

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Министерство энергетики Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
образования «Казанский государственный энергетический университет»  
АО «Системный оператор Единой энергетической системы»  
Публичное акционерное общество «Федеральная сетевая компания  
Единой энергетической системы»  
Российский национальный комитет международного совета  
по большим электрическим системам высокого напряжения (РНК СИГРЭ)  
Благотворительный фонд «Надежная смена»

**XVI ВСЕРОССИЙСКАЯ ОТКРЫТАЯ МОЛОДЕЖНАЯ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
«ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ  
В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ»**

20–21 октября 2021 г.

Материалы конференции

Казань  
2022

## Организаторы конференции



ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»



АО «Системный оператор Единой энергетической системы»



Российский национальный комитет  
Международного Совета по большим  
электрическим системам высокого  
напряжения (РНК СИГРЭ)



Россети ФСК ЕЭС (ПАО «ФСК ЕЭС»)



Благотворительный Фонд  
«Надежная смена»

## При поддержке



Министерство энергетики Российской  
Федерации



Министерство науки и высшего  
образования Российской Федерации

## Информационный партнер



Журнал «Электроэнергия. Передача и распределение»

УДК 621.31  
ББК 31.2  
Ш51

Рецензенты:

зам. гл. диспетчера по оперативной работе Филиала  
АО «СО ЕЭС» РДУ Татарстана Е. В. Александров;  
дир. Института электроэнергетики и электроники,  
зав. каф. «Электроснабжение промышленных предприятий»,  
д-р техн. наук И. В. Ившин;

Редакционная коллегия:

А. Г. Арзамасова (отв. редактор), О. В. Воркунов, В. В. Максимов

**XVI Всероссийская открытая молодежная научно-  
Ш51 практическая конференция «Диспетчеризация и управление  
в электроэнергетике» : материалы конференции (Казань,  
20–21 октября 2021 г.) / редкол. А. Г. Арзамасова (отв. редактор).  
– Казань : ООО «ИПФ «Бриг», 2022. – 360 с.**

ISBN 978-5-89873-592-0

Опубликованы материалы XVI Всероссийской открытой молодежной научно-практической конференции по научным направлениям: электрооборудование; релейная защита и автоматизация, линии электропередач и подстанции; управление и экономика энергосистем; информационные системы и новые технологии.

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

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

УДК 621.31  
ББК 31.2

ISBN 978-5-89873-592-0

© КГЭУ, 2022  
Оформление ООО «ИПФ «Бриг», 2022

# ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ

УДК 628.9.041.4

## МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ СВЕТОДИОДНЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ НА РАСТЕНИЯ

<sup>1</sup>А.А. Баширов, <sup>2</sup>Л.О. Казмирук, <sup>3</sup>В.Д. Сандаков

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>Bu-bu-bu-bu@mail.ru, <sup>2</sup>lev.kazmiruki@mail.ru, <sup>3</sup>Vitalysandakov@gmail.com

Растения способны подстраиваться под внешние параметры среды. Одним из важнейших параметров является свет. Изменяя характеристики света, мы способны изменять и само растение. Оно способно, в зависимости от параметров источника света, накапливать значительно большую биомассу, удлинять стебель, ускорять сроки созревания и увеличивать сроки цветения и так далее. В данной методике приводится ряд параметров, которые в значительной степени влияют на развитие растений; в качестве исследуемых образцов взяты быстрорастущие салаты. Результат покажет оптимальные характеристики света для растения в зависимости от желаемого результата.

**Ключевые слова:** светодиод, растение, исследование, автоматизация, агрофотоника, спектр света.

В течение долгого процесса эволюции растения выработали набор функций, позволяющих изменять свою форму, массу, химический состав и много другое, в зависимости от внешних параметров и их изменений. Свет – является необходимым компонентом для нормального развития растения, и, в зависимости от его количества, спектра и других характеристик, оно способно подстраиваться под этот внешний фактор [1, 2].

Как растение старается извлечь максимальную пользу от текущих параметров света, путём вышеописанных методов, так и человек должен быть нацелен на получение наиболее удовлетворительных характеристик растения для своей выгоды: быстрая скорость роста, более продолжительное цветение, максимальная биомасса урожая и др.

Для каждого вида растений набор необходимых характеристик света для достижения одних и тех же целей может отличаться, и потребуются объёмные исследования для установления оптимальных значений.

В данной методике сделан упор на исследования быстрорастущего салата в условиях досвечивания (дополнения к солнечному свету) и одного источника света (изолированно от солнца). Целью исследования является выяснение оптимального спектра излучаемого света для получения наиболее крупного и здорового продукта, а также изучение влияния изменения частоты ШИМ-модуляции источника света на рост растения.

