уровня жизни населения и улучшение качества окружающей среды становятся важными задачами государства.

В связи с этим возникает необходимость использования ресурсосберегающих технологий в жилищно-коммунальном хозяйстве. Однако, практическая реализация таких технологий сталкивается со множеством проблем [1].

Одной из основных задач при использовании ресурсосберегающих технологий является экономия электричества.[2] Для этого часто используются специальные системы контроля и управления, которые позволяют автоматически регулировать потребление энергии в зависимости от текущих условий. Однако, такие системы могут быть достаточно дорогостоящими и сложными в установке и настройке.

Также, часто возникают проблемы с социальной адаптацией новых технологий. Например, жители могут не оценивать значимость использования энергосберегающих ламп или других приборов, поскольку они считают их менее качественными или менее комфортабельными по сравнению со старыми моделями [3]. Кроме экономии электричества, важной задачей является сохранение водных ресурсов. Для этого

используются различные методы: от установки специальных кранов до использования переключаемых душевых головок. Тем не менее, здесь также возможны определенные сложности [4].

Например, одна из основных проблем заключается в недостаточном осведомленности людей об экономии воды. Большинство жителей еще не привыкли экономить воду и продолжают использовать ее бездумно. Кроме того, установка новых сантехнических приборов может быть дорогой или сложной для жилищных организаций [5].

Отопление является одной из наиболее затратных статей расходов в жилищно-коммунальном хозяйстве. Часто возникают проблемы с недостаточным качеством материалов и оборудования, что может привести к повторным инвестициям и дополнительным расходам на ремонт или замену оборудования.

В своей работе мы выделили основные проблемы:

1. Плохая информационная база

Одной из основных проблем при введении ресурсосберегающих технологий является отсутствие актуальной и полной информации о них. Малое количество специалистов имеют достаточные знания для правильного выбора оптимальных методик и материалов для каждого конкретного случая. Также, необходимо учитывать специфику каждой страны и региона.

2. Высокие затраты на внедрение

Другим препятствием являются высокие затраты на введение ресурсосберегающих технологий. В большинстве случаев, это связано с необходимостью приобретения новых материалов и оборудования, а также проведением капитальных ремонтов объектов ЖКХ.

3. Низкая эффективность использования

Еще одной проблемой является низкая эффективность использования ресурсосберегающих технологий. Это частично связано с отсутствием правильной эксплуатации со стороны персонала, а также с плохим качеством предоставляемых услуг жильцам домов. Конечный результат может быть незначительным или даже отрицательным.

4. Нежелание инвестировать

Наконец, ещё одна из основных проблем заключается в нежелании инвестировать в разработку и производство новых технологий для жилого фонда. Привычные методы зачастую меньше требуют вложений, и поэтому остаются более популярными.[6]

Таким образом, можно заключить, что использование ресурсосберегающих технологий в жилищно-коммунальном хозяйстве имеет много перспектив и потенциала для экономии энергии и ресурсов.

Однако, внедрение таких технологий может столкнуться с определенными сложностями и ограничениями.. Правильная информационная база, стимул для инвестирования и правильное использование технологий могут помочь улучшить ситуацию. Однако без поддержки со стороны государства эффект от таких изменений будет ограничен. Только при комплексном подходе можно достичь максимальных результатов и эффективной работы системы.

Список литературы

1. Сумской, Н. В. Проблемы применения ресурсосберегающих технологий в жилищно-коммунальном хозяйстве / Н. В. Сумской // Молодой ученый. – 2020. – № 10(300). – С. 198-200.

2. Стародубровская, И. В. Энергосбережение и механизмы регулирования локальных естественных монополий / И. В. Стародубровская // Жилье, недвижимост, городское хозяйство. – 1998. – № 10. – С. 1.

3. Энергоэффективность, ресурсосбережение и природопользование в городском хозяйстве и строительстве: экономика и управление : Материалы II Международной научно-технической конференции: в 2-х частях, Волгоград, 23–26 сентября 2015 года / Министерство образования и науки Российской Федерации; Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет. Том Часть 1. – Волгоград: Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, 2015. – 247 с.

4. Энергоресурсоэффективность и энергосбережение в Республике Татарстан : Доклады XVIII Международного симпозиума "Энергоресурсоэффективность и энергосбережение", Казань, 13–15 марта 2018 года / ГАУ «Центр энергосберегающих технологий Республики Татарстан при Кабинете Министров Республики Татарстан». – Казань: ИП Шайхутдинов А.И., 2018. – 402 с.

5. Ресурсам области - эффективное использование : Сборник материалов XVIII Ежегодной научной конференции студентов Технологического университета, Королёв, 10 апреля 2018 года. Том Часть 2. – Королёв: Общество с ограниченной ответственностью "Научный консультант", 2018. – 459 с.

6. Карпова, И. Ф. Анализ реформирования системы ЖКХ на основе процессов энергосбережения и энергоэффективности отраслей ЖКХ / И. Ф. Карпова // От научных идей к стратегии бизнес-развития : сборник научных трудов и результатов совместных научно-исследовательских проектов. – Москва : Тезаурус, 2015. – С. 211-226.

ОСВЕЩЕНИЕ ОПАСНЫХ УЧАСТКОВ ДОРОГИ

Нуртдинов Расим Маратович
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан,
torianin@mail.ru, rasim0130@mail.ru

Аннотация: в данной статье было проанализировано наиболее активная мера увеличения уровня безопасности в темное время суток – установка качественного искусственного освещения, в первую очередь освещение участков, где нет возможности подключения к сетям электрической энергии.

Ключевые слова: освещения, солнечные батареи, применение, процесс, датчик.

LIGHTING FOR DANGEROUS ROAD SECTIONS

Nurtdinov Rasim Maratovich
FSBEI HE «KSPEU»Kazan, Republic of Tatarstan,
torianin@mail.ru, rasim0130@mail.ru

Abstract: in this article, the most active measure to increase the level of security at night was analyzed - the installation of high-quality artificial lighting, primarily lighting areas where there is no possibility of connecting to electrical energy networks.

Key words: lighting, solar batteries, application, process, sensor.

Цель данного проекта: Разработать системы освещения наиболее опасных для жизни людей участков дороги. Технологическое развитие России не стоит на месте. Большое количество новых разработок внедряются в повседневную жизнь обычного обывателя. Аналогичная ситуация происходит и с дорогами общего пользования, но к сожалению, современные решения не так активно внедряются в освещение автомобильных трасс. На данный момент времени, автоматизация систем освещения включает в себя только таймер включения и отключения [1].

На данный момент многие частные и государственные предприятия пришли к мнению, что светодиодное освещение является лучшей альтернативой для решения проблем освещенности магистралей [2]. В сравнении с лампами ДНаТ, у них есть ряд преимуществ:

1. Большой срок службы.
2. Лучшая устойчивость к перепадам температур и влажности. Большая часть представленных светодиодных светильников имеет особую конструкцию корпуса, позволяющую испаряться конденсату. В результате этого светодиоды находятся в безопасности даже в сильный мороз или жару [3]. Рабочий диапазон температур – от -40 до +50 градусов.

3. Качественный спектр.

4. Меньшая потребляемая мощность (при аналогичных показателях освещенности).

5. Световая стабильность. После определенного количества рабочих часов лампы ДНаТ имеют свойство снижать интенсивность светового потока. Это сказывается на видимости участка дороги, подконтрольного источнику. С течением времени есть вероятность возникновения мерцания, которое действует на восприятие дороги водителем. Светодиодный источник света дает ровный и стабильный свет. Спектр чистый, без мерцаний и колебаний световых волн [4].

На рисунке 1 показана основная модель крупногабаритных установок для освещения автомобильных трасс. Представленная система включает в себя: солнечные панели, а так же поворотные механизмы (приводы) для получения наибольшего солнечного света в определенное время суток; LED лампы (эффективность, которых, описана выше); системы датчиков для определения погодных условий, датчиков движения.



Рис.1. 3Д модель установок

Датчики движения необходимы для системы дополнительного, автоматизированного освещения (см рис.2).

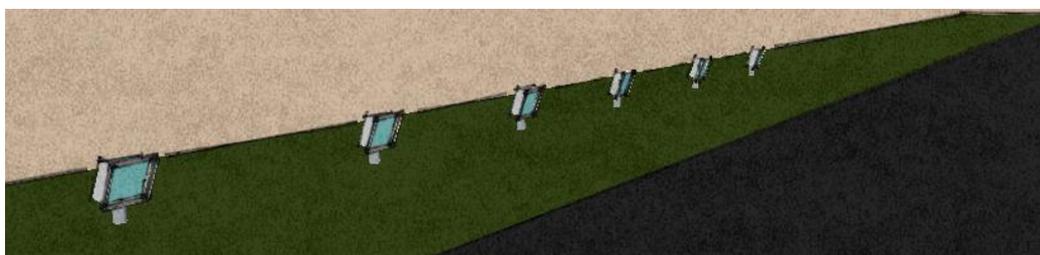


Рис. 2. Дополнительная система освещения

Данная система представляет установку датчиков движения на аварийном участке дороги, которые будут отправлять сигнал на

малогабаритные лампы. Как только датчик зафиксирует проезжающий автомобиль будут загораться LED лампы, тем самым давая дополнительное освещение. Лампы спроектированы таким образом, что бы свет не был направлен на водителя. Так же нужно отметить, что система дополнительного освещения не будет устанавливаться на протяжении всего участка дороги. Интенсивность освещения лампами регулируется датчиками, которые анализируют погодные условия [5].

Список литературы

1. Бабков В. Ф. Дорожные условия и безопасность движения. - М.: Транспорт, 1982. - 288 с
2. Правила устройства электроустановок. 7-е издание / Ред. Л. Л. Жданова, Н. В. Ольшанская. М.: НЦ ЭНАС, 2013. – 104 с.
3. Справочник по проектированию электроснабжения / Под ред. Ю.Г. Барыбина и др. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.
4. Кнорринг, Г. М. Справочная книга для проектирования электрического освещения / Г. М. Кнорринг, И. М. Фадин, В. Н. Сидоров – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Энергоатомиздат. Санкт-Петербургское отделение, 1992. – 448 с.
5. Алексеев, П. П. Интеллектуальная система уличного освещения / Алексеев П.П. // статья в сборнике трудов конференции – издательство: Нижневолжский экоцентр, 2014. – С. 12–13

УДК 621.311

ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОНОМНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Попова Екатерина Сергеевна
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
katifanpopova@gmail.com

Аннотация: статья содержит результаты сравнительного анализа автономных источников энергии. Рассмотрены принципы работы солнечных батарей, которые преобразуют энергию Солнца в электрическую, ветряных генераторов, получающих электрическую энергию посредством трансформации механической энергии ветра, а также гидрогенераторов. Выявлены преимущества и недостатки каждого типа источника энергии и их применение в различных областях. Также проведен анализ экономических аспектов использования автономных источников энергии, с целью обоснования их эффективности и целесообразность в различных условиях.

Ключевые слова: автономные источники электроснабжения, чистая энергия, экономичность, солнечные батареи, гидрогенераторы, ветряные генераторы.

RESEARCH OF AUTONOMOUS POWER SUPPLY SOURCES

Popova Ekaterina Sergeevna
Kazan State Energy University, Kazan
katifanpopova@gmail.com

Abstract: this article contains the results of a study of autonomous energy sources. The principles of operation of solar panels that convert solar energy into electrical energy, wind generators that receive electrical energy through the transformation of mechanical wind energy, as well as hydro generators are considered here. The advantages and disadvantages of each type of energy source and their application in various fields are revealed. An analysis of the economic aspects of the use of autonomous energy sources was also carried out in order to substantiate their effectiveness and expediency in various conditions.

Keywords: autonomous power supply sources, clean energy, efficiency, solar panels, hydro generators, wind generators.

Автономные источники электроснабжения (АИЭС) являются одним из самых перспективных способов обеспечения электроэнергией как отдельных объектов, так и групп объектов, находящихся в удаленных районах или в условиях экстремальной погоды. Существуют различные типы АИЭС: солнечные, ветряные, гидроэнергетические, биомассовые, геотермальные и т.д. Одним из преимуществ АИЭС является их возможность независимой работы без привязки к главным электрическим сетям. Это позволяет снизить затраты на строительство и эксплуатацию линий электропередачи, что для отдаленных районов может быть невероятно выгодно. Кроме того, АИЭС являются экологически чистым источником энергии, что делает их особенно привлекательными для тех, кто следит за экологией. Солнечные батареи и ветряные генераторы – наиболее распространенные виды АИЭС в настоящее время [1].

Солнечные батареи представляют собой солнечные панели, они работают на принципе преобразования энергии Солнца в электрическую. Фотоны, попадая на поверхность солнечной батареи, вызывают процесс фотоэффекта, в результате которого электроны выбиваются из вещества и начинают двигаться внутри его, создавая потенциальную разность. Это позволяет получать электрический ток и использовать солнечную энергию в качестве источника электроэнергии. Важно отметить, что процесс этот происходит без выброса вредных веществ и отходов, что делает солнечную энергию одним из наиболее экологически чистых источников энергии. Солнечные панели включают возможность получения чистой энергии, бесплатные возможности для зарядки, долговечность и низкие эксплуатационные расходы. Они хорошо работают в условиях засушливых районов с достаточным количеством солнечного света, не требуют постоянного обслуживания и относительно легки в установке. Однако, в ночное время или в случае облачной погоды эффективность этих панелей

снижается и необходимо использование аккумуляторов для накопления энергии [2].

Ветряные генераторы производят электроэнергию из ветра, который вращает лопасти генератора. Энергия затем используется для зарядки батарей или для прямого электроснабжения устройств и оборудования. Достоинства ветрогенераторов включают возможность генерации энергии при любых погодных условиях, экологически чистую энергию, высокую эффективность и высокую надежность, кроме того они также не требуют постоянного обслуживания, но могут быть более сложны в установке и требовать более серьезных фундаментов. Минусы состоят в том, что они требуют постоянного ветра для их работы, что может ограничивать возможность их использования в некоторых районах, а также шум и высокие инвестиционные затраты [3].

Гидрогенераторы используют поток воды для привода лопастей генератора, что позволяет получать электроэнергию. Эта технология часто используется для электропитания отдаленных поселений и устройств водорослей. Плюсы гидрогенераторов – возможность использования непрерывно доступного водного потока, чистота и надежность энергоснабжения, низкие эксплуатационные расходы. Минусы – затраты на установку и обслуживание системы, зависимость от расположения, отсутствие возможности использования в местах с низким потоком.

Автономные источники энергии используются в различных областях, таких как городские и загородные дома, автомобили, яхты и кемпинги. Новые технологии и расширение средств связи позволяют использовать эти источники энергии в труднодоступных местах, таких как глубокие морские воды и отдаленные районы [4].

При оценке экономических преимуществ автономных источников энергии, следует учитывать, как начальную стоимость установки, так и операционные расходы на долгосрочное использование. Однако, снижение затрат на продукты, поддержание и ремонт сетей и улучшение окружающей среды при использовании этих источников, могут переоценить их стоимость на долгосрочной перспективе.

В целом, выбор типа АИЭС зависит от множества факторов, таких как климатические особенности региона, доступность материалов, технологическая сложность установки, затраты на эксплуатацию и т.д. Поэтому, каждому конкретному случаю необходимы индивидуальные исследования и подбор оптимального варианта [5].

В заключении, можно сказать, что использование АИЭС является одним из перспективных способов обеспечения энергоснабжения удаленных групп объектов и экономии затрат на линии электропередачи,

при снижении негативного воздействия на окружающую среду. Несмотря на разнообразие типов АИЭС, выбор каждого конкретного типа должен основываться на множестве факторов, анализе запросов потребителя и проведении необходимых измерений для определения оптимальной расположения, и конструкции источника энергии, а также достоинствах и недостатках каждого вида.

Список литературы

1. Четошникова Л. М., Смоленцев Н. И., Четошников С. А., Гусаров Г. В. Автономные системы электроснабжения с возобновляемыми источниками энергии и умной сетью. // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2018. № 5-6 (20). С. 3-12.

2. Марченко О. В. Комплексное использование возобновляемых источников энергии разных типов для совместного производства электричества и тепла / Марченко О. В. // Промышленная энергетика. 2018. № 5. С. 52–57.

3. Некрасов С. А. Трансформация требований к развитию энерго-снабжения в результате расширения использования возобновляемых источников энергии / Некрасов С. А. // Промышленная энергетика. 2018. № 4. С. 37–42.

4. Сидоренко, Г. И. Влияние параметров и технических характеристик элементов ветротурбин на финансовые затраты, расходы энергии и выбросы загрязняющих веществ / Г. И. Сидоренко // Промышленная энергетика. 2018. № 4. С. 43–54.

5. Salyga Stanislaw, Szablowski Lukasz, Badyda Krzysztof. Comparison of constant volume energy storage systems based on compressed air // International Journal of Energy Research. 2021. Т. 45. No 5. P. 8030–8040. DOI:10.1002/er.6320.

УДК 621.311

ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ В ЦЕХОВЫХ СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ 0,4 кВ

Попова Екатерина Сергеевна
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
katifanpopova@gmail.com

Аннотация: статья посвящена вопросам энергоснабжения в цеховых сетях напряжением 0,4 кВ. Представлены основные потребители электрической энергии напряжением 0,4 кВ, функционал уровней энергоснабжения. Рассмотрены основные

механизмы обеспечения энергоснабжения приборыосуществляющие контроль и управление энергоснабжением. Особое внимание уделяется вопросам безопасности, соответствие всем нормам и правилам, а также экономической стороне такого энергоснабжения, для повышения экономической эффективности производственного процесса.

Ключевые слова: надежность работы, экономичность, безопасность, энерго-снабжение в цеховых сетях, эффективная работа энергоснабжения.

POWER SUPPLY IN THE WORKSHOP NETWORKS WITH A VOLTAGE OF 0.4 kV

Popova Ekaterina Sergeevna
Kazan State Energy University, Kazan
katifanpopova@gmail.com

Abstract: this topic is devoted to the issues of power supply in the workshop networks with a voltage of 0.4 kV. The article presents the main consumers of electrical energy with a voltage of 0.4 kV, the functional levels of energy supply. The main mechanisms of ensuring energy supply and devices that control and manage energy supply are considered. Special attention is paid to safety issues, compliance with all norms and rules, as well as the economic side of such energy supply, in order to increase the economic efficiency of the production process.

Keywords: reliability of operation, efficiency, safety, power supply in shop networks, efficient operation of power supply.

Энергоснабжение является одной из важнейших составляющих технологического процесса промышленных предприятий. Все технологические процессы требуют определенного уровня энергетических ресурсов. Особенно важно это в цеховых сетях, которые работают под напряжением 0,4 кВ. Стабильность и надежность их функционирования напрямую влияет на работоспособность всего производственного комплекса в целом. В данной статье мы рассмотрим основные аспекты энергоснабжения в цеховых сетях данного напряжения.

Основными потребителями электрической энергии напряжением 0,4 кВ являются: системы автоматики, системы электрообогрева подпорных насосных агрегатов, светильники системы наружного электроосвещения площадок обслуживания, светильники для электроосвещения мест установки ИПР, технологические задвижки, насос откачки утечек, система электрообогрева наружных технологических трубопроводов узла с предохранительными устройствами.

Системы автоматики могут включать в себя различные устройства и коммуникации для управления и контроля производственных процессов, что требует значительного количества энергии.

Системы электрообогрева подпорных насосных агрегатов (ПНА)

необходимы для поддержания работы насосов в холодные периоды, что обеспечивает непрерывную подачу воды.

Светильники системы наружного электроосвещения площадок обслуживания ПНА обеспечивают безопасность работников и обслуживающего персонала при работе в темное время суток.

Светильники для электроосвещения мест установки ИПР (измерительно-поверочных приборов) позволяют осуществлять контроль и проверку работы оборудования в темных помещениях.

Технологические задвижки необходимы для управления потоками жидкостей и газов и требуют постоянного электрического питания для их функционирования.

Насос откачки утечек предназначен для удаления жидкостей с мест производства и требует значительной мощности для эффективной работы.

Система электрообогрева наружных технологических трубопроводов узла с предохранительными устройствами позволяет предотвратить их замерзание в холодное время года, что обеспечивает нормальное функционирование оборудования.

Энергоснабжение цеховых сетей с напряжением 0,4 кВ осуществляется через особую систему подстанций, электросетей и распределительных устройств. Для обеспечения надежности работы и общественной безопасности система энергоснабжения подразделяется на несколько уровней, каждый из которых обеспечивает определенную функцию.

Первый уровень – это высоковольтные подстанции. Они получают высоковольтную электроэнергию от генерирующих станций и трансформируют ее до уровня 6-10 кВ, на который она поступает в распределительные сети.

Второй уровень – это распределительные сети. Они осуществляют перенос электроэнергии до уровня 0,4 кВ, который требуется для работы цеховых сетей. Распределительные сети включают в себя провода, кабели, трансформаторы и регулируемые устройства.

Третий уровень – это цеховые сети. Они обеспечивают электроэнергией все технологические процессы, которые проводятся в цехах. Они включают в себя кабели, щиты, распределительные устройства и приборы, которые необходимы для управления энергоснабжением.

Представляется, что для обеспечения эффективной работы энергоснабжения в цеховых сетях напряжением 0,4 кВ, необходимо использовать специальное оборудование и решения, которые обеспечивают надежность, безопасность и экономическую выгоду.

Одним из основных механизмов обеспечения энергоснабжения в цеховых сетях является кабельные линии, которые прокладывают внутри промышленных помещений или на открытых площадках и отличаются друг от друга по волоконной структуре и мощности. Очень важно правильно рассчитать параметры и длину линий кабелей, чтобы минимизировать потери электроэнергии. Кроме того, для технического обслуживания и ремонта линий кабелей необходим специальный инструмент, который соответствует условиям работы. Один из наиболее часто используемых типов кабелей – это алюминиевые и медные наплавляемые кабели.

Помимо кабелей, в цеховых сетях с напряжением 0,4 кВ применяются и другие приборы, такие как щиты, переключатели, реле и пульта управления. Эти устройства осуществляют контроль и управление энергоснабжением в зоне их действия и обеспечивают надежность работы всей системы.

Для обеспечения надежности работы электрических сетей важно использование специализированных выключателей, которые обеспечивают высокую степень безопасности и защиты от коротких замыканий. Также следует использовать экономичные системы освещения и мощных трансформаторов, которые позволяют получить энергию от сетей напряжением более высокого уровня.

Одним из важных аспектов энергоснабжения в цеховых сетях напряжением 0,4 кВ является вопрос безопасности. Электроустановки должны соответствовать нормам и правилам охраны труда и электробезопасности. Ежегодно должны проводиться плановые проверки и ревизии электрооборудования, чтобы исключить возможности отключения работы производственных линий и неправильного использования энергии.

Кроме того, понимание экономической выгоды энергоснабжения тоже важно. Контроль за потребляемой энергией и использование экономически эффективных технологий может существенно снизить затраты на энергоснабжение, что, в свою очередь, повысит экономическую эффективность производственного процесса.

Таким образом, энергоснабжение в цеховых сетях напряжением 0,4 кВ – это сложная и многогранная система, которая требует адекватной организации и контроля. Она является важным аспектом технологического процесса промышленных предприятий. Использование специализированного оборудования и решений, направленных на повышение эффективности и экономической выгоды, а также соблюдение правил

безопасности являются ключевыми факторами в обеспечении надежной работы энергосетей в цехах.

Список литературы

1. Ополева Г. Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов: Учебное пособие. М.: Форум, 2018. 350 с

2. Абдуллазянов Э. Ю., Грачева Е. И., Горлов А. Н., Шакурова З. М., Табачникова Т. В., Шумихина О. А., Гибадуллин Р. Р. Исследование качества функционирования электрических аппаратов низкого напряжения в составе электротехнических комплексов. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. № 6 (23). С. 3-15.

3. Геркусов А. А., Грачева Е. И., Шумихина О. А. Влияние несимметричной нагрузки на потери электроэнергии в распределительных 0,4-20 кВ. Вестник Казанского Государственного Энергетического университета. 2022. № 2 (54). С. 15-28.

4. Грачева Е. И., Горлов А. Н., Алимова А. Н. Исследование и оценка потерь электроэнергии в системах внутрицехового электроснабжения. Вестник Казанского Государственного Энергетического университета 2019. № 4 (44). С. 22-29.

5. Юлдашев З. Ш., Юлдашев Р. З., Касобов Л. С., Раджабов М. Ш., Балобанов Р. Н. Энергокомплекс для энергообеспечения энерготехнологических процессов. Вестник Казанского Государственного Энергетического университета. 2022. № 4 (56). С. 80-90.

УДК: 621.311

АКТУАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Сибгатовая Ильсияр Габдрахимовна
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Российская Федерация
e-mail: Shaihutdinova.IL@yandex.ru

Аннотация: система электроснабжения (далее СЭС) является важнейшим элементом инфраструктуры современного общества. Она обеспечивает электроэнергией промышленные, коммерческие и жилые здания, транспорт, а также множество других потребителей энергии. Однако, производство и передача электроэнергии является очень энергоемким процессом и при этом сопряжено с большими потерями. Поэтому, повышение энергоэффективности системы электроснабжения является актуальной проблемой, которая требует решения.

Ключевые слова: энергоэффективность, система электроснабжения, энергосбережение технологии управления нагрузкой, возобновляемые источники энергии.

ACTUAL TOOLS OF IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF THE POWER SUPPLY SYSTEM

Sibagatova I. G.

Kazan State Power Engineering University, City of Kazan, Russian Federation

e-mail: Shaihutdinova.IL@yandex.ru

Abstract: the power supply system is the most important element of the infrastructure of modern society. It provides electricity to industrial, commercial and residential buildings, transport, and many other energy consumers. However, the production and transmission of electricity is a very energy-intensive process and is associated with high losses. Therefore, increasing the energy efficiency of the power supply system is an urgent problem that needs to be solved.

Keywords: energy efficiency, power supply system, energy saving, load control technologies, renewable energy sources

Существует множество различных средств, которые могут повысить энергоэффективность СЭС. Одним из таких средств является использование энергосберегающих технологий и оборудования [1]. Например, использование энергоэффективных ламп и освещения с датчиками движения может значительно снизить энергопотребление в зданиях. Также существует множество энергоэффективных технологий и оборудования для производства и передачи электроэнергии, таких как солнечные и ветровые электростанции, умные сети и технологии хранения энергии [2-3].

Еще одним средством, способным повысить энергоэффективность СЭС, является управление нагрузкой [5]. Оно предполагает динамическое изменение электропотребления в зависимости от текущих потребностей и возможностей системы. Это позволяет снизить потери энергии в процессе передачи и распределения электроэнергии и использовать существующие ресурсы более эффективно.

Также важным аспектом повышения энергоэффективности СЭС является повышение ее устойчивости и надежности [4]. Это может быть достигнуто путем использования систем мониторинга и управления, которые позволяют оперативно реагировать на возможные аварии и предотвращать их возникновение, а также использованием систем резервного питания.

Важным аспектом повышения энергоэффективности СЭС является также оптимизация процесса передачи и распределения электроэнергии [1]. Это может быть достигнуто путем улучшения технических характеристик линий передачи, установки компенсирующих устройств и других средств, которые позволяют снизить потери энергии в процессе передачи.

Конкретные примеры типовых технических мероприятий по повышению энергоэффективности СЭС приводятся [6].

Также для повышения энергоэффективности производят замену устаревших трансформаторов на современные, оснащение СЭС мониторинга потребления электрической энергии, повышают коэффициент мощности путем снижения потерь электроэнергии в кабельных сетях [6].

Таким образом, повышение энергоэффективности системы электропитания является актуальной проблемой, которая требует решения. Существует множество различных средств, которые могут быть использованы для повышения энергоэффективности системы электропитания, таких как использование энергоэффективных технологий и оборудования, управление нагрузкой, повышение устойчивости и надежности системы, оптимизация процесса передачи и распределения электроэнергии и использование информационных технологий [6].

Список литературы

1. Аполлонский С. М. «Энергосберегающие технологии в энергетике. Том 1. Энергосбережение в энергетике. Учебник»: Лань // 2022 // Электротехника и энергетика. ISBN: 978-5-8114-8896-4.

2. Denisova, A. Development of an automatic luminous flux control system for LED lamps / A. Denisova, E. Sibgatullin // Proceedings of the 2022 4th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering, REEPE 2022 : 4, Moscow, 17–19 марта 2022 года. – Moscow, 2022. – DOI 10.1109/REEPE53907.2022.9731434. – EDN NLMSMK.

3. Денисова, А. Р. Повышение энергоэффективности при использовании системы автоматического регулирования светового потока / А. Р. Денисова, Э. Г. Сибгатуллин // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2020. – № 1(58). – С. 38-39. – EDN EZKZKU.

4. Кобозев В. А., Лыгин И. В. «Качество электроэнергии и энергоэффективность систем электроснабжения потребителей. Учебное пособие»: Инфра-Инженерия // 2022. ISBN: 978-5-9729-0770-0.

5. Крылов Ю. А., Карандаев А. С., Медведев В. Н. «Энергосбережение и автоматизация производства в теплоэнергетическом хозяйстве города»: Лань // 2023 // Электротехника и энергетика. ISBN: 978-5-507-45661-1, 978-5-8114-7281-9.

6. Денисова, А. Р. Энергосбережение в промышленных и коммунальных предприятиях: учебное пособие для студентов, обучающихся по специальности 140610 - "Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений" / А. Р. Денисова, Н. В. Рожен-

цова ; А. Р. Денисова, Н. В. Роженцова ; М-во образования и науки Российской Федерации, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования "Казанский гос. энергетический ун-т". – Казань : Казанский гос. энергетический ун-т, 2010. – 247 с. – ISBN 978-5-89873-255-4. – EDN QUNFHT.

УДК: 620.9;621.311

СОВРЕМЕННЫЕ СРЕДСТВА ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ

Сиразева Раиля Илгизовна
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Российская Федерация
e-mail: railya.sirazeva02@mail.ru

Аннотация: данная статья рассматривает современные средства повышения качества электроэнергии, включая устройства компенсации реактивной мощности, стабилизаторы напряжения, системы регулирования частоты, а также методы мониторинга и диагностики качества электроэнергии. Рассматриваются принципы работы некоторых средств, их преимущества и недостатки, а также возможности их применения в различных сферах промышленности и бытовых условиях. Также в статье описываются последние технологические достижения в области повышения качества электроэнергии и перспективы развития этой отрасли в будущем. Результаты исследований показывают, что применение современных средств повышения качества электроэнергии способствует улучшению работы электрооборудования, увеличению срока его службы и снижению затрат на ремонт и замену оборудования.

Ключевые слова: энергоэффективность, качество системы электроснабжения, энергосбережение технологии управления нагрузкой, способы повышения качества электроэнергии.

MODERN MEANS OF IMPROVING THE QUALITY OF ELECTRICITY AT ENTERPRISES

Sirazeva Railya Ilgizovna
Kazan State Power Engineering University, City of Kazan, Russian Federation
e-mail: railya.sirazeva02@mail.ru

Abstract: this article examines modern means of improving the quality of electricity, including reactive power compensation devices, voltage stabilizers, frequency control systems, as well as methods for monitoring and diagnosing the quality of electricity. The principles of operation of some tools, their advantages and disadvantages, as well as the possibilities of their application in various fields of industry and domestic conditions are considered. The article also describes the latest technological achievements in the field of improving the quality of electricity and the prospects for the development of this industry in the future. The research results show that the use of modern means of improving the quality of electricity contributes to improving the operation of electrical equipment, increasing its service life and reducing the cost of repair and replacement of equipment.

Keywords: energy efficiency, quality of the power supply system, energy saving load management technologies, ways to improve the quality of electricity.

Электричество – одно из самых важных благ, которое наука дала человечеству. Оно также стало частью современной жизни, и без него невозможно представить себе мир. Электричество имеет множество применений в нашей повседневной жизни. Оно используется для освещения помещений, работающих вентиляторов и бытовых приборов, таких как электрические плиты, кондиционеры и многое другое. На фабриках большие машины работают с помощью электричества. Электричество обеспечивает нас важными ресурсами и позволяет повысить уровень нашей жизнедеятельности. В современном мире почти все зависит от электричества.

Помня обо всех преимуществах электроэнергии, задумывались ли вы, что будет без электричества? Каждая секунда, когда вы остаетесь во тьме или без электричества, означает, что вы будете нести убытки в своих предприятиях.

Каждое предприятие заинтересовано в обеспечении бесперебойного, надежного и качественного электроснабжения. Россия является четвертым по величине потребителем электроэнергии в мире, но, несмотря на то, что она является одним из лидеров как по производству, так и по потреблению электроэнергии, она сталкивается с серьезными проблемами, связанными с качеством электроэнергии.

Качество электроэнергии играет важную роль в технологических процессах любого производства. Параметры качества электроэнергии, такие как частота, качество напряжения (перебои, колебания, дисбалансы, мерцание, провисания и тд.), гармоники и коэффициент мощности, являются ключевыми показателями для определения качества электроэнергии. Низкое качество электропитания приводит к преждевременному выходу из строя или ухудшению производительности оборудования.

Надежность и качество являются двумя важными аспектами любой системы электроснабжения. Чтобы обеспечить максимальное время безотказной работы на объекте, необходимо, чтобы инфраструктура электропитания работала надежно и без каких-либо проблем в течение максимально возможного времени. Есть много факторов, которые могут повлиять на то, насколько надежно работает электрическая система. Это включает в себя то, насколько хорошо спроектирована система, условия ее эксплуатации и окружающей среды, насколько хорошо отслеживается оборудование и условия, а также насколько хорошо оборудование

обслуживается. Любое значительное отклонение в величине, частоте, форме волны или симметрии линейных напряжений является потенциальной проблемой качества электроэнергии. Даже самые лучшие энергосистемы подвержены колебаниям, и все электрооборудование подвергается дефектам, вызванным этими колебаниями. Когда качество подаваемой электроэнергии неудовлетворительное, это приводит к снижению производительности и сокращению ожидаемого срока службы оборудования. Таким образом, мы можем понимать плохое качество электроэнергии как любую проблему с питанием, проявляющуюся в отклонениях напряжения, тока или частоты, которые приводят к отказу, увеличению потерь энергии или неправильной работе оборудования, что приводит к экономическим потерям.

Устройства и оборудование, используемые в настоящее время на промышленных, коммерческих и бытовых объектах, более чувствительны к колебаниям подачи, чем оборудование, использовавшееся в прошлом. Это связано с более широким использованием силовой электроники и микропроцессорных технологий в оборудовании и приборах.

Чтобы решить проблему качества электроэнергии следует улучшить и внедрить новые технологичные подходы в процессе передачи и распределения электроэнергии, а также осуществить контроль качества электроэнергии.

Если говорить о технологическом подходе, то мы можем начать с трех аспектов: снизить уровень излучения оборудования-источника помех, улучшить пропускную способность электросети для источников помех и повысить уровень защиты от помех чувствительного оборудования.

Современные способы улучшения качества электрической энергии:

1) ограничение токов симметричных составляющих в местах их возникновения (реактивные фильтры);

2) изменение напряжений симметричных составляющих с помощью создания симметричной системы напряжений;

3) уменьшение сопротивления элементов системы электроснабжения с помощью параллельной работы трансформаторов, установки сдвоенных реакторов продольной компенсации (SSSC) реактивной мощности (рис.1.)

4) замена технологий с регулируемой мощностью. Хорошим примером этого является переход с асинхронного двигателя на привод с регулируемой скоростью. Асинхронный двигатель имеет два состояния: включено и выключено. Преобразователь частоты, с другой стороны, может быть настроен точно на требуемую мощность, которая вам нужна.

Получается, больше не нужно, чтобы напряжение и ток были синусоидальными, вместо этого они объединяют мощность и ток, используя выпрямитель на входе.

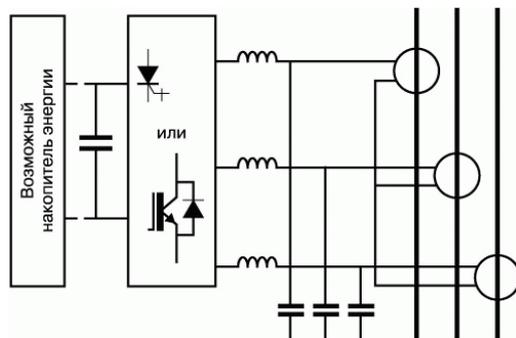


Рис. 1. Схема SSSC

Исходя из вышеизложенной информации, можно сделать вывод, что существует несколько средств улучшения качества электроэнергии. Для реализации качественного энергоснабжения энергосистемы необходимо использование новых технологий, таких как цифровизация, искусственный интеллект и Интернет. Укрепить связь и сотрудничество между предприятиями энергоснабжения, производителями оборудования, научно-исследовательскими учреждениями, мощными потребителями, правительствами и т. д. Качество электроэнергии зависит от множества факторов, поэтому все действия должны осуществляться в соответствии с ГОСТ.

Список литературы

1. Абдуллазянов Э. Ю., Зарипова С. Н., Федотов А. И., Ахметшин А. Р. Улучшение показателей качества электроэнергии в распределительных сетях напряжением 0,4-10 кВ. Энергетика Татарстана. № 1. 2012. С. 3-7.
2. Арутюнян А. А. «Основы энергосбережения»
3. Крылов Ю. А., Карандаев А. С., Медведев В. Н. «Энергосбережение и автоматизация производства в теплоэнергетическом хозяйстве города»: Лань // 2023 // Электротехника и энергетика. ISBN: 978-5-507-45661-1, 978-5-8114-7281-9.
4. Кобозев В. А., Лыгин И. В. «Качество электроэнергии и энергоэффективность систем электроснабжения потребителей. Учебное пособие»: Инфра-Инженерия // 2022. ISBN: 978-5-9729-0770-0.
5. В. Г. Лисенко, Я. М. Щелоков, М. Г. Ладышев «Хрестоматия Энергосбережения»

ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Токмачёва Инна Сергеевна
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан, Россия
itokmacheva@mail.ru

Аннотация: энерго- и ресурсосбережение становятся все более актуальными темами для промышленных предприятий во всем мире. Данные темы затрагивают не только аспекты экономии ресурсов и снижения затрат, но и проблемы охраны окружающей среды и устойчивого развития.

Ключевые слова: энергосбережение, ресурсосбережение, технологии, энергоэффективность, оборудование, развитие.

ENERGY AND RESOURCE SAVING ON INDUSTRIAL ENTERPRISES

Tokmacheva Inna Sergeevna
FSBEI HE "KSPEU", Kazan, Republic of Tatarstan, Russia
itokmacheva@mail.ru

Abstract: energy and resource saving are becoming more and more relevant topics for industrial enterprises around the world. These topics cover not only the aspects of saving resources and reducing costs, but also the problems of environmental protection and sustainable development.

Key words: energy saving, resource saving, technologies, energy efficiency, equipment, development.

Сегодня проблема энерго- и ресурсосбережения стала актуальной для всех областей промышленности. В контексте экономической и экологической устойчивости сокращение расходов на энергетику и ресурсы становится необходимым условием для повышения конкурентоспособности на рынке, уменьшения отрицательного влияния на окружающую среду и улучшения качества жизни населения.

Одним из основных направлений политики энергосбережения является увеличение эффективности использования энергии над наращиванием ее производства, что позволяет достичь положительных экономических, социальных и экологических эффектов [1].

Первоочередным шагом при реализации проектов по сокращению потребления ресурсов является анализ работы всех технических систем предприятия, определение нерациональных затрат ресурсов. Важно производить регулярную проверку наличия утечек энергии и устранять их, обучать сотрудников правильному использованию энергетических

ресурсов и прививать культуру энергосбережения. Это позволяет установить точки роста, требующие внимания и разработки эффективных мер по оптимизации использования ресурсов.

Важными инструментами оптимизации не только ресурсов, но и электроэнергии являются технологии повышения энергоэффективности: установка счетчиков энергопотребления, переход на энергосберегающие освещение, внедрение генерации альтернативной энергии, модернизация оборудования, оснастка производственных зданий термоизоляционными материалами, замена устаревших приборов на более современные и экономичные [5]. Например, применение трансформаторов с более высоким КПД, инверторов для преобразования постоянного тока в переменный и обратно и других передовых технологий может существенно улучшить энергетический баланс [1].

Особое внимание необходимо уделить управлению энергопотреблением. Энергопотребление означает систематический анализ данных по энергоэффективности отдельных участков предприятия и совершенствование управляющих механизмов. На основе анализа нагрузок определяются направления повышения эффективности использования энергоресурсов, разрабатываются планы по переходу на энергосберегающие технологии. Необходимо также контролировать соответствие параметров производственного процесса ожидаемым, чтобы время от времени проводить необходимые корректировки.

Экономия водных ресурсов также может существенно повлиять на сокращение расходов и повышение экологической устойчивости производства. Это достигается путем установки современного оборудования для обработки отходов, рециркуляции остатка воды и других методов очистки. Кроме того, производственный процесс должен контролироваться с целью избегания излишнего расхода воды. Например, оборудование для деионизации воды может сформировать практически нулевую ремесленную воду, которая будет использована повторно.

В качестве дополнения можно использовать возобновляемые источники энергии, такие как солнечная, ветровая, геотермальная и гидроэлектрическая энергия. Такой переход на альтернативную энергию позволяет снизить зависимость от традиционных источников энергии. Энергия ветра, являясь чисто источником, может использоваться для привода генераторов, что существенно сокращает выброс углекислого газа в атмосферу. Солнечная энергетика тоже обладает большим потенциалом. Она может быть использована для привода генераторов и для прямого использования в жилых домах и офисах с помощью солнечных батарей [1,2].

Одним из важнейших факторов, влияющих на энергоэффективность предприятия, является рациональное освещение рабочих мест [4].

Последовательность выбора рационального энергоэффективного освещения:

1. Определение индекса помещения:

$$\varphi = \frac{S}{((h_1-h_2)*(a+b))}; \quad (1)$$

2. Определение коэффициента использования, исходя из значений коэффициентов отражения и индекса помещения;

3. Определение требуемого количества светильников для помещения:

$$N = \frac{(E*S*100*Kз)}{(U*n*\varphi л)}, \quad (2)$$

где E – требуемая освещенность горизонтальной плоскости, лк; S – площадь помещения, мм²; $Kз$ – коэффициент запаса; U – коэффициент использования осветительной установки; $\varphi л$ – световой поток одной лампы, лм; n – число ламп в светильнике.

Во многих странах существуют программы по экспериментальной апробации энергосберегающих технологий, финансируемые из государственного бюджета. Без создания поддерживающей организационно-финансовой системы многие инновационные разработки в области энерго- и ресурсосбережения не получили бы дальнейшего развития [2].

Таким образом, энерго- и ресурсосбережение является важным направлением развития современного предприятия в условиях экологической устойчивости нашей планеты. Все это ведет к созданию энергоменеджмента, который обусловлен совокупностью знаний, принципов, средств и форм управления энергосбережением в целях снижения затрат на энергоресурсы [3]. Разработка и осуществление мер, направленных на сокращение расходов ресурсов, повышение энергоэффективности, укрепление контроля над потреблением и управление водными ресурсами, помогут нашей стране не только стать более экономически развитой, но и сохранить ресурсы и улучшить экологические условия жизни.

Список литературы

1. Денисова, А. Р. Энергосбережение в промышленных и коммунальных предприятиях: учебное пособие для студентов высших учебных

заведений. / А. Р. Денисова, Н. В. Роженцова. М-во образования и науки Российской Федерации, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования "Казанский гос. энергетический ун-т". – Казань : Казанский гос. энергетический ун-т, 2010. – 247 с. – ISBN 978-5-89873-255-4. – EDN QUNFHT.

2. Girya L. V., Sheina S. G., Fedyaeva P. V. The procedure of substantiation of selection of the energy-efficient design solutions for residential buildings // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. V. 10. № 8. pp. 19263-19276.

3. Соплина Л. Н. Мир ресурсосбережения // Дополнительная общеразвивающая программа. 2022. С. 10

4. Юдаева, Н. Д. Энергосбережение на промышленных предприятиях // Молодой ученый. 2018. № 50 (236). С. 65-67. URL: <https://moluch.ru/archive/236/54691/> (дата обращения: 24.04.2023).

5. Денисова, А. Р. Перспектива модернизации системы освещения в промышленных отраслях с применением светодиодных источников света / А. Р. Денисова, А. Е. Сидоров, З. Р. Закирова // Фёдоровские чтения — 2020: I Международная научно-практическая конференция с элементами научной школы, Москва, 17–20 ноября 2020 года. – Москва: Издательский дом МЭИ, 2020. – С. 151-156.

УДК 62–799

ДАТЧИКИ ДЛЯ АНАЛИЗА СОСТОЯНИЯ ВЛЭП

Хамидуллин Ильдар Ниязович¹, Маслов Савелий Юрьевич², Малаева Ева Денисовна³

Науч. рук. к-д техн. наук, доцент. Иванов Дмитрий Алексеевич

^{1,2,3} ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

¹ildar.ildar-xam2017@yandex.ru, ²saveli2000@gmail.com, ³malaeva_eva01@mail.ru

Аннотация: на проводах воздушных линий электропередач в осенне-зимний период, возникают опасные формирования льда, которые при отсутствии должного внимания, могут привести к различным проблемам на ВЛЭП, вплоть до возникновения аварийной ситуации на участке линии. Поэтому для энергетических компаний важно осуществлять качественный, быстрый анализ состояния линии на протяжении данного времени года. В данной статье рассмотрены специализированные датчики анализа состояния ВЛЭП, которые монтируются непосредственно на исследуемых участках собирают необходимую информацию о нем. Так же рассмотрена модернизация данного вида датчиков с использованием технологии 3D печати.

Ключевые слова: воздушные линии электропередачи, мониторинг, датчики энергия, энергоэффективность.

SENSORS FOR ANALYSIS OF THE STATE OF OHTL

Khamidullin Ildar Niyazovich¹, Maslov Savely Yurievich², Malaeva Eva Denisovna³

Scientific advisor Ivanov Dmitry Alekseevich

^{1,2} KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

¹ildar.ildar-xam2017@yandex.ru, ²saveli2000@gmail.com, ³malaeva_eva01@mail.ru

Abstract: on the wires of overhead power lines in the autumn-winter period, dangerous ice formations occur, which, if not properly attended to, can lead to various problems on the overhead power line, up to the occurrence of an emergency on the line section. Therefore, it is important for energy companies to carry out a high-quality, quick analysis of the state of the line during a given time of the year. This article discusses specialized sensors for analyzing the state of overhead power lines, which are mounted directly on the area under study and collect the necessary information about it. The modernization of this type of sensors using 3D printing technology is also considered.

Key words: overhead power lines, monitoring, energy sensors, energy efficiency.

В настоящее время происходит активное развитие промышленного комплекса, строятся новые заводы, предприятия, технические процессы на них автоматизируются, происходит цифровизация производств. В свою очередь энергетический комплекс обязан покрыть необходимую потребность в электрической энергии данных потребителей.

Однако в осенне-зимний период из-за обледенения проводов (так называемых гололедо-изморозевых отложений) возникают различные проблемы на ВЛЭП, к которым относятся:

- сближение проводов на достаточно близкое расстояние в результате их провисания при образовании гололеда;
- короткие замыкания, вызванные раскачиванием проводов;
- механическую перегрузку тросов и проводов, приводящую непосредственно к их обрыву;
- разрушение опор из-за обрыва проводов и тросов вызванной образованием от гололеда [1,2].

Для борьбы с ГИО была разработана система мониторинга гололедообразования (СМГ), в которую входят рассматриваемый датчик анализа состояния ВЛЭП рисунок 1.

Данная модель датчика является достаточно громоздкой, сложной в монтаже и демонтаже, к тому же ее проблематично изготовить в рамках производства [3].

В связи с этим возникла необходимость в создании нового корпуса датчика анализа состояния ВЛЭП, который представлен на рисунке 2.

Данная модель датчика реализована при помощи технологии 3D печати, проста в изготовлении, в монтаже и демонтаже, и имеет

пониженное значение массогабаритного показателя в отличии от предыдущей версии.



Рис. 1. Датчик анализа состояния ВЛЭП старая версия

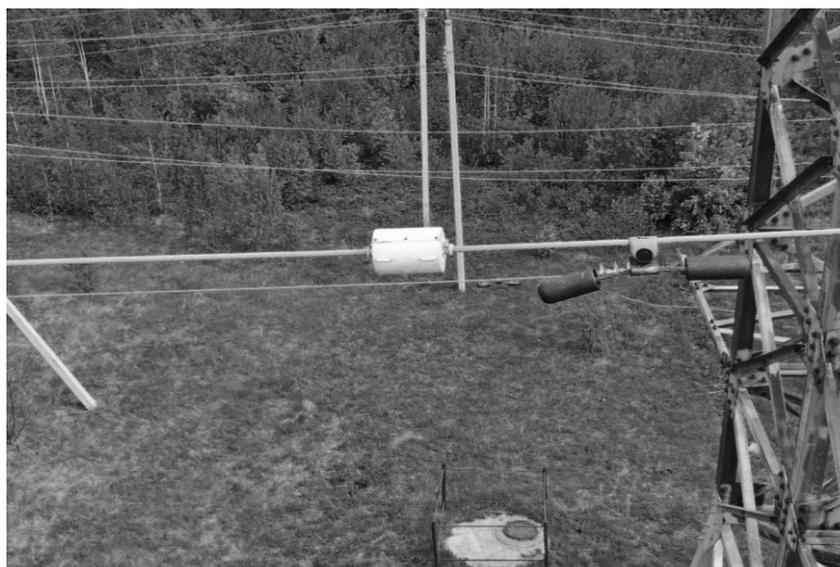


Рис. 2. Датчик анализа состояния ВЛЭП новая версия

Данный датчик содержит специализированную трубку, на которую устанавливается провод. К ней подключен датчик температуры, измеряющий температуру провода. Во внутренней части корпуса также установлен датчик температуры, который измеряет температуру уже в корпусе изделия [4].

Также в состав рассматриваемого устройства входит акселерометр, при помощи которого можно измерить угол провеса провода, что позволяет, предотвратив его возможный обрыв под действием ГИО.

Питание датчика осуществляется при помощи двух трансформаторах тока, установленных во внутренней части корпуса. В результате при прохождении большого тока плата начинается запитываться от самой линии без необходимости в дополнительных источниках энергии [5].

Итак, рассмотрев различные проблемы на ВЛЭП, можно сделать вывод о том, что применение данных датчиков является одним из возможных решений при анализе состояния линий в осенне-зимний период, для предотвращения аварийных ситуаций, которые связаны с образованием ГИО на них

Исследования выполнены в рамках программы стратегического академического лидерства «Приоритет2030»: соглашение №075–15-2021-1087 от 30.09.2021, соглашение №075–15-2021-1178 от 30.09.2021.

Список литературы

1. Ярославский Д. А., Садыков М. Ф. Разработка устройства для системы мониторинга и количественного контроля гололёдообразования на воздушных линиях электропередачи. *Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики*. 2017;19(3–4):69-79. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2017-19-3-4-69-79>

2. Большанин Г. А., Плотников М. П., Шевченко М. А. Экспериментальное определение параметров трёхпроводной ЛЭП. *Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики*. - 2019.- ;21(4):85-94. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2019-21-4-85-94>

3. Ярославский Данил Александрович, Садыков Марат Фердинантович, Конов Андрей Борисович, Иванов Дмитрий Алексеевич, Горячев Михаил Петрович, Ямбаева Татьяна Геннадьевна Методика мониторинга гололедных отложений на проводах Вл с учетом разрегулировки линейной арматуры // *Известия вузов. Проблемы энергетики*. 2017. № 5-6.

4. Международная молодежная научная конференция «Тинчуринские чтения – 2020 «Энергетика и цифровая трансформация». В 3 т. Т. 1. Электроэнергетика и электроника: матер. конф. (Казань, 28–29 апреля 2020 г.) / под общ. ред. ректора КГЭУ Э.Ю. Абдуллазянова. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2020. – 636 с.

5. Стороженко Дмитрий Юрьевич, Рыжков Александр Викторович Совершенствование методики применения устройств встроенной диагностики контактной сети // *Известия Транссиба*. 2016. № 4.

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГО – И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ И КОММУНАЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Фатхутдинов Айрат Алмазович
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия
fathutdinov000@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Гибадуллин Рамил Рифатович

Аннотация: в статье обсуждаются способы энерго- и ресурсосбережения, которые можно использовать на промышленных и коммунальных предприятиях.

Ключевые слова: энергосбережение, ресурсосбережение, эффективный способ, окружающая среда, снижение затрат, система, экологичность, экономичность.

WAYS TO INCREASE ENERGY AND RESOURCE SAVING OF INDUSTRIAL AND MUNICIPAL ENTERPRISES

Fathutdinov Airat Almazovich
KSPEU, Kazan, Russia
fathutdinov000@mail.ru

Scientific hands Ph.D., associate professor Gibadullin Ramil Rifatovich

Abstract: the article discusses energy and resource saving methods that can be used in industrial and municipal enterprises.

Keywords: energy saving, resource saving, efficient way, environment, cost reduction, system, environmental friendliness, economy.

Энерго- и ресурсосбережение являются актуальными проблемами не только для промышленных, но и для коммунальных предприятий. В связи с этим, в настоящее время правительства многих стран мира стали активно внедрять политики, направленные на снижение потребления энергии и ресурсов, а также на повышение эффективности их использования.

Существует множество способов энерго- и ресурсосбережения, которые можно использовать на промышленных и коммунальных предприятиях. Одним из таких способов является повышение эффективности работы оборудования [1-3]. Применение современных технологий и методов, способствующих уменьшению потребления энергии и ресурсов, позволяет сократить затраты на производство, повысить качество продукции и улучшить экологическую обстановку. Так наиболее эффективным способом повышения эффективности работы оборудования является его регулярное техническое обслуживание. Независимо от того, является ли оборудование новым или уже эксплуатируется длительное

время, его техническое состояние должно регулярно проверяться и необходимые ремонтные работы должны выполняться своевременно. Для выполнения данной задачи существует ряд специализированных технологических решений, одним из которых является применение так называемых умных сенсоров, которые считывают данные о состоянии оборудования и анализируют их для поиска способов повышения его эффективности. Например, умные сенсоры могут подсказать, когда необходима замена фильтра или настройка параметров работы, чтобы снизить потребление энергии.

Другим эффективным способом снижения затрат на энергию и ресурсы является оптимизация рабочих процессов. Например, на промышленных предприятиях может быть введен специальный режим работы, позволяющий снизить потребление энергии в периоды пиковой нагрузки. Коммунальные предприятия могут использовать системы управления потоком транспорта и оптимизировать маршруты сбора мусора, что снизит количество пробегов и затрат на топливо. Также можно внедрять современные технологии, такие как интернет вещей (IoT) и искусственный интеллект (AI), которые помогают автоматизировать и оптимизировать рабочие процессы на предприятии [5].

Еще одним эффективным способом является внедрение системы мониторинга и управления расходом электроэнергии, которая представляет собой комплекс программных и аппаратных средств, с помощью которых осуществляется наблюдение за потреблением электроэнергии. Такая система позволяет сократить ресурсозатраты на предприятиях, оптимизировать производственные процессы и улучшить качество эксплуатации электрических сетей [4]. Ключевым компонентом системы мониторинга и управления расходом электроэнергии является программное обеспечение, которое позволяет оперативно корректировать поток энергии, снижать затраты на энергию, предотвращать перегрузки и короткие замыкания. Внедрение системы мониторинга и управления расходом электроэнергии также способствует сокращению выбросов в атмосферу за счет меньшего потребления природных ресурсов. Это важно для защиты окружающей среды и соблюдения требований экологического законодательства.

Одним из самых больших потребителей энергии и ресурсов являются системы освещения, поэтому оптимизация системы освещения – это важный аспект, который может значительно повлиять на эффективность работы любой промышленной или коммунальной организации [3]. В первую очередь, оптимизация этой системы позволяет уменьшить

потребление энергии и, соответственно, снизить затраты на оплату электроэнергии. Избыточное освещение, мерцание света и другие проблемы, связанные с плохо настроенными системами освещения, могут привести к значительным потерям энергии, которых можно избежать при правильной оптимизации. Менее энергозатратные системы освещения, включая использование LED-ламп, сенсоров и автоматических выключателей, могут уменьшить потребление электроэнергии и помочь сохранить ценные ресурсы [6]. Также оптимизация системы освещения может улучшить условия работы и увеличить безопасность рабочей среды. Надлежащая оптимизация, включая установку аварийного освещения и маркировки, может предотвратить такие ситуации.

Также стоит отметить, что внедрение возобновляемых источников энергии - это ключевой способ не только сэкономить энергоресурсы, но и снизить нагрузки на окружающую среду. Промышленные и коммунальные предприятия, которые потребляют большие объемы энергии, должны быть особенно внимательны к этому вопросу. Традиционные источники энергии, такие как газ, нефть и уголь, сокращаются быстрее, чем ожидалось. Такие источники, как солнечная и ветровая энергия, гидроэнергия и геотермальная энергия, становятся все более популярными в мире. Преимущество возобновляемых источников энергии заключается в том, что они выигрывают в стоимости с каждым годом, а также обладают меньшим углеродным следом, что положительно влияет на окружающую среду.

В заключение, можно сказать, что энерго- и ресурсосбережение являются не только экологически правильными мерами, но и приводят к экономическим выгодам для предприятий. Использование новых технологий и методик позволяет сократить расходы на энергию и ресурсы, что в конечном итоге отразится на конкурентоспособности предприятия на рынке.

Список литературы

1. Абдуллазянов Э. Ю., Грачева Е. И., Альзаккар А., Низамиев М. Ф., Шумихина О. А., Valtchev S. Прогнозирование и анализ электропотребления и потерь электроэнергии на промышленных объектах. Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2022;24(6):3-12.

2. Гурлихина, Ю. С. Расчет и выбор элементов гибридной системы питания жилого дома / Ю. С. Гурлихина, А. Р. Денисова, В. Р. Иванова // XVI Всероссийская открытая молодежная научно-практическая

конференция «Диспетчеризация и управление в электроэнергетике», Казань, 20–21 октября 2021 года. – Казань: Общество с ограниченной ответственностью "Издательско-полиграфическая компания "Бриг", 2022. – С. 22-27. – EDN VFLZOV.

3. Денисова, А. Р. Энергосбережение в промышленных и коммунальных предприятиях: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 140610-"Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений" направления подготовки 140600-"Электротехника, электромеханика и электротехнологии" / А. Р. Денисова, Н. В. Роженцова ; А. Р. Денисова, Н. В. Роженцова ; М-во образования и науки Российской Федерации, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования "Казанский гос. энергетический ун-т". – Казань : Казанский гос. энергетический ун-т, 2010. – 247 с. – ISBN 978-5-89873-255-4. – EDN QUNFHT.

4. Рахмонов И. У. Автоматизированная система управления электропотреблением промышленных предприятий // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 4 (56). С.30-38.

5. Денисова, А. Р. Энергосберегающие технологии в системах офисного освещения / А. Р. Денисова, О. В. Исаева, Р. А. Залилова // XVI Всероссийская открытая молодежная научно-практическая конференция «Диспетчеризация и управление в электроэнергетике», Казань, 20–21 октября 2021 года. – Казань: Общество с ограниченной ответственностью "Издательско-полиграфическая компания "Бриг", 2022. – С. 32-35. – EDN GAJRJR.

6. Сумской, Н. В. Проблемы применения ресурсосберегающих технологий в жилищно-коммунальном хозяйстве / Н. В. Сумской. – Текст : непосредственный // Молодой ученый. – 2020. – № 10 (300). – С. 198-200.

УДК 621.315.3

ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ С ЦЕЛЬЮ ОЦЕНКИ ПОЖАРНЫХ РИСКОВ РАБОТЫ ОСВЕТИТЕЛЬНОЙ СЕТИ ПРИ НАРУШЕНИИ НОРМ МОНТАЖА

¹Филимонов Сергей Сергеевич, ²Николаев Кирилл Валерьевич

^{1,2}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

¹serfv43@gmail.com

Науч.рук. к.т.н. доц. Аскарлов Р.Р.

Аннотация: в данной работе представлены результаты проведённых экспериментов в рамках электротехнической экспертизы. В ходе эксперимента

изменялись температуры болтовых соединений (закрученное и ослабленное) исследуемой осветительной сети при ранее рассчитанных возможных значениях токов короткого замыкания. Представлены результаты термического воздействия тока короткого замыкания на изоляцию провода.

Ключевые слова: ток короткого замыкания, оплавление изоляции, ненормальный режим работы электроустановки, пожар.

CONDUCTING EXPERIMENTS TO ASSESS THE FIRE RISKS OF THE LIGHTING NETWORK IN VIOLATION OF INSTALLATION STANDARDS

¹Filimonov Sergey Sergeevich, ²Nikolaev Kirill Valerievich

^{1,2}FSBEI HE «KSPEU», Kazan, Russia

¹serfv43@gmail.com

Scientific adv. P.h.D. Askarov R.R.

Abstract: this paper presents the results of experiments conducted in the framework of electrical expertise. During the experiment, the temperatures of bolted connections (twisted and loosened) of the investigated lighting network were measured at previously calculated possible values of short-circuit currents. The results of the thermal effect of the short-circuit current on the insulation of the wire are presented.

Keywords: short-circuit current, insulation melting, abnormal operation of the electrical installation, fire.

В данной работе проводится этап электротехнической экспертизы, в рамках которой производится оценка степени нагрева контактного болтового соединения клеммы трансформатора 380/36 В с проводом осветительной сети. На предшествующем этапе экспертизы заключили, что на отходящих линиях трансформатора отсутствует аппарат защиты, что позволяет работать осветительной сети в режиме короткого замыкания в длительном режиме. Произвели расчёт возможных значений токов короткого замыкания. На основе полученных результатов расчётов выдвинули гипотезу о риске возгорания электроустановки в длительном ненормальном режиме работы, а именно: длительный перегрев жилы и болтового соединения клеммы трансформатора, протекающими токами короткого замыкания, вызвал высокое термическое воздействие на окружающие материалы, вследствие чего произошло возгорание этих материалов.

Для оценки пожарных рисков проводится этап проверки теоретических расчётов экспериментом. Собрана экспериментальная установка, изображённая на рисунке 1.

В экспериментах использовался источник испытательного тока, к которому подключались фрагмент провода осветительной сети, изъятый с места происшествя, клемма и обмотка трансформатора. Контроль тока

при значениях ниже 100 А производился Микротоковыми клещами-ваттметром АТК-2301, а выше 100 А – измерителем показателей качества электрической энергии Ресурс-UF2М. Температура болтового соединения измерялась Мультиметром АРРА 506В.



Рис. 1. Экспериментальная установка

По результатам расчётов максимальное возможное значение тока, протекавшего в осветительной сети 111 А. На рисунке 2 представлен результат термического воздействия на изоляцию провода в эксперименте 1.



Рис. 2. Результат эксперимента с подачей тока 111

Зафиксировано полное разрушение изоляции с накатом токоведущей жилы докрасна. В ходе эксперимента отмечено, что изоляция начала оплавляться и температура болтового соединения клеммы достигала более 677 °С.

По результатам расчётов минимальное возможное значение тока, протекавшего в осветительной сети 68 А. На рисунке 3 представлен результат термического воздействия на изоляцию провода в эксперименте 2. При протекании по проводу возможного наименьшего тока

короткого замыкания зафиксирована температура болтового соединения более 434 °С.



Рис. 3. Результат эксперимента с подачей тока 68 А

Степень пожарных рисков зависит не только от режима работы осветительной сети, но и от материалов, окружающих место повышенного нагрева. Среди окружающих материалов, пожарной экспертизой было определено, что конструкция чердачного помещения здания выполнена из деревянных досок, деревянных стропил, т.е. из горючего материала – древесины. Отметим, что древесина была обработана противопожарным составом и могла воспламениться только при длительном термическом воздействии. При длительном протекании тока короткого замыкания по жилам провода осветительной сети, выделяется теплота, которой достаточно чтобы разрушить изоляцию провода. После оплавления изоляции жила оголяется, а выделяемое тепло оказывает интенсивное термическое воздействие на окружающие материалы и на конструкцию чердачного помещения, выполненную из древесины.

По результатам оценки пожарных рисков можем заключить, что при отсутствии автоматического выключателя на отходящих линиях осветительной сети, вероятность возникновения пожара в изложенных обстоятельствах высокая.

Список литературы

1. Правила устройства электроустановок. 7-е и 6-е издания (в ред. Приказов Министерства энергетики Российской Федерации от 20 декабря 2017 года №1196 и №1197). –СПб.: Издательство ДЕАН, 2020. – 1168 с.

2. ГОСТ 28249-93 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ.

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК

Хисамеева Д. Р.
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия
2024091196@edu.tatar.ru

Аннотация: статья посвящена актуальному на сегодняшний день вопросу экономии электрической энергии. Выделены 4 основных способа энергоэффективности на примере энергоэффективности насосных установок: внедрение частотно-регулируемого привода, рациональный подбор насоса, параллельные насосные системы, подрезка рабочего колеса насоса. Рассмотрен каждый способ в отдельности. В основе всех способов заложена согласованная работа насоса и системы. В результате, выявлены преимущества и недостатки приведенных способов, а также проведен анализ необходимости использования того или иного способа в определенной ситуации.

Ключевые слова: рабочее колесо, частотно-регулируемый привод, напор, максимальная выгода, насосная установка, способ повышения энергоэффективности.

METHODS FOR INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF PUMPING INSTALLATIONS

Khisameeva D. R.
KSPEU, Kazan, Russia
2024091196@edu.tatar.ru

Abstract: the article is devoted to the current issue of saving electric energy. Four main methods of energy efficiency are identified using the example of energy efficiency of pumping units: the introduction of a frequency-controlled drive, rational selection of a pump, parallel pumping systems, cutting the pump impeller. Each method is considered separately. The basis of all methods is the coordinated operation of the pump and the system. As a result, the advantages and disadvantages of the above methods were identified, and an analysis was made of the need to use one or another method in a particular situation.

Keywords: impeller, frequency-controlled drive, pressure, maximum benefit, pumping unit, way to improve energy efficiency.

Наиболее актуальным вопросом для каждого предприятия в настоящее время является рациональное использование энергетических ресурсов, причиной этому служит постоянный рост цен на электроэнергию. Для снижения потребления энергии можно использовать менее энергозатратное оборудование. Сообщается, что на насосные установки приходится более 20 % мирового спроса на электроэнергию. Практически ни одно предприятие на сегодняшний день не может обойтись без насосного оборудования. Оно используется абсолютно везде, например, в системах отопления, водоснабжения, водоотведения и так далее [4].

Существует 4 основных способа повышения энергоэффективности насосных установок [6].

1. Внедрение частотно-регулируемого привода. Главная проблема насосных установок заключается в том, что режим их работы не соответствует режиму работы водопроводной или канализационной сети предприятия. Для увеличения расхода воды необходимо увеличить напор насосной установки, однако при увеличении объема воды напор понижается, и наоборот. По этой причине в момент уменьшения потребления воды энергия насоса используется нерационально, также происходит излишняя потеря воды. Эту проблему можно решить, изменяя частоту вращения насосов, для чего и служит ЧРП. Недостатком частотно-регулируемого привода является лишь его высокая стоимость, но за это можно не переживать, так как экономия энергии оправдывает инвестиции. Экономия энергии и воды составит 35-60% и 15%, соответственно [3, 6].

2. Рациональный подбор насоса. Основная задача заключается в выборе насоса, параметры которого будут соответствовать необходимым требованиям. Чаще всего инженеры совершают одну и ту же ошибку при выборе насоса, повышают мощность двигателя, что приводит к излишним потерям электроэнергии и изнашиванию оборудования. Выбор мощности насоса следует осуществлять в зависимости от двух характеристик: напор и производительность. Известно, что центробежные насосы, составляющие 80 % от всех применяемых насосов, часто используются с параметрами, завышенными на 30 %. В связи с этим увеличивается производительность насоса, что влечет за собой излишний расход энергии. Соответственно, подбирая насосы, нужно предварительно рассчитать приблизительную необходимую мощность, чтобы эксплуатировать технику должным образом и получить максимальную выгоду [5].

3. Параллельные насосные системы. Данный способ экономии электроэнергии заключается в параллельной работе двух или более насосов, как системы для перекачивания одной и той же жидкости. При этом количество жидкости в каждом насосе делится поровну. Поэтому для каждого значения напора расход вдвое больше, чем у одного работающего насоса. Применение данного способа необходимо в том случае, когда один насос может провести большую часть своего срока службы, работая вдали от точки максимальной эффективности. Установка второго насоса меньшего размера, рассчитанного на среднюю потребность системы, избавила бы насос большего размера от необходимости работать намного ниже его оптимальной производительности. Таким образом, достигается увеличение срока службы насосной установки, а также повышение ее энергоэффективности на 10-30 % [1, 6, 7].

4. Подрезка рабочего колеса насоса. Этот способ подразумевает механическую обработку рабочего колеса с целью уменьшения наружного

диаметра и длины лопастей. Это приводит к снижению угловой скорости рабочего колеса, что, в свою очередь, снижает энергию, передаваемую перекачиваемой жидкости. В результате расход насоса, давление и требуемая потребляемая мощность уменьшаются. Однако обрезка внешнего диаметра рабочего колеса увеличивает зазор между рабочим колесом и корпусом насоса, по этой причине создается рециркуляция внутреннего потока и снижается гидравлический КПД. Несмотря на это, уменьшение напора и скорости потока компенсируют данные потери, и по данным статистики позволяет сэкономить электрическую энергию на 20 % [2, 6].

Отметим, что существуют и другие способы повышения энергоэффективности насосных установок, но мы рассмотрели лишь самые значимые из них. Итак, самый эффективный способ – это заранее рассчитать планируемое использование мощности, чтобы рационально эксплуатировать насосную станцию и получить максимальную выгоду. Однако со временем такая насосная станция перестанет быть актуальной. Поэтому более верным решением кажется внедрение частотно-регулируемого привода, благодаря которому станет возможным проектирование насосной установки с запасом на будущее и при этом можно будет не переживать из-за избыточного потребления мощности. Говоря о параллельных насосных системах, их можно брать во внимание, когда требуются большие мощности, однако это не всегда является рациональным решением повышения энергоэффективности насосных установок. Если рассматривать подрезку колеса, как способ энергоэффективности, то его можно применять, когда за малый промежуток времени необходимо достичь определенных параметров насоса и использовать насос в работе.

Список литературы

1. Бамбетова, К. В. Расчет совместной работы насосов при параллельном их подключении / К. В. Бамбетова // Вопросы науки и образования. – 2021. – № 22(147). – С. 60-64.
2. Елин, А. В. Влияние глубокой подрезки рабочего колеса по наружному диаметру на характеристики центробежного насоса / А. В. Елин // Hydraulics. – 2020. – № 10. – С. 27-41.
3. Иванова В.Р., Киселев И.Н. Частотно-регулируемый электропривод для энергосбережения и оптимизации технологических процессов в электротехнических комплексах // Известия высших

учебных заведений. Проблемы энергетики. 2019. Т. 21. № 5. С. 59-70.
doi:10.30724/1998-9903-2019-21-5-59-70.

4. Корчевская, Ю. В. Модернизация насосной станции технического водоснабжения на примере АО "Омский каучук" / Ю. В. Корчевская, И. А. Троценко, Э. Е. Назаркин // Природообустройство. – 2021. – № 5. – С. 111-116. – doi: 10.26897/1997-6011-2021-5-111-116.

5. Выбор насоса для экономичной эксплуатации // Гидромашина
URL: <https://gidromashina.ru/articles/vyibor-nasosa-dlya-ekonomichnoj-ekspluataczii.html> (дата обращения: 03.05.2023).

6. Пути повышения энергоэффективности насосных систем // Агроводком URL: <http://www.agrovodcom.ru/infos/energojeffektivnost-nasosov.php> (дата обращения: 03.05.2023).

7. Расчет надежности блоков станции управления штанговых скважинных насосных установок / И. В. Ившин, А. Р. Сафин, Р. Р. Гибадуллин [и др.] // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2019. – Т. 11, № 4(44). – С. 3-12.

УДК: 621.438.016

ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ И СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЛЯ ИХ МОДЕЛИРОВАНИЯ

¹Юдина Аделя Егоровна, ²Максимов Виктор Владимирович
^{1,2}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия
¹adelya.yudina@inbox.ru

Аннотация: в данной работе рассмотрена система автоматизированного проектирования LabVIEW как программное обеспечение для моделирования переходных процессов и других манипуляций с измерительным оборудованием и управляющей аппаратурой. Выделены особенности моделирования в системах автоматизированного проектирования, а также описаны некоторые тонкости работы электрических сетей.

Ключевые слова: система автоматизированного проектирования, LabVIEW, моделирование процессов, электрические сети.

TRANSIENTS IN ELECTRICAL NETWORKS AND COMPUTER- AIDED DESIGN SYSTEMS FOR THEIR MODELING

¹Yudina Adela Egorovna, ²Maximov Viktor Vladimirovich
^{1,2}FSBEI HE «KSPEU», Kazan, Russia
¹adelya.yudina@inbox.ru

Abstract: in this paper, the LabVIEW computer-aided design system is considered as a software for modeling transients and other manipulations with measuring equipment and

control equipment. The features of modeling in computer-aided design systems are highlighted, and some subtleties of the operation of electrical networks are described.

Keywords: computer-aided design system, LabVIEW, process modeling, electrical networks.

В настоящий момент существуют определённые сложности в проведении реальных замеров, исследований и диагностики на действующих энергообъектах в связи с наличием опасности для человека.

Именно поэтому в образовательных и реальных целях рекомендуется применять системы автоматизированного проектирования (САПР). Одним из самых распространённых программных комплексов является графическая среда LabVIEW. Она позволяет использовать виртуальные программы сбора и обработки данных, а также предоставляет возможность управления периферийными устройствами. Достоинством данного продукта можно назвать простоту использования, т.к. данная САПР имеет структуру функциональных блок-диаграмм [2-3]. Исходя из этого можно выделить ещё одно достоинство данной САПР – отсутствие программного кода, что облегчает пользователю управлять и определять процессы на объекте исследования. Данный программный продукт позволяет использовать симуляцию реальных приборов, которые возможно объединять в связку виртуальных приборов или функций, выраженных блок-схемами.

Имитационное моделирование в случае линий электропередач реализует модель алгоритма функционирования электрической системы во времени. Следует отметить следующие преимущества имитационного моделирования в САПР: решение наиболее сложных задач по сравнению с аналитическими моделями; решение задач эффективности различных алгоритмов управления энергетической системой; отслеживание влияния изменения различных параметров энергосистемы; оценка эффективности системы с заданными характеристиками при ограничениях, которые являются оптимальными по критериям эффективности [1,4-5]. В ходе исследования механизмов графической среды LabVIEW авторами произведено моделирование простейшей электрической сети с имитацией возникновения короткого замыкания на участке сети с небольшим промежутком времени. При помощи использования САПР можно оценивать предполагаемую нагрузку на открытые распределительные устройства и осуществлять подбор оборудования для подстанций и других объектов электроэнергетики. В Matlab Simulink тоже можно моделировать переходные процессы, которые представлены на рисунке 1. Справа представлены токи и напряжение на высокой стороне, а слева

представлены токи и напряжение на низкой стороне. При выключении выключателя наблюдается снятие напряжения, но через определённое время срабатывает автоматический ввод резерва и питание восстанавливается.

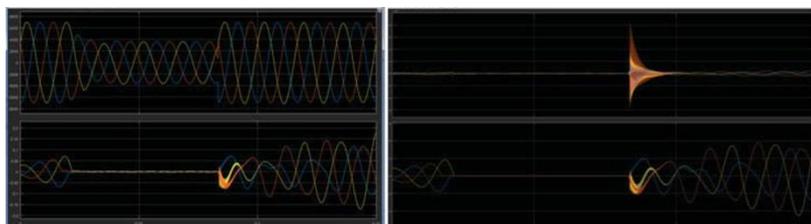


Рис.1. Моделирование в Matlab Simulink

Такие модели позволяют учитывать такие факторы, как: дискретные и непрерывные элементы; любые нелинейные характеристики элементов электроэнергетической системы; многочисленные случайные воздействия на сеть (Рис.2). Авторами отмечается, что во время короткого замыкания на одной фазе наблюдается сдвиг синусоиды, а другая отключается, так как повреждение неустойчивое, то синусоида фазы вскоре вернётся к исходному состоянию.

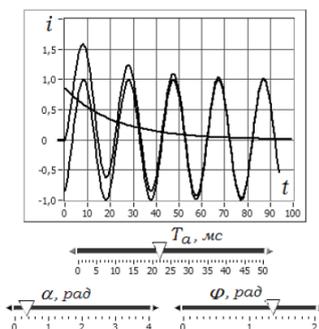


Рис. 2. Модель составляющих тока короткого замыкания в LabVIEW

Подводя итог, можно сказать, что система автоматизированного проектирования LabVIEW позволяет создавать виртуальное рабочее место для моделирования различных процессов электрических сетей и отслеживать их поведение исходя из заданных параметров и наложенных ограничений пользователем.

Список литературы

1. Оборудование для создания цифровой подстанции городских электрических сетей в рамках Smart Grid / Р. Ф. Сайфутдинов,

Р. Г. Вильданов, Е. К. Бузаева, Е. Д. Широбоков // Наука и бизнес: пути развития. – 2018. – № 9(87). – С. 29-32. – EDN VLBOUS.

2. Чукреев, Ю. Я. Обеспечение надежности при управлении развитием электроэнергетических систем для условий реформирования электроэнергетики / Ю. Я. Чукреев, М. Ю. Чукреев // Известия Российской академии наук. Энергетика. – 2008. – № 4. – С. 39-50. – EDN JJSNAP.

3. Алгоритмы и вероятностные модели параметров функционирования внутризаводского электроснабжения / Е. И. Грачева, О. В. Наумов, А. Н. Горлов, З. М. Шакурова // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2021. – Т. 23. – № 1. – С. 93-104. – DOI 10.30724/1998-9903-2021-23-1-93-104. – EDN DSIMFU.

4. Обратимая электрическая машина возвратно-поступательного действия в модульном исполнении / Р. Р. Гибадуллин, И. В. Ившин, В. В. Максимов, А. М. Копылов // Электрика. – 2015. – № 8. – С. 2-5. – EDN UDYPLV.

5. Разработка электрической машины возвратнопоступательного действия модульного типа / А. М. Копылов, А. Р. Сафин, Р. Р. Гибадуллин [и др.] // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2016. – № 9-10. – С. 126-132. – EDN VYYVVU.

Секция 3. ЭНЕРГОСИЛОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, ЭЛЕКТРОПРИВОД И АВТОМАИЗАЦИЯ

УДК 621.316

АКТУАЛЬНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ

Алексеев Филипп Владимирович
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
lo117031981@bk.ru

Аннотация: в статье рассматривается актуальность применения в энергосистеме цифровых подстанций, способных сократить капитальные затраты на обслуживание оборудования и повысить надежность работы подстанций. Рассмотрено понятие «цифровая подстанция».

Ключевые слова: РЗА, стандарт МЭК 61850, АСУ ТП, цифровая подстанция, протокол IEC 61850-9.2, микросхемы.

THE RELEVANCE OF THE INTRODUCTION AND APPLICATION OF DIGITAL SUBSTATIONS

Alekseev Philip Vladimirovich
FSBEI HE KSPEU, Kazan
lo117031981@bk.ru

Abstract: the article discusses the relevance of the use of digital substations in the power system that can reduce capital costs for equipment maintenance and improve the reliability of substations. The concept of "digital substation" is considered.

Keywords: RZA, IEC 61850 standard, automated control system, digital substation, IEC 61850-9.2 protocol, microchips.

Невозможно представить себе мир без электричества. Согласно статистике, за последнее десятилетие мощность энергосистем увеличилась вдвое. По мере роста потребления растет и нагрузка на подстанции. Одной из самых больших проблем электроснабжения в стране является формирование расчетных мощностей и назревший износ электрического оборудования.

Безусловно, энергия, вырабатываемая на электростанциях, должна доставляться потребителям. Соответственно, рядом с электростанцией строится собственная подстанция, которая повысит напряжение вырабатываемой энергии для снижения транспортных потерь.

В состав оборудования электрической подстанции входят: линии электропередач, трансформаторы, выключатели и распределительные

устройства. Их задача – принимать, преобразовывать и распределять электроэнергию для нужд потребителей. Помимо этого, в эксплуатацию входит вторичное оборудование, необходимое для регулирования процессами на подстанции. Вторичные устройства – это набор датчиков и интеллектуальных устройств, соединенных в единую систему. Их используют для управления подстанцией и незамедлительного реагирования повреждения и отклонения в работе подстанции. От правильности функционирования этих систем зависит стабильность работы подстанции и надежность электроснабжения потребителей. Следует помнить, что большое количество вторичного оборудования влечет за собой высокие затраты при строительстве и модернизации подстанции. Экономическая сторона этого вопроса является одним из ключевых вопросов в развитии энергетической системы современности.

Как снизить затраты, сохранив стабильность электроснабжения потребителей без ущерба надежности работы подстанций? Поможет продвижение научных исследований и разработка новых устройств с передовым программным обеспечением. Каждое оборудование со временем совершенствуется, становясь все более компактным и эффективным.

В последнее время рабочие процессы в энергетической сфере тесно связаны с термином «цифровизация», поскольку многие технологические решения являются старомодными и не отвечают новым требованиям.

Новые технологии в создании современных систем управления перешли от уровня научного тестирования и исследований к практическому использованию. Применяются цифровые устройства, предназначенные для автоматизации и защиты. Новые международные стандарты и развитие современных технологий открывают новые возможности для инновационных подходов к решению проблем, связанных с управлением энергетическими ресурсами. Возможно создание подстанции нового типа – цифровой подстанции (ЦПС). Она оснащена набором цифровых ограничителей, необходимых для выполнения функций релейной и автоматической защиты, а также автоматизированной системой управления технологическим процессом (АСУ ТП), возможностью регистрации аварийной ситуации, контроля и учета качества электроэнергии. Все оборудование взаимосвязано, связь осуществляется на главном сервере объекта по последовательным каналам с использованием определенных протоколов [1,2].

Одним из ключевых элементов ЦПС является цифровой трансформатор, интерфейс которого реализован в соответствии с протоколом IEC 61850-9.2.

К особенностям ЦПС относятся использование локальных сетей для коммуникаций, наличие интеллектуальных микропроцессорных устройств, интегрированных с основным оборудованием, а также автоматизация операционных процессов и управления подстанциями.

Регулирование ЦПС основано на стандартах серии МЭК 61850. Операционная система используется в качестве инструмента мониторинга процессора. Это означает, что все процессы обмена данными между частями аппаратного комплекса программирования подстанции выполняются в цифровом формате.

Главной особенностью стандарта МЭК 61850, помимо передачи данных между отдельными устройствами, является то, что регламентировано формальное описание схемы подстанции, автоматизации, измерения и установки устройства. Планируется использовать новые цифровые измерительные приборы для замены традиционных аналоговых измерителей – трансформаторов напряжения и трансформаторов тока. Информационные технологии могут быть использованы для перехода к автоматизированному проектированию систем ЦПС, управляемых цифровыми системами [3,4].

Переход на цифровые технологии позволил добиться значительного прогресса в развитии энергетической системы. Появились технологии, позволяющие передавать сигналы от первичного оборудования по цифровым каналам связи в систему управления, что в конечном итоге сокращает количество медных кабельных соединений, количество устройств. Это приводит к возможности более компактного их расположения [5].

Основными преимуществами внедрения ЦПС являются:

1) Сокращение времени, требуемого для проектирования схем и принятия практических решений.

2) Улучшение качества измерений.

3) Переход на режим онлайн оценки оборудования, что приведет к снижению затрат на техническое обслуживание.

4) Создание единой платформы, объединяющей все входящие сигналы. Это даст возможность подключаться к удаленной сети с помощью систем видеонаблюдения. Регулирование будет происходить быстро и безопасно, время технического обслуживания значительно сократится.

5) Повышение надежности микропроцессорного оборудования.

6) Сокращение эксплуатационных расходов и капитальных затрат на техническое обслуживание оборудования.

Наконец, следует добавить, что замена традиционных подстанций цифровыми – это не просто прихоть, а необходимость, поскольку это упрощает работу, снижает затраты, сокращает время обработки данных и уменьшает количество аварий. Внедрение цифровых подстанций приведет к трансформации всей электроэнергетической отрасли, что откроет новые перспективы развития и роста общества в целом.

Список литературы

1. Дроздова Т. Н., Елов Н. Е., Морозов А. П. «Цифровая подстанция»: Практический опыт. Первое в России внедрение технологии на действующем объекте генерации // Энергия единой сети. 2016. № 3. С. 54–61.
2. Дубров А.А., Мурашко А.П. Цифровая подстанция как средство повышения надежности электроснабжения. – 2021
3. Евдокимов Д.М., Белов Я.Н. Реализация концепции цифровая подстанция на примере типовой подстанции 110/35/10 кВ // Электроэнергетика.- 2022. – С.108-109
4. Моделирование систем электроснабжения для улучшения качества электроэнергии отдельной территории / М. Ф. Агзамов, М. Н. Симонова, Э. Ф. Хакимзянов [и др.] // Тинчуринские чтения – 2021 «Энергетика и цифровая трансформация» : Материалы Международной молодежной научной конференции. В 3 томах, Казань, 28–30 апреля 2021 года. Том 1. – Казань: ООО ПК «Астор и Я», 2021. – С. 77-82.
5. Семин, Д. И. Разработка цифрового двойника промышленного предприятия на основе программного продукта «Anylogic» / Д. И. Семин, Р. Р. Гибадуллин // XXV Всероссийский аспирантско-магистерский научный семинар, посвященный Дню энергетика : Материалы конференции. В 3-х томах, Казань, 07–08 декабря 2021 года / Под общей редакцией Э. Ю. Абдуллазянова. Том 1. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. – С. 136-138.

УДК 621.311

ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТЯГИ ДЛЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Арманшин Руслан Фирдависович
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
mega.armanshin@mail.ru

Аннотация: в данной статье рассматривается важность эффективного управления энергопотреблением для оптимизации систем электрической тяги на железнодорожном

транспорте. В нем подчеркиваются преимущества интеллектуальных методов управления энергопотреблением, таких как рекуперативное торможение, системы накопления энергии, динамическое распределение мощности, высокоэффективные тяговые двигатели, силовая электроника и мониторинг состояния.

Ключевые слова: эффективное управление энергопотреблением, интеллектуальные методы управления энергопотреблением, рекуперативное торможение, системы накопления энергии, динамическое распределение мощности, высокоэффективные тяговые двигатели, силовая электроника, мониторинг технического состояния.

OPTIMIZATION OF ELECTRIC TRACTION SYSTEMS FOR RAILWAY TRANSPORT

Armanshin Ruslan Firdavisovich
FSBEI HE «KSPEU», Kazan
mega.armanshin@mail.ru

Abstract: this article discusses the importance of efficient energy management for optimizing electric traction systems in railway transport. It highlights the advantages of intelligent energy management methods such as regenerative braking, energy storage systems, dynamic power distribution, high-efficiency traction motors, power electronics and condition monitoring.

Keywords: efficient energy management, intelligent energy management techniques, regenerative braking, energy storage systems, dynamic power distribution, highly efficient traction motors, power electronics, technical condition monitoring.

Эффективное управление энергопотреблением имеет решающее значение для оптимизации систем электрической тяги. Внедрение интеллектуальных методов управления энергопотреблением может помочь свести к минимуму потребление энергии, снизить затраты и повысить общую эффективность системы. Такие методы, как рекуперативное торможение, системы накопления энергии и динамическое распределение мощности, могут быть использованы для улавливания и повторного использования энергии во время движения поездов, что приводит к значительной экономии энергии [1].

Рекуперативное торможение – это метод, который позволяет восстанавливать и повторно использовать электрическую энергию, вырабатываемую в процессе торможения. Когда поезд замедляется, система электрической тяги может преобразовывать кинетическую энергию движущегося поезда обратно в электрическую энергию, которая может накапливаться или подаваться обратно в электросеть. За счет внедрения систем рекуперативного торможения можно добиться значительной экономии энергии, снизив энергопотребление и сведя к минимуму износ традиционных тормозных систем на основе трения.

Системы накопления энергии играют жизненно важную роль в оптимизации систем электрической тяги. Они позволяют улавливать

и накапливать избыточную электрическую энергию, вырабатываемую в периоды низкого спроса или рекуперативного торможения [2]. Эта накопленная энергия может быть использована в периоды пикового спроса или для ускорения, снижая зависимость от внешних источников питания и повышая эффективность системы. В зависимости от конкретных требований и эксплуатационных характеристик могут использоваться различные типы технологий накопления энергии, включая аккумуляторы, суперконденсаторы и маховичные системы.

Динамическое распределение мощности относится к интеллектуальному распределению электроэнергии внутри тяговой системы для удовлетворения мгновенного спроса и оптимизации энергоэффективности [3]. Благодаря постоянному мониторингу и анализу потребляемой мощности система может динамически распределять мощность между несколькими тяговыми агрегатами или поездами. Такой подход гарантирует эффективное распределение электроэнергии с учетом таких факторов, как скорость поезда, уклон, пассажиропоток и доступность накопителей энергии. Динамическое распределение мощности помогает предотвратить перегрузку, обеспечивает оптимальное использование энергии и повышает общую производительность системы электрической тяги.

Высокоэффективные тяговые двигатели являются основным компонентом систем электрической тяги. Эти двигатели преобразуют электрическую энергию в механическую для приведения поезда в движение. Использование передовых двигательных технологий, таких как синхронные двигатели с постоянными магнитами (PMSM) или двигатели с реактивным сопротивлением (SRMS), может значительно повысить КПД двигателя, снизить потери энергии и повысить общую производительность системы [4]. Кроме того, использование легких материалов и передовых технологий производства еще больше повышает эффективность и надежность тяговых двигателей.

Силовая электроника играет решающую роль в системах электрической тяги, эффективно преобразуя электрическую энергию и управляя ею. Эти системы включают в себя различные устройства, такие как инверторы, преобразователи и выпрямители, которые управляют потоком мощности между тяговыми двигателями и источником питания. Передовые технологии силовой электроники, такие как устройства из карбида кремния (SiC) или нитрида галлия (GaN), обеспечивают более высокую скорость переключения, меньшие потери и улучшенные тепловые характеристики, что приводит к повышению эффективности преобразования мощности и снижению энергопотребления [5].

Мониторинг технического состояния играет жизненно важную роль в оптимизации работы систем электрической тяги. Она включает в себя непрерывный мониторинг и анализ различных параметров, таких как температура, вибрация, ток и напряжение, для оценки исправности и производительности критически важных компонентов. Передовые сенсорные технологии, такие как датчики температуры, акселерометры и трансформаторы тока, используются для сбора данных в режиме реального времени из различных частей тяговой системы [6]. Затем эти данные анализируются с использованием сложных алгоритмов и методов для обнаружения аномалий, диагностики неисправностей и прогнозирования потенциальных отказов. Мониторинг состояния позволяет бригадам технического обслуживания внедрять стратегии профилактического обслуживания, основанные на фактическом состоянии тяговой системы, тем самым сводя к минимуму риск неожиданных отказов и оптимизируя графики технического обслуживания.

В заключение оптимизация систем электрической тяги на железнодорожном транспорте требует целостного и всестороннего подхода, который включает в себя следующие элементы: эффективное управление энергопотреблением, передовые двигательные технологии, оптимальные стратегии эксплуатации, эффективные методы технического обслуживания и интеллектуальный анализ данных. Внедрение и применение данных стратегий и подходов позволяют добиться существенного повышения производительности, экономичности и экологической устойчивости систем электрической тяги. Данное исследование предоставляет ценную информацию и рекомендации заинтересованным сторонам в железнодорожной отрасли с целью оптимизации их собственных систем электрической тяги, что в итоге способствует развитию более устойчивых и эффективных железнодорожных транспортных сетей.

Список литературы

1. Smith, J. Efficient energy management techniques for optimizing electric traction systems. *Journal of Sustainable Transportation*, 35(2), 2020, pp. 123-145.
2. Johnson, A., & Brown, E. Regenerative braking: A method for energy recovery in electric traction systems. *Proceedings of the International Conference on Sustainable Rail Transport*, 2019, pp. 78-92.
3. Anderson, L., et al. Energy storage systems for improving the efficiency of electric traction. *Energy Efficiency*, 42(3), 2019, pp. 210-228.

4. Gonzalez, M., et al. Dynamic power distribution strategies for electric traction systems. IEEE Transactions on Power Systems, 28(4), 2021, pp. 567-582.

5. Brown, C., et al. Technical condition monitoring for optimizing electric traction systems. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 42(5), 2019, pp. 789-805.

6. Разработка метода проектирования линейных электрических машин возвратно-поступательного действия на основе топологической оптимизации / А. Р. Сафин, Р. Р. Хуснутдинов, А. М. Копылов [и др.] // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2017. – № 5. – С. 34-39. – EDN ZNEQAB.

УДК 621.311

РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ДЛЯ БЫТОВОЙ ТЕХНИКИ

Арманшин Руслан Фирдависович
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
mega.armanshin@mail.ru

Аннотация: в этом тексте подчеркивается значительная роль передовых материалов, алгоритмов управления и силовой электроники в повышении производительности и КПД электроприводов. В нем подчеркиваются преимущества, получаемые от интеграции этих элементов, включая снижение энергопотребления, повышение операционной эффективности и повышение общей производительности системы.

Ключевые слова: передовые материалы, алгоритмы управления, силовая электроника, электроприводы, энергопотребление, эффективность эксплуатации, производительность системы.

DEVELOPMENT OF ENERGY-EFFICIENT ELECTRIC DRIVES FOR HOUSEHOLD APPLIANCES

Armanshin Ruslan Firdavisovich
FSBEI HE «KSPEU», Kazan
mega.armanshin@mail.ru

Abstract: this text highlights the significant role of advanced materials, control algorithms and power electronics in improving the performance and efficiency of electric drives. It highlights the benefits derived from the integration of these elements, including reduced power consumption, improved operational efficiency, and improved overall system performance.

Keywords: advanced materials, control algorithms, power electronics, electric drives, efficiency, power consumption, operational efficiency, system performance.

Передовые материалы, алгоритмы управления и силовая электроника играют решающую роль в повышении производительности и КПД электроприводов. Включив эти элементы, можно добиться значительных улучшений с точки зрения энергопотребления, операционной эффективности и общей производительности системы.

Использование современных материалов в электроприводах может привести к повышению производительности и экономичности. Например, использование высокоэффективных магнитов, таких как магниты на основе неодима, в электродвигателях может повысить удельную мощность и КПД двигателя. Эти магниты обеспечивают более высокую плотность магнитного потока, что приводит к повышению крутящего момента и снижению потерь энергии. Кроме того, применение легких и высокопрочных материалов в конструкции компонентов двигателя позволяет снизить общий вес приводной системы, что приводит к повышению энергоэффективности и снижению энергопотребления [1].

Сложные алгоритмы управления играют решающую роль в оптимизации работы электроприводов. Эти алгоритмы управляют взаимодействием между различными компонентами приводной системы, позволяя точно регулировать крутящий момент, скорость и выходную мощность. Методы управления, основанные на моделях, такие как полевое управление (FOC), широко используются для повышения эффективности двигателя. Алгоритмы FOC точно согласовывают магнитное поле, создаваемое двигателем, с положением ротора, что приводит к минимизации потерь энергии и повышению общей эффективности. Кроме того, усовершенствованные стратегии управления, такие как прогнозирующее управление или адаптивное управление, позволяют динамически регулировать параметры приводной системы для оптимизации энергопотребления в зависимости от условий эксплуатации в режиме реального времени.

Технологии силовой электроники играют важную роль в электроприводах, поскольку они обеспечивают эффективное преобразование, контроль и рациональное использование электроэнергии. Усовершенствованные силовые электронные устройства, такие как биполярные транзисторы с изолированным затвором (IGBT), устройства из карбида кремния (SiC) или нитрида галлия (GaN), обеспечивают превосходную производительность по сравнению с традиционными силовыми устройствами [2]. Эти устройства обладают меньшими потерями при переключении, более высокими рабочими частотами и улучшенными тепловыми характеристиками, что приводит к повышению эффективности

преобразования мощности и снижению энергопотребления. Кроме того, для достижения точного контроля потока мощности и оптимизации использования энергии используются передовые методы модуляции, такие как широтно-импульсная модуляция (ШИМ) [3].

Интегрируя передовые материалы, алгоритмы управления и силовую электронику в электроприводы, можно добиться ряда преимуществ.

Использование передовых материалов и алгоритмов управления позволяет электроприводам работать с более высокой эффективностью. Снижение потерь энергии, оптимизированные стратегии управления и повышенная эффективность преобразования энергии способствуют общей экономии энергии [4].

Усовершенствованные материалы и алгоритмы управления способствуют повышению крутящего момента, регулированию скорости и быстродействию системы. Это приводит к улучшенным эксплуатационным характеристикам, включая лучшее ускорение, замедление и динамическую реакцию, что приводит к превосходной общей производительности привода [5].

Применение передовых материалов, таких как высокоэффективные магниты, и оптимизированных алгоритмов управления позволяет повысить удельную мощность электроприводов. Это означает, что меньшие по размеру и более легкие приводные системы могут обеспечивать большую мощность, обеспечивая компактные и эффективные конструкции.

Сочетание передовых материалов, алгоритмов управления и силовой электроники позволяет электроприводам работать с пониженным энергопотреблением [6]. Это достигается за счет минимизации потерь энергии, оптимизации энергопотребления и внедрения энергосберегающих стратегий управления.

В заключение следует отметить, что интеграция передовых материалов, алгоритмов управления и силовой электроники обладает огромным потенциалом для повышения производительности и КПД электроприводов. Включив эти элементы, можно добиться значительных улучшений с точки зрения энергопотребления, операционной эффективности и общей производительности системы.

Использование передовых материалов, таких как высокоэффективные магниты и легкие компоненты, способствует повышению производительности и экономичности электроприводов. Эти материалы обеспечивают более высокий крутящий момент, снижают потери энергии и улучшают преобразование энергии, что приводит к повышению общей производительности. Интеграция сложных алгоритмов управления,

включая методы управления на основе моделей и передовые стратегии, позволяет точно регулировать крутящий момент, скорость и выходную мощность, дополнительно оптимизируя энергопотребление в зависимости от условий эксплуатации в режиме реального времени.

Технологии силовой электроники, включая передовые силовые электронные устройства и методы модуляции, способствуют эффективному преобразованию, контролю и рациональному использованию электроэнергии. Эти технологии обеспечивают превосходные эксплуатационные характеристики, такие как меньшие потери при переключении, более высокие рабочие частоты и улучшенное управление температурой, что приводит к повышению эффективности преобразования энергии и снижению энергопотребления.

Интегрируя передовые материалы, алгоритмы управления и силовую электронику в электроприводы, можно реализовать многочисленные преимущества. К ним относятся более высокая эффективность, улучшенная производительность, увеличенная удельная мощность и сниженное энергопотребление. Общим результатом является более устойчивая и энергоэффективная работа электроприводов в различных областях применения, способствующая разработке более экологичных и эффективных технологий для бытовой техники и за ее пределами. Будущие исследования и разработки в этих областях будут по-прежнему способствовать инновациям и дальнейшему совершенствованию энергоэффективных электроприводов.

Список литературы

1. Williams, E., & Brown, F. (2019). Integrated design of advanced materials, control algorithms, and power electronics for electric drives. *Electric Power Systems Research*, 175, 106246.

2. Thompson, D. (2020). Power electronics technologies for efficient electric drives. In *Proceedings of the IEEE International Power Electronics Conference (IPEC)* (pp. 78-85). IEEE.

3. Rodriguez, M., et al. (2022). High-performance magnets for improving efficiency in electric drives. *Materials Science and Engineering*, 30(4), 210-225.

4. Chen, L., & Wang, S. (2021). Advanced control strategies for energy optimization in electric drives. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 68(3), 145-162.

5. Анализ развития электроприводов для станков-качалок нефти по результатам патентного поиска / И. В. Ившин, А. Р. Сафин, Р. Р. Гибадул-

лин [и др.] // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2019. – Т. 21, № 5. – С. 3-13. – DOI 10.30724/1998-9903-2019-21-5-3-13. – EDN FEFHFF.

6. Park, J., et al. (2020). Power electronic devices for enhanced power conversion in electric drives. Journal of Power Electronics, 15(2), 89-104.

УДК 621.311

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ СИСТЕМ ОСВЕЩЕНИЯ

¹Гадельшина Вилена Радиковна, ²Денисова Алина Ренатовна
^{1,2}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
¹vilena.gadelshina.00@mail.ru, ²denisova_ar@mail.ru

Аннотация: в статье рассмотрены тенденции развития автоматизации систем освещения. С развитием цифровых технологий появилась возможность строить схемы, обеспечивающие большую управляемость осветительных приборов для экономии энергии, повышения комфорта и обеспечения безопасности жизни людей. Современная компонентная база и сетевые решения позволяют сделать шаг вперед в расширении области автоматизации систем освещения, что определило появление концепции киберфизических систем.

Ключевые слова: автоматизированные системы освещения, энергоэффективность, цифровые технологии интеллектуальное освещение.

TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF AUTOMATION OF LIGHTING SYSTEMS

¹Gadelshina Vilena Radikovna, ²Denisova Alina Renatovna
^{1,2}FSBEI HE KSPEU, Kazan, Russia
¹vilena.gadelshina.00@mail.ru, ²denisova_ar@mail.ru

Abstract: the article considers tendencies of development of automation of lighting systems. With the development of digital technology, it became possible to construct circuits that provide greater controllability of lighting devices to save energy, improve comfort and ensure the safety of people's lives. Modern component base and network solutions allow to make a step forward in the field of automation of lighting systems, which determined the emergence of the concept of cyberphysical systems.

Key words: automated lighting systems, energy efficiency, digital technologies, intelligent lighting.

Проблему энергоэффективности в системе освещения в наше время встает достаточно остро и её не решить лишь применением энергосберегающих ламп [1]. Важно совместное внедрение в систему освещения энергоэффективных технологий. Исследование систем с аналоговым

управлением освещения показало, что даже самый простенький вариант автоматизации позволяет ощутимо сократить потребление электроэнергии. Инновационные технологии, обладая дополнительными возможностями и имея ряд важных преимуществ, позволяют экономить больше.

На протяжении многих лет системы управления освещением были аналоговыми, строились все по классической схеме, отличаясь лишь какими-то незначительными деталями. Ключевой элемент-контроллер, с подключенными к нему датчиками и исполнительными устройствами. Монтаж, ввод в эксплуатацию и настройка таких систем усложняется, если еще предполагается подключение нескольких контроллеров одновременно.

С развитием цифровых технологий появилась возможность строить схемы, обеспечивающие большую управляемость осветительных приборов для экономии энергии, повышения комфорта и обеспечения безопасности жизни людей.

Несмотря на то, что некоторый период времени диммер – это самый простой и распространенный способ управления освещением, данное устройство имеет ряд минусов [2]:

- невысокая эффективность;
- искажается синусоидальная форма регулируемого напряжения;
- создаются помехи, вплоть до радиочастотных;
- устройства как правило используются для диммирования света на территории одной комнаты, когда и диммер, и управляемый им светильник установлены в одном помещении.

Как только появилась возможность питания конечных устройств при помощи кабелей «витая пара», значительно изменился подход к проектированию и строительству сетей интеллектуальных зданий.

С использованием пакетной технологии компьютерных сетей Ethernet стала возможной реализация этих проектов. Технологические стандарты определяют проводку и электрический сигнал, формат пакета и протоколы управления доступом к среде на канальном уровне модели OSI.

Склонность к совершенствованию концепций системы освещения привела к применению технологии PoE, образованной совместно с применением Ethernet. Эти понятия включают в себя несколько частей:

- сетевая инфраструктура, собранная с помощью высокопроизводительного кабеля связи «витая пара», состоящего из одной или нескольких пар изолированных и витых жил, покрытых оболочкой;
- выключатель;
- управление освещением;
- контроллеры;

- датчики;
- современное программное обеспечение, позволяющее обмениваться данными и координировать работу осветительных приборов и других компонентов системы по протоколу маршрутизируемого сетевого уровня IP [3,4].

Рынок систем автоматизации переходит на решения нового поколения, в которых широко используются принципы Интернета вещей (Internet of Things – IoT) и Киберфизических систем (CPS или Cyber-Physical Systems – CPS). Это стало возможным благодаря наличию эффективных и относительно дешевых микроконтроллеров, трансиверов для проводных и беспроводных интерфейсов, внедрению энерго-сберегающих стандартов беспроводной связи (таких как LoRaWAN, NB-IoT), и прежде всего благодаря пониманию что значит применять новые правила, открывается даже в тех отраслях, где системы автоматизации используются давно.

На данный момент времени один из наиболее перспективных путей развития – это Интернет вещей (Internet of things, IOT). Дистанционное управление системой освещения запрашивает опции адресации, а так же параметры системы. IOT даст возможность довести данный процесс до автоматизации, при этом данные с устройств должны передаваться в облачные хранилища, где они как правило концентрируются с целью дальнейшей обработки и рассмотрения совместно с поддержкой новейших заключений в Big Data. Вместе с поддержкой современных алгоритмов возможно привести эффективность концепций вплоть до невообразимых высот.

Термин «Интернет вещей» относится к концепции, согласно которой не только люди, но и различные технические устройства имеют возможность обмениваться данными в одной среде для решения широкого круга задач. В то же время эта система связи обладает свойствами известного Интернета: она работает по известным стандартам (как правило, общепринятым интернет-протоколам), и к ней могут свободно подключаться новые устройства. Следует отметить, что обычные сети датчиков и контроллеров могут быть включены в IoT как отдельные сегменты. Обладая рядом преимуществ, такой подход усугубляет проблемы интероперабельности (совместимости форматов данных и протоколов) и информационной безопасности.

Понятие «киберфизические системы» в широком смысле относится к системам автоматизации нового поколения. В КФС широко используются принципы глубокой интеграции компьютерной системы и физического объекта управления на разных уровнях: алгоритмы

автоматического управления, шкала времени, способы взаимодействия, проектирование. С учетом взаимного влияния свойств компонентов информационной технологии и физических параметров объекта управления решения о выборе оптимальной организации обоих компонентов СУЗ могут приниматься уже на стадии проектирования [5].

Современная компонентная база и сетевые решения позволяют сделать шаг вперед в расширении области автоматизации, что и определило появление концепции киберфизических систем. При этом масштаб КФС может быть самым разным: от небольших устройств типа кардиостимуляторов до распределенных систем класса «умный город» или энергосистемы целой страны, немислимых

Список литературы

1. Тукшаитов, Р. О "неоднозначности" низкой энергоэффективности светодиодных осветительных приборов. По следам одной из публикаций: в защиту светотехнической отрасли / Р. Тукшаитов, О. Семенова // Полупроводниковая светотехника. – 2020. – № 6(68). – С. 4-7.

2. Денисова, А. Р. Энергосберегающие технологии в системах офисного освещения / А. Р. Денисова, О. В. Исаева, Р. А. Залилова // XVI Всероссийская открытая молодежная научно-практическая конференция «Диспетчеризация и управление в электроэнергетике», Казань, 20–21 октября 2021 года. – Казань: Общество с ограниченной ответственностью "Издательско-полиграфическая компания "Бриг", 2022. – С. 32-35. – EDN

3. Денисова, А. Р. Повышение энергоэффективности при использовании системы автоматического регулирования светового потока / А. Р. Денисова, Э. Г. Сибгатуллин // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2020. – № 1(58). – С. 38-39. Ismoilov II, Gracheva EI. Increasing the control of power systems and improving the quality of electric power. KAZAN STATE POWER ENGINEERING UNIVERSITY BULLETIN. 2022; 14; 1(53):3-12.

4. Гибадуллин, Р. Р. Проектирование осветительных установок / Р. Р. Гибадуллин, Н. В. Денисова, И. В. Ившин. – Germany : LAP LAMBERT, 2019. – 216 с. – ISBN 978-613-4-90062-1. – DOI 10.12731/978-613-4-90062-1.

5. Айзенберг Ю. Б. Энергосбережение в освещении // Москва // ЗНАК, 1999.

6. Варфоломеев Л. П. Элементарная светотехника // Москва, 2013. [Электронный ресурс]. URL: https://www.ltcompany.com/media/uploads/2015/02/06/lt_svetotehnika_2014_L8Bnkfl.pdf

ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК И АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ АНАЛИТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

¹ Галиев Рашид Рамильевич, ² Денисова Алина Ренатовна
^{1,2} ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Российская Федерация
¹ rashid.galiev@list.ru, ² denisova_ar@mail.ru

Аннотация: в статье обосновывается актуальность и неотложность вопроса импортозамещения в России в контексте программного обеспечения, технологических установок и автоматизированных систем аналитического контроля. Рассматриваются основные вызовы и проблемы, связанные с зависимостью от иностранных технологий, и изучаются ключевые способы их решения на основе использования отечественных разработок и инноваций, приведены примеры компаний, успешно реализующих процесс импортозамещения с целью выявления наиболее эффективных подходов и стратегий в данной области.

Ключевые слова: вызовы и проблемы, зарубежные технологии, импортозамещение, отечественные разработки, эффективный подход и стратегия.

IMPORT SUBSTITUTION OF SOFTWARE, PROCESS UNITS AND AUTOMATED ANALYTICAL CONTROL SYSTEMS

¹ Rashid Ramilievich Galiev, ² Alina Renatovna Denisova
^{1,2} Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russian Federation
¹ rashid.galiev@list.ru, ² denisova_ar@mail.ru

Abstract: the article substantiates the relevance and urgency of the issue of import substitution in Russia in the context of software, technological installations and automated analytical control systems. The main challenges and problems associated with dependence on foreign technology are considered and the key ways of their solution on the basis of domestic developments and innovations are studied, examples of companies successfully implementing the process of import substitution are given in order to identify the most effective approaches and strategies in this area.

Keywords: challenges and problems, foreign technology, import substitution, domestic developments, effective approach and strategy.

Импортозамещение в России является ключевым стратегическим направлением, обусловленным как стремлением к технологической независимости, так и текущей мировой экономической и политической обстановкой. При этом, долгое время развитие технической и других критически важных для экономики страны отраслей в значительной степени опиралось на импортные технологии и оборудование.

В отдельных областях, включая энергетику, зависимость от импорта достигала 90 %. Однако изменение ситуации на ключевых для России

экспортных рынках в сочетании с негативным влиянием западных санкций требует безотлагательного решения вопросов, связанных с технологическим обеспечением функционирования российского энергетического сектора и других отраслей. При этом, одним из важных направлений становится выработка мер по замещению импортных технологий отечественными в тех секторах, где зависимость от импорта является критической [1]. Основная цель заключается в снижении зависимости от иностранных поставщиков и увеличении уровня технологической автономии. Это особенно важно для отраслей, тесно связанных с вопросами национальной безопасности и обеспечением жизнедеятельности страны [2].

В настоящее время Россия ставит перед собой цель снижения зависимости от иностранных технологий, в том числе программного обеспечения (ПО). Импортозамещение ПО особенно необходимо для страны, так как многие ключевые области инфраструктуры сильно зависят от иностранного ПО. К ним имеют отношение государственные и частные организации, банки, энергетические компании и другие критически важные для национальной безопасности секторы [3]. Использование иностранных программных продуктов может создавать потенциальные риски в виде шпионажа или кибератак, а также приводить к проблемам совместимости и поддержки.

Россия в свою очередь вкладывается в развитие собственных технологий и программного обеспечения [4]. Сюда входят поддержка местных разработчиков ПО, инвестиции в образование и науку, а также законодательные инициативы, направленные на стимулирование использования отечественного ПО. Примерами отечественных решений являются: операционная система ОС "Астра Linux", разработанная в России, предназначенная для использования в государственных органах и предприятиях с повышенными требованиями к безопасности данных; система управления и учёта "1С:Предприятие", применяемая практически во всех отраслях и масштабах бизнеса; всем известное антивирусное ПО от "Касперский Лаб".

Важно отметить, что импортозамещение не означает полный отказ от иностранных продуктов. Вместо этого оно предполагает разумное сочетание собственных и иностранных технологий в целях обеспечения надежности, безопасности и эффективности функционирования [5].

Однако импортозамещение ПО сталкивается с рядом проблем. Во-первых, создание собственного ПО может быть дорогостоящим и затруднительным процессом, требующим значительных инвестиций и времени. Во-вторых, есть риск создания продуктов, которые будут уступать иностранным аналогам по качеству или функциональности.

Основная задача импортозамещения технологических установок и автоматизированных систем аналитического контроля также заключается в уменьшении зависимости от иностранных поставщиков и повышении уровня технологической автономии [6]. Это особенно важно для отраслей, которые тесно связаны с вопросами национальной безопасности и обеспечением жизнедеятельности страны, таких как энергетика, промышленность, транспорт, здравоохранение и другие.

Россия внедряет стратегии, направленные на поощрение разработки и производства внутри страны, что включает в себя налоговые льготы и субсидии для местных компаний, поддержку научных исследований и разработок, а также регулятивные меры для стимулирования использования отечественных продуктов [7].

Рассмотрим самые успешные компании в этой области. Наглядным примером является проект "Эльбрус" – это отечественная разработка в области микропроцессоров, которая позволила сделать большой шаг в сторону автономии в области вычислительной техники. ОАО "НИИ "Молния" – компания занимается разработкой и производством высокотехнологичного оборудования для авиации, космонавтики и других отраслей. АО "НПО "Аврора" - предприятие разрабатывает и производит автоматизированные системы управления для кораблей ВМФ, атомных ледоколов и объектов энергетики. Корпорация "Ростех" также активно работает над созданием новых технологических установок, особенно в оборонной промышленности. Компания "РЭП Холдинг" специализируется на разработке и производстве газоперекачивающих агрегатов, необходимых для работы газовых и нефтяных промыслов. НПО "Гелиймаш" занимается разработкой и производством адсорбционных установок, которые используются для очистки и разделения газов. Это ключевой элемент для производства гелия и других газов. Северсталь – один из крупнейших производителей стали в России. Компания производит широкий спектр продукции, включая трубы для трубопроводов и систем хранения, используемых в нефтегазовой отрасли и строительстве. ГМС "Группа" - компания, которая специализируется на производстве компрессоров различных типов. Они необходимы для работы в ряде отраслей, включая нефтегазовую, химическую и пищевую промышленность. "Криогенмаш" разрабатывает и производит оборудование для комплексной очистки газов, а также автоматизированные системы контроля и управления (АСКУ). ООО "Северные технологии" – компания, специализирующаяся на производстве теплообменников, которые используются для эффективного управления тепловыми процессами в различных отраслях промышленности.

Но, как и в случае с программным обеспечением, импортозамещение в этих областях также сталкивается с рядом проблем. Разработка и производство сложного оборудования и систем требуют значительных инвестиций, высококвалифицированных кадров и долгосрочных исследований [8]. Кроме того, существует риск недостаточного качества или отставания от зарубежных аналогов.

В целом, импортозамещение в России является стратегической задачей, которая обусловлена не только стремлением к технологической независимости, но и текущей мировой экономической и политической обстановкой. Процесс перехода на отечественное оборудование и ПО по проектированию заметен, о чём свидетельствует большое число рассмотренных в статье разработок. Проблемы и вызовы, связанные с этим процессом, продолжают быть актуальными, но несмотря на всё, он открывает новые возможности для роста и развития отечественной промышленности и технологий. В то же время важно подходить к процессу импортозамещения сбалансированно, чтобы избежать возможных негативных последствий, таких как изоляционизм или ограничение конкуренции, что может привести к замедлению инноваций и повышению цен. Важно стремиться к глобальной интеграции, сохраняя при этом национальные интересы и развивая собственные технологические возможности.

Список литературы

1. Иванова, В. Р. Разработка автоматизированной системы управления ветрогенераторной установкой с использованием языков стандарта МЭК 61131-3 / В. Р. Иванова, Н. А. Третьяков, Д. И. Гусамов // XVI Всероссийская открытая молодежная научно-практическая конференция «Диспетчеризация и управление в электроэнергетике», Казань, 20–21 октября 2021 года. – Казань: Общество с ограниченной ответственностью "Издательско-полиграфическая компания "Бриг", 2022. – С. 45-47.
2. Ларионов, А. И. Проблемы и перспективы импортозамещения в сфере высоких технологий // Ларионов, А. И., Романова, О. А. / Инновации. – 2016. - № 5. – С. 68-72.
3. Сухарев, О. С. Импортозамещение и технологическое развитие // Сухарев, О.С. / Вопросы экономики. – 2019. - № 2. – С. 83-95.
4. Семин, Д. И. Разработка цифрового двойника промышленного предприятия на основе программного продукта «Anylogic» / Д. И. Семин, Р. Р. Гибадуллин // XXV Всероссийский аспирантско-магистерский научный семинар, посвященный Дню энергетика: Материалы конференции. В 3-х томах, Казань, 07–08 декабря 2021 года / Под общей

редакцией Э.Ю. Абдуллазянова. Том 1. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. – С. 136-138.

5. Моисеев, В. В. Импортзамещение : проблемы и перспективы в России // В. В. Моисеев / Москва ; Берлин : Директ-Медиа. - 2016. – С. 363.

6. Волков, Ю. Г. Импортзамещение в России: тенденции и перспективы // Волков, Ю.Г., Сулейманова, Ш.Р. / Экономика и предпринимательство. – 2017. - № 9. – С. 935-938.

7. Фролов, Д. Б. Стратегия импортзамещения в России: теоретические аспекты и практическая реализация // Фролов, Д.Б., Чернавский, Д.С. / Известия УрФУ. – 2019. - № 2 (3). – С. 31-42.

8. Карлин, И.Н. Импортзамещение в сфере программного обеспечения: реалии и перспективы // Карлин, И.Н., Купцова, М.Н., Лукашевич, М.В. / Современные проблемы науки и образования. – 2020. - № 1. – С. 56-60.

УДК 621.311

МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ СИЛОВЫМИ ЭЛЕКТРОННЫМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ В ЭЛЕКТРОПРИВОДАХ

¹Зубрилов Макар Кириллович
¹ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
¹dj.zubr@mail.ru

Аннотация: данная исследовательская работа посвящена изучению и анализу методов управления силовыми электронными преобразователями в электроприводах. Цель состоит в том, чтобы оптимизировать производительность, КПД и надежность электроприводов путем всестороннего исследования методов управления, алгоритмов и техник. Для достижения точного и эффективного управления исследуются передовые алгоритмы управления, методы адаптивного управления и методы прогнозирования. Проблемы, связанные с изменением нагрузки и стабильной работой в различных условиях, решаются с помощью адаптивных алгоритмов управления.

Ключевые слова: интеграция, силовая электроника, электроприводы, методы управления, оптимизация производительности, повышение КПД, колебания нагрузки, прогнозирующее управление.

CONTROL METHODS FOR POWER ELECTRONIC CONVERTERS IN ELECTRIC DRIVES

¹Zubrilov Makar Kirillovich
¹KSPEU, Kazan
¹dj.zubr@mail.ru

Abstract: this research paper is devoted to the study and analysis of control methods of power electronic converters in electric drives. The goal is to optimize the performance,

efficiency and reliability of electric drives through a comprehensive study of control methods, algorithms and techniques. To achieve accurate and effective management, advanced control algorithms, adaptive control methods and forecasting methods are being investigated. Problems related to load changes and stable operation in various conditions are solved using adaptive control algorithms.

Keywords: integration, power electronics, electric drives, control techniques, performance optimization, efficiency improvement, load fluctuations, predictive control/

В последние годы интеграция силовой электроники в преобразователи электроприводов становится все более распространенной, что требует разработки эффективных методик управления. Целью данной исследовательской работы является изучение и анализ наилучших практик управления силовыми электронными преобразователями в электроприводах; определение наиболее эффективных подходов для оптимизации производительности, экономичности и надежности электроприводов путем всестороннего изучения методов, алгоритмов и методик управления.

Для оптимизации производительности, экономичности и надежности электроприводов важен контроль параметров системы (температура, ток, напряжение, уровни вибрации и так далее) [1]. Усовершенствованные алгоритмы управления, адаптивные методики управления и методы прогнозирующего управления позволяют реализовать такой контроль. Усовершенствованные алгоритмы управления используют сложные методы, такие как управление с обратной связью, прямое управление и каскадное управление, для достижения точного и эффективного управления преобразователями. Адаптивное управление динамически корректирует параметры управления на основе обратной связи в режиме реального времени, позволяя электроприводам адаптироваться к изменяющимся условиям нагрузки и работать с максимальной эффективностью [2]. Методы прогнозирующего управления используют математические модели для прогнозирования будущего поведения двигателя и обеспечения возможности упреждающей настройки, что приводит к оптимизации производительности и энергоэффективности.

Основные проблемы, возникающие при управлении преобразователями силовой электроники в электроприводах, связаны с изменением нагрузки и достижением стабильной работы при различных условиях нагрузки. Колебания нагрузки могут существенно повлиять на производительность и эффективность системы, что требует эффективных методик управления для поддержания стабильности. Алгоритмы адаптивного управления стали перспективными методами для решения этих проблем. Алгоритмы динамически регулируют параметры управления

на основе обратной связи в реальном времени, позволяя электроприводам работать с максимальной эффективностью и стабильностью при изменении условий нагрузки [3].

Еще одна важная проблема заключается в интеграции силовых электронных устройств обратной связи (устройства плавного пуска и устройства коррекции коэффициента мощности) в систему управления. Эти устройства играют решающую роль в оптимизации преобразования энергии, снижении потерь мощности и повышении общей производительности системы. Однако их интеграция требует точного контроля и координации, чтобы обеспечить бесперебойную работу и избежать любого неблагоприятного воздействия на систему. Разработка эффективных методик управления, облегчающих интеграцию этих устройств и обеспечивающих их надлежащее функционирование, имеет важное значение для достижения оптимальной производительности и эффективности.

Различные методы управления, включая широтно-импульсную модуляцию (ШИМ), гистерезисное управление и прогнозирующее управление, оказывают значительное влияние на характеристики двигателя с точки зрения управления скоростью, выходным крутящим моментом и общей эффективностью [4]. Каждый метод управления имеет свои преимущества и ограничения, и их выбор зависит от конкретных требований системы электропривода.

Широтно-импульсная модуляция (ШИМ) – это широко используемый метод управления, который регулирует напряжение или ток, подаваемые на двигатель, путем изменения рабочего цикла высокочастотного коммутационного сигнала. Позволяет точно контролировать скорость и крутящий момент двигателя, регулируя среднее напряжение или ток, подаваемый на двигатель. Благодаря быстрому включению и выключению силовых устройств ШИМ-управление минимизирует потери мощности и повышает эффективность двигателя. Кроме того, ШИМ может уменьшить гармонические искажения формы выходного сигнала, что приводит к улучшению качества электроэнергии.

Гистерезисное управление работает на основе сравнения фактических переменных двигателя с предварительно заданными эталонными значениями. Управление гистерезисом обеспечивает простой и надежный подход к поддержанию желаемой производительности двигателя в пределах заданного диапазона допустимых значений. Однако это может привести к более высоким потерям при переключении и повышенным гармоникам из-за его двухпозиционного характера.

Прогнозирующее управление – это усовершенствованный метод управления, использующий математические модели и алгоритмы для оптимизации работы двигателя. Он принимает во внимание характеристики двигателя, системные ограничения и желаемые рабочие характеристики для генерации управляющих сигналов [5]. Алгоритмы прогнозирующего управления предсказывают поведение системы в будущем и определяют оптимальные управляющие действия для достижения требуемых критериев производительности, таких как минимизация потерь мощности или максимизация эффективности.

В заключение следует отметить, что внедрение передовых методов управления силовых электронных преобразователей в электроприводах дает множество преимуществ. Внедрения этих методов позволяют создавать более эффективные и устойчивые электротехнические системы.

Список литературы

1. И. В. Ившин, А. Р. Сафин, Р. Р. Гибадуллин [и др.] Анализ развития электроприводов для станков-качалок нефти по результатам патентного поиска // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2019. – Т. 21, № 5. – С. 3-13. – DOI 10.30724/1998-9903-2019-21-5-3-13. – EDN FEFHFF
2. Dinghui Wu, Juan Zhang, Junyan Fan, Dandan Tang. Performance Optimization of Fault Diagnosis Methods for Power Systems // Springer, 2022, pp. 102.
3. Pavel Petrov, Viktor Ivel, Yuliya Gerasimova, Alexander Kashevkin and Sayat Moldakhmetov Adaptive control system for two-motor electric drive of heavy object rotation mechanism // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, № 16, 2021, 845-848.
4. Smith J. Advancements in Control Techniques for Power Electronic Converters in Electric Drives // International Journal of Power Electronics, № 5, 2020, pp. 123-135.
5. Zhang, Q. & Wang C. Managing Load Changes and Ensuring Stability in Power Electronic Converters for Electric Drives // Electric Power Systems Research, № 186, 2021, pp. 106445.

ПРИМЕНЕНИЕ ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ВОЗВРАТНО-ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ЭНЕРГЕТИКЕ

¹Гибадуллин Рамил Рифатович, ²Семина Дмитрий Игоревич
¹ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
¹pilgrim.10@inbox.ru

Аннотация: в данной статье рассматриваются примеры применения линейных машин возвратно-поступательного движения в промышленности и энергетике. Содержится краткое описание линейного электрического двигателя и его преимуществ перед традиционным электрическим двигателем. Каждый приведенный вариант сопровождается кратким описанием принципа действия производственного механизма, основанного на применении данного типа электрической машины.

Ключевые слова: линейная электрическая машина, линейный электрический двигатель, электрическая машина возвратно-поступательного движения, электропривод, промышленность, энергетика, электромеханика.

APPLICATION OF LINEAR ELECTRIC MACHINES OF REVERSIBLE MOTION IN INDUSTRY AND ENERGY

¹Gibadullin Ramil Rifatovich, ²Semin Dmitry Igorevich
¹FSBEI HE «KSPEU», Kazan
¹pilgrim.10@inbox.ru

Abstract : this article discusses examples of the use of linear reciprocating machines in industry and energy. A brief description of the linear electric motor and its advantages over the traditional electric motor is given. Each given option is accompanied by a brief description of the operating principle of the production mechanism based on the use of this type of electric machine.

Keywords: linear electric machine, linear electric motor, reciprocating electric machine, electric drive, industry, energy, electromechanics.

Применение линейных электрических машин возвратно-поступательного движения обусловлено спецификой рабочих процессов различных машин и механизмов, предполагающих возвратно-поступательное движение рабочего органа. К таким машинам и механизмам относятся, например, прессовое оборудование, подъемно-транспортные машины, насосы и т.д. Преимущество линейных электрических машин перед традиционными заключается в повышении надежности и экономичности работы привода путем исключения механической передачи для преобразования вращательного движения в возвратно-поступательное и, соответственно, в оптимизации их массогабаритных характеристик [1].

Линейный электрический двигатель, как правило, представляет собой «развернутый» вдоль плоскости обычный асинхронный или синхронный двигатель [2]. На рисунке 1 представлен принцип устройства линейного асинхронного двигателя.

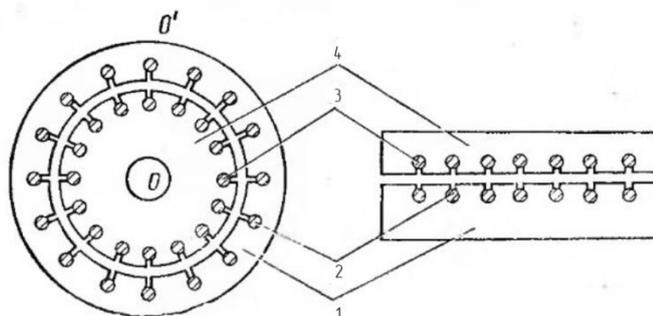


Рис. 1. Принцип устройства линейного асинхронного двигателя

На рисунке 1 цифрами обозначены: 1 – статор, 4 – ротор, 2 и 3 – обмотки двигателя[3].

Линейные электрические двигатели нашли применение в сфере нефтяной промышленности. Так, для эксплуатации малодебитного фонда скважин эти электрические машины стали использоваться в составе плунжерных установок с целью повышения эффективности плунжерных насосов. На рисунке 2 приведена принципиальная схема скважинного насосного агрегата.

Преимуществами данной технологии являются: простой и быстрый монтаж, низкий уровень создаваемого шума, повышение эффективности добычи сырья благодаря подбору режима работы насоса под изменяющийся приток в скважине [4].

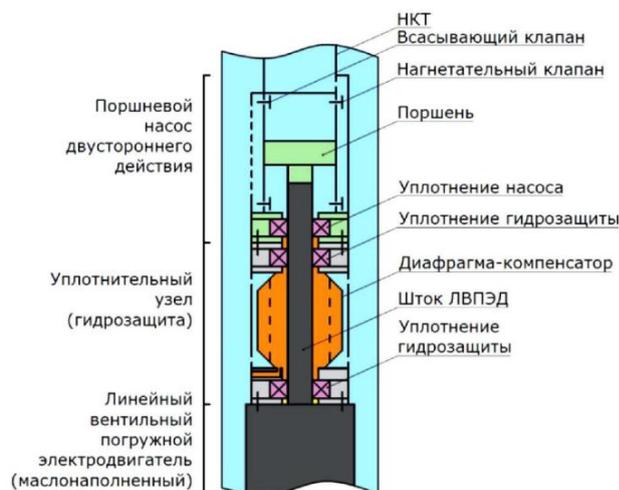


Рис. 2. Принципиальная схема скважинного насосного агрегата

На промышленных предприятиях линейные электрические двигатели возвратно-поступательного движения применяются в составе станков, например, шлифовальных, что упрощает кинематическую схему электрической машины по сравнению с использованием обычных асинхронных двигателей вращательного движения. Согласно исследованиям, наиболее эффективно в таком случае применение цилиндрических линейных вентильных электродвигателей [5].

В качестве привода для транспортеров, кранов, станков и подъемников используется одноиндукторный линейный двигатель с одной обмоткой и одной реактивной полосой (рис. 3).

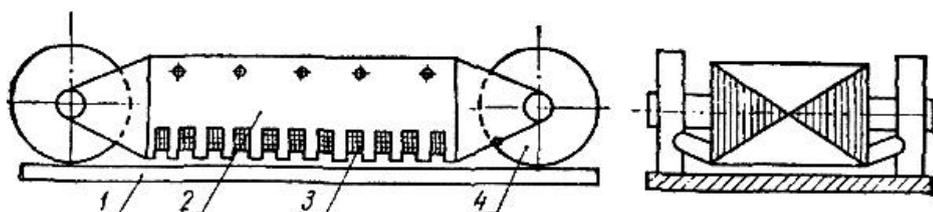


Рис. 3. Одноиндукторный линейный двигатель с одной обмоткой и одной реактивной полосой

На рисунке 3 цифрами обозначены: 1 – магнитопровод индуктора, 2 – обмотка, 3 – реактивная полоса, 4 – фиксирующие ролики [6].

Используются линейные электрические машины и в автономных источниках энергии, повышая срок работы установки при неизменном количестве топлива [7].

Таким образом, линейные электрические машины возвратно-поступательного движения получают широкое применение как в энергетике, так и в промышленности, совершенствуя конструкции электрических машин, в основе работы которых лежит возвратно-поступательное движение рабочего органа. Существуют различные типы таких электрических машин, отличающихся по конструкции в зависимости от назначения и сферы применения.

Список литературы

1. Тукшаитов, Р. Х. Оценка уровня нелинейных искажений электроустановок на основе моделирования длительности импульса входного тока / Р. Х. Тукшаитов, О. Д. Семенова, В. В. Новокрещенов // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2022. – № 3(72). – С. 54-58.

2. Гараев, И. З. Исследование работоспособности асинхронных электродвигателей совместно с преобразователем частоты / И. З. Гараев,

В. Р. Иванова // Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники: материалы Всероссийской научно-практической конференции, Казань, 20–21 марта 2019 года. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2019.

3. Линейные электродвигатели: сайт. URL: <https://leg.co.ua/info/elektricheskie-mashiny/lineynye-elektrodivigateli.html> (дата обращения: 01.05.2023).

4. Разработка стенда для исследования электроприводов станков-качалок / А. Н. Цветков, В. Ю. Корнилов, А. Р. Сафин [и др.] // Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета. – 2020. – Т. 23, № 4. – С. 364-375.

5. Романцов, М. М. Применение вентильных электрических машин в промышленности / М. М. Романцов, Р. Р. Гибадуллин // Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности : Сборник научных статей по итогам международной научной конференции, Казань, 30–31 января 2020 года. Том Часть 2. – Казань: Конверт, 2020. – С. 217-219.

6. StudFiles: сайт. URL: <https://studfile.net/preview/2215910/page:5/> (дата обращения: 02.05.2023).

7. Гибадуллин, Р. Р. Аппаратно-программный комплекс и метод нагружения стенда для испытания линейных электрических машин / Р. Р. Гибадуллин, А. М. Копылов, М. Ф. Низамиев // Передовые инновационные разработки. Перспективы и опыт использования, проблемы внедрения в производство : сборник научных статей по итогам второй международной научной конференции, Казань, 30 марта 2019 года. – Казань: ООО «Конверт», 2019.

УДК 621.31

ПРИМЕНЕНИЕ КОММУНИКАЦИОННОГО ПРОТОКОЛА SV В СРЕДЕ ЦИФРОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ

Елфутин Максим Денисович
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,
г. Казань, Российская Федерация
boombardiro@mail.ru

Аннотация: в работе рассмотрен способ решения проблемы преобразования и передачи цифрового сигнала от измерительных устройств-отправителей с высокой частотой дискретизации и надежностью отправки – применение на цифровых подстанциях SV-протоколов.

Ключевые слова: коммуникационный протокол SV, цифровые подстанции, устройства релейной защиты, электроэнергетическая система, МЭК 61850.

APPLICATION OF THE SV COMMUNICATION PROTOCOL IN THE ENVIRONMENT OF DIGITAL SUBSTATIONS

Yelfutin Maksim Denisovich
Kazan State Power Engineering University,
Kazan, Russian Federation
boombardiro@mail.ru

Abstract: the paper considers a way to solve the problem of converting and transmitting a digital signal from measuring sending devices with a high sampling rate and reliability of sending - the use of SV protocols at digital substations.

Keywords: SV communication protocol, digital substations, relay protection devices, electric power system, IEC 61850.

Нет сомнений, что требования к устройствам релейной защиты и автоматизации (РЗА) всегда были высокими и будут увеличиваться с развитием науки в связи с безопасностью для потребителя и надежной работы всей электроэнергетической системы в целом [1]. Т. к. устройства РЗА предназначены для предотвращения усугублений последствий аварий на энергетических объектах и их срабатывание происходит в момент аварии, то для проверки работоспособности и надежности самих устройств используются не реальные объекты и установки, а цифровые двойники. Они расположены в специальных комплексах и в них расположены так называемые цифровые подстанции (ЦПС) [1-2].

Анализ, мониторинг, управление всеми потоками информации происходит в реальном времени и цифровой форме. Среда, в которой осуществляется передача данных, называется локальной вычислительной сетью (ЛВС), а все коммуникационные протоколы описываются стандартом МЭК 61850.

Проблема данного мероприятия заключается в организации информационных потоков по протоколам МЭК, а именно процессы, включающие в себя передачу оцифрованных измерений токов и напряжений, поступающих от трансформаторов.

Оцифровка и передача сигналов происходит по волоконно-оптическим связям от специальных устройств сопряжения, служащие источником мгновенных измерений. Для передачи таких измерений необходима высокая дискретизация сигналов. Для этой цели используется протокол Sampled Values (МЭК 61850-9-2 SV). Он является основным и его задачей является передача мгновенных измерений токов и напряжений трех фаз и нейтрали, относящиеся к одному моменту времени [3].

В различных случаях, в зависимости от задачи, к протоколу предъявляются требования по частоте преобразования сигналов.

Например, для систем автоматики, учета электрической энергии и систем управления ТП данная частота составляет порядка 4 кГц, а для регистрации аварийных случаев и учета качества электрической энергии необходима частота 12,8 кГц. Важно отметить, что в таких случаях необходима синхронизация между выборками, объединяющими сигналы, чтобы избежать ложных и излишних срабатываний устройств РЗА, ведь не всегда измерения приходят с устройств, находящихся на одном защищаемом присоединении. Однако для синхронизации выборкам не нужно относиться к одному абсолютному времени, достаточным будет лишь присвоение одинакового идентификатора счетчиком выборок – `smpCnt`. Для установления соответствия значений выборкам одновременно присваиваются номера. При отсутствии должных идентификаторов, счетчик понимает, что целостность принимаемых данных нарушена.

Для различных задач требуется различная частота передачи мгновенных значений, отсюда возникает вопрос о требовании к быстродействию, так если для устройств РЗА значения токов и напряжений необходимо доставить с минимальной задержкой времени, то для цели коммерческого учета или анализа качества электроэнергии допускаются некоторые задержки, но при учете некоторых условий. Исходя из этих условий существует стандарт, учитывающий параметр `Sample Rate (SmpRate)`, влияющий на частоту формирования кадров и задачу выборки значений и параметр, отвечающий за количество размещаемых в кадре измерений – `Number of ASDU (noASDU)`. Отношение `Sample Rate` к `Number of ASDU` дает фактическую частоту формирования кадров [4].

Передача сервисной информации в оцифрованном формате проходит проверку на достоверность. Проверка включает в себя анализ класса точности, характера метода измерения токов и напряжений. С этой задачей помогает справляться опция устройства, снабжающая передаваемые значения метками. Эти метки позволяют алгоритму принимающего устройства блокировать некоторые функции и сигнализировать о них оперативному персоналу.

Протокол МЭК 61850-9-2 подключается к устройствам подстанции через специальную коммуникационную шину данных. Однако здесь термин «шина» подразумевает целую систему обмена данными, что позволяет подключение оборудования различного назначения. На один SV-поток может быть подключено неограниченное количество устройств МП РЗА при неизменной нагрузке на измерительные трансформаторы тока [5].

Таким образом, в организации информационных потоков по протоколам МЭК существенную роль играет протокол `Sampled Values`. Его

применение позволяет расширить спектр анализируемого оборудования, ведения учета качества электроэнергии, ускоряет процесс обмена данными и повышает его надежность. На сегодняшний день развитие цифровых подстанций с целью проверки оборудования РЗА имеет значительную перспективу для решения проблем контроля безопасности электроэнергетической системы в целом.

Список литературы

1. Новокрещенов, В. В. Обзор устройств релейной защиты и автоматики и измерительных преобразователей электрического тока, применяемых при проектировании интеллектуальных и активно-адаптивных сетей / В. В. Новокрещенов, В. Р. Иванова // Энергоэффективность и энергобезопасность производственных процессов (ЭЭПП-2019) : сборник трудов, Тольятти, 12–13 ноября 2019 года / Ответственный за выпуск В.В. Вахнина. – Тольятти: Тольяттинский государственный университет, 2019. – С. 313-317.

2. Протокол выборочных значений IEC 61850 [Электронный ресурс]. https://www.typhoon-hil.com/documentation/typhoon-hil-software-manual/References/iec_61850_sampled_values_protocol.html (дата обращения: 1.05.2023).

3. Егоров Е. П., Кошельков И. А., Хе М. А., Тойдеряков Н. А. Опыт наладки и эксплуатации МП устройств РЗА на ЦПС// Релейщик. 2022. С. 20-25.

4. Фирсов А. В. Реализация цифровых технологий при построении ЦПС // Проблемы электроэнергетики и телекоммуникаций севера России - 2021. 2021. С. 302-308.

5. Долежилек, Д. Опыт разработки, создания, тестирования и поддержки цифрового вторичного оборудования для систем РЗА // Релейщик. 2018. – № 2(32).С. 44-61.

УДК 62-573.2

ОРИГИНАЛЬНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ ДЛЯ ОДНОФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

¹Еремочкин Сергей Юрьевич, ²Дорохов Данил Валерьевич, ³Жуков Алексей Андреевич
^{1,2,3}Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул

¹S.Eremochkin@yandex.ru, ²danil.dorokhov.2000@mail.ru, ³zh_astu@mail.ru

Аннотация: однофазные асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором получили широкое распространение в электроприводе различных бытовых

устройств, сельскохозяйственных машинах малой мощности. В статье рассмотрено оригинальное полупроводниковое устройство для пуска и работы однофазного электродвигателя, позволяющее осуществлять дискретное регулирование скорости. Приведена принципиальная электрическая схема и рассмотрен алгоритм работы устройства.

Ключевые слова: однофазный электродвигатель, электропривод, преобразователь частоты, конденсаторный пуск.

ORIGINAL FREQUENCY CONVERTER FOR SINGLE-PHASE ASYNCHRONOUS ELECTRIC MOTOR

¹Eremochkin Sergey Yurievich, ²Dorokhov Danil Valerievich, ³Zhukov Alexey Andreevich

^{1,2,3}Polzunov Altai State Technical University, Barnaul

¹S.Eremochkin@yandex.ru, ²danil.dorokhov.2000@mail.ru, ³zh_astu@mail.ru

Abstract: single-phase induction motors with a squirrel-cage rotor are widely used in the electric drive of various household appliances, agricultural machines of low power. The article considers an original semiconductor device for starting and operating a single-phase electric motor, which allows discrete speed control. A circuit diagram is given and the algorithm of the device operation is considered.

Keywords: single-phase electric motor, electric drive, frequency converter, capacitor start.

Однофазные асинхронные электродвигатели ввиду своей низкой стоимости и высокой надежности широко применяются в электроприводе сельскохозяйственных машин, агрегатов, бытовых приборах, вентиляторах, насосных установках и т.д. [1, 2].

На статоре однофазного двигателя, как правило, размещены две обмотки, расположенные в пространстве взаимно перпендикулярно. При питании двигателя напрямую от однофазной сети переменного тока в статоре возникает пульсирующее магнитное поле. В таком случае для приведения вала во вращение необходимо приложить к нему внешний пусковой момент, после чего двигатель продолжит вращать вал в том же направлении.

Применение конденсаторного способа пуска является наиболее распространенным техническим решением для создания крутящего момента на валу однофазного двигателя. В цепь питания одной из обмоток статора, которая является пусковой, последовательно подключают фазосдвигающий конденсатор. В результате возникновения в обмотках сдвига фаз между токами, в статоре образуется вращающееся магнитное поле, а двигатель по сути работает как двухфазный. После разгона двигателя питание пусковой обмотки отключается.

Однако, в ряде случаев, может возникнуть необходимость в осуществлении реверса, а также регулировании скорости двигателя.

Применение преобразователей частоты, работающих по принципу широтно-импульсной модуляции, в однофазном электроприводе, зачастую, нецелесообразно, ввиду их высокой стоимости.

В связи с этим, разработка новых устройств для пуска и работы однофазных асинхронных электродвигателей, позволяющих осуществлять регулирование скорости, является одной из актуальных задач в области электропривода [3].

На рисунке 1 приведена принципиальная электрическая схема оригинального полупроводникового преобразователя частоты, ведомого однофазной сетью переменного тока [4].

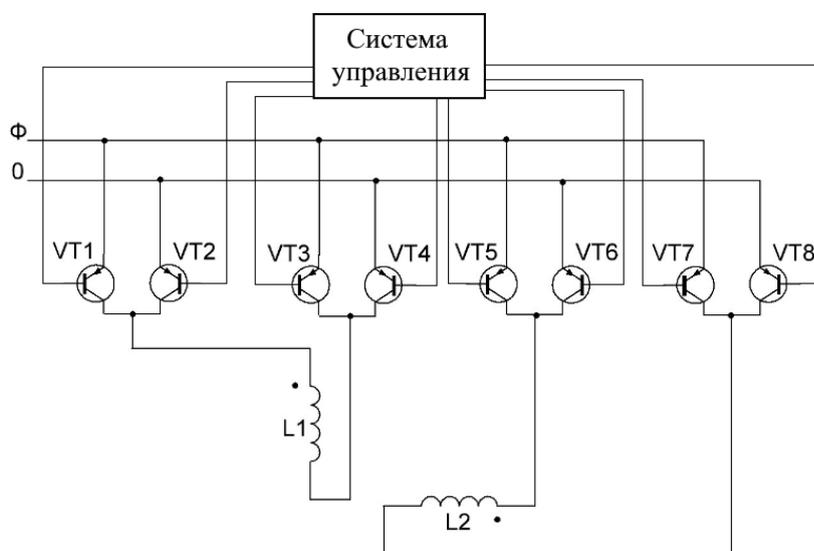


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема преобразователя частоты

Преобразователь частоты содержит восемь полупроводниковых ключей, в качестве которых используются биполярные транзисторы (VT1-VT8). Транзисторы образуют пары, причем коллектор первого транзистора VT1 объединен с коллектором второго транзистора VT2 и их общий вывод подключен к началу первой обмотки статора L1, коллектор третьего транзистора VT3 объединен с коллектором четвертого транзистора VT4 и их общий вывод подключен к концу первой обмотки статора L1, коллектор пятого транзистора VT5 объединен с коллектором шестого транзистора VT6 и их общий вывод подключен к началу второй обмотки статора L2, коллектор седьмого транзистора VT7 объединен с коллектором восьмого транзистора VT8 и их общий вывод подключен к концу второй обмотки статора L2. Эмиттеры транзисторов под нечетными номерами подключены к фазу питающей сети, а под четными номерами – к нулю питающей сети. Точками на схеме обозначены начала статорных обмоток.

Вращение вектора магнитной индукции поля статора однофазного двигателя при использовании преобразователя частоты обеспечивается путем коммутации полупроводниковых ключей в определенной последовательности, причем транзисторы работают в ключевом режиме. В результате возможно регулировать полярность подаваемого на обмотки напряжения в любой момент времени и создавать различные положения вектора магнитного потока поля статора.

На рисунке 2 представлена векторная диаграмма вращения вектора магнитного потока поля статора при использовании преобразователя частоты, ведомого однофазной сетью переменного тока.

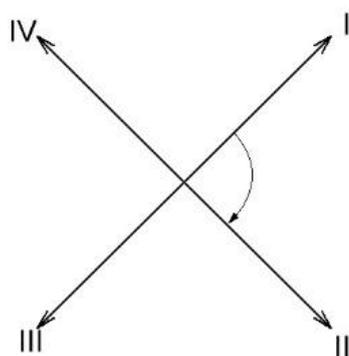


Рис. 2. Векторная диаграмма вращения вектора магнитного потока поля статора

Например, для создания вращения вектора магнитного потока поля статора двигателя против часовой стрелки, как показано на рисунке 2, необходимо осуществлять открытие полупроводниковых ключей (VT1-VT8) устройства по следующему алгоритму:

1. в течение первой четверти периода питающего напряжения при прохождении положительной полуволны сигнал открытия подается на второй полупроводниковый ключ VT2, третий VT3, шестой VT6 и седьмой VT7, в это время ток по обеим обмоткам статора протекает от конца к началу;

2. в течение второй четверти периода питающего напряжения сигнал открытия подается на первый полупроводниковый ключ VT1, четвертый VT4, шестой VT6 и седьмой VT7, в это время ток по первой обмотке протекает от начала к концу, а по второй обмотке – от конца к началу;

3. в течение третьей четверти периода питающего напряжения при прохождении отрицательной полуволны сигнал открытия подается на второй полупроводниковый ключ VT2, третий VT3, шестой VT6 и седьмой VT7, в это время ток по обеим обмоткам статора протекает от начала к концу;

4. в течение четвертой четверти периода питающего напряжения сигнал открытия подается на первый полупроводниковый ключ VT1, четвертый VT4, шестой VT6 и седьмой VT7, в это время ток по первой обмотке протекает от конца к началу, а по второй обмотке – от начала к концу.

Используя другой алгоритм открытия полупроводниковых ключей, возможно создание вращения вектора магнитного потока поля статора двигателя в другом направлении, то есть осуществление реверса, а также снижение или увеличение скорости двигателя [4].

Таким образом, предложен оригинальный преобразователь частоты, ведомый однофазной сетью переменного тока, который позволяет осуществлять пуск однофазного асинхронного электродвигателя, а также дискретно регулировать скорость как ниже, так и выше номинальной.

Список литературы

1. Еремочкин, С. Ю. Исследование однофазного электропривода молочного насоса доильной установки с помощью компьютерного моделирования / С. Ю. Еремочкин, Д. В. Дорохов, А. А. Жуков // Вестник аграрной науки Дона. – 2022. – Т. 15, № 4(60). – С. 69-81. – DOI 10.55618/20756704_2022_15_4_69-81.

2. Еремочкин, С. Ю. Разработка и исследование однофазного асинхронного электропривода сельскохозяйственной машины с полупроводниковым устройством регулирования скорости / С. Ю. Еремочкин, Д. В. Дорохов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2022. – № 10(216). – С. 89-100. – DOI 10.53083/1996-4277-2022-216-10-89-100.

3. Еремочкин, С. Ю. Устройство бесконденсаторного запуска однофазного двухобмоточного асинхронного двигателя / С. Ю. Еремочкин, Д. В. Дорохов, А. А. Жуков // Энерго- и ресурсосбережение - XXI век : материалы XX международной научно-практической конференции, Орёл, 14–16 ноября 2022 года. – 302026, г. Орёл, ул. Комсомольская, д. 95: Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, 2022. – С. 124-127.

4. Патент на полезную модель № 109938 U1 Российская Федерация, МПК H02P 27/04. Преобразователь частоты, ведомый однофазной сетью переменного тока, для питания однофазного асинхронного двигателя : № 2011120731/07 : заявл. 23.05.2011 : опубл. 27.10.2011 / М.И. Стальная, Т.А. Халтобина, С.Ю. Еремочкин, Д.С. Халтобин.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

Колесников Никита Евгеньевич
ФГБОУ ВО «КГЭУ», РФ, г. Казань
Nikita.kolesnikov.02@mail.r

Аннотация: в статье рассматривается вопрос использования современных систем искусственного интеллекта в электроэнергетике. Указываются области развития данного направления, такие как использование технологий в диагностике, управлении и мониторинге электрооборудования и линий электропередач.

Ключевые слова: искусственный интеллект, электроэнергетика, управление электросетями, Smart Grid.

THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE ELECTRICITY INDUSTRY

Kolesnikov Nikita Evgenevich
FGBU BO «KGEU », Russian Federation, Kazan
Nikita.kolesnikov.02@mail.r

Annotation: the article deals with the use of modern artificial intelligence systems in the electric power industry. It specifies the areas of development of this direction, such as the use of technologies in the diagnosis, management and monitoring of electrical equipment and power lines.

Keywords: artificial intelligence, electric power, power grid management, Smart Grid.

Одной из самых прорывных и обсуждаемых технологий в современном мире, несомненно, является искусственный интеллект. Научно-технический прогресс представил человечеству в лице данной программы целое отдельное направление компьютерных наук, которое с большим интересом обсуждают и реализуют многие специалисты, в том числе и лица, которые реализуют свою деятельность в сфере электроэнергетики.

Для точного раскрытия рассматриваемой темы, для начала необходимо раскрыть само понятие искусственного интеллекта – это система, которая позволяет достичь желаемого результата путём постановки целевых указателей. При этом система должна обладать навыками, которые будут позволять ей находить решение в рамках заданных ограничений при поставленных целях, в отличие от создания человеком специальных методов для каждого набора входных параметров. В качестве главной особенности искусственного интеллекта выступает тот

факт, что искусственный интеллект принимают меньше неверных решений, чем человек.

Искусственный интеллект обладает множеством функций, среди которых в том числе и функция по повышению работы служб возобновляемой энергетики. В качестве наглядного примера практического применения искусственного интеллекта можно привести использование беспилотных аппаратов, которые в свою очередь используются в целях улучшения профилактического обслуживания воздушных линий электропередачи, солнечных электростанций и ветряных электростанций [1].

Например, беспилотный летательный аппарат с встроенной камерой может делать снимки солнечных батарей. Впоследствии, взяв данные снимки с этого аппарата, искусственный интеллект может оценить их и в случае обнаружения повреждений: направлять для ремонта соответствующего специалиста.

Также, среди функций искусственного интеллекта необходимо отметить его способность отслеживать и оценивать звук работы электрических машин установленных на электростанциях. На основании этих данных искусственный интеллект может определить: работает ли оборудование должным образом или же находится под угрозой выхода из строя.

На сегодняшний день существует ряд проектов, которые используют искусственный интеллект в целях прогнозирования и диагностики интенсивности движения, проектирования электрооборудования и его компонентов, управления и оптимизации сетей, оценки и мониторинга функционирования электрических сетей. Идеальным вариантом реализации искусственного интеллекта являются системы распределения и передачи электроэнергии, предназначенные для прогнозирования ее потребления и производства.

Также одним из наиболее перспективных направлений применения искусственного интеллекта в энергетике является управление электросетями. Благодаря алгоритмам машинного обучения, искусственный интеллект может анализировать данные о производстве и потреблении энергии, прогнозировать пиковые нагрузки и принимать оптимальные решения о распределении энергии для достижения максимальной эффективности. Более того, искусственный интеллект может управлять работой энергосистемы в автоматическом режиме, решая проблемы утечек и повреждений, сокращая время простоя и снижая риск возникновения аварийных ситуаций [2].

Для большего раскрытия данной темы стоит привести ещё один пример реализации функций искусственного интеллекта в области мониторинга оборудования. Используя методы машинного обучения, искусственный интеллект может анализировать данные о работе оборудования, выявлять возможные проблемы и предлагать профилактические меры. Благодаря этому появляется возможность повысить надёжность энергосистемы, сократить время простоя оборудования, снизить затраты на обслуживание и ремонт [3].

Одним из успешных примеров применения искусственного интеллекта в энергетике является проект "Smart Grid", запущенный компанией Enel в Италии. В рамках этого проекта была построена цифровая платформа для управления электросетью на основе алгоритмов машинного обучения. В результате простои в энергосистеме сократились на 20 %, а затраты на обслуживание и ремонт оборудования – на 30 % [4].

Однако применение искусственного интеллекта в энергетике сопряжено и с рядом рисков, таких как возможные алгоритмические ошибки, угрозы кибербезопасности и проблемы с доступностью данных. Поэтому внедрение искусственного интеллекта в энергетике требует серьёзного подхода и строгого управления со стороны специалистов.

Подводя итог необходимо отметить, что использование искусственного интеллекта в электроэнергетике открывает значительные возможности для повышения надёжности и эффективности энергосистем. Использование методов машинного обучения и анализа данных позволяет оптимизировать работу энергосистем, повысить качество производства энергии, а также снизить затраты на ремонт оборудования и обслуживание. Однако, необходимо учитывать потенциальные риски и строго контролировать работу искусственного интеллекта в энергосистемах.

Список литературы

1. Осипова, К. Ю. ИИ для оптимизации работы электроэнергетических систем, управления нагрузками, прогнозирования и диагностики / К. Ю. Осипова // Современные наука и образование: достижения и перспективы развития : Сборник материалов XXX международной очно-заочной научно-практической конференции. В 4-х томах, Москва, 07 июня 2023 года. Том 3. – Москва: Научно-издательский центр "Империya", 2023. – С. 28-30. – EDN FDNUEE.

2. Гибадуллин, А. А. Формирование модели повышения эффективности основных средств электроэнергетических компаний / А. А. Гибадуллин

лин // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. Серия: Экономика и управление. – 2018. – № 3(34). – С. 20-25. – DOI 10.18323/2221-5689-2018-3-20-25. – EDN VFLVAO.

3. Денисова, А. Р. Внедрение систем интеллектуального учета электроэнергии и повышение наблюдаемости в высоковольтных сетях ПАО "ТАТНЕФТЬ" / А. Р. Денисова, А. Р. Фархутдинов // Энергоэффективность и энергобезопасность производственных процессов (ЭЭПП-2019) : сборник трудов, Тольятти, 12–13 ноября 2019 года / Ответственный за выпуск В. В. Вахнина. – Тольятти: Тольяттинский государственный университет, 2019. – С. 53-58. – EDN OMXUCQ.

4. Моргоев, И. Д. Искусственный интеллект в решении задачи выявления безучетного потребления электроэнергии / И. Д. Моргоев, А. Д. Моргоева // Цифровые технологии и платформенные решения для управления развитием электроэнергетики : Сборник научных трудов. I Всероссийская научно-практическая конференция, Севастополь, 23 марта 2023 года. – Севастополь: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Севастопольский государственный университет", 2023. – С. 253-258. – EDN PUGFVT.

УДК 621.311.176

ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ: АНАЛИЗ И РЕШЕНИЯ

Краснов Дмитрий Витальевич
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
Dmitrijk2131@gmail.com

Научный руководитель – к.т.н., доцент, Писковацкий Юрий Валерьевич

Аннотация: цифровые подстанции являются ключевыми компонентами современных электроэнергетических систем, обеспечивая передачу электроэнергии от генераторов к конечным потребителям. Они заменяют традиционные аналоговые подстанции, предлагая ряд преимуществ, таких как повышенная эффективность, гибкость, автоматизация и улучшенная управляемость. Однако, наряду с преимуществами, цифровые подстанции также сталкиваются с рядом проблем, которые ограничивают их эффективность и надежность. В данной статье мы проанализируем основные проблемы, с которыми сталкиваются цифровые подстанции, и рассмотрим возможные решения.

Ключевые слова: цифровые подстанции, релейная защита, электроэнергетические системы, кибербезопасность, мониторинг, традиционная подстанция, энергоэффективность.

PROBLEMS OF DIGITAL SUBSTATIONS: ANALYSIS AND SOLUTIONS

Krasnov Dmitry Vitalievich
FGBOU VO "KGEU", Kazan
Dmitrijk2131@gmail.com

Scientific supervisor – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Piskovatsky
Yuri Valerievich

Abstract: digital substations are key components of modern electric power systems, ensuring the transmission of electricity from generators to end users. They replace traditional analog substations, offering a number of advantages such as increased efficiency, flexibility, automation and improved controllability. However, along with the advantages, digital substations also face a number of problems that limit their efficiency and reliability. In this article, we will analyze the main problems faced by digital substations and consider possible solutions.

Keywords: digital substations, relay protection, electric power systems, cybersecurity, monitoring, traditional substation, energy efficiency.

Проблема 1: Одной из главных проблем цифровых подстанций является кибербезопасность. В условиях сетевых атак и киберугроз, цифровые подстанции могут стать уязвимыми и подвергнуться различным видам вредоносных атак, таких как взлом, вымогательство, нарушение конфиденциальности данных и другие. Компрометация цифровых подстанций может привести к нарушению электроснабжения, остановке производства и серьезным экономическим потерям.

Решение: Одним из решений данной проблемы является обеспечение надежной киберзащиты цифровых подстанций. Это может включать в себя использование многоуровневых систем защиты, шифрование данных, регулярное обновление программного обеспечения, аутентификацию пользователей и мониторинг сетевой активности. Также важно проводить обучение персонала по вопросам кибербезопасности и соблюдать строгие правила доступа и управления правами доступа к системам управления цифровых подстанций [3].

Проблема 2: Интеграция с устаревшими системами еще одна проблема цифровых подстанций связана с интеграцией с устаревшими системами электроэнергетических компаний. Многие энергетические компании имеют старые системы управления, которые не всегда легко совместимы с новыми цифровыми подстанциями. Это может привести к сложностям при интеграции и взаимодействии между различными системами, что может снижать эффективность и надежность работы цифровых подстанций [2].

Решение: Для решения этой проблемы необходимо проводить тщательный анализ существующих систем энергетических компаний и разработать план интеграции цифровых подстанций с устаревшими системами. Это может включать в себя обновление и модернизацию устаревших систем, создание интерфейсов для взаимодействия с цифровыми подстанциями, а также проведение тестирования и отладки интеграционных решений.

Проблема 3: Управление большим объемом данных Цифровые подстанции генерируют и обрабатывают большой объем данных, таких как данные о состоянии оборудования, измерения, события и др. Управление этими данными может стать сложной задачей, особенно при использовании старых систем управления, которые не всегда обладают достаточной мощностью вычислений и аналитическими возможностями.

Решение: Для эффективного управления большим объемом данных в цифровых подстанциях необходимо использовать современные технологии аналитики данных и обработки больших данных (Big Data). Это может включать в себя использование систем управления данными, алгоритмов машинного обучения, искусственного интеллекта и других технологий для анализа данных и выявления аномалий, прогнозирования состояния оборудования, оптимизации процессов и принятия решений на основе данных.

Проблема 4: Отказы оборудования и обслуживание Цифровые подстанции, как и любое техническое оборудование, могут подвергаться отказам и требовать регулярного обслуживания. Однако, в цифровых подстанциях, где применяются сложные системы автоматизации и управления, обслуживание может быть более сложным и требовать высококвалифицированных специалистов.

Решение: Для решения этой проблемы важно иметь внимательное мониторинг состояния оборудования в режиме реального времени с использованием датчиков и систем диагностики. Это позволит оперативно выявлять возможные отказы и предпринимать меры по их предотвращению или устранению. Также важно регулярное техническое обслуживание цифровых подстанций с участием квалифицированных специалистов, обладающих знаниями и опытом в области цифровых технологий и энергетических систем [2].

Окончательное решение проблем цифровых подстанций также требует совместных усилий инженеров, специалистов по энергетике, управлению данными, кибербезопасности и других областей. Непрерывное

мониторинг состояния оборудования, внедрение передовых технологий и стандартов, обучение персонала и регулярное обновление систем являются ключевыми мерами для преодоления проблем цифровых подстанций и обеспечения их эффективной работы в условиях современного энергетического рынка. В целом, цифровые подстанции представляют собой важное направление развития энергетической отрасли, которое предлагает множество преимуществ в сфере энергоснабжения. Однако, они также сталкиваются с рядом проблем, таких как техническая совместимость с устаревшими системами, управление большим объемом данных, обслуживание сложного оборудования и обеспечение кибербезопасности [4].

В заключение, цифровые подстанции предлагают множество преимуществ, таких как повышение энергоэффективности, оптимизация процессов управления и ремонта, увеличение надежности работы энергетических систем. Однако, они также сталкиваются с рядом проблем, таких как совместимость с устаревшими системами, управление большим объемом данных, обслуживание оборудования и обеспечение кибербезопасности. Решение этих проблем требует комплексного подхода, включающего обновление технического оборудования, применение современных технологий аналитики данных, регулярное техническое обслуживание и меры по обеспечению кибербезопасности [1]. Только тогда цифровые подстанции смогут полностью раскрыть свой потенциал и стать надежным и эффективным компонентом современной энергетической инфраструктуры.

Список литературы

1. Чичёв С.И. Методология проектирования цифровой подстанции в формате новых технологий / С.И. Чичёв, В.Ф. Калинин, Е.И. Глинкин. М.: Издательский дом «Спектр», 2014. 228 с.
2. Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ (НТП ПС). Стандарт организации ПАО «ФСК ЕЭС» СТО 56947007- 29.240.10.248, 2017
3. Горелик Т. Г. Цифровая подстанция. Подходы к реализации / Т.Г. Горелик, О.В. Кириенко // Энергетик, 2013. № 2. С. 15-17.
4. Епифанов А.М. В цифровых подстанциях мы видим огромный потенциал / А.М. Епифанов // Электроэнергия. Передача и распределение, 2016. № 1 (34). С. 6-9.

ПРИМЕНЕНИЕ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Краснов Дмитрий Витальевич
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
Dmitrijk2131@gmail.com

Аннотация: релейная защита является важным компонентом системы электроснабжения, позволяющим обеспечить надежность работы и защиту оборудования от аварийных ситуаций. В статье рассмотрены основные принципы работы релейной защиты, ее применение для повышения надежности электроснабжения и защиты оборудования. Также описаны современные технологии и оборудование, которые используются для улучшения надежности работы релейной защиты.

Ключевые слова: надежность, релейная защита, электроэнергетические системы, электроснабжение, надежность, короткое замыкание, управляющее устройство.

THE USE OF RELAY PROTECTION TO IMPROVE THE RELIABILITY OF POWER SUPPLY

Krasnov Dmitry Vitalievich
KSPEU, Kazan
Dmitrijk2131@gmail.com

Abstract: Relay protection is an important component of the power supply system, which allows to ensure the reliability of operation and protection of equipment from emergency situations. The article discusses the basic principles of relay protection, its application to improve the reliability of power supply and equipment protection. Modern technologies and equipment that are used to improve the reliability of relay protection are also described.

Keywords: reliability, relay protection, electric power systems, power supply, reliability, short circuit, control device.

Релейная защита – это техническое средство, предназначенное для обнаружения и сигнализации о неисправностях в электрических сетях. Она играет важную роль в обеспечении надежности электроснабжения и защите электрооборудования от перегрузок, коротких замыканий, заземлений и других аварийных ситуаций [1].

Применение релейной защиты для повышения надежности электроснабжения имеет несколько преимуществ. Во-первых, она позволяет быстро обнаружить и сигнализировать об аварийных ситуациях, что позволяет оперативно принимать меры для их устранения и минимизации влияния на работу электрооборудования и потребителей электроэнергии.

Во-вторых, релейная защита позволяет автоматически отключать электрооборудование при возникновении аварийных ситуаций, что помогает предотвратить дальнейшее развитие аварии и повреждение оборудования.

Когда релейная защита обнаруживает изменения в параметрах системы, она срабатывает и передает сигнал на управляющее устройство, которое принимает решение о действиях. Если неисправность подтверждается, то управляющее устройство отключает неисправную часть системы и предотвращает распространение аварии на другие участки электрической сети.

Например, при коротком замыкании в системе релейная защита срабатывает и отключает оборудование, находящееся в зоне короткого замыкания, что предотвращает дальнейшее распространение короткого замыкания по другим участкам электрической сети [2].

Существует множество типов релейной защиты, каждый из которых предназначен для обнаружения конкретных типов неисправностей в электрических сетях. Например, дифференциальная защита используется для обнаружения междуфазных коротких замыканий. Однако, необходимо отметить, что применение релейной защиты для повышения надежности электроснабжения может быть затруднено некоторыми факторами, такими как неправильная настройка, неправильное подключение к сети, а также недостаточное обслуживание.

Тем не менее, при правильном применении и настройке релейной защиты, она становится незаменимым инструментом для обеспечения надежности электроснабжения и защиты оборудования от аварийных ситуаций [3].

Современные релейные защиты обычно оснащены цифровыми системами управления и могут обрабатывать большое количество информации о состоянии электрических сетей, что позволяет автоматически принимать решения об отключении оборудования в случае возникновения аварийных ситуаций. Она заменила старые аналоговые системы, которые имели ограниченную функциональность и требовали постоянного обслуживания. Одной из особенностей цифровой системы управления релейной защитой является возможность удаленного управления и мониторинга. Это позволяет оперативно реагировать на аварийные ситуации и минимизировать их влияние на работу электрических сетей. В целом, цифровая система управления релейной защитой является незаменимым компонентом системы электроснабжения, обеспечивающим ее надежную работу и защиту от аварийных ситуаций.

Кроме того, релейная защита может быть интегрирована с системами автоматического управления электроснабжением, что позволяет эффективно контролировать и управлять работой электрических сетей и обеспечивать их надежность. Системы автоматического управления электроснабжением (АУЭС) являются важным элементом современных электроэнергетических систем, которые позволяют обеспечивать эффективное и надежное управление процессами генерации, передачи и распределения электроэнергии. Основная цель АУЭС – обеспечить непрерывность электроснабжения при возникновении непредвиденных ситуаций, таких как отключение оборудования, перегрузки, короткие замыкания, сбои в сети и другие. В этом случае система автоматически переключает электроэнергию на другие источники, чтобы сохранить стабильность электроснабжения. Системы автоматического управления электроснабжением включают в себя комплекс различных устройств и программных средств, которые обеспечивают автоматическое управление электроэнергетической системой.

Хотя релейная защита является одним из основных инструментов для обеспечения безопасности и надежности электроснабжения, у нее также есть некоторые недостатки и ограничения. Некоторые из них включают в себя:

1. Сложность настройки и технического обслуживания: Релейная защита может быть сложной в установке, настройке и обслуживании, что может требовать высокой квалификации и опыта у специалистов.

2. Ошибки настроек: Неправильная настройка релейной защиты может привести к ложным срабатываниям или несрабатыванию защиты при реальных авариях, что может привести к дополнительным проблемам и рискам для системы.

3. Ограниченная чувствительность: Релейная защита может иметь ограниченную чувствительность к некоторым видам неисправностей.

4. Высокая стоимость: Релейная защита может быть дорогой в установке и обслуживании, особенно для крупных и сложных систем электроснабжения.

5. Ограниченные возможности интеграции: Релейная защита может иметь ограниченные возможности интеграции с другими системами управления и мониторинга, что может затруднять автоматизацию процессов и управления электроснабжением.

6. Невозможность предотвращения всех возможных аварий: Релейная защита может предотвращать только определенные виды аварий и не может обеспечить полную защиту системы от всех возможных сбоев [4].

Таким образом, применение релейной защиты является необходимым условием для повышения надежности электроснабжения и защиты оборудования от аварийных ситуаций. Она позволяет обнаруживать и предотвращать возможные проблемы на ранней стадии и минимизировать влияние аварийных ситуаций на работу электрооборудования и потребителей электроэнергии. При правильном применении и настройке релейная защита становится надежным и эффективным инструментом для обеспечения стабильной работы электрических сетей.

Список литературы

1. Общие требования к системам противоаварийной и режимной автоматики, релейной защиты и автоматики, телеметрической информации, технологической связи в ЕЭС России. – М.: , 2018. – 43 с.

2. 19. Итоги голосования в рамках научно-практической конференции «Релейная защита и автоматизация энергосистем. Совершенствование эксплуатации и перспективы развития» Научно-практическое издание. №01(38). Февраль 2020 г. С.62-64.

3. Астанин С.С., Зацепина В.И., Шпиганович А.Н., Шпиганович А.А. Анализ взаимосвязи эффективности систем автоматики и управления с эффективностью электроснабжения предприятий // Энергетика будущего - цифровая трансформация. Сборник трудов всероссийской научно-практической конференции. Липецк, 2020. С. 79-83.

4. Абдюкаева А.Ф, Фомин М.Б, Асманкин Е.М, Ушаков Ю.А, Федотов Е.С. Релейная защита – проблемы и перспективы. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. №2(70) 2018 г. С.142-144.

УДК 004.896

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЕ

Мавляутдинов Линар Рамилевич
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
Linar.mavlyautdinov@gmail.com

Научный руководитель – к.т.н., доцент, Писковацкий Юрий Валерьевич

Аннотация: искусственный интеллект (ИИ) является одним из ключевых направлений современной науки и технологий, и его применение в энергетической

отрасли, в частности в релейной защите электроэнергетических систем, представляет новые возможности для повышения надежности и эффективности электроснабжения. В данной статье проведен обзор современных исследований и разработок в области применения ИИ в релейной защите электроэнергетических систем. Рассмотрены основные принципы работы релейной защиты и ее задачи, а также проблемы и вызовы, с которыми сталкиваются современные энергетические системы. Подробно рассмотрены различные подходы и методы применения ИИ в релейной защите, такие как нейросетевые алгоритмы, генетические алгоритмы, машинное обучение и другие. Описаны примеры успешного внедрения ИИ в релейную защиту, включая определение и классификацию событий в электроэнергетической системе, диагностику и прогнозирование возникновения отказов, а также определение оптимальных стратегий реакции релейной защиты на различные ситуации. Обсуждаются потенциальные преимущества и вызовы применения ИИ в релейной защите, такие как надежность, точность, скорость и автоматизация принятия решений, а также необходимость обеспечения кибербезопасности и соответствия нормам и стандартам. В заключение статьи представлены перспективы и направления дальнейших исследований в области применения ИИ в релейной защите электроэнергетических систем.

Ключевые слова: искусственный интеллект, релейная защита, электроэнергетические системы, машинное обучение, автоматические системы управления, нейронные сети, обнаружение аварийных ситуаций.

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN RELAY PROTECTION

Mavlyautdinov Linar Ramilevich
FGBOU VO "KGEU", Kazan
Linar.mavlyautdinov@gmail.com

Scientific supervisor – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Piskovatsky Yuri Valerievich

Abstract: artificial intelligence (AI) is one of the key areas of modern science and technology, and its application in the energy industry, in particular in the relay protection of electric power systems, presents new opportunities to improve the reliability and efficiency of power supply. This article provides an overview of modern research and development in the field of AI application in relay protection of electric power systems. The basic principles of operation of relay protection and its tasks, as well as problems and challenges faced by modern energy systems are considered. Various approaches and methods of using AI in relay protection, such as neural network algorithms, genetic algorithms, machine learning and others, are considered in detail. Examples of successful implementation of AI in relay protection are described, including the definition and classification of events in the electric power system, diagnostics and prediction of failures, as well as the determination of optimal strategies for the response of relay protection to various situations. The potential advantages and challenges of using AI in relay protection are discussed, such as reliability, accuracy, speed and automation of decision-making, as well as the need to ensure cybersecurity and compliance with norms and standards. In conclusion, the article presents the prospects and directions of further research in the field of AI application in relay protection of electric power systems.

Keywords: artificial intelligence, relay protection, electric power systems, machine learning, automatic control systems, neural networks, emergency detection.

Современные электроэнергетические системы являются сложными и динамическими системами, подверженными различным видам рисков, таким как отказы оборудования, короткие замыкания, перегрузки, и другие аномалии, которые могут приводить к нарушению электроснабжения и серьезным экономическим потерям. Релейная защита является основой средств обеспечения надежности и безопасности работы электроэнергетических систем, путем обнаружения и локализации возникновения нештатных событий и автоматического отключения дефектных участков сети. Однако, с ростом сложности энергетических систем и увеличением объемов данных, с которыми необходимо оперировать, традиционные методы релейной защиты сталкиваются с вызовами и ограничениями [1]. В этом контексте, применение искусственного интеллекта (ИИ) может предоставить новые возможности и решения для повышения эффективности и надежности релейной защиты.

Релейная защита является комплексной системой, включающей в себя датчики, релейные устройства, средства коммуникации и управления, и имеет следующие основные задачи: обнаружение, классификация и локализация нештатных событий в электроэнергетической системе; определение оптимальных стратегий реакции на возникновение нештатных событий; автоматическое отключение дефектных участков сети для минимизации распространения сбоев; и обеспечение кибербезопасности и надежности работы системы [2].

Современные электроэнергетические системы сталкиваются с рядом проблем и вызовов, которые усложняют работу релейной защиты. Быстрые изменения в рабочих условиях энергосистемы могут вызывать ложные срабатывания или несрабатывания релейной защиты, что может привести к неправильным решениям и нарушению работы системы [3]. Кроме того, традиционные методы релейной защиты обычно основаны на заданных пороговых значениях и жестко настроенных алгоритмах, что делает их менее адаптивными к изменяющимся условиям энергосистемы и сложным динамическим процессам.

Применение ИИ в релейной защите может предоставить новые возможности для решения проблем и вызовов, с которыми сталкиваются современные энергосистемы. ИИ позволяет автоматизировать процессы обработки и анализа больших объемов данных от датчиков и других источников, что позволяет более точно и быстро обнаруживать нештатные события и принимать решения на их основе. Алгоритмы машинного обучения, такие как нейронные сети, генетические алгоритмы, методы кластеризации и др., могут быть использованы для разработки адаптивных

и интеллектуальных алгоритмов релейной защиты, которые способны адаптироваться к изменяющимся условиям энергосистемы и динамическим процессам.

ИИ может использоваться для разработки адаптивных алгоритмов релейной защиты, способных адаптироваться к изменениям в энергосистеме. Например, алгоритмы машинного обучения могут анализировать данные о нагрузке, напряжении, токе и других параметрах энергосистемы в режиме реального времени и на основе этого принимать решения о регулировании параметров релейной защиты. Такие адаптивные алгоритмы могут быть более эффективными и точными, поскольку они способны учитывать текущее состояние энергосистемы и ее динамические изменения [4]. ИИ также может быть использован для оптимизации настроек релейной защиты. Традиционно настройка релейной защиты производится вручную экспертами на основе опыта и знаний о системе. Однако, с использованием ИИ, можно разрабатывать автоматизированные методы оптимизации настроек релейной защиты на основе анализа данных, что может привести к оптимальному выбору параметров и более эффективной работе релейной защиты.

Еще одним важным применением искусственного интеллекта в релейной защите является детекция кибератак и защита от киберугроз [2]. ИИ может анализировать данные о сетевых атаках, мониторить сетевой трафик и обнаруживать аномалии, свидетельствующие о возможных кибератаках. Это позволяет своевременно реагировать на киберугрозы и принимать меры по защите релейной защиты от нежелательных воздействий.

Также стоит отметить, что внедрение ИИ в релейную защиту требует существенных инвестиций в оборудование, программное обеспечение, обучение персонала и обеспечение поддержки и обновлений системы. Это может быть финансово и организационно сложным процессом, особенно для небольших энергетических компаний или регионов с ограниченными ресурсами.

В заключение, ИИ представляет потенциально мощный инструмент для улучшения релейной защиты электроэнергетических систем. Он может обеспечить более точную, адаптивную и эффективную защиту от аварийных ситуаций, оптимизировать настройки релейной защиты и обнаруживать киберугрозы. Однако, применение искусственного интеллекта также сопряжено с вызовами, такими как надежность, безопасность, интерпретируемость, а также необходимость инвестиций в оборудование и обучение персонала. Дальнейшие исследования

и разработки в области ИИ в релейной защите должны учитывать эти вызовы и находить решения, чтобы гарантировать надежную и безопасную эксплуатацию систем электроэнергетики.

Список литературы

1. А.И. Кузьмин Магистерская диссертация на тему «Применение современных устройств релейной защиты и автоматики в городских электрических сетях»

2. Шананин В.А. Применение систем искусственного интеллекта в защите информации // Инновации и инвестиции. 2022. №11. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-sistem-iskusstvennogo-intellekta-v-zaschite-informatsii> (дата обращения: 02.05.2023).

3. Шилин А. Н., Дикарев П. В., Дементьев С. С. Интеллектуальная система релейной защиты воздушных линий в электрических сетях с малыми токами замыкания на землю // Глобальная ядерная безопасность. 2022. №4 (45). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/intellektualnaya-sistema-releynoy-zaschity-vozdushnyh-linij-v-elektricheskikh-setyah-s-malymi-tokami-zamykaniya-na-zemlyu> (дата обращения: 02.05.2023).

4. Степанова Д.А., Антонов В.И., Наумов В.А. Методы искусственного интеллекта в релейной защите, основы интеллектуального дискриминатора режимов земляных коротких замыканий в электрической системе. Материалы научно-технической конференции молодых специалистов форума «РЕЛАВЭКСПО-2021» URL: <https://clck.ru/34JYab>

УДК 621.316

ЦИФРОВИЗАЦИЯ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

Маркова Мария Григорьевна

Казанский государственный энергетический университет, г. Казань
markovamg@list.ru

Аннотация: цифровизация повсеместно затрагивает все отрасли жизнедеятельности человека. В данной статье рассматривается процесс цифровизации в энергетической промышленности, проанализированы преимущества внедрения цифровых подстанций, а также недостатки реализации цифровой подстанции.

Ключевые слова: автоматизация, цифровая подстанция, цифровизация, электроэнергетика, автоматизированная система, дистанционное управление, интеллектуальное оборудование.

DIGITALIZATION IN THE ENERGY INDUSTRY

Markova Maria Grigorevna
Kazan State Power Energetic University, Kazan
markovamg@list.ru

Abstract: digitalization affects all sectors of human activity everywhere. This article considers the digitalization process in the power industry, analyzes the advantages of the introduction of digital substations, as well as the shortcomings of the implementation of the digital substation.

Keywords: automation, digital substation, digitalization, electric power, automated system, remote control, intelligent equipment.

В эпоху технологического прогресса особенно остро встаёт вопрос о совершенствовании энергетического оборудования с целью удобства эксплуатации. В связи с современными запросами стали разрабатываться подстанции нового поколения – цифровые. Переход на такой вид подстанций является частью цифровизации – необходимой ступенью в технологическом развитии энергетической отрасли [1]. Данные подстанции оснащены автоматизированной системой управления технологическим процессом (АСУ ТП), которая включает в себя систему противоаварийной и сетевой автоматики (ПА), автоматизированную информационно-измерительную систему коммерческого учёта электроэнергии (АСКУЭ), регистраторы аварийных событий (РАС) и др.

Координация процессов автоматизированных систем осуществляется согласно протоколам, прописанных в стандарте МЭК 61850 [7]. В отличие от традиционных подстанций, эксплуатация которых подразумевает постоянное присутствие дежурного персонала непосредственно на месте, так называемое «умное» оборудование таких систем запрограммировано на диагностику, анализ и оптимизацию собственной работы [4]. Данный факт позволяет:

- существенно облегчить работу дежурного персонала, который может управлять интеллектуальными устройствами подстанции дистанционно. Одной из востребованных программ для данного вида управления является SCADA, обеспечивающая всем необходимым функционалом [2];

- повысить эффективность и качество передачи электроэнергии;
- обеспечить бесперебойную работу электрооборудования.

Благодаря автоматизации процессов повышается уровень защиты линий электропередач (ЛЭП) и оборудования, снижается риск развития аварийных ситуаций. Ещё одной отличительной чертой цифровой подстанции от традиционной является упрощение проектируемых схем,

что значительно облегчает работу при наладке и ремонте, т.к. при ремонте на цифровых подстанциях нет необходимости отключения первичного электрооборудования от системы, ведь терминалы автоматизированных систем уже изолированы от них.

Помимо положительных сторон у цифровых подстанций есть несколько существенных минусов. О создании таких подстанций заговорили относительно недавно, из-за чего возникают последующие проблемы при создании:

- необходимость создания новых квалифицированных кадров. Цифровые подстанции имеют другую «начинку», из-за чего персоналу традиционных подстанций требуется полное переобучение;

- разработка и проектирование нового высокотехнологичного оборудования. Для эффективной работы необходима полная совместимость устройств автоматизированного управления [6].

Всё это требует больших экономических затрат, из-за чего невозможна масштабная реновация сетей по всей стране. Однако в отдельных регионах России постепенно вводятся в эксплуатацию первые цифровые подстанции. К примеру, в 2019 году г. Казань реконструирована ПС 110 кВ Портовая с созданием первой подобной подстанции в городе [3]. На ней совмещены элементы первичного оборудования (трансформаторы, выключатели) и системы автоматизированного управления (микропроцессорные терминалы релейной защиты и АСУ ТП). Данные новшества облегчили мониторинг за работой устройств и коммерческим учётом электроэнергии, который благодаря автоматизации проводится дистанционно - непосредственно с рабочего места, с диспетчерского центра Казанских электрических сетей, с Центра управления сетями Сетевой компании. Это позволяет сразу же обнаружить неполадки и оперативно их устранить. В связи с успешностью эксплуатации цифровой подстанции ПС 110 кВ Портовая в 2022 году в г. Казань была внедрена вторая цифровая подстанция ПС 110 кВ Азино.

Данный пример показывает, что, несмотря на имеющиеся минусы, цифровые подстанции уже внедряются и обеспечивают надежность и эффективность работы всей системы. Затраты на эксплуатацию значительно снижаются, окупаемость самой цифровой подстанции происходит быстрее, чем окупаемость традиционной подстанции.

В Российской Федерации в соответствии с перспективностью и актуальностью использования цифровых технологий издан указ Президента РФ Владимира Путина от 07.05.2018 года № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской

Федерации до 2024 года», в котором также рассмотрены направления развития цифрового оборудования в энергетической отрасли. Данный указ прописывает ключевые задачи по реализации цифровизации в энергетике страны:

- развитие отечественного программного обеспечения для автоматизированных систем управления;
- разработка коммуникационных технологий интеллектуальных устройств для хранения, обработки и анализа больших объемов информации;
- создание новых высококвалифицированных кадров для обслуживания цифровых подстанций;
- обеспечение финансирования проектов по развитию цифрового оборудования в энергетике и др. [5].

Благодаря данному указу у энергетических компаний существует полный комплекс задач по созданию и совершенствованию цифровой структуры энергетической промышленности, а также есть поддержка со стороны государства.

Исходя из всего сказанного, итогами цифровизации в энергетической отрасли становятся:

1. Удобство эксплуатации оборудования за счёт более простых механизмов управления, в том числе возможность дистанционного управления.
2. Сбор, анализ, передача данных для обеспечения эффективности и точности работы цифровой подстанции, а также последующая оптимизация процессов на основе полученной информации.
3. Повышение надежности работы оборудования и обеспечение безопасности дежурному персоналу за счёт автоматизированных систем.
4. Снижение эксплуатационных затрат и сокращение времени технологического обслуживания оборудования.

Проектирование и создание подобных подстанций полностью изменит отношение к эксплуатации и потреблению электроэнергии. Интеллектуальное оборудование станет неотъемлемым помощником в управлении, мониторинге и оптимизации процессов, что значительно облегчит работу персонала станции и поможет в оперативном решении многих проблем.

Список литературы

1. Быстрицкий, Г.Ф. Основы энергетики / Г.Ф. Быстрицкий. – М.: ИНФРА-М, 2007. – 288 с.
2. Газиева Р.Т., Ядгарова Д.Б., Нигматов А.М., Озодов Э.О. Мастер SCADA, учебное пособие для студентов специальности 5311000-

Автоматизация и управление технологических процессов и производств (в водном хозяйстве). - Ташкент: 2020. - 105 с.

3. Под напряжение поставлена вторая цифровая подстанция Казани - ПС 110 кВ Азино // Сетевая компания URL: https://gridcom-rt.ru/press-tsentr/novosti/pod-napryazhenie-postavlena-vtoraya-tsifrovaya-podstantsiya-kazani-ps-110-kv-azino/?sphrase_id=75588 (дата обращения: 14.05.2023).

4. Титаренко О.Н., Муртазаев И.А. Цифровые подстанции – важный элемент интеллектуальной энергосистемы // Энергетические установки и технологии. - 2020. - Т. 6. - № 1.

5. Указ президента Российской Федерации от 07.05.2018 № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года».

6. Янин М.А. Опыт, полученный при реализации проектов по построению цифровых подстанций с применением оптических трансформаторов // Релейщик. - 2020. - № 3.

7. IEC 61850 // URL: <https://tatsoft.com/wp-content/uploads/2021/01/IEC61850.pdf> (дата обращения: 14.05.2023).

УДК 621.311.1

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАБОТЫ С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ СЕТЯМИ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИХ НАДЕЖНОСТИ

Мингазов Зульфат Тальгатович
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
mzulfat@list.ru

Аннотация: статья посвящена автоматизации работы с электрическими сетями и обеспечению их надежности. Описываются современные методы автоматизации работы электрических сетей, назначение и применение автоматических систем управления в электроэнергетике. Рассмотрены вопросы надежности и безопасности электрооборудования. Кроме того, в статье приведены примеры практического применения автоматических систем управления в электрических сетях.

Ключевые слова: электроэнергетика, автоматизация, электрические сети, надежность, безопасность.

AUTOMATION OF WORK WITH ELECTRICAL NETWORKS AND ENSURING THEIR RELIABILITY

Mingazov Zulfat Talgatovich
FSBEI HE «KSPEU», Kazan
mzulfat@list.ru

Abstract: the article is devoted to the automation of work with electrical networks and ensuring their reliability. Modern methods of automating the operation of electrical networks,

the purpose and application of automatic control systems in the electric power industry are described. The issues of reliability and safety of electrical equipment are considered. In addition, the article provides examples of the practical application of automatic control systems in electrical networks.

Keywords: electric power industry, automation, electric networks, reliability, safety.

С начала своего становления электроэнергетика страны использовала в основном ручную работу людей для обслуживания и ремонта электрических сетей. Однако, с появлением новых технологий и автоматизированных систем, данная сфера начала активно развиваться в направлении использования вычислительной техники и автоматизированных систем.

В основе автоматизации систем энергоснабжения лежит комплексный подход к управлению и контролю работы стратегических объектов электроэнергетики. В современном мире автоматизация стала неотъемлемой частью производства, в том числе и электроэнергетики, так как значительно повышает эффективность работ, снижает вероятность аварий, а значит, повышает безопасность эксплуатации. Основная задача автоматизации работы с электрическими сетями заключается в обеспечении их надежности. Для этого используются программно-аппаратные комплексы (ПАК), которые на основании данных, полученных от датчиков на сетях, позволяют контролировать работу оборудования, определять причины возникновения аварий, а также принимать меры по их предотвращению в автоматическом режиме. Для автоматизации работы с электрическими сетями используются различные средства контроля и управления. В основе их работы лежит использование различных систем сбора данных, обработки информации и управления в режиме реального времени. К таким системам относятся SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) и WAMS (Wide Area Monitoring System).

Система SCADA позволяет удаленно управлять и контролировать различные технологические процессы на объектах электроэнергетики [1]. С ее помощью можно контролировать работу оборудования на больших и находящихся на большом расстоянии областях сетей. Важной особенностью системы SCADA является мониторинг качества электроэнергии.

Система WAMS предназначена для контроля технологических процессов на объектах электроэнергетики, находящихся в разных регионах. Эта система собирает данные с больших территорий, что позволяет контролировать и управлять несколькими подсистемами одновременно.

Также используются системы мониторинга, которые помогают контролировать состояние самой сети [2]. Эти системы могут быть как

аппаратными, так и программными. Аппаратные системы установлены на объектах электроэнергетики и собирают данные о технологических параметрах работы сети, обеспечивая быстрое выявление и реагирование на возникающие сбои.

Важным элементом автоматизации является управление нагрузками на сеть. Для этого используются системы управления нагрузками, которые позволяют контролировать нагрузку на сети и принимать меры по ее оптимизации. Такие системы могут регулировать напряжение, осуществлять планирование нагрузки и управлять мощностью [3].

Автоматизация работы с электрическими сетями является важным вопросом для современной энергетики. Рост числа пользователей электроэнергии и увеличение количества сбоев требует новых технических решений для эффективного и надежного управления энергетическими системами.

Одним из наиболее значимых элементов автоматизации работы с электрическими сетями являются системы управления распределительными сетями (DMS). Эти системы обеспечивают планирование, управление и контроль работы электрической инфраструктуры. DMS управляет различными компонентами энергетической инфраструктуры, такими как генераторы, трансформаторы и устройства управления, такие как выключатели и разъединители. Системы управления распределительными сетями (DMS) позволяют улучшить качество и объем диагностики и устранения проблем, а также уменьшить риск отказов и повысить эффективность управления. Для работы с такими системами требуются определенные знания и навыки у персонала, что также актуализирует потребность в регулярном обучении [4].

Второй важной областью автоматизации работы с электрическими сетями является мониторинг состояния электроэнергетического оборудования. Современные технологии позволяют автоматически измерять и анализировать различные параметры, такие как напряжение, ток и частота. Это позволяет операторам быстро обнаруживать любые проблемы и реагировать на них.

Третья область автоматизации работы – это обновление и модернизация оборудования. Новые технологии могут значительно увеличить надежность работы оборудования и уменьшить риск отказов. Например, можно заменить устаревшие выключатели и прерыватели на более современные модели, которые обеспечивают более быструю реакцию на возникшие проблемы. Также важным аспектом является обучение персонала на новых технологиях и оборудовании. Регулярное обучение

позволяет сохранять высокий уровень навыков и профессиональных знаний персонала, уменьшает риск отказов оборудования и улучшает надежность работы электрических сетей [5].

Таким образом, автоматизация работы с электрическими сетями оказывает существенное влияние на эффективность, надежность и безопасность работы энергетической инфраструктуры. Перспективы развития данной области могут быть связаны с использованием искусственного интеллекта и других технологических инноваций для более точного и быстрого диагностирования проблем и эффективного управления энергетическими системами.

Список литературы

1. Автоматизация электрических сетей: Учебное пособие / А.Ф. Карандаев, Е.А. Гречко, Д.А. Лазарев. – М.: Энергоатомиздат, 2020. – 352 с.
2. Каменев, С.М. Автоматизация электрических сетей / С.М. Каменев. – М.: Энергоатомиздат, 2021. – 456 с.
3. Леушин, В.В. Системы автоматизации и диспетчеризации электроэнергетических объектов: Учебное пособие / В.В. Леушин, Е.Н. Звездин. – М.: МЭИ, 2020. – 272 с.
4. Боровков, С.В. Промышленная автоматика и контроль: Учебник для вузов / С.В. Боровков, Е.А. Голубкова, В.П. Паскалев. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021. – 576 с.
5. Влияние количества фаз обмотки статора на тяговое усилие линейного синхронного двигателя / А. Г. Логачева, Ш. И. Вафин, Р. Р. Гибадуллин, А. М. Копылов // Национальная Ассоциация Ученых. – 2015. – № 2-3(7). – С. 138-143. – EDN YMGQTH.

УДК 621.311

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СИСТЕМЕ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

Мухамбетова Дильназ Талаповна
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан
m-dilnaz@mail.ru

Аннотация: с развитием современных энергосистем к технологии релейной защиты предъявляются все более высокие требования. В случае неспособности традиционных технологий релейной защиты соответствовать требованиям

непрерывного развития энергосистем, стоит уделить внимание системам релейной защиты основанном на технологии искусственного интеллекта (ИИ). В связи с этим в статье анализируются всевозможные стороны традиционной защиты линии передачи и рассматривается возможность использования адаптивности и сочетания искусственной нервной системы с релейной защитой на основе ИИ.

Ключевые слова: искусственный интеллект, мультиагентная система, нейронная сеть, релейная защита, селективность, технологии, энергосистема.

MODERN APPROACHES TO THE MANAGEMENT OF ENERGY RESOURCES OF THE INDUSTRIAL ENTERPRISES

Mukhambetova Dilnaz Talapovna
FSBEI HE «KSPEU», Kazan
m-dilnaz@mail.ru

Abstract: with the advancement of modern power systems, relay protection technology is becoming progressively demanding. If traditional relay protection technologies are unable to meet the requirements of continuous development of power systems, it is worth paying attention to relay protection systems based on artificial intelligence (AI) technology. In this regard, the article analyzes all possible positions of traditional transmission line protection and takes into the possibility of using adaptability and combining an artificial nervous system with AI-based relay protection.

Keywords: artificial intelligence, multi-agent system, neural network, relay protection, selectivity, technologies, power system.

В настоящее время люди широко применяют роботов в повседневной жизни. Такое развитие принесло много удобств в жизнь людей, так как появились способы использования искусственного интеллекта в различных сферах, в том числе энергетики. Во время работы энергосистем могут возникать различные нештатные ситуации, связанные с неисправностями оборудования, низким уровнем обслуживающего персонала и рядом других причин. Наиболее распространенными и опасными неисправностями являются различные типы коротких замыканий, в том числе междуфазные замыкания и замыкания на землю. При этом существенно повышается вероятность выхода из строя оборудования, входящий в общий состав установки. С целью предотвращения распространения системных аварий, обеспечения и поддержания стабильности работы энергосистемы, необходимо быстро и селективно заменить неисправные компоненты. К сожалению, времени, предусмотренного для устранения неисправностей и замены вышедших из строя компонентов, чрезвычайно мало. Проблема усугубляется в обнаружения обслуживающим персоналом неисправного оборудования и своевременного предотвращения аварии. Поэтому для точного достижения этой цели необходимо полагаться на автоматическое

устройство, установленное в каждом электрооборудовании, то есть на устройство релейной защиты.

Наиболее популярный вид электрических реле, в которых электрический сигнал вызывает перемещение подвижных частей – это электромеханические реле. Несмотря на то, что движущиеся детали снижают надежность, со временем контакты реле подгорают и окисляются, теряют способность прижиматься друг к другу, вследствие, контакт вовсе исчезает. Также, электромеханические реле очень чувствительны к влаге и пыли.

Используемые в настоящее время микропроцессорные устройства релейной защиты отличается своей многофункциональностью. Кроме реализации защиты оборудования, микропроцессорные терминалы изготавливают замеры параметров сети и выводят их на цифровой экран. При использовании таких устройств отсутствует необходимость в установке дополнительных приборов измерения. Отсюда вытекает еще одно достоинство – компактность. К недостаткам микропроцессорных устройств следует отнести высокую цену, ограниченный спектр рабочих температур, не ремонтпригодность и сбои в программном обеспечении.

Вышеизложенные сведения показывают, что внедрение инновационных технологий и прогрессивных материалов в устройства релейной защиты приводит к расширению функциональности терминалов, повышению их работоспособности и надежности.

На данном этапе развития науки и техники появилась возможность исследовать работу защиты дистанционного типа, а именно применение мультиагентной системы (МАС), которая непосредственно связана с нейронной сетью. Нейронная сеть (НС) – это раздел искусственного интеллекта, в котором для обработки информации используется сигнал одного нейрона, передаваемый другому. Такая особенность нейронной сети позволяет передавать информацию на определенное расстояние. НС в ИИ обладает высокой адаптивностью, надежностью, отказоустойчивостью и возможностью параллельных вычислений. НС имеет значительные преимущества по сравнению с традиционными вычислительными методами решения нелинейных. НС может справляться со сложными математическими задачами, которые могут быть затруднительны для традиционных методов расчета.

Мультиагентная система основывается на творческом подходе. Основная цель заключается в создании больших и сложных систем в небольших масштабах, во взаимодействии их друг с другом, а также в выполнении простых настроек. При выборе агента следует обращать

внимание на основные характеристики такие как: автономия, социальные способности, самозащита.

Автономия подразумевает самостоятельный характер для обработки информации. Агент должен обладать независимыми знаниями и ресурсами для успешной работы без вмешательства со стороны людей.

Социальные способности описывают корректное восприятие окружающей среды и влияние на социальный мир. В свою очередь самозащита контролирует поведение интеллектуального агента и помогает принимать целенаправленные решения.

Кроме улучшения элементной базы релейной защиты, одним из ключевых направлений считается улучшение алгоритмов ее работы. Основным направлением выступает создание алгоритмов на основе искусственного интеллекта. Нейронные сети позволяют принимать во внимание предыдущее положение системы и приспосабливаться под различные режимы работы.

С дальнейшим развитием компьютерных наук и технологий искусственного интеллекта жизнь людей обретет все более удобные условия. Люди постепенно переходят на устройства, обладающих искусственным интеллектом, и достигают успешных результатов.

В заключении хотелось бы выделить, что применение искусственного интеллекта в энергосистеме очень полезно для решения проблемы релейной защиты линий электропередач. В некоторых уголках нашего мира уже применяется защита, основанная на технологии МАС. Есть вероятность того, что благодаря углубленному изучению уже имеющихся результатов исследования, и в нашей стране можно хорошо разработать и эффективно применить МАС в сферу релейной защиты.

Список литературы

1. Аксёнов, С.В. Организация и использование нейронных сетей (методы и технологии) / В.С. Аксёнов, Б.В. Новосельцев: под ред. В.Б. Новосельцева. – Томск: Изд-во НТЛ, 2006. – 94 с.

2. Карим Хасан Х. К. Перспективы развития нейронных сетей / Х. К. Карим Хасан, Е. Г. Алексеев // Наука и бизнес: пути развития. – 2020. - №7. – С. 40-45. - URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44173683> (дата обращения: 18.05.2023).

3. Круглов, В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика / В.В. Борисов, В.В. Круглов. – М.: Горячая линия-Телеком, 2002. – 268 с.

4. Шалин А.И. Надёжность и диагностика релейной защиты энергосистем: Учебник. –Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. –248 с.

5. Smart Grid или умные сети электроснабжения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.eneca.by/ru_smartgrid0/. (дата обращения: 21.05.2023).

УДК 621.355

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПО РЕГУЛИРОВАНИЮ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЯЗЫКОВ СТАНДАРТА МЭК 61131-3

¹Павлов Даниил Владимирович, ²Сандаков Виталий Дмитриевич
^{1,2}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан
¹lgfdkj@mail.ru, ²vitalysandakov@gmail.com

Аннотация: в статье разработана автоматизированная система управления, которая позволит регулировать и поддерживать оптимальные параметры для аккумуляторной батареи, такие, как напряжение и температура.

Ключевые слова: энергетика, аккумулятор, АКБ, питание, заряд, проектирование, АСУТП.

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR THE REGULATION OF OPTIMAL PARAMETERS OF THE BATTERY BATTERY USING THE LANGUAGES OF THE IEC 61131-3 STANDARD

¹Pavlov Daniil Vladimirovich, ²Sandakov Vitaly Dmitrievich
^{1,2}FSBEI HE KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan
¹lgfdkj@mail.ru, ²vitalysandakov@gmail.com

Annotation: the article developed an automated control system that will allow you to regulate and maintain optimal parameters for the battery, such as voltage and temperature.

Keywords: energy, accumulator, battery, food, charge, design, process control system.

В настоящее время шкафы автоматизации (НКУ), применяются очень широко на различных типах производства. В них помещены различные типы устройств, отвечающие за различные функции технологического процесса [1,2]. Кроме того, шкафы НКУ используются, как защита для элементов от внешних воздействий.

В основном, в автоматизированных системах управления (АСУ), главным устройством, отвечающим за регулирование и управление процессами, выступает программируемый логический контроллер (ПЛК).

ПЛК различаются количеством входов и выходов, а также их типами, а именно дискретные или аналоговые. В зависимости от процесса выбирается тот или иной ПЛК.

В нашу повседневную жизнь плотно внедрились аккумуляторные батареи. Эта сфера очень широко и быстро развивается в настоящее время. Также и на предприятии не обошлось без применения такого типа устройств. Кроме переменного тока в сетях промышленных предприятий, существуют и источники постоянного тока, которые также отвечают за осуществление работоспособности отдельных элементов предприятия и, которые, могут осуществлять резервное питание. Аккумуляторная батарея – это одно из этих устройств, позволяющее осуществить все вышеуказанные процессы [3,4].

Для комфортного жизнеобеспечения аккумуляторной батареи AGM типа, в шкафах предусматривают различные системы, начиная от системы кондиционирования и заканчивая системами контроля и защиты. Этот комплекс процессов позволяет продлить жизнь АКБ и защитить его от преждевременного выхода из строя.

Установка имеет 2 режима: «Включено» и «Отключено». С помощью выключателя установка получает питание. Также автоматический выключатель защищает все цепи от негативных воздействий тока короткого замыкания и токов перегрузки. После того, как выключатель взведен в положение «Включен» запрашиваются датчик температуры, измеритель параметров электрической сети и программируемый логический контроллер. Датчик температуры измеряет температуру и передает данные в ПЛК [5]. Далее контроллер сравнивает значения и в зависимости от конкретного установленного значения, которые вшиты в программу его работы, принимает решение какое устройство и в каком количестве их задействовать. По мере достижения определенной температуры ПЛК отключает устройство до тех пор, пока не потребуется его повторного включения [6].

Измеритель параметров электрической сети контролирует напряжение на клеммах аккумуляторной батареи и как только значение напряжения достигает критического значения подключает зарядное устройство. Зарядное устройство заряжает АКБ до установленного значения, далее измеритель параметров фиксирует достижение параметра и подает сигнал ПЛК на отключение зарядного устройства [7].

Создадим программу в Codesys2.3 на языке ST и выбираем контроллер ПЛК200-04-CS. Пропишем автоматический выключатель (p) в логический тип данных BOOL. Эта переменная может принимать два

значения либо «ЛОЖЬ», либо «ИСТИНА». Присвоим ему значение «ИСТИНА». Для того, чтобы имитировать изменение температуры, которую фиксирует датчик температуры (temp) в рациональные значения REAL, т.е. в данные, которые могут принимать определенные числа. Далее, пропишем значения температур, при которых будет передаваться сигнал с датчика температуры на ПЛК [8]. Эти значения должны иметь рациональные значения. В установке предусматриваются лампочки, для индикации включения определенной ступени обогрева. Лампочка имеет два положения либо «Включен», либо «Выключен», поэтому необходимо присвоить логический тип данных. Обозначим первую ступень обогрева, как r1, вторую r2 и третью r3. После того, как датчик зафиксирует температуру 10°C, -5°C, -15°C он подаст сигнал ПЛК на включение первой, второй, либо третьей ступени обогрева. По аналогии пропишем и вентиляторы. Нам необходимо, чтобы было постоянное отслеживание напряжение на клеммах аккумуляторной батареи [9]. Поэтому зададим параметр zar, чтобы имитировать рост или падение напряжения. Когда напряжение будет уменьшаться до минимального заданного значения или повышаться до максимального, измеритель параметров электрической сети будет подавать сигнал на контроллер, тем самым включать в цепь зарядное устройство [10]. Пропишем условие и для зарядного устройства. Полученная программа показана на рис. 1., рис. 2 и рис.3.

```

0001 PROGRAM PLC_PRG
0002 VAR
0003   p: BOOL:=TRUE;
0004   temp:REAL;
0005   t1: REAL := 10;
0006   t2:REAL:=-5;
0007   t3:REAL:=-15;
0008   t4:REAL:=20;
0009   t5:REAL:=30;
0010   lampa: BOOL;
0011   lampa2: BOOL;
0012   lampa3: BOOL;
0013   r1:BOOL;
0014   r2: BOOL;
0015   r3: BOOL;
0016   ven1: BOOL;
0017   ven2: BOOL;
0018   ven3: BOOL;
0019   zar: REAL;
0020   zu: BOOL;
0021 END_VAR

```

Рис. 1. Данные для контроля напряжения и зарядного условия

```

0031 IF zar<10 AND p THEN zu:=TRUE;
0032 ELSIF zar>12 THEN zu:=FALSE;
0033 END_IF

```

Рис. 2. Контроль напряжения и включение зарядного устройства

```

PROGRAM PI_C_PRC
0001 IF temp<t1 AND p THEN lampa:=TRUE;
0002 ELSE lampa:=FALSE;
0003 END_IF
0004 IF temp<t1 AND p THEN r1:=TRUE;
0005 ELSE r1:=FALSE;
0006 END_IF
0007 IF temp>t1 AND p THEN ven1:=TRUE;
0008 ELSE ven1:=FALSE;
0009 END_IF
0010
0011 IF temp<t2 AND p THEN r2:=TRUE;
0012 ELSE r2:=FALSE;
0013 END_IF
0014 IF temp<t2 AND p THEN lampa2:=TRUE;
0015 ELSE lampa2:=FALSE;
0016 END_IF
0017 IF temp>t4 AND p THEN ven2:=TRUE;
0018 ELSE ven2:=FALSE;
0019 END_IF
0020
0021 IF temp<t3 AND p THEN lampa3:=TRUE;
0022 ELSE lampa3:=FALSE;
0023 END_IF
0024 IF temp<t3 AND p THEN r3:=TRUE;
0025 ELSE r3:=FALSE;
0026 END_IF
0027 IF temp>t5 AND p THEN ven3:=TRUE;
0028 ELSE ven3:=FALSE;
0029 END_IF

```

Рис. 3. Условия для трех ступеней обогрева и трех ступеней охлаждения

Создадим визуализацию (см. рис.4).

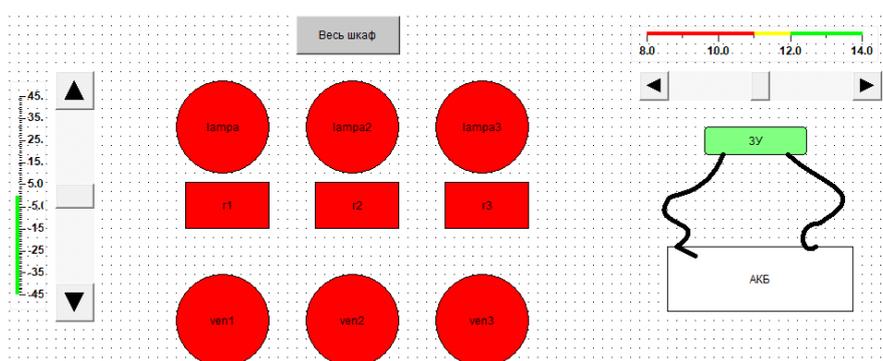


Рис. 4. Создание визуализации установки

В данной работе была разработана и модернизирована автоматизированная система управления по поддержанию оптимальных параметров для аккумуляторной батареи. Вся работа основана на контроллере OWEN ПЛК200-04-CS. Данная установка имеет ряд преимуществ:

- Визуализация состояния устройств;
- Поддержание заданных параметров;
- Ступенчатое регулирование температуры;
- Полная автоматизация процесса;
- Возможность установки сборки в неотапливаемых помещениях;
- Возможность дальнейшей модернизации установки;
- Возможность установки заданных параметров напряжения и температуры.

Список литературы

1. Иванова, В. Р. Разработка автоматизированной системы управления с использованием языка программирования стандарта МЭК 61131-3 / В. Р. Иванова, И. Ю. Иванов, И. Н. Киселев // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2020. – № 6. – С. 44-49.

2. Самигуллина, Ю. Б. Разработка автоматизированной системы управления приборами учета тепловой энергии и теплоносителя с использованием языков стандарта МЭК 61131-3 / Ю. Б. Самигуллина, А. В. Купоросов, А. Е. Сидоров // Диспетчеризация и управление в электроэнергетике : Материалы XV Всероссийской открытой молодежной научно-практической конференции, Казань, 21–22 октября 2020 года. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2020. – С. 78-81.

3. Сидоров, А. Е. Разработка системы логического управления аккумуляторной батареей / А. Е. Сидоров, Е. В. Трутнева // Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники : Материалы II Всероссийской научно-практической конференции. В 2-х томах, Казань, 18–19 марта 2020 года / Редколлегия: Э.Ю. Абдуллазянов (гл. редактор) [и др.]. Том II. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2020. – С. 101-106. – EDN NQEFXG.

4. Фетисов, Л. В. Применение Li-ion аккумуляторных батарей для электроснабжения потребителей первой и особой категорий / Л. В. Фетисов, Д. Г. Маврин // Актуальные проблемы электроэнергетики : материалы VI Всероссийской (XXXIX Региональной) научно-технической конференции, посвящается 100-летию плана ГОЭЛРО, Нижний Новгород, 17–18 декабря 2020 года. – Нижний Новгород: Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, 2020. – С. 262-265.

5. Система детектирования неисправности аккумулятора и способ детектирования неисправности аккумулятора для аккумуляторного блока // Вестник КГЭУ URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37460095> (дата обращения: 29.10.2022).

6. Особенности эксплуатации накопителя энергии на базе много-элементной литий - ионной аккумуляторной батареи // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ URL: <https://www.energyret.ru/jour/article/view/460/412> (дата обращения: 29.10.2022)

7. ГОСТ 21.404-85. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условных приборов и средств автоматизации в схемах. – М.: Стандартинформ, 2007. – 16 с.

8. Джесси Рассел Литий-ионный аккумулятор / Джесси Рассел. - М.: Книга по Требованию, 2012. - 976 с.

9. И.И. Спижевский Батареи и аккумуляторы для радиоприемников / И.И. Спижевский. - М.: Книга по Требованию, 2012. - 685 с.

10. К. Зоммер Аккумулятор знаний по химии / К. Зоммер. - М.: Мир; Издание 2-е, 1984. - 295 с.

УДК 621.311

МОДЕЛИРОВАНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ КОММУТАЦИОННЫХ АППАРАТОВ

¹Петров Алмаз Радикович, ²Грачева Елена Ивановна
^{1,2}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
¹petroval13@mail.ru, ²grachieva.i@bk.ru

Аннотация: в статье разработаны алгоритм и модели оценки эффективности эксплуатации низковольтных коммутационных аппаратов, которые позволяют уточнять величину потерь активной мощности и электроэнергии в электрооборудовании.

Ключевые слова: низковольтные коммутационные аппараты, потери мощности, контактные соединения, аппроксимирующие функции, сопротивление контактов.

MODELING OF CONTACT CONNECTION RESISTANCES OF SWITCHING DEVICES

¹Petrov Almaz Radikovich, ²Gracheva Elena Ivanovna
^{1,2}FSBEI HE "KSPEU", Kazan, Russia
¹petroval13@mail.ru, ²grachieva.i@bk.ru

Abstract: the article develops an algorithm and models for assessing the efficiency of low-voltage switching equipment operation, which allows specifying the value of active power and electric power losses in the electrical equipment.

Keywords: low-voltage switching devices, power losses, contact connections, approximating functions, contact resistance.

Как правило, в паспортных данных коммутационных аппаратов указываются не все технические характеристики, не приводятся сопротивления большей части элементов низковольтных аппаратов [1].

Определим сопротивление контактов по выражению:

$$R = \frac{\Delta P}{I_H^2} \quad (1)$$

где ΔP – потери активной мощности на полюс аппарата, Вт,
 I_n – номинальный ток аппарата, А.

Сопротивление контактных соединений в зависимости от номинального тока и коэффициента загрузки [2]:

$$R_{\text{расч}} = \frac{2\sqrt{\lambda \cdot F \cdot k_m \cdot S}}{I^2} \cdot \left(\theta_k - \frac{I^2 \cdot \rho \cdot (1 + \alpha \cdot \nu_k)}{F \cdot k_m \cdot S} \right) \quad (2)$$

где ν_k – температура контактных площадок.

Для исследования были отобраны автоматические выключатели в литом корпусе (АВЛК) серии ВА производства Курского электроаппаратного завода (КЭАЗ). Аппроксимируем паспортные значения потерь мощности для АВЛК [3]:

$$\Delta P_{\text{пот}} = -8 \cdot 10^{-5} \cdot I_n^2 + 0,067 \cdot I_n + 0,38 \quad (3)$$

Для определения зависимостей сопротивлений контактов и контактных соединений коммутационных аппаратов от номинального тока необходимо исследовать параметры аппаратов экспериментальными методами [4, 5].

Аналитическая зависимость сопротивления контактных соединений для АВЛК на номинальные токи до 60 А имеет вид:

$$R = \frac{350}{I_n} \quad (4)$$

На номинальные токи свыше 60 А зависимость имеет вид:

$$R = \frac{310}{I_n} \quad (5)$$

Используя полученные данные, построим график зависимости сопротивления контактных соединений от номинального тока для АВЛК серии ВА (рис. 1 и 2).

На рисунке 1 и 2 линии: 1 – экспериментальные данные $R_{\text{экс}}$; 2 – справочные данные $R_{\text{спр}}$; 3 – данные по потерям мощности $R_{\text{пот}}$, 4 – расчетные значения $R_{\text{расч}}$.

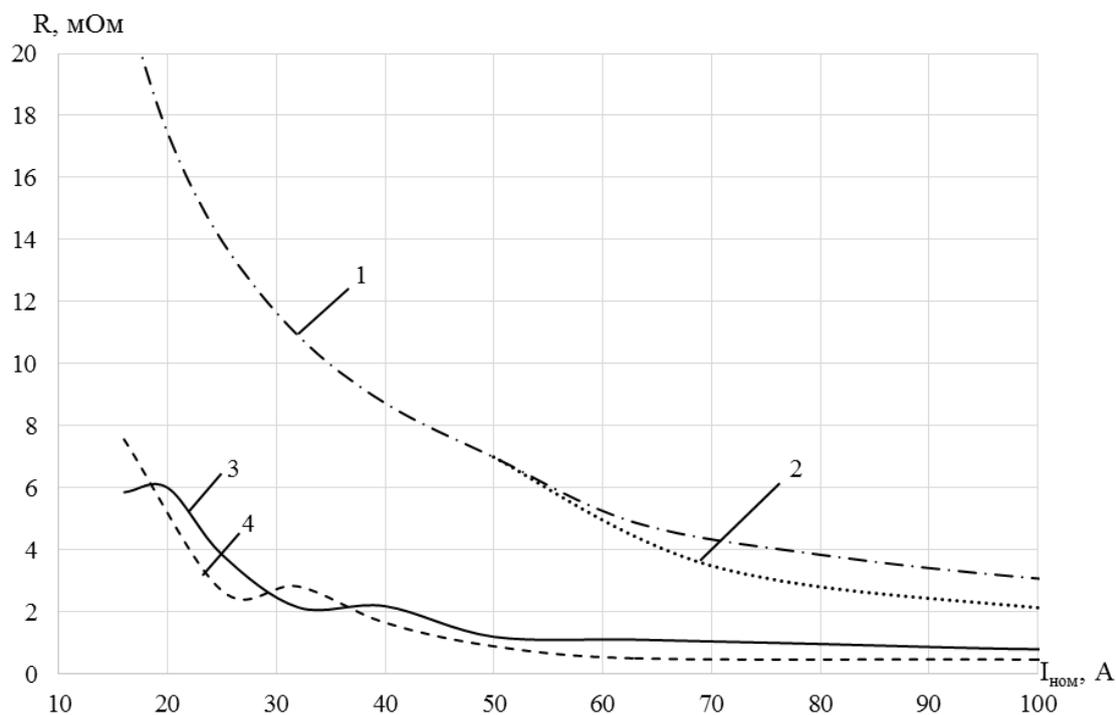


Рис. 1. Графики зависимостей сопротивлений контактных соединений от номинального тока для АВЛК на токи до 100 А

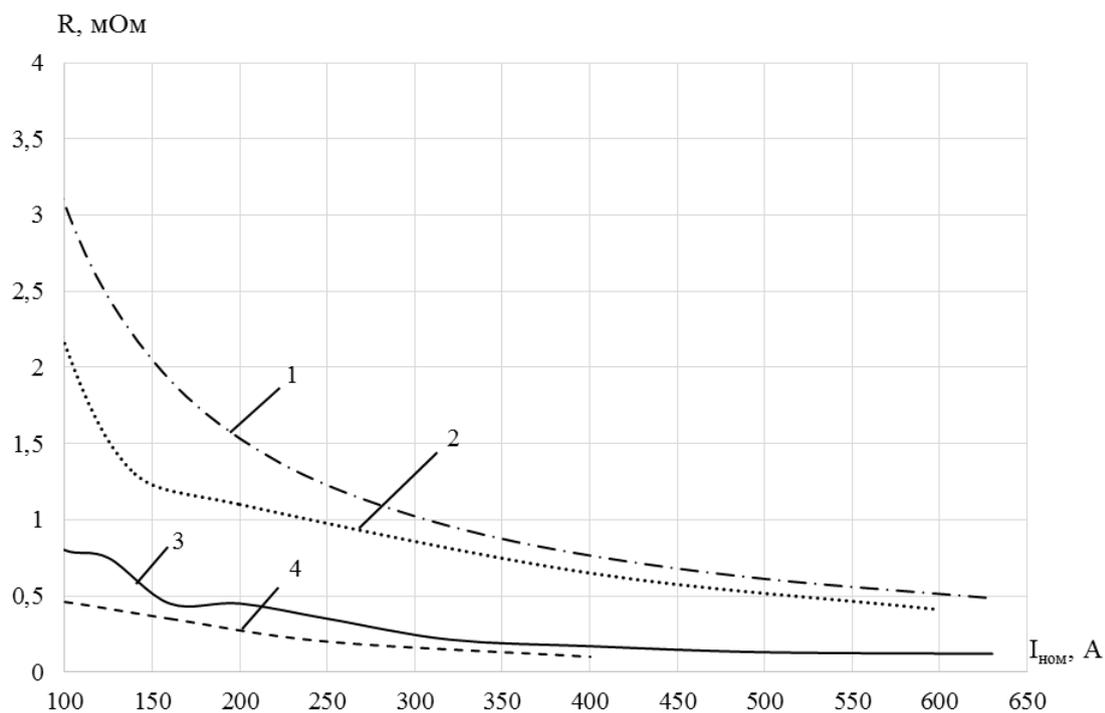


Рис. 2. Графики зависимостей сопротивлений контактных соединений от номинального тока для АВЛК на токи более 100 А

Результаты аппроксимирующих функций, исследуемых АВЛК представлены в таблице 1.

Аппроксимирующие функции сопротивления контактов

Тип аппарата	Номинальный ток, А	Аппроксимирующая функция
Автоматические выключатели ВА	10 ÷ 100	$R_{\text{пот}} = 170,04 \cdot I_{\text{н}}^{-1,198}$ $R_{\text{расч}} = 619,59 \cdot I_{\text{н}}^{-1,629}$
	100 ÷ 630	$R_{\text{пот}} = 153,89 \cdot I_{\text{н}}^{-1,125}$ $R_{\text{расч}} = 0,7705 \cdot e^{-0,005 \cdot I_{\text{н}}}$
	50 ÷ 1600	$R_{\text{ср}} = 395,35 \cdot I_{\text{н}}^{-1,045}$

Исследование показывает, что учет потерь мощности и сопротивления в контактных соединениях аппаратов внутризаводского электропитания позволяют в дальнейшем наиболее точно определять потери электроэнергии в этих сетях.

Список литературы

1. Грачева Е.И., Шакурова З.М., Абдуллазянов Р.Э. Сравнительный анализ наиболее распространенных детерминированных методов определения потерь электроэнергии в цеховых сетях // Проблемы энергетики. 2019. № 5. С.87-96.
2. Грачева Е.И., Горлов А.Н., Шакурова З.М. Анализ и оценка экономии электроэнергии в системах внутризаводского электроснабжения // Проблемы энергетики. 2020. № 2. С.65-74.
3. Ismoilov II, Gracheva EI. Increasing the control of power systems and improving the quality of electric power. KAZAN STATE POWER ENGINEERING UNIVERSITY BULLETIN. 2022; 14; 1(53):3-12.
4. Петров А.Р. Исследование технических характеристик автоматических выключателей различных производителей / НАУЧНО – ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ «ВЕСТНИК ПИТТУ имени академика М.С. Осими». [Электронное издание]. – № 3 (24), 2022. – С. 44-51.
5. Егоров Е. Г., Егоров Г. Е., Луия Н. Ю. Особенности измерения восстанавливаемой электрической прочности в низковольтных контакторах переменного тока // Вестник ЧГУ. 2019. №3.

МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ В КОТЕЛЬНОЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НАСОСАМИ

¹Родионов Олег Валерьевич, ²Денисова Алина Ренатовна
^{1,2}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан
¹o_rodionov1990@mail.ru

Аннотация: данная статья исследует методы оптимизации энергопотребления в котельных при помощи автоматизированной системы управления насосами. В ней рассматриваются основные проблемы энергоэффективности в котельных и предлагаются различные подходы для оптимизации системы, включая регулировку скорости насосов, оптимальное планирование работы и использование алгоритмов управления и прогнозирования. Результаты исследования позволяют снизить энергопотребление и повысить эффективность работы котельных.

Ключевые слова: автоматизированная система управления насосами, котельная, оптимизация.

METHODS FOR OPTIMIZING ENERGY CONSUMPTION IN A BOILER ROOM USING AN AUTOMATED PUMP CONTROL SYSTEM

¹Rodionov Oleg Valerievich, ²Denisova Alina Renatovna
^{1,2}Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "KSPEU", Kazan,
Republic of Tatarstan
¹o_rodionov1990@mail.ru

Abstract: this article explores methods for optimizing energy consumption in boiler houses using an automated pump control system. It addresses the main energy efficiency issues in boiler houses and proposes various approaches for system optimization, including pump speed control, optimal work scheduling, and the use of control and prediction algorithms. The results of the study allow to reduce energy consumption and improve the efficiency of boilers.

Key words: automated pump control system, boiler room, optimization.

Оптимизация энергопотребления в котельных имеет важное значение для снижения затрат и повышения эффективности работы системы. Автоматизированные системы управления насосами предоставляют новые возможности для реализации энергоэффективных режимов работы котельных. В данной статье мы рассмотрим методы оптимизации энергопотребления при использовании таких систем.

Основной проблемой энергоэффективности в котельных является несбалансированная работа насосов и неравномерное распределение нагрузки [1].

Несбалансированная работа насосов и неравномерное распределение нагрузки в котельной могут быть вызваны различными факторами, такими как несоответствие производительности насосов, неправильная конфигурация системы или изменения в требованиях нагрузки.

Для решения этой проблемы важно применять методы оптимизации, которые обеспечивают балансировку нагрузки между насосами. Один из подходов – использование алгоритмов динамического управления насосами, которые контролируют скорость и работу каждого насоса в режиме реального времени [2]. Это позволяет распределить нагрузку между насосами таким образом, чтобы обеспечить равномерную работу и предотвратить избыточную нагрузку на отдельные насосы.

Кроме того, с помощью сенсоров и датчиков можно контролировать параметры системы, такие как давление, температура и расход воды. Эти данные могут быть использованы для адаптации работы насосов и обеспечения равномерного распределения нагрузки. Например, при высоком давлении в одной части системы, автоматизированная система управления может автоматически уменьшить скорость насосов в этой зоне, тем самым снизив нагрузку и обеспечив балансировку работы насосов.

Оптимальное функционирование насосов в котельной существенно способствует энергоэффективности и снижению затрат. Для достижения оптимальности необходимо учесть не только балансировку нагрузки, но и другие аспекты:

- Выбор насосов с соответствующей производительностью и эффективностью. При выборе насосов следует учитывать параметры системы, требования нагрузки и экономические показатели. Использование насосов с переменной скоростью и электронным управлением может быть предпочтительным, поскольку они позволяют более точно регулировать расход в зависимости от текущей потребности.

- Наладка и оптимизация насосов. Регулировка скорости насосов и подстройка параметров в соответствии с требованиями системы и нагрузкой помогает достичь более эффективной работы. Применение алгоритмов автоматической оптимизации, основанных на реальных данных, позволяет настроить работу насосов для достижения максимальной энергоэффективности.

- Использование автоматизированной системы управления насосами. Автоматизированная система управления обеспечивает непрерывный мониторинг параметров и динамическое регулирование работы насосов. С помощью сенсоров и датчиков, система непрерывно мониторит параметры, такие как давление, температура и расход воды. Эти данные

передаются в систему управления, которая анализирует их и принимает соответствующие решения [3].

Автоматизированная система управления насосами может использовать алгоритмы и стратегии, разработанные специально для оптимизации энергопотребления. Например, алгоритмы переменной скорости позволяют автоматически регулировать скорость насосов в зависимости от текущей потребности. Таким образом, насосы работают только с необходимой мощностью, что приводит к снижению энергопотребления.

Другим примером является алгоритм прогнозирования нагрузки. Он анализирует исторические данные и прогнозирует изменения в нагрузке на систему. На основе этого прогноза система управления может предварительно адаптировать работу насосов, распределяя нагрузку и избегая ненужных переключений или излишней нагрузки [4].

Алгоритм прогнозирования нагрузки основан на анализе исторических данных о нагрузке на котельную. Путем изучения сезонных, дневных и часовых колебаний нагрузки, алгоритм может определить общие тенденции и закономерности. Затем, используя текущую информацию о времени суток, дня недели, погодных условиях и других факторах, алгоритм делает прогноз изменения нагрузки в будущем.

На основе прогноза, система управления может заранее подготовиться к изменениям нагрузки, чтобы достичь более эффективной работы насосов. Например, если прогноз показывает увеличение нагрузки в ближайшие часы, система может автоматически запустить дополнительные насосы или увеличить скорость существующих насосов, чтобы гарантировать достаточное водоснабжение при повышенной нагрузке. Это позволяет избежать ситуаций, когда система не справляется с увеличенным потреблением и возникают проблемы с поставкой тепла и горячей воды.

Прогнозирование нагрузки также помогает избежать излишней мощности и избыточной работы насосов в периоды низкой нагрузки. Если прогноз показывает, что в определенное время ожидается снижение нагрузки, система может автоматически снизить скорость насосов или выключить некоторые из них, чтобы сэкономить энергию и уменьшить износ оборудования. Это снижает затраты на электроэнергию и повышает долговечность насосов, так как они работают в оптимальном режиме.

В итоге, алгоритм прогнозирования нагрузки в сочетании с автоматизированной системой управления насосами позволяет оптимизировать энергопотребление и обеспечить балансировку нагрузки

в котельной. Это приводит к снижению операционных затрат, повышению эффективности работы системы и улучшению экологической устойчивости. Автоматизированная система управления насосами позволяет достичь максимальной энергоэффективности, минимизируя потери энергии и обеспечивая равномерное распределение нагрузки между насосами [5].

В заключение, методы оптимизации энергопотребления в котельной с использованием автоматизированной системы управления насосами играют важную роль в повышении энергоэффективности и снижении эксплуатационных затрат. Использование автоматизированной системы управления насосами позволяет достичь оптимальной работы системы отопления и горячего водоснабжения.

Автоматизированная система управления насосами обеспечивает непрерывный мониторинг и контроль параметров, таких как давление, температура и расход воды. Это позволяет системе быстро реагировать на изменения нагрузки и автоматически регулировать работу насосов для поддержания оптимальных условий. Алгоритмы переменной скорости насосов позволяют оптимально распределять энергопотребление в зависимости от текущих потребностей системы. Насосы могут автоматически изменять свою скорость работы, что приводит к существенной экономии энергии. Прогнозирование нагрузки позволяет системе управления насосами адаптироваться к изменениям в потреблении тепла и горячей воды. Алгоритмы анализируют исторические данные и прогнозируют будущую нагрузку на систему. На основе этого прогноза система может заранее подготовиться к изменениям, оптимизировав работу насосов и избегая ненужных переключений и излишней нагрузки.

Список литературы

1. Тукшаитов, Р. Х. Об одном способе подключения «нелиней-ных» нагрузок для снижения уровня их влияния на качество напряжения электросети / Р. Х. Тукшаитов, О. Д. Семенова // Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники : Материалы III Всероссийской научно-практической конференции, Казань, 17–18 марта 2021 года. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2021. – С. 236-240.

2. Сидоров, А. Е. Описание автоматизированной системы управления механизмов / А. Е. Сидоров, М. С. Литвиненко // Энергетика: состояние, проблемы, перспективы : Труды X Всероссийской научно-технической конференции, Оренбург, 01 января – 31 2019 года / Министерство науки

и высшего образования Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет». – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2019. – С. 358-360.

3. Денисова, А. Р. Внедрение систем АСКУЭ на подстанциях ПАО «Татнефть» с использованием устройства i-TOR / А. Р. Денисова, А. Р. Фархутдинов // Фёдоровские чтения — 2020: L Международная научно-практическая конференция с элементами научной школы, Москва, 17–20 ноября 2020 года. – Москва: Издательский дом МЭИ, 2020. – С. 290-294.

4. Карпова Е.С., Никитина Н.А. Анализ и оптимизация работы системы управления насосами в котельных // Энергосбережение и водоотведение. 2017. № 4(86). С. 52-55.

5. Лебедева А.В., Крылова Е.С., Голубев В.М. Оптимизация энергопотребления в системах отопления с использованием автоматизированных систем управления насосами // Инновационное развитие экономики. 2021. № 2(52). С. 137-142.

УДК 681.527.72

ОБЗОР ВОЗМОЖНОСТЕЙ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА *STM32F103C8T6* И ДИСПЛЕЯ *TM1637*

Саидгараева Ралина Рамилевна
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
Ralina.yung@bk.ru

Аннотация: в данной статье рассматривается сочетание микроконтроллера STM32F103C8T6 и дисплея TM1637, их основные характеристики и возможности. Микроконтроллер STM32F103C8T6 является мощным и производительным устройством, способным обрабатывать большое количество данных и выполнять сложные вычисления.

Ключевые слова: микроконтроллер, дисплей, *STM32F103C8T6*, *TM1637*.

OVERVIEW OF THE CAPABILITIES OF THE *STM32F103C8T6* MICROCONTROLLER AND *TM1637* DISPLAY

Saidgaraeva Ralina Ramilevna
FSBEI HE "KSPEU", Kazan
Ralina.yung@bk.ru

Abstract: this article discusses the combination of the STM32F103C8T6 microcontroller and the TM1637 display, their main characteristics and capabilities. The

STM32F103C8T6 microcontroller is a powerful and productive device capable of processing large amounts of data and performing complex calculations.

Keywords: microcontroller, display, STM32F103C8T6, TM1637.

Сочетание микроконтроллера *STM32F103C8T6* и дисплея *TM1637* предоставляет возможность создания различных проектов, начиная от простых устройств отображения информации до более сложных систем мониторинга и управления. Это сочетание обеспечивает высокую производительность и гибкость в настройке, что делает его привлекательным выбором для разработчиков и электронных инженеров [1]. В статье также рассматриваются примеры применения данного сочетания и подробности его работы.

Микроконтроллер *STM32F103C8T6* это 32-битный микроконтроллер *STM32F1* серии производства *STMicroelectronics*. Его архитектура построена на базе высокопроизводительного 32 – ух разрядного *RISC* – ядра *ARM Cortex-M3*, который является одним из самых мощных и энергоэффективных ядер процессоров на рынке. Микроконтроллер имеет высокоскоростную встроенную *flash*-память емкостью 64 Кбайт, ОЗУ данных емкостью 20 Кбайт и множество периферийных устройств, таких как:

- 2 порта *USB 2.0* (отладочный и пользовательский);
- 3 *USART* (универсальный как синхронный приемопередатчик, так и асинхронный приемопередатчик);
- 2 *SPI* (последовательный интерфейс периферийных устройств);
- 2 *I²C* (интерфейс для связи с низкоскоростными периферийными устройствами);
- *ADC* (аналогово-цифровой преобразователь);
- *TIM* (таймеры);
- *PWM* (импульсно-широотно-модулированный выход);
- *CAN* (контроллер сети *CAN*)/

Микроконтроллер также поддерживает различные режимы энергосбережения, включая режимы "спящего" и "глубокого сна", что позволяет снизить энергопотребление при работе от батарей или других источников питания [2].

Структурная схема микроконтроллерного устройства, изображенная на рис. 1, состоит из 5 блоков: блока синхронизации, блока индикации, блока питания, блока сброса и блока управления режимами [3,4,5].

В качестве блока индикации выступает *TM1637*. Такой дисплей имеет четыре семисегментных индикатора с общим анодом и отдельные точки для вывода времени. Он поддерживает как логические

уровни напряжения 5 В, так и 3.3 В, что делает его совместимым с различными устройствами. Кроме того, сегменты дисплея могут менять цвета и яркость в зависимости от настроек.

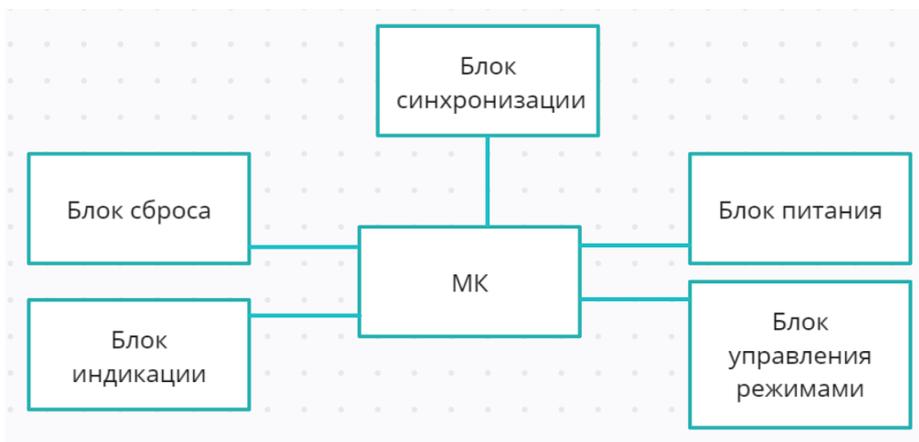


Рис. 1. Структурная схема аппаратной части

Функционирование дисплея *TM1637* на базе микроконтроллера *STM32F103C8T6* осуществляется через использование соответствующей библиотеки и подключение дисплея к нужным пинам микроконтроллера.

Для начала работы с дисплеем *TM1637* необходимо подключить его к микроконтроллеру *STM32F103C8T6*. Для этого используются два контакта на дисплее: *DIO* для передачи данных и *CLK* для синхронизации. Эти контакты подключаются к двум любым цифровым контактам платы, в данном случае это будут *B9* и *B8* соответственно, рис.2.

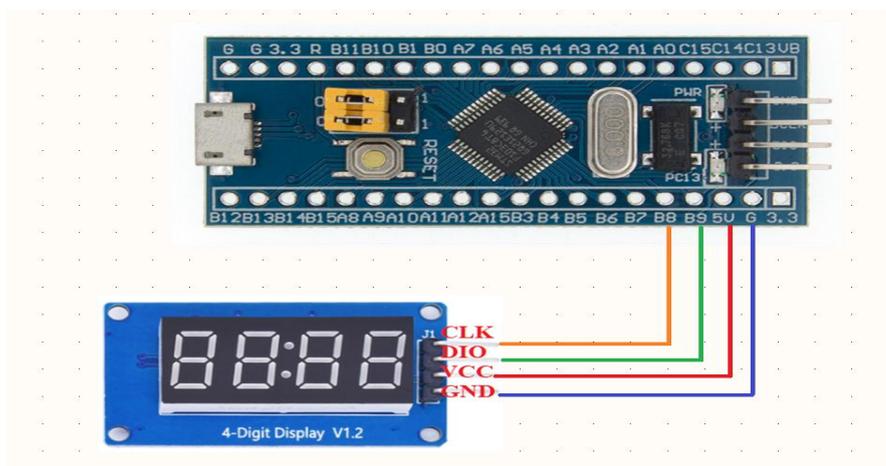


Рис. 2. Способ соединения дисплея *TM1637* с микроконтроллером Blue Pill *STM32F103C8T6*

Пины микроконтроллера, к которым подключаются эти сигналы, выбираются в соответствии с требованиями проекта. Важно отметить, что

для работы с дисплеем *TM1637* на базе микроконтроллера *STM32F103C8T6* необходимо использовать специальную библиотеку, которая предоставляет функции для управления дисплеем. Эта библиотека должна быть подключена к проекту перед началом работы с дисплеем [6].

В заключение, разработка аппаратной части отсчета времени на базе микроконтроллера *STM32F103C8T6* и ее функционирование представляют собой простой и гибкий процесс. С помощью подключения дисплея *TM1637* к соответствующим пинам микроконтроллера и использования специальной библиотеки, можно легко настроить и отобразить необходимую информацию. Возможность настройки яркости и цвета дисплея делает его универсальным инструментом для различных проектов. Таким образом, использование микроконтроллера *STM32F103C8T6* и дисплея *TM1637* позволяет электронным инженерам и разработчикам создавать эффективные и надежные системы отсчета времени.

Список литературы

1. Кириченко П.Г. Цифровая электроника для начинающих / П.Г. Кириченко. - СПб.: ВHV, 2019. - 176 с.
2. Пащенко, А. К. Проблемы многоканальной записи на микроконтроллерах *STM32F103C8T6* / А. К. Пащенко // Вестник научных конференций. – 2019. – № 7-2(47). – С. 77-79.
3. Калашников В.И. Электроника и микропроцессорная техника: Учебник / В.И. Калашников. - М.: *Academia*, 2015. - 384 с.
4. Общая структура микроконтроллера [Электронный ресурс] Режим доступа: [//https://helpiks.org/8-69874.html](https://helpiks.org/8-69874.html) (дата обращения: 10.04.2023).
5. Гусев В.Г. Электроника и микропроцессорная техника (для бакалавров) / В.Г. Гусев, Ю.М. Гусев. - М.: КноРус, 2015. - 1247 с.
6. Васильев А.Е. Встраиваемые системы автоматики и вычислительной техники. Микроконтроллеры. – М.: Горячая линия -Телеком, 2021.590 с.

УДК 621.384.3

ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ БЕСПРОВОДНЫМ МЕТОДОМ

Саидгараева Ралина Рамилевна
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
Ralina.yung@bk.ru

Аннотация: в данной статье рассматриваются особенности передачи информационных сигналов беспроводным методом. Беспроводная передача данных –

самая важная и популярная технология, благодаря которой передача информации происходит без использования проводов или кабелей. В статье также отмечены особенности такой передачи, включая ограниченную энергосберегающую способность, масштабируемость, мобильность и гибкость беспроводных технологий. Кроме того, описывается влияние помех на качество передачи беспроводных сигналов и необходимость развития методов защиты от помех. Осознание и понимание этих особенностей помогут в разработке и оптимизации беспроводных систем связи и коммуникации.

Ключевые слова: передача информации, беспроводные технологии, беспроводная связь, *Wi-Fi*, *Bluetooth*, безопасность, информационные сигналы.

FEATURES OF INFORMATION SIGNALS WIRELESS TRANSMISSION

Saidgaraeva Ralina Ramilevna
FSBEI HE "KSPEU", Kazan
Ralina.yung@bk.ru

Abstract: this article discusses the features of transmitting information signals wirelessly. Wireless data transmission is an important and popular technology that allows information to be transferred without the use of wires or cables. The article also notes the features of such transmission, including the limited energy-saving capacity, scalability, mobility and flexibility of wireless technologies. In addition, the impact of interference on the quality of wireless signal transmission and the need to develop anti-interference methods are described. Awareness and understanding of these features will help in the design and optimization of wireless communications systems.

Keywords: information transmission, wireless technologies, wireless communications, *Wi-Fi*, *Bluetooth*, security, information signals.

Беспроводная передача информационных сигналов стала неотъемлемой частью нашей современной жизни. Мы все пользуемся беспроводными технологиями, такими как *Wi-Fi*, *Bluetooth* и мобильные сети для обмена данными и связи друг с другом. Однако, передача информации по воздуху имеет свои особенности и ограничения, которые важно понимать при разработке и использовании беспроводных систем.

Помехи и шумы - одна из основных проблем беспроводной передачи информации. Электромагнитные помехи от других устройств или физических объектов могут создавать интерференцию и влиять на качество и надежность передачи сигнала. Это может приводить к искажению данных или потере связи. Поэтому важно проводить анализ радиощумового фона и использовать методы подавления шума и помех, чтобы обеспечить стабильную передачу информации [1].

Ограниченная пропускная способность является еще одним важным аспектом. Беспроводные каналы имеют ограниченную пропускную способность, то есть максимальное количество данных, которое может

быть передано за единицу времени. В зависимости от используемой технологии и условий передачи, пропускная способность может быть различной. Например, *Wi-Fi 802.11n* может обеспечивать пропускную способность до 600 Мбит/с, в то время как *Bluetooth 5* может достигать скоростей до 2 Мбит/с. Важно учитывать ограничения пропускной способности при проектировании беспроводных систем, чтобы обеспечить требуемую скорость передачи данных.

Дальность передачи является также важной характеристикой беспроводных систем. Каждая технология имеет свою дальность действия, которая зависит от мощности передающего устройства и частоты работы. Например, сотовые сети *GSM* могут обеспечивать дальность до нескольких километров, в то время как *Bluetooth* обычно имеет ограниченную дальность до 100 метров. При разработке беспроводных систем важно учитывать требуемую дальность и использовать соответствующие антенны и усилители, чтобы обеспечить надежную связь на нужном расстоянии.

Безопасность информации – самое главное в беспроводной передаче. Беспроводные системы могут быть уязвимы для атак, таких как перехват и подмена данных. Поэтому важно применять методы шифрования и аутентификации, чтобы защитить передаваемую информацию от несанкционированного доступа и изменения. Протоколы шифрования, такие как *WPA2* для *Wi-Fi* или *Bluetooth Secure Simple Pairing (SSP)* для *Bluetooth*, должны быть использованы для обеспечения безопасности данных [2].

Еще одной особенностью беспроводной передачи является ограниченная энергосберегающая способность. Многие беспроводные устройства питаются от батарей или аккумуляторов, поэтому минимизация энергопотребления становится критической. Это достигается различными методами: снижением потребления энергии в режимах простоя, оптимизацией работы радиочасти устройства и выключением ненужных функций. Беспроводные технологии, такие как *Bluetooth Low Energy (BLE)* или *Zigbee*, разработаны с учетом энергосбережения и имеется возможность работать на очень низкой мощности, что делает их идеальными для устройств Интернета вещей (*IoT*), которые требуют долгого срока службы батареи.

Еще одной значимой характеристикой беспроводной передачи является масштабируемость. Беспроводные сети позволяют создавать сетевую инфраструктуру и подключать большое количество устройств, обеспечивая их коммуникацию и обмен данными. Это особенно важно в контексте интернета вещей, где миллионы устройств могут быть подключены к сети и обмениваться информацией.

Также, беспроводные технологии обеспечивают гибкость и мобильность. Пользователи могут оставаться подключенными и обмениваться данными в любой точке, где есть доступ к беспроводной сети. Это особенно важно для современного образа жизни, когда многие люди постоянно перемещаются и ожидают постоянного доступа к информации и коммуникации.

Кроме того, беспроводные технологии дают возможность использовать более простую и экономичную инфраструктуру. Например, отсутствие проводов в беспроводных сетях упрощает и удешевляет их развертывание и обслуживание. Беспроводные технологии также могут быть более удобными в использовании, поскольку не требуют физического подключения к устройствам [3].

В целом, беспроводные технологии прогрессируют и проникают во все сферы нашей жизни, постоянно развиваются, обеспечивают более гибкую, масштабируемую и мобильную коммуникацию. Их развитие и применение имеют огромный потенциал для улучшения нашей повседневной жизни и развития технологического прогресса.

Но несмотря на все преимущества беспроводных технологий, существуют также некоторые ограничения. Например, радиоволны могут быть подвержены воздействию помех, что может привести к потере связи или плохому качеству передачи данных. Также, дальность передачи сигнала может быть ограничена, особенно внутри помещений или в плотно застроенных городских районах [4].

Несмотря на эти ограничения, с каждым годом беспроводные технологии становятся все более распространенными и востребованными, проникая в различные сферы нашей жизни - от домашней автоматизации и здравоохранения до промышленности и транспорта. Развитие и улучшение беспроводных технологий продолжает быть важной задачей для их дальнейшего прогресса и распространения.

Список литературы

1. Н. К. Шавенько, Основы теории информации и кодирования: учеб. Пособие, 2010 г. – 127 с.
2. Информационные технологии обеспечения комплексной безопасности в цифровом обществе: сборник материалов V Всероссийской молодежной научно-практической конференции (г. Уфа, 20 – 21 мая 2022 г.), 2022. – 254 с.
3. Международная молодежная научная конференция «Гинчуринские чтения – 2023 «Энергетика и цифровая трансформация»: электронный

сборник статей по материалам конференции: [в 3 томах] / под общей редакцией ректора КГЭУ Э. Ю. Абдуллазянова. – Казань: КГЭУ, 2023. – Т. 1. – 848 с.

4. Мирошникова, Е. П. Модули импорта/экспорта и аналитики данных в электронной редакции журнала "Труды СПИИРАН" для автоматизированного взаимодействия с глобальными индексами и агрегаторами / Е. П. Мирошникова, Д. К. Левоневский, А. И. Мотиенко // Проблемы искусственного интеллекта. – 2019 г.– С. 58-75.

УДК 66.074

АВТОМАТИЗАЦИЯ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ УСТАНОВОК С ТЕХНОЛОГИЕЙ КОНТРОЛЯ КЛИМАТА

Садыкова Лейсан Рашитовна
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан
sadykova.lr@yandex.ru

Аннотация: статья посвящена актуальной теме автоматизации вентиляционных систем с технологией контроля климата. В ней рассматриваются преимущества, принципы и типы автоматизации вентиляционных систем, а также основные виды вентиляционного оборудования и автоматических устройств. Данная работа содержит теоретические сведения и практические рекомендации по выбору и монтажу автоматизированных вентиляционных систем для различных типов и назначений помещений.

Ключевые слова: автоматизация, вентиляция, контроль климата, вентиляционное оборудование, автоматические устройства, микроклимат, энергосбережение, безопасность.

AUTOMATION OF VENTILATION INSTALLATIONS WITH CLIMATE CONTROL TECHNOLOGY

Sadykova Leisan Rashitovna
FGBOU VO "KSPEU", Kazan, Republic of Tatarstan

Abstract: the article is devoted to the topical topic of automation of ventilation systems with climate control technology. It discusses the advantages, principles and types of automation of ventilation systems, as well as the main types of ventilation equipment and automatic devices. This work contains theoretical information and practical recommendations on the selection and installation of automated ventilation systems for various types and purposes of premises.

Keywords: automation, ventilation, climate control, ventilation equipment, automatic devices, microclimate, energy saving, safety.

Вентиляция является необходимым элементом обеспечения комфортных и безопасных условий жизнедеятельности человека и работы

различных технологических процессов. Вентиляционные системы обеспечивают подачу свежего и очищенного воздуха в помещения, а также отвод избыточного тепла, влаги, запахов и вредных веществ. Однако для эффективной работы вентиляционных систем необходимо учитывать множество факторов, таких как погодные условия, сезонность, нагрузка на помещения, состав и качество воздуха, сопротивление воздуховодов и фильтров, энергопотребление и др. Для решения этих задач применяется автоматизация вентиляционных систем с технологией контроля климата [1].

Автоматизация вентиляционных систем представляет собой комплекс технических средств и программных алгоритмов, которые позволяют автоматически управлять работой вентиляционного оборудования в соответствии с заданными параметрами и режимами. Она имеет ряд преимуществ, таких как:

- поддержание оптимальных параметров микроклимата в помещениях (температура, влажность, скорость и направление потока воздуха, содержание кислорода, углекислого газа и других компонентов);

- снижение энергопотребления и эксплуатационных расходов за счет оптимизации работы вентиляторов, насосов, нагревателей, охладителей, увлажнителей и других элементов системы;

- увеличение ресурса и надежности оборудования за счет предотвращения перегрузок, перегревов, замерзаний, загрязнений и других неисправностей;

- обеспечение противоподымной защиты и пожарной безопасности за счет автоматического переключения режимов работы системы при обнаружении дыма или повышении температуры;

- удобство управления и контроля за счет использования диспетчерских пультов, щитков управления, дистанционного доступа и других интерфейсов. [2]

Автоматизация вентиляционных систем основана на использовании различных типов датчиков, исполнительных устройств, регуляторов и контроллеров. Датчики измеряют различные параметры воздушной среды (температуру, влажность, скорость и направление потока воздуха, содержание кислорода, углекислого газа и других компонентов) и передают их в контроллеры. Контроллеры обрабатывают сигналы от датчиков и выдают команды исполнительным устройствам [3]. Исполнительные устройства включают или выключают вентиляторы, насосы, нагреватели, охладители, увлажнители и другие элементы системы, а также регулируют их скорость, мощность, направление и т.д.

Регуляторы поддерживают заданные параметры микроклимата в помещениях путем изменения положения воздушных клапанов, заслонок, дросселей и т.д. [4]

Автоматизация вентиляционных систем может быть реализована на различных уровнях сложности и функциональности в зависимости от типа и назначения помещений, требований к микроклимату, бюджета и других факторов. В общем случае можно выделить следующие разделы автоматизации вентиляционных систем:

1. Автоматика для модульных систем вентиляции. Это наиболее простой и экономичный вариант автоматизации для небольших помещений (квартир, офисов, магазинов и т.д.), где используются компактные вентиляционные установки с интегрированным блоком автоматики. Такие установки имеют ограниченный набор функций (например, регулирование температуры поступающего воздуха, режим работы по времени или по датчику присутствия) и управляются с помощью пульта или панели на корпусе установки.

2. Автоматика для систем пожарной вентиляции. Это специализированный раздел автоматизации для обеспечения пожарной безопасности помещений (производственных, складских, общественных и т.д.), где используются системы приточно-вытяжной или дымоудаления. Такие системы имеют дополнительные элементы (дымовые датчики, пожарные клапаны, аварийные кнопки и т.д.) и управляются с помощью централизованного шкафа или диспетчерского пульта. При обнаружении дыма или повышении температуры система автоматически переключается в режим пожарной вентиляции, обеспечивая отвод дыма из зоны возгорания и подачу свежего воздуха в зоны эвакуации.

3. Автоматика для центрального кондиционирования воздуха. Это наиболее сложный и функциональный вариант автоматизации для крупных помещений (гостиниц, театров, кинотеатров, бизнес-центров и т.д.), где используются мощные вентиляционно-кондиционерные установки с разветвленной сетью воздухопроводов. Такие установки имеют широкий набор функций (например, регулирование температуры, влажности, скорости и направления потока воздуха по зонам, режим работы по времени или по датчику присутствия, рекуперация тепла и холода, очистка и ионизация воздуха) и управляются с помощью централизованной или распределенной системы автоматики. Такая система состоит из локальных контроллеров, установленных на каждой вентиляционно-кондиционерной установке или группе установок, и общего контроллера, который координирует работу всех локальных контроллеров и обеспечивает связь

с диспетчерским пультом или компьютером оператора. Пользователи могут также управлять параметрами микроклимата в своих зонах с помощью пультов или панелей на стенах. [5-7]

Автоматизация вентиляционных систем является актуальной и перспективной темой для исследования и разработки. Она позволяет повысить качество и эффективность работы вентиляционного оборудования, обеспечить комфортные и безопасные условия в помещениях, снизить энергопотребление и эксплуатационные расходы, увеличить ресурс и надежность оборудования. Также может быть реализована на различных уровнях сложности и функциональности в зависимости от типа и назначения помещений, требований к микроклимату, бюджета и других факторов. Для выбора оптимального варианта автоматизации вентиляционных систем необходимо проводить комплексный анализ потребностей и возможностей заказчика, а также учитывать существующие нормативы и стандарты. [8]

Список литературы

1. Богданов А.В., Кузнецов В.А., Лебедев А.В. и др. Вентиляционные установки / под ред. А.В. Богданова. - М.: Стройиздат, 2004. - 320 с.
2. Бондарь Е.С., Гордиенко А.С., Михайлов В.А., Нимич Г.В. Автоматизация систем вентиляции и кондиционирования воздуха. - М.: Издательский дом МЭИ, 2005. - 304 с.
3. Фетисов, Л. В. Системы автоматического контроля температуры / Л. В. Фетисов, Э. С. Мурзин // Проблемы и перспективы развития электроэнергетики электротехники : Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции, Казань, 12–13 октября 2022 года. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. – С. 219-223.
4. Королев А.Н., Петров В.В., Смирнов С.В. и др. Приточные вентиляционные установки: проектирование, монтаж и эксплуатация / под ред. А.Н. Королева. - М.: Энергоатомиздат, 2006. - 256 с.
5. Климатические системы и устройства: учебное пособие / под ред. А.А. Старцева. - СПб.: Лань, 2017. - 352 с.
6. Лебедев А.В., Лебедева В.В. Климатические системы: теория и практика: учебное пособие. - М.: Издательство МГСУ, 2012. - 368 с.
7. Вентиляционные установки: каталог продукции [Электронный ресурс] / ООО “Вентлукс”. - URL: <https://ventlux.ru/ventustanovka.php> (дата обращения: 12.05.2023).

8. Схема вентиляционной установки: основные элементы и их назначение [Электронный ресурс] / ВентБазар. - URL: <https://ventbazar.ua/blog/chto-takoe-ventilyatsionnaya-ustanovka/> (дата обращения: 12.05.2023).

УДК 621.311

ЦИФРОВАЯ ПОДСТАНЦИЯ: НОВОЕ СЛОВО В ЭНЕРГЕТИКЕ

Салахов Азат Маратович
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
f.ftn@yandex.ru

Аннотация: в данной статье мы рассмотрим особенности и преимущества цифровых подстанций в электроэнергетике. Они основаны на использовании цифровых технологий, имеют специальные системы управления и контроля, позволяющие получить максимально точные данные о состоянии оборудования и быстро реагировать на любые неполадки. Эти подстанции гибкие, адаптивные, масштабируемые и настраиваемые под различные потребности. Они допускают сбор и анализ данных, а также оптимизацию рабочего процесса для более точного прогнозирования пиков нагрузки. Цифровые подстанции предоставляют широкие возможности для создания современных экосистем, предлагая взаимодействие с другими устройствами и системами для улучшения безопасности и комфорта пользователей.

Ключевые слова: цифровые подстанции, электроэнергетика, цифровые технологии, системы управления, энергоэффективность, анализ данных, оптимизация рабочего процесса, безопасность

DIGITAL SUBSTATION: A NEW WORD IN ENERGY

Salakhov Azat Maratovich
FSBEI HE «KSPEU», Kazan
f.ftn@yandex.ru

Abstract: in this article we will consider the features and advantages of digital substations in the electric power industry. They are based on the use of digital technologies, have special control and monitoring systems that allow you to get the most accurate data on the condition of the equipment and quickly respond to any problems. These substations are flexible, adaptive, scalable and customizable for various needs. They allow data collection and analysis, as well as workflow optimization for more accurate forecasting of load peaks. Digital substations provide ample opportunities to create modern ecosystems, offering interaction with other devices and systems to improve user safety and comfort.

Keywords: digital substations, electric power industry, digital technologies, control systems, energy efficiency, data analysis, workflow optimization, safety

Цифровая подстанция – это подстанция, где информация обрабатывается в цифровом формате для решения задач мониторинга, анализа и управления [1]. Все передаваемые параметры определяются через электронный файл проекта. Для передачи данных используется

локальная сеть Ethernet, а для коммуникации применяются протоколы, описанные в стандарте МЭК 61850 [2]. Это позволяет осуществлять точное прогнозирование пиков нагрузки, а также оценивать возможные риски и выполнять предупредительную обработку данных.

Одной из целей, которые преследует цифровая подстанция, является повышение энергоэффективности и экономии ресурсов. Это достигается за счет устранения потерь энергии в процессе трансформации и грамотного распределения [3]. Кроме того, важной особенностью цифровой подстанции является ее гибкость и масштабируемость. Это значит, что устройства для цифровой подстанции могут быть выполнены по модульному принципу и иметь функции нескольких устройств. Гибкость подхода к созданию цифровых подстанций позволяет разработать уникальные решения для каждого энергообъекта.

Цифровая подстанция является основой для создания современных экосистем и обеспечивает взаимодействие с другими устройствами и системами. Она обладает высокой коммуникабельностью и может связываться с другими устройствами, такими как умный дом, умные города, транспортные средства и так далее.

За счёт того, что цифровая подстанция имеет открытую архитектуру и настраивается под различные потребности и требования, она предоставляет широкие возможности для сбора и анализа данных, а также для оптимизации рабочего процесса и более точного прогнозирования пиков нагрузки.

Ключевыми органами подстанций данного типа являются программируемые логические контроллеры (PLC) [4]. Эти устройства позволяют контролировать и управлять процессами в подстанциях. PLC устанавливаются на ключевых местах в рамках цифровой подстанции, и они взаимодействуют с другими системами, такими как системы безопасности, защиты от аварий, а также системы управления энергоснабжением.

Система мониторинга и управления предоставляет информацию, необходимую для контроля и управления производственными процессами в подстанции. Она может предоставлять информацию о работе оборудования, уровне потребления энергии, а также выводить предупреждающие и аварийные сигналы. Система мониторинга и управления существенно облегчает процесс управления энергоснабжением и повышает эффективность работы.

Система контроля доступа к цифровым подстанциям позволяет автоматически управлять доступом к объекту, обеспечивая высокий

уровень безопасности. Такая система может быть организована на основе биометрических технологий, считывания профилей пользователей, связи с внешними базами управления доступом и так далее. Система контроля доступа позволяет обеспечить контроль за тем, кто входит и выходит из объекта, а также контролировать доступ к важным устройствам и оборудованию.

В отдаленных и труднодоступных районах, эксплуатация обычных подстанций может стать сложной задачей, связанной с рядом особенностей, которые необходимо учитывать. Возникают такие проблемы, как низкая доступность технической помощи, недостаток квалифицированного персонала, неблагоприятных климатических условия. Технологии, используемые в цифровых подстанциях и позволяющие удаленно контролировать и управлять цифровыми подстанциями с помощью программного обеспечения, позволяют решить многие проблемы, возникающие в обычных подстанциях.

Инвестирование в цифровые подстанции, несомненно, имеет смысл с экономической точки зрения. Это новая технология, которая позволяет компаниям значительно снизить затраты и улучшить эффективность своих процессов. Она может быть дорогостоящей в первоначальной стадии внедрения, но все затраты окупятся в процессе эксплуатации.

Для автоматизированного проектирования было создано программное обеспечение ЦПС — SCADA Studio [7]. Благодаря данной программе увеличивается скорость и качество проектирования цифровых подстанций, уменьшаются трудозатраты.

На данный момент в нашей стране введены в эксплуатацию и функционируют несколько цифровых подстанций, которые зарекомендовали себя с хорошей стороны, в ближайшем будущем их количество увеличится.

Цифровая подстанция является инновационным решением, которое позволяет эффективно управлять процессом трансформации и распределения электроэнергии [5]. Она обладает множеством преимуществ, таких как повышенная надежность и производительность, оптимизация потребления ресурсов, высокая гибкость и масштабируемость. Кроме того, подстанция данного типа значительно снижает вероятность аварий в электросетях и уменьшает время на их устранение, что повышает безопасность и надёжность энергосистемы, и экономит компаниям, обслуживающим данные подстанции, значительные суммы денег. В целом, цифровая подстанция открывает новые возможности для развития энергетики.

Список литературы

1. Семин, Д. И. Разработка цифрового двойника промышленного предприятия на основе программного продукта «Anylogic» / Д. И. Семин, Р. Р. Гибадуллин // XXV Всероссийский аспирантско-магистерский научный семинар, посвященный Дню энергетика : Материалы конференции. В 3-х томах, Казань, 07–08 декабря 2021 года / Под общей редакцией Э.Ю. Абдуллазянова. Том 1. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. – С. 136-138.

2. Камчатова, Е. Ю. Формирование цифровой среды инфраструктурных компаний на примере реализации Концепции "Цифровая трансформация 2030" ПАО "Россети" / Е. Ю. Камчатова, Н. А. Куликова // Шаг в будущее: искусственный интеллект и цифровая экономика : Smart Nations: экономика цифрового равенства : материалы III Международного научного форума, Москва, 09–10 декабря 2019 года. Том Выпуск 2. – Москва: Государственный университет управления, 2020. – С. 183-189. – EDN DWKJUK. // URL:[https://old.rosseti.ru/investment/Kontseptsiya_Tsifrovaya_transformatsiya_2030.pdf] / (дата обращения 15.05.2023)

3. Денисова А.Р., Спасов Д.П., Галяутдинова А.Р., Иванова В.Р. Исследование работоспособности и качества функционирования трансформаторного оборудования электротехнических систем. Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2020;22(3):23-35.

4. Технические требования к аппаратно-программным средствам и электротехническому оборудованию ЦПС / СТО 56947007-.29.240.10.256-2018; введ. 21.09.2018. - ПАО «ФСК ЕЭС», 2018. – 130 с. // URL:[[www.rosseti.ru.](http://www.rosseti.ru/)] / (дата обращения 15.05.2023)

5. Development of a Multi-Agent Model of Electric Power Consumer / N. Rozhentsova, O. Regir, L. Fetisov, A. Kotsubinski // Proceedings - ICOECS 2019: 2019 International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems, Ufa, 22–25 октября 2019 года. – Ufa: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2019. – P. 8949937. – DOI 10.1109/ICOECS46375.2019.8949937.

6. Головин А., Аношин А. Структура стандарта МЭК 61850 // Цифровая подстанция. 2012. // URL:[<http://digitalsubstation.com/blog/2012/10/18/struktura-standarta-me-k-61850/>] / (дата обращения 15.05.2023).

7. Система автоматизированного проектирования SCADA Studio – Конфигуратор SCL/CIM / Руководство пользователя ; ООО «Новые программные технологии», 2020. – 130 с. // URL:[http://npt.spb.ru/f/rukovodstvo_scada_studio.pdf] / (дата обращения 15.05.2023).

ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТЬ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ В ПРОЦЕССАХ ПРОМЫШЛЕННОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ

Субханова Алина Магасумовна
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
alina8sub@gmail.com

Аннотация: эта исследовательская работа посвящена важности отказоустойчивых систем управления в процессах промышленной автоматизации. Он направлен на изучение и анализ различных методов обнаружения неисправностей, изоляции и адаптации, чтобы оценить их эффективность в поддержании производительности и стабильности системы. Также исследуются сильные стороны и ограничения различных стратегий отказоустойчивого управления, что дает ценную информацию для разработки и внедрения надежных систем управления в приложениях промышленной автоматизации.

Ключевые слова: отказоустойчивые системы управления, обнаружение неисправностей, изоляция неисправностей, методы адаптации, промышленная автоматизация, стратегии устранения неполадок, показатели производительности, отказоустойчивые стратегии управления.

FAULT TOLERANCE OF CONTROL SYSTEMS IN INDUSTRIAL AUTOMATION PROCESSES

Subkhanova Alina Magasumovna,
FGBOU VO "KGEU", Kazan
alina8sub@gmail.com

Abstract: this research paper focuses on the importance of fault-tolerant control systems in industrial automation processes. It aims to study and analyze various methods of fault detection, isolation, and adaptation to assess their effectiveness in maintaining system performance and stability. The strengths and limitations of different fault-tolerant management strategies are also investigated, providing valuable insights for the development and implementation of reliable control systems in industrial automation applications.

Keywords: fault-tolerant control systems, fault detection, fault isolation, adaptation methods, industrial automation, troubleshooting strategies, performance indicators, fault-tolerant management strategies

Отказоустойчивые системы управления имеют решающее значение для поддержания надежности и производительности процессов промышленной автоматизации. Это исследование сосредоточено на изучении и анализе различных методов обнаружения неисправностей, изоляции и адаптации с целью оценки их эффективности в поддержании производительности и стабильности системы. Кроме того, исследование направлено на выявление сильных сторон и ограничений различных стратегий отказоустойчивого управления, предоставляя ценную информацию для разработки и внедрения надежных систем управления в приложениях промышленной автоматизации [1].

Обнаружение неисправностей включает в себя идентификацию и распознавание отклонений от нормального поведения системы. Для обнаружения неисправностей используются различные методы, включая подходы, основанные на моделях, статистические методы и методы обработки сигналов. Подходы, основанные на моделях, используют математические модели системы для сравнения фактических и ожидаемых реакций системы, позволяя обнаруживать аномалии. Статистические методы, такие как проверка гипотез и байесовский вывод, анализируют системные данные для выявления статистических отклонений, указывающих на неисправности. Методы обработки сигналов, такие как вейвлет-анализ и спектральный анализ, извлекают полезную информацию из сигналов датчиков для обнаружения аномальных паттернов или тенденций [2].

Как только неисправность обнаружена, функция изоляции неисправностей направлена на определение конкретного компонента или подсистемы, ответственных за неисправность. Методы изоляции неисправностей включают анализ поведения системы, измерений датчиков и диагностической информации, чтобы точно определить первопричину неисправности. Для изоляции неисправностей используются такие методы, как аналитическая избыточность, распознавание образов и рассуждения, основанные на знаниях [3]. Аналитическое резервирование использует избыточность в измерениях датчиков или моделях систем для выявления несоответствий и локализации неисправностей. Алгоритмы распознавания образов используют машинное обучение или статистические методы для классификации неисправностей на основе исторических данных. Рассуждения, основанные на знаниях, используют экспертные знания и правила для диагностики неисправностей на основе известных моделей неисправностей и симптомов.

Стратегии устранения неисправностей реализуются для уменьшения влияния неисправностей на производительность и стабильность системы. Эти стратегии включают корректировку управляющих воздействий, реконфигурацию компонентов системы или внедрение резервирования для обеспечения непрерывной работы. Для устранения неисправностей используются такие подходы, как адаптивное управление, реконфигурация и отказоустойчивые архитектуры. Методы адаптивного управления корректируют управляющие параметры или алгоритмы в режиме реального времени для компенсации последствий сбоев, позволяя системе адаптироваться и поддерживать производительность. Методы реконфигурации включают в себя перестановку компонентов системы или

изменение стратегий управления для обхода неисправных компонентов и восстановления функциональности системы. Отказоустойчивые архитектуры включают избыточность, такую как запасные компоненты или параллельные системы, для обеспечения бесперебойной работы при наличии неисправностей.

Эффективность методов обнаружения неисправностей, изоляции и адаптации оценивается на основе их способности поддерживать производительность и стабильность системы. Для количественной оценки эффективности отказоустойчивых стратегий управления оцениваются такие показатели производительности, как надежность системы, частота обнаружения неисправностей, точность изоляции неисправностей и время отклика системы. Кроме того, определены сильные стороны и ограничения каждого метода [4]. К преимуществам можно отнести высокую точность обнаружения неисправностей, быстрое время изоляции или адаптируемость к изменяющимся условиям неисправности. Ограничения могут включать высокие вычислительные требования, чувствительность к помехам датчиков или ограниченный охват неисправностей. Понимание этих сильных сторон и ограничений позволяет исследователям и практикам выбирать соответствующие отказоустойчивые стратегии управления, основанные на конкретных требованиях и ограничениях системы промышленной автоматизации [5].

В этом исследовании рассматриваются различные методы обнаружения неисправностей, изоляции и адаптации в контексте систем промышленной автоматизации. Оценивая эффективность и выявляя сильные стороны и ограничения различных стратегий отказоустойчивого управления, это исследование дает ценную информацию для проектирования и внедрения надежных систем управления. Полученные результаты способствуют развитию отказоустойчивых методов управления, повышая производительность, надежность и стабильность систем в приложениях промышленной автоматизации. В конечном счете это исследование способствует разработке более устойчивых и эффективных систем промышленной автоматизации, обеспечивая всестороннее понимание отказоустойчивых методов управления и их применимости. Выводы, полученные в результате этого исследования, могут послужить руководством при разработке и внедрении передовых методов обнаружения неисправностей, изоляции и размещения, что приведет к повышению производительности системы, сокращению времени простоя и повышению безопасности эксплуатации.

Список литературы

1. Bao, X., Liu, X., & Gao, Z. A fault diagnosis and isolation approach for cyber-physical systems based on compressed sensing and deep learning. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 67(7), 2020, pp. 5389-5398.
2. Gao, Y., Sun, Y., & Zhu, X. A novel adaptive fault-tolerant control scheme for uncertain nonlinear systems. *ISA Transactions*, 102, 2021, pp. 239–250.
3. Hu, J., Wei, L., & Liu, J. Fault-tolerant control for nonlinear time-delay systems with actuator faults: An observer-based approach. *Journal of the Franklin Institute*, 357(14), 2020, pp. 9595-9615.
4. Jiang, Y., Wang, L., & Wang, C. Observer-based fault-tolerant control for nonlinear networked control systems with time-varying delay. *IET Control Theory & Applications*, 14(3), 2020, pp. 345-353.
5. Разработка метода проектирования линейных электрических машин возвратно-поступательного действия на основе топологической оптимизации / А. Р. Сафин, Р. Р. Хуснутдинов, А. М. Копылов [и др.] // *Электроника и электрооборудование транспорта*. – 2017. – № 5. – С. 34-39. – EDN ZNEQAB.

УДК 004.4; 721.01

ВІМ-ТЕХНОЛОГІЇ В ПРОЕКТИВАННІ

Султанова Руфина Рафаїльевна
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
rufinasultanova13@gmail.com

Аннотация: постоянное увеличение сложности и наукоемкости сферы проектирования приводит к возникновению новых вопросов в концепции ее реализации. Указано, что типичная проблема отрасли строительства и проектирования во всем мире - использование устаревших методологий и системных комплексов программного обеспечения, которые в большинстве своем механизированы и требуют большой трудоемкости для людей и затрат человеческих ресурсов. Использование ВІМ-технологий в проектировании можно считать главной действенной концепцией улучшения всех процессов.

Ключевые слова: ВІМ-технологии, проектирование, совершенствование, моделирование, строительство, информационное.

BIM -TECHNOLOGIES IN DESIGN

Sultanova Rufina Rafailievna
Kazan State Power Engineering University, Kazan
rufinasultanova13@gmail.com

Abstract: the constant increase in the complexity and science intensity of the design sphere leads to the emergence of new questions in the concept of its implementation. It is

indicated that a typical problem of the construction and design industry all over the world is the use of outdated methodologies and software systems, which are mostly mechanized and require great labor intensity for people and human resources. The use of BIM technologies in design can be considered the main effective concept for improving all processes.

Keywords: BIM-technologies, design, improvement, modeling, construction, information.

Современные обстоятельства приводят к более жестким требованиям строительства, к срокам сдачи объектов и стоимости проектных работ. Выполнение строительных и проектных дел основывается на подготовке четких моделей строительных объектов, кроме того связано с выполнением большого размера математических расчетов, важных для инженерного анализа систем [1].

Актуальность представленного изучения заключается в следующем: обеспечение проектных организаций непрерывной информационной технологии архитектурно-строительного проектирования. Это приводит к развитию технологий информационного моделирования зданий на основе BIM-технологий, которые содержат принцип создания единой параметрической информационной модели здания, включая всю необходимую информацию о предстоящих и уже имеющихся строительных объектах [2].

Комплексная концепция BIM (Building Information Modeling или Building Information Model) представляет собой информационное моделирование здания в виде трехмерной модели или иного строительного объекта, связанную с информационной базой данных, в которой каждому элементу модели можно присвоить дополнительные атрибуты.

На сегодня существует большое количество программ, соответствующих основным принципам BIM-технологий. Наиболее известные представлены на рис. 1 в процентном отношении в зависимости от количества пользователей [3].

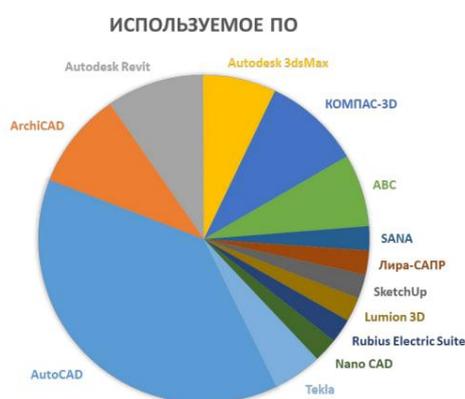


Рис. 1. Программы, используемые в BIM-проектировании

Основные барьеры внедрения BIM-технологий в России:

1. Высокая стоимость программных комплексов BIM по сравнению со стоимостью проектных услуг;
2. Неопределенность распределения ответственности и права интеллектуальной собственности;
3. Инвесторы не готовы дополнительно вкладывать средства в информационные модели на основе BIM-технологий, которые могут быть использованы не только при строительстве, но и при эксплуатации объектов [4].

Факторы, которые в современных условиях стимулируют внедрение BIM-технологий в России:

1. Ориентация проектирования на внешние западные рынки, для которых BIM-технологии являются необходимыми;
2. Рост стоимости энергоносителей;
3. Ожидание иностранных инвестиций и программ в рамках развития в отечественных компаниях концепции BIM и необходимость действенного контроля за их выполнением [5].

Совокупность BIM-технологий способствует более быстрому и эффективному, а также менее затратно выполнять различные операции в течение всего строительного процесса. Реализация проектов и сооружений позволяет обеспечить управление графическими данными и информацией в соответствии с описанием проекта.

Список литературы

1. Чегодаева, М.А. Функциональность информационной модели на этапах проектирования, строительства и эксплуатации [Электронный ресурс] / М.А. Чегодаева // Молодой ученый. – 2016. – №25. – С. 102-105. – URL: <https://moluch.ru/archive/129/35716/>

2. Откуда взялся BIM: История виртуальной архитектуры [Электронный ресурс]. – URL: <http://archspeech.com/article/otkuda-vzyalsya-bim-istoriya-virtual-noy-arhitektury>

3. Романова Т.А., Потужная И.Р., Марковский И.Г. BIM-технологии: проектирование, строительство, эксплуатация // Научные труды КубГТУ. 2019. № 1. С. 156-164.

4. Разов И.О., Березнев А.В., Коркишко О.А. Проблемы и перспективы внедрения BIM технологий при строительстве и проектировании // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры». Спб.: Санкт-

Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2018. С. 27-31.

5. BIM-технологии в проектировании и строительстве // Молодежный научный вестник. 2019. № 1 (38). С. 127-131.

УДК 621.316.1

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА ПРИ ЗАМЫКАНИИ В ОДНОПРОВОДНОЙ ЛИНИИ

Тухфатуллин И. Р.

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

iskander.tukhfatullin@mail.ru, 142892@mail.ru

науч. рук. канд. физ.-мат. наук, доц. Хузяшев Р. Г.²

Аннотация: в работе рассматривается расчёт параметров сигнала переходного процесса с целью определения механизмов его образования, сравнение модели линии электропередач (ЛЭП) с распределенными и модели ЛЭП с сосредоточенными параметрами, эффективность анализа сигналов напряжения по сравнению с сигналами тока.

Ключевые слова: PSCAD, сигнал переходного процесса (СПП), RLC-параметры, период свободных колебаний, постоянная времени, модели ЛЭП.

THE STUDY OF TRANSIENT PARAMETERS DURING A SINGLE-LINE FAULT

Tukhfatullin I. R.

FSBEI HE KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

iskander.tukhfatullin@mail.ru, 142892@mail.ru

Scientific advisor PhD in physics and mathematics, associate professor Huzashev R. G.²

Abstract: the paper considers the calculation of the parameters of the transient signal in order to determine the mechanisms of its formation, the comparison of the transmission line (TL) model with distributed and the TL model with concentrated parameters, the effectiveness of the analysis of voltage signals compared to current signals.

Keywords: PSCAD, transient signal, RLC-parameters, period of free oscillations, time constant, models of TL.

Опыт эксплуатации электрических сетей показал, что наибольшая доля денежных потерь приходится на аварии в распределительных сетях, обладающих наибольшей протяженностью и разветвленностью. Поэтому исследование механизмов формирования СПП, которое так же отражено в статье [1, 2], представляет научно-практический интерес.

Нас привлекло следующее: В. А. Шуин в статьях [3, 4] выдвинул гипотезу, что по периодам свободных колебаний можно определить

расстояние до места однофазного замыкания на землю (ОЗЗ) в трехфазной сети. Мы решили проверить эту гипотезу, смоделировав линию с распределенными параметрами в пакете PSCAD [5].

Задача данной статьи – посмотреть на форму сигнала переходного процесса и каким образом он формируется.

Для рассмотрения модели ОЗЗ была составлена простейшая однофазная схема с распределенными параметрами длиной 5 км, которая в дальнейшем будет дополняться. Напряжение источника питания – 10 кВ. Время коммутации – 0,045 с. Внутренняя индуктивность равна нулю, активное сопротивление крайне мало.

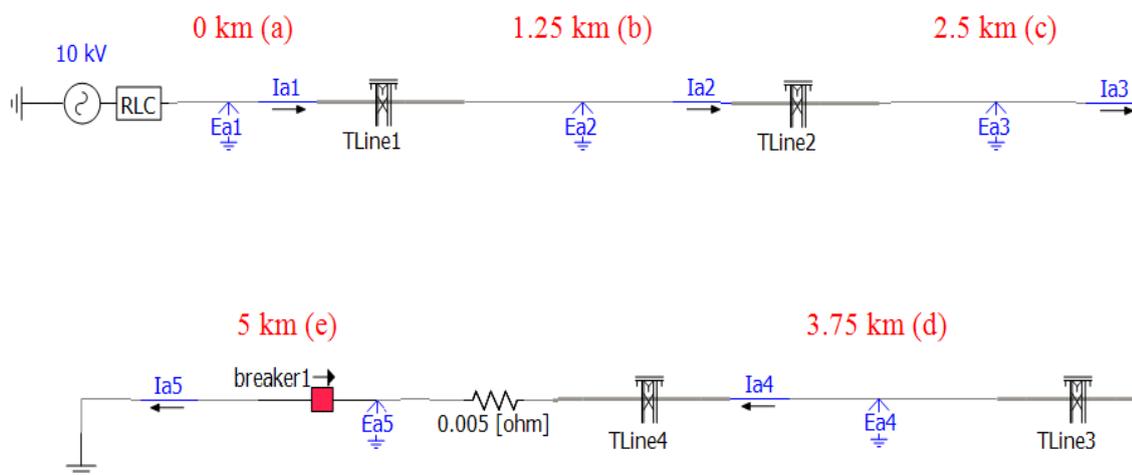


Рис. 1. Простейшая модель ОЗЗ для однофазной линии.

Были получены осциллограммы напряжения (рис. 2) и тока (рис. 3), измеренные в разных местах (l_u) при замыкании на землю в конце линии.

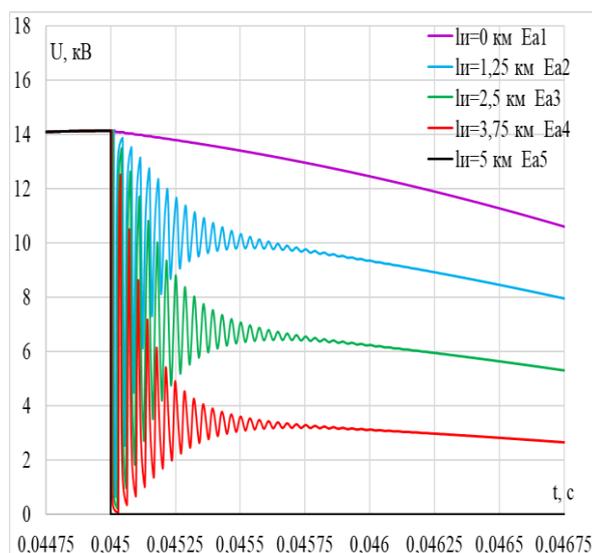


Рис. 2. Осциллограмма напряжения

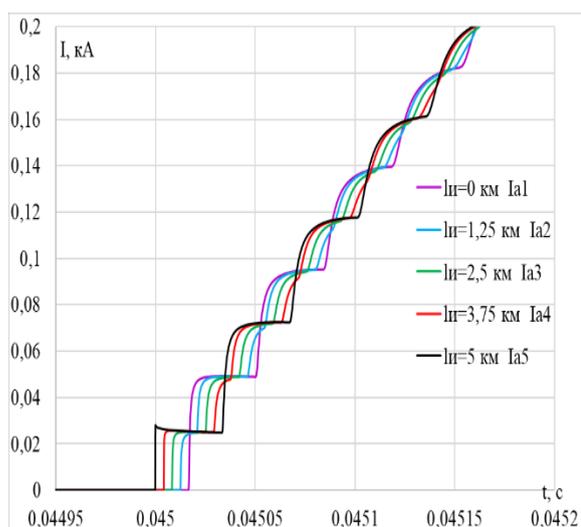


Рис. 3. Осциллограмма тока

При достижении начала линии с нулевым внутренним сопротивлением бегущая волна отражается с коэффициентом «-1» и формирует отраженную волну, которая распространяется к концу линии. Отраженная волна, достигнув короткозамкнутого конца линии отражается с коэффициентом «-1» и формирует бегущую волну, распространяющуюся справа налево, и процесс повторяется.

И бегущие и отраженные волны возникают в конкретный момент времени, но после этого существуют долго. Регистрируемый СПП является суммой значений доаварийного напряжения, всех падающих и переотраженных волн и установившегося аварийного режима [6]. Начало аварийного процесса в разных узлах линии разное, но доаварийный режим заканчивается в момент достижения бегущей волны начала линии. После этого на процесс формирования СПП доаварийный режим не влияет. Колебания СПП в разных узлах линии синфазны, а их амплитуды формируют стоячую волну с узлами по концам линии и пучностью в ее середине. Период сформированных колебаний определяется двукратным пробегом длины линии и составляет 35,6 мкс.

В момент замыкания ключа в конце линии формируется ступенчатая бегущая волна тока с размахом 25 А, равным отношению фазного напряжения к волновому сопротивлению линии.

Сопоставление графиков указывает на преимущество регистрации СПП напряжения. Оно обладает большим размахом в начале, по сравнению с СПП тока. Размах амплитуды СПП тока сравним или намного меньше тока нагрузки. Использованию СПП тока соответствует меньшая погрешность определения начала бегущей волны при одинаковых отношениях сигнал/шум для напряжения и тока.

Были составлены проекты Т, П, Г-образных схем замещений ЛЭП в пакете PSCAD с целью определения величины периода. Однако единственной схемой, в которой возникли колебания, является Т-образная, поскольку в других схемах шунтирование емкостей приводит к исключению их влияния на переходной процесс, так как пропадает LC-контур. В Т-образной схеме шунт запараллеливает емкость и индуктивность. В данном случае оно нулевое, значит, емкость не участвует в схеме.

На основе Т-образной схемы была составлена упрощенная одноконтурная схема путем сложения параллельных сопротивлений веток с целью определения периода свободных колебаний по формуле Томсона. Величина периода составила 65 мкс.

Таким образом, в ходе работы было выполнено:

- Доказана возможность определения расстояния до места замыкания с помощью периода свободных колебаний, формируемого двукратным пробегом линии бегущей волной;

- Показано преимущество рассмотрения сигналов напряжения с целью получения наиболее точных результатов;

- Наиболее эффективной себя показала Т-образная схема замещения.

На основе данной схемы можно проводить аналитический расчет временных параметров сигнала переходного процесса.

Список литературы

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

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

3. Информационные параметры электрических величин переходного процесса для определения места замыкания на землю в распределительных кабельных сетях напряжением 6–10 кВ / В.А. Шуин, Г. А. Филатова, Е. А. Воробьева, Д.И. Ганджаев // Вестник ИГЭУ. – 2017. – №. 2. – С. 34–42.

4. Начальные фазовые соотношения электрических величин переходного процесса при замыканиях на землю в кабельных сетях 6–10 кВ / В. А. Шуин // Электричество. – 1991 г. – № 10. – С. 58–61.

5. PSCAD [Электронный ресурс] // URL: <https://www.pscad.com> (дата обращения: 10.09.23)

6. Зевеке, Г.В. Основы теории цепей. / Г.В. Зевеке, П.А. Ионкин, А.В. Нетушил и др. – М.: Энергия, 1989. – 530 с.

УДК 621.34.001.2

СИЛОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, ЭЛЕКТРОПРИВОД И АВТОМАТИЗАЦИЯ

¹Шайсултанов Айнур Айратович, ²Ярыш Равия Фоатовна
ГБОУ ВО «АГНИ», г. Альметьевск
¹shaisultanov02@gmail.com

Аннотация: в научной статье рассматривается области применения электропривода и их отличительные особенности. Приведены определения автоматизации и его состав. Рассмотрено силовое оборудование, его компоненты и предназначение. В конце представлены преимущества рассматриваемого силового оборудования, электропривода и автоматики, а также источники информации.

Ключевые слова: силовое оборудование, автоматизация, электропривод.

POWER EQUIPMENT, ELECTRIC DRIVE AND AUTOMATION

¹Shaisultanov Ainur Ayratovich, ²Yarysh Raviya Foatovna
"ASOI", Almeteyevsk
¹shaisultanov02@gmail.com

Abstract: the scientific article discusses the electric drive, automation and power equipment, their areas of application. The distinctive features of the considered equipment and sources of information are presented.

Keywords: power equipment, automation, electric drive.

Силовое оборудование, электропривод и автоматизация являются важнейшими компонентами современных промышленных систем, обеспечивая мощность и управление, необходимые для привода машин и процессов. В этой статье представлен обзор ключевых аспектов силового оборудования, электропривода и автоматизации, включая соответствующие технологии, области применения и преимущества.

Силовое оборудование относится к машинам и устройствам, используемым для выработки и распределения электроэнергии. Сюда входят генераторы, трансформаторы, распределительные устройства и другое оборудование, используемое на электростанциях и подстанциях. Силовое оборудование необходимо для обеспечения надежной и безопасной доставки электроэнергии потребителям.

Электропривод – это использование электродвигателей для привода машин и оборудования. Системы электропривода используются в самых разных областях, включая производство, транспорт и системы возобновляемой энергии [1]. Электродвигатели эффективны, надежны и могут управляться с высокой точностью, что делает их идеальными для использования в различных промышленных приложениях.

Автоматизация – это использование технологий для управления и мониторинга промышленных процессов. Системы автоматизации могут включать датчики, программируемые логические контроллеры (ПЛК), человеко-машинные интерфейсы (ЧМИ) и другие компоненты [4]. Системы автоматизации могут повысить эффективность, снизить затраты и повысить безопасность, устраняя необходимость ручного вмешательства в промышленные процессы.

Силовое оборудование, электропривод и автоматика используются в самых разных отраслях промышленности. Некоторые общие области применения включают:

1. Производство – системы электропривода используются для питания машин и оборудования, используемых в производственных процессах, а системы автоматизации позволяют повысить эффективность и снизить риск ошибок [2].

2. Транспорт - системы электропривода используются в электрических и гибридных транспортных средствах, а системы автоматизации могут использоваться для управления светофорами и другой транспортной инфраструктурой.

3. Возобновляемая энергетика - энергетическое оборудование используется для выработки электроэнергии из возобновляемых источников, таких как ветер и солнце, а системы электропривода применяются в ветряных турбинах и других технологиях возобновляемой энергетики.

4. Нефть и газ – энергетическое оборудование используется при добыче и переработке нефти и газа, а системы электропривода применяются при бурении и других операциях.

Преимущества. Использование силового оборудования, электропривода и систем автоматизации может обеспечить ряд преимуществ для промышленных процессов, включая:

1. Повышение эффективности – системы электропривода более эффективны, чем традиционные механические системы привода, что приводит к снижению энергопотребления и уменьшению затрат.

2. Повышение безопасности - системы автоматизации могут снизить риск несчастных случаев и травм за счет устранения необходимости ручного вмешательства в промышленные процессы.

3. Улучшенное управление – электродвигатели и системы автоматизации могут управляться с высокой точностью, что позволяет лучше контролировать промышленные процессы и улучшать контроль качества.

4. Снижение затрат на обслуживание – системы электропривода требуют меньшего обслуживания, чем традиционные механические системы привода, что приводит к снижению затрат на обслуживание и уменьшению времени простоя.

5. Экологические преимущества – использование возобновляемых источников энергии и систем электропривода позволяет снизить выбросы парниковых газов и другие воздействия на окружающую среду, связанные с традиционными источниками энергии.

1. Проектирование и эксплуатация энергетического оборудования, электроприводов и систем автоматизации связаны со сложными технологиями и соображениями безопасности [5]. Следующие источники информации могут дать ценное представление об этих темах:

Международная электротехническая комиссия - разрабатывает и публикует международные стандарты на электрические и электронные технологии, включая электродвигатели и системы автоматизации.

2. Институт инженеров по электротехнике и электронике – публикует технические стандарты и руководства по проектированию и эксплуатации энергетического оборудования, электроприводов и систем автоматизации.

3. Международная ассоциация автоматизации – предоставляет информацию и ресурсы по технологиям автоматизации и их применению в различных отраслях промышленности.

4. Национальная лаборатория возобновляемых источников энергии – проводит исследования и разработки в области технологий возобновляемых источников энергии, включая системы электропривода для ветровой и солнечной энергетики.

5. Администрация по охране труда и здоровья – предоставляет рекомендации и правила по безопасности труда в промышленных условиях, включая те, которые связаны с силовым оборудованием, электроприводами и системами автоматизации.

Силовое оборудование, электропривод и системы автоматизации являются важнейшими компонентами современных промышленных систем, обеспечивая питание и управление, необходимые для эффективной и безопасной работы. Использование этих технологий может обеспечить целый ряд преимуществ, включая повышение эффективности, повышение безопасности, улучшение контроля, сокращение объема технического

обслуживания и экологические преимущества. Следуя протоколам безопасности, соблюдая правила и оставаясь в курсе последних разработок в этой области, организации могут продолжать использовать преимущества силового оборудования, электроприводов и систем автоматизации для развития своей деятельности.

Список литературы

1. Гопал, К. Дюбей Основные принципы устройства электроприводов / Гопал К. Дюбей. - Москва: Машиностроение, 2009.

Режим доступа: https://elprivod.nmu.org.ua/files/automaticED/dyubei_gopal_k_osnovnye_principyu_ustroistva_elektroprivodov.pdf (Свободный доступ) (Дата обращения 11.04.2023)

2. Гуляев, Игорь Васильевич Системы Векторного Управления Электроприводом На Основе Асинхронизированного Вентильного Двигателя / Гуляев Игорь Васильевич. - Москва: ИЛ, 2010.

Режим доступа: https://www.studmed.ru/gulyaev-i-v-sistemy-vektornogo-upravleniya-elektroprivodom-na-osnove-asinhronizirovannogo-ventilnogo-dvigatelya_dddcaec0afc.html (Свободный доступ) (Дата обращения 11.04.2023)

3. Епифанов, А. П. Основы электропривода / А.П. Епифанов. - Москва: Гостехиздат, 2009.

Режим доступа: <https://library.tou.edu.kz/fulltext/buuk/b1077.pdf> (Свободный доступ) (Дата обращения 11.04.2023)

4. Москаленко, В. В. Системы автоматизированного управления электропривода / В.В. Москаленко. - Москва: Высшая школа, 2013.

Режим доступа: https://www.studmed.ru/moskalenko-vv-sistemy-avtomatizirovannogo-upravleniya-elektroprivoda_87d62a51bd9.html (Свободный доступ) (Дата обращения 11.04.2023)

5. Попов, А. Н. Основы электромеханики асинхронного частотного электропривода / А.Н. Попов. - Москва: Наука, 2007.

Режим доступа: <https://www.livelib.ru/book/1000884559-osnovy-elektromehaniki-asinhronnogo-chastotnogo-elektroprivoda-andrej-popov> (Свободный доступ) (Дата обращения 11.04.2023)

6. Преображенский, В.И. Выбор полупроводниковых вентилях для электроприводов / В.И. Преображенский. - М.: Энергия, 2016.

Режим доступа: https://www.studmed.ru/preobrazhenskiy-vi-vybor-poluprovodnikovyh-ventiley-dlya-elektroprivodov_f521f88fbf7.html (Свободный доступ) (Дата обращения 11.04.2023)

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ ЧАСТОТНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК

Шмачкова Екатерина Олеговна
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
katerina.777999shm@gmail.com

Аннотация: целью данной работы является изучение принципов функционирования, преимуществ и недостатков современных средств частотного регулирования, а также рекомендации по их оптимальному применению для повышения эффективности насосных установок. Рассматривается теоретическая основа частотного регулирования, анализируются различные типы частотных преобразователей и их возможности, а также представляются практические аспекты внедрения частотного регулирования в промышленных насосных установках.

Ключевые слова: частотное регулирование, частотный преобразователь, установка, преобразователь, насосная установка, рабочая среда.

APPLICATION OF MODERN MEANS OF FREQUENCY CONTROL TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF PUMPING UNITS

Shmachkova Ekaterina Olegovna
FSBEI HE «KSPEU», Kazan
katerina.777999shm@gmail.com

Abstract: the purpose of this work is to study the principles of operation, advantages and disadvantages of modern means of frequency regulation, as well as recommendations for their optimal use to improve the efficiency of pumping units. The theoretical basis of frequency regulation is considered, various types of frequency converters and their capabilities are analyzed, and practical aspects of the introduction of frequency regulation in industrial pumping units are presented.

Keywords: frequency control, frequency converter, installation, converter, pumping unit, working environment.

В современном мире промышленные насосные установки играют ключевую роль во многих отраслях, таких как энергетика, нефтегазовая промышленность, водоснабжение и стоки, а также химическая и пищевая промышленность. Насосные установки являются важными потребителями электроэнергии, и поэтому снижение их энергопотребления, увеличение эффективности работы и уменьшение экологического воздействия становятся актуальными задачами. В этой связи, применение современных средств частотного регулирования может принести значительные преимущества для экономики и экологии.

Основы частотного регулирования насосных установок:

1. Принцип работы частотного регулирования.

Частотное регулирование основано на изменении частоты вращения электродвигателя насосных установок. Путем изменения частоты питания асинхронного электродвигателя, можно контролировать его скорость вращения, что позволяет регулировать параметры работы насоса, такие как напор и расход рабочей среды. Такое регулирование позволяет обеспечить более точный контроль рабочих характеристик насосных установок и адаптировать их работу к изменяющимся условиям эксплуатации [1].

2. Частотные преобразователи.

Частотный преобразователь – элемент, который преобразует постоянное напряжение в переменное, с изменяемой частотой и амплитудой. Частотные преобразователи различаются по принципу работы, конструкции и функциональным возможностям.

3. Основные характеристики частотных преобразователей.

При выборе частотного преобразователя для насосной установки важно учитывать следующие характеристики: мощность и ток электродвигателя; рабочая частота; точность и стабильность частоты; эффективность; функции и возможности.

4. Кривые насосов и частотное регулирование.

Кривые насосов определяют зависимость напора и расхода рабочей среды от частоты вращения электродвигателя. При изменении частоты с помощью частотного преобразователя, кривые насосов смещаются и изменяют свою форму, что позволяет адаптировать работу насоса к различным условиям эксплуатации и требованиям к напору и расходу рабочей среды [1].

5. Влияние частотного регулирования на энергопотребление и эффективность насосных установок.

Применение частотного регулирования снижает энергопотребление насосных установок, поскольку адаптация кривых насосов к изменяющимся условиям работы позволяет оптимизировать потребление мощности. Энергоэффективность насосных установок с частотным регулированием может быть значительно выше, чем у традиционных насосных установок, работающих с постоянной скоростью [3].

Частотное регулирование улучшает эксплуатационные характеристики насосных установок, позволяя точнее соблюдать требуемые параметры работы насоса и увеличивая срок службы оборудования. Также снижается шум и вибрация благодаря плавному управлению частотой вращения электродвигателя. Это улучшает условия работы персонала и требования к звукоизоляции [4].

Преимущества частотных преобразователей:

1. Частотные преобразователи позволяют оптимизировать энергопотребление насосных установок.

2. Использование частотных преобразователей обеспечивает более точное соблюдение требуемых параметров работы насоса, что приводит к снижению износа и увеличению срока службы оборудования.

3. Частотное регулирование позволяет адаптировать работу насосных установок к различным условиям эксплуатации и требованиям к напору и расходу рабочей среды.

4. Вибрация и шум от работы насоса снижаются, это благоприятно влияет на условия работы персонала и снижает требования к звукоизоляции.

5. Частотные преобразователи обладают функциями защиты от перегрузки, короткого замыкания и других нештатных ситуаций, что повышает надежность и безопасность работы насосных установок [1].

Недостатки частотных преобразователей:

1. Частотные преобразователи имеют сравнительно высокую стоимость.

2. Внедрение частотных преобразователей в существующие насосные установки может потребовать дополнительных инженерных работ, обучения персонала и адаптации систем управления.

3. Частотные преобразователи могут генерировать электромагнитные помехи, которые могут влиять на работу других электронных устройств и систем.

4. Частотные преобразователи генерируют тепло во время работы, что может потребовать дополнительного охлаждения и вентиляции.

5. Некоторые компоненты частотных преобразователей, такие как электролитические конденсаторы, могут иметь ограниченный срок службы, что может потребовать периодической замены и обслуживания.

При изучении литературы по теме статьи мной были выявлены следующие рекомендации по оптимизации работы насосных установок с использованием новых технологий:

1. При выборе частотного преобразователя следует учитывать мощность электродвигателя, рабочую частоту и требования к защите от перегрузки.

2. Для максимальной эффективности работы насосной установки производят настройку параметров частотного преобразователя, обеспечение надежной изоляции и заземления, а также подключение дополнительных датчиков для контроля параметров рабочей среды.

3. Для поддержания оптимальной работы насосных установок проводят проверку состояния подшипников, контроль изоляции электродвигателя и частотного преобразователя.

Применение современных средств частотного регулирования позволяет повысить эффективность насосных установок, снизить энерго-

потребление и уменьшить воздействие на окружающую среду. Однако, для достижения максимальных результатов, важно правильно выбрать и интегрировать частотные преобразователи, а также проводить регулярное техническое обслуживание и мониторинг состояния оборудования.

Список литературы

1. Smith, J. T. Variable Frequency Drives in Pumping Systems: Performance and Energy Efficiency / J. T. Smith, M. P. Jones // Proceedings of the 12th International Conference on Fluid Mechanics and Energy Efficiency. – 2018. - № 12. - 24-28 с.

2. Brown, R. A (2019). Advanced Pump Control Techniques Using Variable Speed Drives / R. A Brown, S. H. Green // Journal of Pump Technology. - № 21(4). - 62-73 с.

3. Miller, D. K. Energy Efficiency Improvement of Pumping Systems with Frequency Converters / D. K. Miller // Master 's thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA. – 2017 - № 15(3) - 45-53 с.

4. Лебедев, В. А. Применение частотных преобразователей для повышения эффективности работы насосных систем / В. А. Лебедев, А. А. Ширяев // Труды Всероссийской научно-технической конференции "Энергосбережение и повышение эффективности энергетических систем". – 2017 г. - Санкт-Петербург: СПбГПУ. - 102-110 с.

5. Расчет надежности блоков станции управления штанговых скважинных насосных установок / И. В. Ившин, А. Р. Сафин, Р. Р. Гибадуллин [и др.] // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2019. – Т. 11, № 4(44). – С. 3-

УДК 621.314

ВЫБОР ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ ДЛЯ СНАББЕРНЫХ ЦЕПЕЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Сергей Денисович Шкурпит¹, Карина Юрьевна Ахметшина²
^{1,2}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан
¹shkurpitsd@mail.ru, ²akhmetshina2017@mail.ru

Аннотация: в статье рассматривается бавозвый преобразователь частоты с автоматическим инвертором напряжения, при проектировании которого требуется защитить компоненты от чрезмерных напряжений, для чего устанавливается снабберная цепь, выбор элементной базы которой представлен в статье.

Ключевые слова: электропривод, преобразователь частоты, IGBT, снаббер, RCD-цепь, емкость, время переключения, перегрузка.

SELECTION OF THE ELEMENT BASE FOR THE SNUBBER CIRCUITS OF THE FREQUENCY CONVERTER IN THE DESIGN OF THE ELECTRIC DRIVE

Sergey Denisovich Shkurpit¹, Karina Yuryevna Akhmetshina²
^{1,2}FSBEI HE KSPEU ", Kazan, Republic of Tatarstan
shkurpitsd@mail.ru¹, akhmetshina2017@mail.ru²

Abstract: the article considers a basic frequency converter with an automatic voltage inverter, the design of which requires protecting components from excessive voltages, for which a snubber circuit is installed, the choice of the element base of which is presented in the article.

Keywords: electric drive, frequency converter, IGBT, snubber, RCD circuit, capacitance, switching time, overload.

В процессе регулирования координат электропривода используют частотные и нечастотные способы. Частотные способы – это методы регулирования, включающие в себя изменение угловой частоты. Базовый преобразователь частоты может использоваться с автономным инвертором напряжения либо тока. Схема ПЧ с АИН представлена на рисунке 1.

В состав схемы входит выпрямитель В (например, трехфазная схема выпрямления Ларионова), LC-фильтр Ф, после которого находится автономный инвертор напряжения АИН. Для защиты устройств от перегрузок используют снаббер – цепь, состоящую в основном виде из резистора, конденсатора и полупроводникового диода.

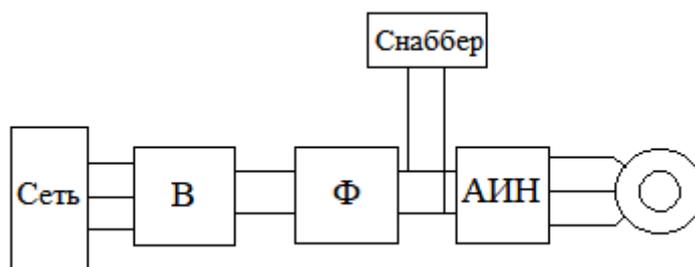


Рис. 1. Схема преобразователя частоты с автономным инвертором напряжения

В состав АИН входят *IGBT*-транзисторы, которые надо защищать от перенапряжений при переходных процессах. Одним из самых распространенных устройств является *RCD*-цепь, называемая снаббером (*Snubber*) (рис. 2). Работа его основана на том, что энергия, накопленная ранее в индуктивности, после закрывания транзистора проходит через

диод D в конденсатор снаббера. Когда транзистор снова открывается, емкость разряжается через шунтирующий резистор для минимизации тока разряда, который в противном случае (в отсутствие резистора) может быть чрезмерным для устройства [1].

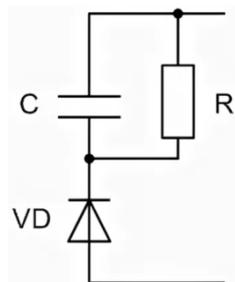


Рис. 2. Снаббер для защиты транзистора

Для оптимальной работы схемы требуется подобрать такие значения емкости и сопротивления RCD -цепи, которые обеспечат оптимальную защиту полупроводникового прибора. Так, рост значений R и C приводит к снижению амплитуды всплеска напряжения, но в то же время затягивает время переходного процесса, а значит, снижает предельную частоту коммутации [2].

Нами был проведен предварительный расчет параметров RCD -цепи и затем выполнено моделирование схемы с целью уточнения и оптимизации полученных значений. В процессе моделирования был проведен анализ времени переключения транзистора. Для собранной нами цепи на $IGBT$ -транзисторе оно равно 20 наносекунд. По этому времени можно рассчитать требуемые значения сопротивления и емкости. На рисунке 3 приведены временные диаграммы напряжения на транзисторе для значений емкости в диапазоне от 10 до 35 мкФ с шагом в 5 мкФ, полученные в программе *Micro-Cap 12*.

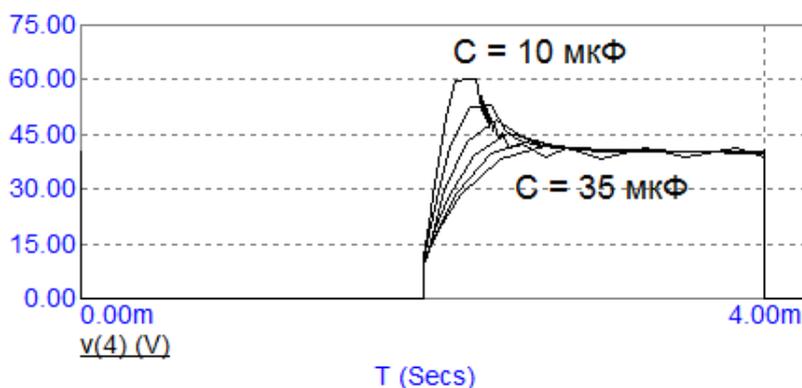


Рис. 3. Временные диаграммы напряжения на транзисторе для различных значений емкости RCD -цепи

Как видно из диаграмм, рост C приводит к уменьшению всплеска напряжения на транзисторе за счет снижения скорости его нарастания. В то же время, помимо упомянутого выше затягивания процесса коммутации, рост C также влечет рост тока разряда при открывании транзистора, поскольку он определяется как

$$i_c = C \frac{du_c}{dt}, \quad (1)$$

а, следовательно, будет также расти и мощность, рассеиваемая в транзисторе [4]. На рисунке 4 показаны полученные нами в программе *Micro-Cap 12* временные диаграммы среднего за период значения мощности, рассеиваемой транзистором, для различных значений емкости RCD -цепи, которые подтверждают это предположение.

Из данных, полученных в результате моделирования, можем отметить, что при увеличении емкости увеличивается и мощность, рассеиваемая транзистором, но одновременно с этим уменьшается всплеск напряжения при переключении.

Таким образом, первое, на что нужно обратить внимание, - это на сглаживание всплеска напряжения, подобрать емкость так, чтобы он был не критичным для прибора, но одновременно с этим учесть, что значение емкости должно быть минимальным среди выбранного диапазона для сглаживания перенапряжения.

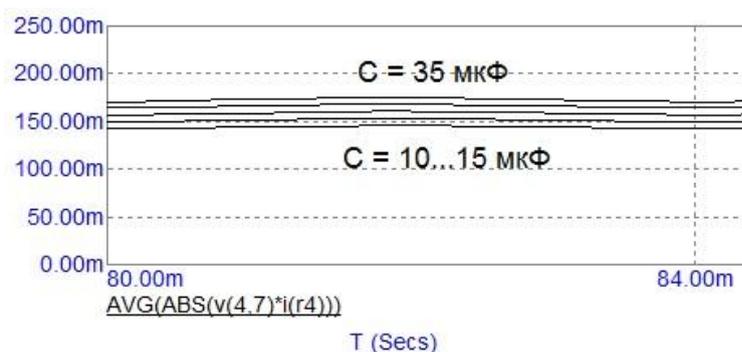


Рис. 4. Фрагмент временных диаграмм среднего за период значения мощности, рассеиваемой транзистором, для различных значений емкости RCD -цепи

Отметим, что снаббер – это лишь один из немногих способов защиты $IGBT$ -инвертора от перегрузок по напряжению. Более модернизированным устройством является интеллектуальный силовой модуль (IPM), в который встроены датчики мониторинга тока, напряжения и даже температуры главного прибора.

Список литературы

1. Колпаков А., Ламп Й. Проблемы проектирования IGBT-инверторов: перенапряжения и снабберы // Компоненты и технологии. 2008. № 5(82). С. 98-103.

2. Павленко А.В., Васюков И.В., Пузин В.С. Повышение мощности инверторных источников питания для комбинированных сварочных устройств // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2013. № 1(170). С. 84-88.

3. RCD-снаббер – принцип работы и пример расчета [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://elektrik.info/main/praktika/1509-rcd-snabber-princip-raboty-i-primer-rascheta.html> (дата обращения: 26.04.2023).

4. Конденсаторы для пассивных снабберных цепей [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://russianelectronics.ru/kondensatory-dlya-snabbernyh-czerej/> (дата обращения: 27.04.2023).

УДК 621.315

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ОДИНОЧНЫХ ИМПУЛЬСОВ

Якупов Нияз Маратович
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
janijaz@yandex.ru

Аннотация: в статье представлена схема устройства измерения длительности одиночного импульса, поступающего на вход микроконтроллера. Информация о длительности импульса (до 9999мкс) выведена на цифровой индикатор.

Ключевые слова: микроконтроллер, измерение, импульсы, индикация, сигналы, счетчик.

DEVELOPMENT OF A DEVICE FOR MEASURING THE DURATION OF SINGLE PULSES

Yakupov Niyaz Maratovich
KSPEU, Kazan
janijaz@yandex.ru

Abstract: the article presents a diagram of a device for measuring the duration of a single pulse coming to the input of a microcontroller. Information about the pulse duration (up to 9999mx) is displayed on a digital indicator.

Keywords: microcontroller, measurement, pulses, indication, signals, counter.

Измерительное устройство на базе микроконтроллера может обеспечить высокую точность измерения длительности одиночных импульсов, что позволяет исследователям, инженерам и специалистам получать надежные данные для анализа и принятия решений [1]. Многие системы и устройства в таких областях, как телекоммуникации, электроника и автоматизация, полагаются на точные измерения длительности импульса.

Устройство измерения импульсов основано на микроконтроллере *ATmega328* – это 8-разрядный 28-контактный микроконтроллер AVR производства *Microchip*, выполненный по архитектуре RISC и имеющий программную память флэш-типа объемом 32 КБ [2].

ATmega328 обладает несколькими различными функциями, которые делают его самым популярным устройством на современном рынке. Эти функции включают усовершенствованную архитектуру RISC, хорошую производительность, низкое энергопотребление, счетчик реального времени с отдельным генератором, блокировку программирования для обеспечения безопасности программного обеспечения и т.д. [3]. Микроконтроллер построен по двухшинной (гарвардской) архитектуре и имеет отдельные шины памяти программ и памяти данных [4].

Структура цифрового измерителя длительности импульсов (ЦИДИ) похожа на схему цифрового периодомера мгновенных значений, который преобразует временной интервал между двумя импульсами – начальным (стартовым) и конечным (стоповым) в параллельный двоичный код. Структурная схема МКУ представлена на рисунке 1.



Рис. 1 Структурная схема МКУ

Блок синхронизации (*TimingandControl*) предназначен для выработки синхронизирующих и управляющих сигналов, обеспечивающих координацию совместной работы блоков ОЭВМ во всех допустимых режимах ее работы.

Блок ввода сигнала включает в себя тактовый генератор – электронную микросхему, производящую тактовый сигнал для синхронизации работы устройства. Такой сигнал может иметь любую форму: и простую прямоугольную, и более сложную. В нашем случае данный блок осуществляет функцию преобразования постоянного сигнала в сигнал прямоугольной формы, имеющий постоянную частоту и два устойчивых состояния (верхнее и нижнее), для дальнейшего подсчета длительности импульса.

Блок динамической индикации предназначен для поочередной подачи питания на семисегментные индикаторы и, соответственно, для вывода итогового подсчитанного результата измерения.

В нашем МКУ алгоритм работы осуществляется следующим образом: генератор одиночных импульсов формирует электрический импульс прямоугольной формы вполне определенной длительности при кратковременном сигнале на входе (она не зависит от длительности входного, т.е. запускающего, импульса), после чего переходит в ждущий режим и не работает до прихода следующего запускающего сигнала.

Измеряемый сигнал подается на вывод *ICP1* (*InputCapturePin 1*: ножка захвата, относящаяся к таймеру/счетчику 1), у МК *Atmega328* этот вывод соответствует пину *PB0*. Кварцевый резонатор, подключенный к двум портам МК *XT1* и *XT2*, задает тактовую частоту микроконтроллера, который измеряет длительность импульса программно и преобразует данные для ввода на дешифратор и, впоследствии, на семисегментные индикаторы.

Микроконтроллер содержит в себе аппаратный таймер/счётчик, который считает “тики” тактового генератора и, в зависимости от режима работы, может давать сигнал на микроконтроллер при определённых значениях счётчика. При изменении состояния ножки (при нарастании или убывании фронта), текущее значение таймера, копируется в регистр *ICR1*. Это значение хранится до возникновения следующего изменения на ножке. Удобно при этом использовать прерывания: при первом прерывании считываем сколько таймер оттикал, при втором прерывании записываем второе значение.

Дешифратор в свою очередь позволяет преобразовать двоичный код, подающийся на входы *D0-D3*, от микроконтроллера в семисегментный [5]. Подтягивающие резисторы, служащие переходом от дешифратора к каждому сегменту, эффективно создают дополнительный контур, гарантируя, что напряжение остается четко определенным даже при разомкнутом переключателе. Чтобы подтягивающий резистор служил

только этой цели и в противном случае не создавал помех цепи, необходимо использовать резистор с соответствующим сопротивлением.

С точки зрения программного кода в МКУ алгоритм работы осуществляется следующим образом: в первую очередь происходит конфигурация микроконтроллера и инициализация ключевых переменных. После этого настраиваем, глобально разрешаем прерывания по переполнению для таймера/счётчика 1. Измеряем и сохраняем длительность импульса методом захвата таймера, анализируя передние и задние фронты сигнала (подробнее – подпрограмма «Измерение ширины импульса»). Проверяем, было ли срабатывание таймера, и сохраняем значение в памяти. В случае, если результат ≤ 9999 мкс, начинает выполняться подпрограмма «Динамическая индикация на семисегментной матрице». Иначе – измерение проводится вновь. После пройденных этапов данные выводятся на четырехразрядную семисегментную матрицу.

Список литературы

1. Левченко Е. Ю., Вапнярчук В. Г. Многофункциональные измерительные комплексы на базе современных микроконтроллеров для научных исследований в области физики и экологии // Вестник Курганского государственного университета. 2006. № 4 (8).
2. Джереми Блум. – Изучаем Arduino: инструменты и методы технического волшебства (2-е изд.). – БХВ-Петербург, 2020.
3. Уланова, Е. И. Архитектура процессоров RISC и CISC, их достоинства и недостатки // Молодой ученый. 2022. № 25 (420). С. 15–17.
4. Омельченко Е. Я., Танич В. О., Маклаков А. С., Карякина Е. А. Краткий обзор и перспективы применения микропроцессорной платформы Arduino // ЭС и К. 2013. № 21.
5. Волович Г.И. – Схемотехника аналоговых и аналогово-цифровых устройств (4 - е издание). – ДМК Пресс, 2018.

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 1. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

<i>Антипов А.С.</i> Внедрение системы смарт-мониторинга для оптимизации энергопотребления на промышленных предприятиях.....	3
<i>Афанасьева В.В.</i> Обзор неисправностей трансформаторов.....	6
<i>Андреев О. Н.</i> Программно-аппаратные средства фиксации начала нелинейных искажений сигнала на основе нейросети.....	9
<i>Антонович Д.В., Игнатенко А.О., Овечкин Е.С., Лемешонок М.С.</i> Энергоснабжение объектов с помощью плавучих энергопонтонных.....	12
<i>Ахунова А.Ф.</i> Инновационные технологии в энергосиловом оборудовании: улучшение эффективности и надежности систем.....	16
<i>Ахунова А.Ф.</i> Тренды в развитии энергосилового оборудования: инновационные подходы к повышению эффективности и надежности систем.....	20
<i>Бакирова Р.Р., Денисова А.Р.</i> Интеллектуальная система управления уличным освещением.....	23
<i>Брехов Е.В., Фетисов Л.В.</i> Принципы и проблемы внедрения BIM-технологий в процесс проектирования объектов капитального строительства.....	27
<i>Ваганов А.И., Хамидуллин И.Н., Маслов С.Ю.</i> Применение лидара для анализа состояния ВЛЭП.....	30
<i>Валюк А., Кузеев Д.</i> Обзор методов и систем диагностики оборудования подстанций.....	33
<i>Кузеев Д., Валюк А.</i> Обзор метода диагностики воздушных линий электропередач с применением БПЛА.....	40
<i>Ганюшкина Ю.Д.</i> Проектирование объектов электроэнергетики.....	45
<i>Гатауллин Н.Р.</i> Повышение энергетической эффективности систем освещения металлургического комбината.....	49
<i>Гатауллин Н.Р.</i> Улучшение системы охлаждения трансформаторов с жидким диэлектриком.....	52
<i>Зубрилов М.К.</i> Анализ методов обнаружения неисправностей и диагностики электродвигателей.....	56
<i>Гимадов Д.Р.</i> Исследование электропривода с использованием спектрального анализа для повышения эффективности и надежности работы оборудования.....	59

<i>Глоткина Л.А.</i> Регулирование и управление режимами с целью оптимизации работы промышленных предприятий.....	63
<i>Гринев Н.В.</i> Расчетная модель оценки надежности распределительных устройств.....	66
<i>Груздев А.С., Чжан Ханьян, Фан Юйхэн, Лю Жуньда.</i> Определение состояния заряда в литий-ионных аккумуляторах методом ультразвуковой диагностики	71
<i>Ефименко Н.В.</i> Исследование нелинейных искажений в светодиод-ных источниках освещения.....	76
<i>Женжурист И.А.</i> Перспективы энерго - и ресурсосбережения в технологии обжиговых материалов.....	80
<i>Закиров Б.Р., Рыжкова Е.Н., Харабурова М.Д.</i> Методы и средства управления заземляющим резистором в компенсированных сетях.....	84
<i>Ибрагимова З.Р.</i> Передовые методы мониторинга и диагностики силовых кабелей в подземных системах электропередачи.....	89
<i>Ибрагимова З.Р., Гибадуллин Р.Р.</i> Комплексный анализ гармонических искажений в системах распределения электроэнергии: оценка воздействия и стратегии смягчения.....	93
<i>Иванов Т.Д.</i> Особенности применения фильтрокомпенсирующих устройств на объектах электросетевого хозяйства.....	96
<i>Кирьянов Д.М., Митрофанов П.В., Раиевская М.А.</i> Математическое моделирование задач электроснабжения.....	100
<i>Кокорев А.А., Соснина Е.Н.</i> Исследование влияния температуры окружающей среды на характеристики силового трансформатора.....	104
<i>Кузнецов А.В., Добренький Р.А., Ребровская Д.А., Гаврилова С.В.</i> Проблемы принятия потребителем решения по компенсации реактивной мощности.....	109
<i>Мирзахужаева Д.Р.</i> Сравнительный анализ технологических решений в области энергосилового оборудования, основанных на использовании модульной технологии.....	112
<i>Маслов И.Н., Кохан Д.А.</i> Безотходная переработка сырья с помощью центрифуг.....	116
<i>Маслов С.Ю., Хамидуллин И.Н., Ваганов А.И.</i> Модель работа для непосредственного осмотра ВЛЭП.....	119
<i>Миранов С.Р., Жалмаганбетова С.Т., Черноволенко Е.А., Николаев К.В.</i> Восстановление аппарата АИ-70 и подготовка его к включению в установку испытания СИЗ.....	122

<i>Молодова К.К.</i> Применение систем искусственного интеллекта в проектировании систем электроснабжения: новые технологии и возможности.....	126
<i>Мифтахов А.Р.</i> Перспективы развития автоматизированных систем сбора данных для контроля и учета энергоресурсов.....	129
<i>Мифтахов А.Р.</i> Проектирование системы аварийного слива масла для трансформатора ТДН – 10000/110 – У1 в соответствии с правилами устройства электроустановок.....	132
<i>Мухамбетова Д.Т.</i> Современный подход в управлении энергетическими ресурсами промышленных предприятий	136
<i>Петрова Р.М., Грачева Е.И.</i> Выбор оптимального закона распределения при моделировании надежности систем внутривзаводского электроснабжения.....	140
<i>Пономарева З.Р.</i> Модели и методы разработки и принятия управленческих решений.....	144
<i>Рафаилов К.О.</i> Влияние температуры на характеристики микрополосковой линии электропередач.....	149
<i>Сафин А.А., Сабитов А.Х.</i> Оптимизация режимов работы предприятия за счет современных устройств компенсации реактивной мощности.....	156
<i>Себаштиау Гарсия Душ Сантуш.</i> Региональный аспект энергетической безопасности на фоне новых внешнеполитических вызовов: на примере энергопредприятий республики Татарстан.....	159
<i>Сергеев Е.А.</i> Сравнительный анализ надежности железобетонных, металлических и композитных опор ЛЭП 110 кВ с применением систем автоматизированного проектирования <i>SolidWorks</i>	163
<i>Сибгатов И.Г., Гибадуллин Р.Р.</i> Способы бесконтактной передачи энергии	169
<i>Студеникин А.С., Сурикова О.П.</i> Повышение надежности систем электроснабжения напряжением 35 КВ и выше за счет заземления нейтрали и внедрения системы компенсации ёмкостных токов.....	172
<i>Сультимова В.Д., Чмелёва Л.О., Рустамов Р.А., Дондупова О.Б.</i> Исследование работы АЦП параллельного действия.....	176
<i>Полякова Д.А.</i> Энергоэффективность и анализ современных промышленных и коммунальных предприятий.....	180
<i>Сурикова О.П.</i> Нормирование расхода электрической энергии на промышленных предприятиях.....	184
<i>Таефов Э.Ф.</i> Перспективы развития децентрализованных систем электроснабжения в России.....	187

<i>Тухфатуллин И.Р., Хузяшев Р.Г.</i> Влияние сосредоточенных неоднородностей распределительной сети на скорость распространения бегущей волны.....	192
<i>Федяй О.В., Бычков А.В.</i> Пример расчёта импульса напряженности электрического поля при воздействии геомагнитных бурь на оборудование систем электроснабжения самарской области.....	196
<i>Филимонов С.С., Николаев К.В.</i> Расчёт возможных режимов работы провода и обмотки трансформатора, изъятых с места пожара.....	200
<i>Хаертдинова А.И.</i> Векторное управление асинхронными электрическими машинами, частотный привод.....	204
<i>Хайретдинов Р.М., Куракина О.Е.</i> Распределенная генерация в электросетевом комплексе.....	207
<i>Харисов Н.И., Фетисов Л.В.</i> Реле напряжения перекоса и последовательности фаз.....	211
<i>Черных Д.А.</i> Точное определение уставок токовых релейных защит на основе математического моделирования пуска и самозапуска двигателей.....	214
<i>Чивенков А.И., Соснина Е.Н., Бедретдинов Р.Ш., Еременко В.В.</i> Способ компенсации высших гармоник при плавно-дискретном управлении трансформатора с тиристорным регулятором напряжения.....	220
<i>Чилыева М.Р., Малёв Н.А.</i> Исследование параметрической модели чувствительности следящего вентильного электропривода.....	224
<i>Шаймарданов И.И.</i> Снижение потерь электроэнергии в силовых трансформаторах.....	228
<i>Шайхутдинов К.А., Якупов Н.М.</i> Разработка электронного плаката экстренного оповещения на базе STM32.....	233
<i>Шагалиев Р.И.</i> Оценка и оптимизация методов и средств компенсации реактивной мощности, используемых в электроэнергетических системах	235
<i>Шагалиев Р.И.</i> Оптимизация эффективности электродвигателей в энергетическом оборудовании.....	239
<i>Широбоков Е.А., Зацаринная Ю.Н.</i> Анализ развития электромобилей и зарядной инфраструктуры на территории республики Татарстан....	243
<i>Энсиноса Эстевес Лейди, Цырук С.А., Кулешова Г.С.</i> Энергетика республики Куба: проблемы и перспективы.....	247
<i>Юдина А.Е.</i> Особенности возникновения электрической дуги на воздушных линиях.....	253

<i>Яковлева Е.В.</i> Проектирование и оптимизация синхронных двигателей с постоянными магнитами для систем электропривода.....	256
<i>Яковлева Е.В., Гибадуллин Р.Р.</i> Проектирование и оптимизация микросетей для устойчивого производства энергии.....	260

Секция 2. ЭНЕРГО И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ И КОММУНАЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

<i>Афанасьева В. В.</i> Обзор проблем качества электроэнергии и системы компенсаций реактивной мощности.....	264
<i>Бармин Д.Д.</i> Ресурсосбережение промышленных предприятий	267
<i>Былинкин Я.Ю., Атрашенко О.С., Тульчинский Д.С., Ахмедова О.О.</i> Применение ультразвукового неразрушающего контроля для диагностики электрооборудования.....	270
<i>Васильев А.В., Шириев Р.Р.</i> Применение двухосных солнечных трекеров, управляемых шаговыми двигателями.....	274
<i>Галиев Р.Р., Шириев Р.Р.</i> Освещение заточно-шлифовального участка с использованием промышленных диммеров с датчиком освещённости.....	279
<i>Ганюшкина Ю.Д.</i> Ресурсосберегающие технологии в электро-снабжении.....	283
<i>Закревский А.А., Королев И.В.</i> Оценка профессиональных рисков в системе управления охраной труда на энергетическом предприятии	287
<i>Иванов Т.Д.</i> Регулирование напряжения в трансформаторах с помощью устройств РПН и ПБВ.....	292
<i>Ильясова И.И.</i> Энерго- и ресурсосбережение промышленных и коммунальных предприятий.....	296
<i>Катеев Р.Р., Ярыш Р.Ф.</i> Развитие энерго- и ресурсосбережения в Татарстане.....	300
<i>Липужин И.А., Карпова Е.А.</i> Техничко-экономический анализ энергоустановки с топливными элементами для питания вдольтрассовых потребителей газопроводов.....	304
<i>Мазитов Д.Р., Гибадуллин Р.Р.</i> Технологии индустрии 4.0 для решения задач функционирования и развития электросетевого комплекса.....	309
<i>Мигманова А.Д.</i> Источники питания для железной дороги и транспорта.....	313

<i>Миранов С.Р., Жалмаганбетова С.Т., Черноволенко Е.А., Николаев К.В.</i> Проектирование технологической защиты высоковольтной зоны установки по испытаниям средств индивидуальной защиты.....	317
<i>Мубаракшина Р.Р.</i> Проблемы применения ресурсосберегающих технологий в жилищно-коммунальном хозяйстве.....	321
<i>Нуртдинов Р.М.</i> Освещение опасных участков дороги.....	325
<i>Попова Е.С.</i> Исследование автономных источников электроснабжения...	327
<i>Попова Е.С.</i> Энергоснабжение в цеховых сетях напряжением 0,4 кВ....	330
<i>Собагатова И.Г.</i> Актуальные средства повышения энергоэффективности системы электроснабжения.....	334
<i>Сиразева Р.И.</i> Современные средства повышения качества электроэнергии на предприятиях.....	337
<i>Токмачёва И.С.</i> Энерго- и ресурсосбережение на промышленных предприятиях.....	341
<i>Хамидуллин И.Н., Маслов С.Ю., Малаева Е.Д.</i> Датчики для анализа состояния ВЛЭП.....	344
<i>Фатхутдинов А.А.</i> Способы повышения энерго – и ресурсосбережение промышленных и коммунальных предприятий.....	348
<i>Филимонов С.С., Николаев К.В.</i> Проведение экспериментов с целью оценки пожарных рисков работы осветительной сети при нарушении норм монтажа.....	351
<i>Хисамеева Д.Р.</i> Способы повышения энергоэффективности насосных установок.....	355
<i>Юдина А.Е., Максимов В.В.</i> Переходные процессы электрических сетях и системы автоматизированного проектирования для их моделирования.....	358

Секция 3. ЭНЕРГОСИЛОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, ЭЛЕКТРОПРИВОД И АВТОМАТИЗАЦИЯ

<i>Алексеев Ф.В.</i> Актуальность внедрения и применения цифровых подстанций.....	362
<i>Арманишин Р.Ф.</i> Оптимизация систем электрической тяги для железнодорожного транспорта.....	365
<i>Арманишин Р.Ф.</i> Разработка энергоэффективных электроприводов для бытовой техники.....	369
<i>Гадельшина В.Р., Денисова А.Р.</i> Тенденции развития автоматизации систем освещения.....	373

<i>Галиев Р.Р., Денисова А.Р.</i> Импортозамещение программного обеспечения, технологических установок и автоматизированных систем аналитического контроля.....	377
<i>Зубрилов М.К.</i> Методы управления силовыми электронными преобразователями в электроприводах.....	381
<i>Гибадуллин Р.Р., Семин Д.И.</i> Применение линейных электрических машин возвратно-поступательного движения в промышленности и энергетике.....	385
<i>Елфутин М.Д.</i> Применение коммуникационного протокола <i>SV</i> в среде цифровых подстанций.....	388
<i>Еремочкин С.Ю., Дорохов Д.В., Жуков А.А.</i> Оригинальный преобразователь частоты для однофазного асинхронного электродвигателя.....	391
<i>Колесников Н.Е.</i> Использование искусственного интеллекта в электроэнергетике.....	396
<i>Краснов Д.В., Писковацкий Ю.В.</i> Проблемы Цифровых Подстанций: анализ и решения	399
<i>Краснов Д.В.</i> Применение релейной защиты для повышения надежности электроснабжения.....	403
<i>Мавляутдинов Л.Р., Писковацкий Ю.В.</i> Применение искусственного интеллекта в релейной защите.....	406
<i>Маркова М.Г.</i> Цифровизация в энергетической отрасли.....	410
<i>Мингазов З.Т.</i> Автоматизация работы с электрическими сетями и обеспечение их надежности.....	414
<i>Мухамбетова Д.Т.</i> Исследование возможности применения искусственного интеллекта в системе релейной защиты.....	417
<i>Павлов Д.В., Сандаков В.Д.</i> Разработка автоматизированной системы управления по регулированию оптимальных параметров аккумуляторной батареи с использованием языков стандарта МЭК 61131-3.....	421
<i>Петров А.Р., Грачева Е.И.</i> Моделирование сопротивлений контактных соединений коммутационных аппаратов.....	426
<i>Родионов О.В., Денисова А.Р.</i> Методы оптимизации энергопотребления в котельной с использованием автоматизированной системы управления насосами.....	430
<i>Саидгараева Р.Р.</i> Обзор возможностей микроконтроллера <i>STM32F103C8T6</i> и дисплея <i>TM1637</i>	434
<i>Саидгараева Р.Р.</i> Особенности передачи информационных сигналов беспроводным методом.....	437
<i>Садыкова Л.Р.</i> Автоматизация вентиляционных установок с технологией контроля климата.....	441

<i>Салахов А.М.</i> Цифровая подстанция: новое слово в энергетике.....	445
<i>Субханова А.М.</i> Отказоустойчивость систем управления в процессах промышленной автоматизации.....	449
<i>Султанова Р.Р.</i> ВМ-технологии в проектировании.....	452
<i>Тухфатуллин И.Р., Хузяшев Р.Г.</i> Исследование параметров переходного процесса при замыкании в однопроводной линии.....	455
<i>Шайсултанов А.А., Ярыш Р.Ф.</i> Силовое оборудование, электропривод и автоматизация.....	459
<i>Шмачкова Е.О.</i> Применение современных средств частотного регулирования для повышения эффективности насосных установок....	463
<i>Шкурпит С.Д., Ахметшина К.Ю.</i> Выбор элементной базы для снабженных цепей преобразователя частоты при проектировании электропривода.....	466
<i>Якупов Н.М.</i> Разработка устройства измерения длительности одиночных импульсов.....	470

Научное издание

V ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ
(С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ) КОНФЕРЕНЦИЯ,
ПОСВЯЩЕННАЯ ПРАЗДНОВАНИЮ 55-ЛЕТИЯ КГЭУ
«ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ»

11–12 октября 2023 г.

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

В двух томах

Том 1

Под общей редакцией ректора КГЭУ Э.Ю. Абдуллазянова

Корректор *В.Р. Иванова*
Компьютерная верстка *В.Р. Ивановой*
Дизайн обложки *Ю.Ф. Мухаметшиной*

Подписанов печать 30.09.2023.
Формат 60x84/16. Гарнитура «Times». Вид печати РОМ
Усл. печ. л. 28,02. Уч.-изд. л. 24,6
Тираж 200 экз. Заказ № 5285

Казанский государственный энергетический университет
420066, Казань, Красносельская, д.51



В 2023 году Казанский государственный энергетический университет (КГЭУ) отмечает юбилей – 55 лет со дня основания. За время своего существования университет превратился в крупнейший научно-образовательный центр Поволжья и Урала, признанный как в России, так и в международном пространстве. Гордость университета это выпускники – целая плеяда талантливых инженеров, многие из которых стали руководителями ведущих предприятий Татарстана и России, внесли огромный вклад в развитие экономики не только в нашей стране, но и за рубежом.

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

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

Сегодня в КГЭУ работают над технологиями, которые изменят будущее!

ISBN 978-5-89873-642-2



9 785898 736422