Исследования будут проводиться для двух сортов быстрорастущего салата для изучения различий в конечном продукте при одних и тех же внешних параметрах. Были выбраны следующие спектры света для изучения:

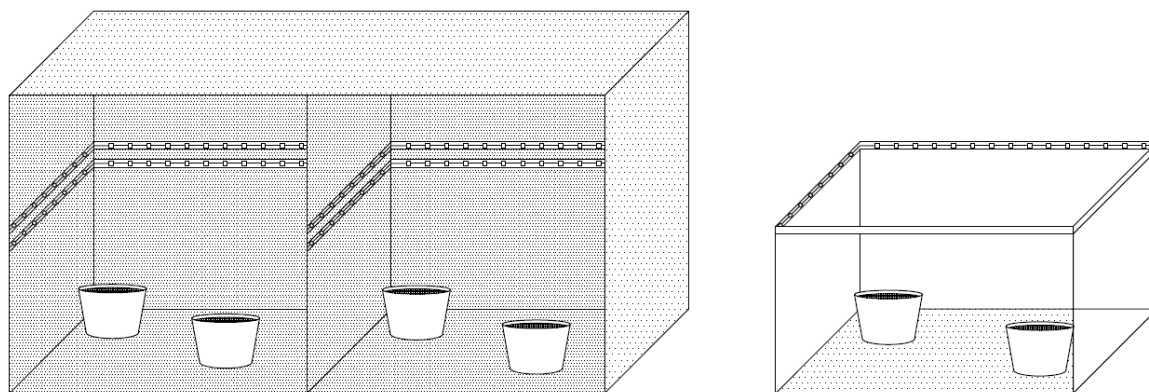
- красный;
- синий;
- белый (только в условиях одного источника света);
- красный и синий в соотношении 1 к 1;
- красный и синий в соотношении 2 к 1;
- красный и синий в соотношении 4 к 1.

В случае одного источника света цветные светодиоды дополняются белыми светодиодами для нормального развития и полноценной компенсации получения энергии от солнца.

Экспериментальная установка состоит из программируемого логического контроллера ArduinoUno, с шестью аналоговыми выходами, к которым подключены три светодиодных ленты, светонепроницаемого кейса, разделенного на две независимые ячейки и два сорта быстрорастущего салата [3–6]. Одна лента служит дополнительным источником света для растений (оба сорта), получающего естественный солнечный свет. Две другие ленты размещены внутри ячеек кейса для освещения растений (оба сорта в каждой ячейке) в условиях одного источника света. Также с помощью выхода 12/24 В размещены по одной ленте белых светодиодов в каждой ячейке кейса в качестве замены солнечному свету (см. рисунок). Задание необходимо спектра цветных светодиодов происходит программно с помощью соответствующего софта.

Изолированные от солнечного света ячейки хорошо вентилируемы для обеспечения обмена растения кислородом и углекислым газом с внешней средой. Полив растений проходит с одинаковой периодичностью (оптимальной для каждого сорта салата) и в одинаковом количестве. В качестве контрольного образца использовано по одному образцу салата каждого сорта, которые будут получать свет только от солнца (имитация обычного домашнего выращивания).

На этапе проведения эксперимента растения освещаются светодиодным светом продолжительностью 16 часов, а необходимая интенсивность освещения составит 10 000 лк (количество светодиодов будет подобрано исходя из интенсивности).



Схематичное изображение установки: включает в себя кейс с двумя ячейками и открытый стенд с местами под растения и ленты светодиодов

После завершения своего развития все растения собираются и оцениваются по определенным критериям. В первую очередь оценивается цвет полученного продукта визуально, затем растение взвешено (без корневища, только листья), измеряется длина и обхват стебля, размеры листьев и, затем, оценивается вкус продукта. Если какое-либо растение не успело взойти до размеров готового продукта за срок, предписываемый производителем семян, то можно сделать вывод о некачественном освещении выбранного спектра. Если же ни одним растением не был достигнут этот показатель, делается вывод о том, что данная методика нуждается в доработке.

После получения данных результатов выбирается наилучший вариант освещения, который вычисляется по совокупным измеренным параметрам: лучшему визуальному состоянию, наибольшей биомассе, ширине стебля и размерам листьев, и приемлемому вкусу. Далее, используя самый удачный вариант освещения, проводится исследование влияния частоты ШИМ-модуляции (976 Гц и 488 Гц) светодиода как с присутствием солнца, так и без него. Результаты планируется оценивать по тем же критериям.

После проведения эксперимента необходимо составить набор зависимостей «параметр растения / характеристика света», которые должны достаточно точно описывать оптимальные значение параметров света для этих самих культур, а также можно с определённой точностью экстраполировать полученные результаты на подобные исследуемым образцам культуры.

Данные зависимости можно использовать для оптимизации выращивания данной культуры растения, что позволит увеличить как объём производства, так и степень его автоматизации путём внедрения системы контроля и регулирования местного освещения растений светодиодами с помощью программируемого контроллера.

## Источники

1. Денисова А.Р., Хайруллина Д.Р. Исследование воздействия синего света // Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники: матер. Всерос. науч.-практ. конф. Казань, 2019. С. 232–235.
2. Денисова А.Р., Закирова З.Р. Спектральный анализ искусственных источников света // Фёдоровские чтения – 2018: XLVIII Междунар. науч.-практ. конф. с элементами науч. шк. / под общ. ред. Б.И. Кудрина, Ю.В. Матюниной. М., 2018. С. 162–165.
3. Справочная книга по светотехнике / под ред. Ю.Б. Айзенберга. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Знак, 2008. 952 с.
4. Физиология растений / Н.Д. Алехина [и др.]; под ред. И.П. Ермакова. М.: ИЦ «Академия», 2005. 640 с.
5. Чуб В., Миронова О., Морозов Я. Разработки в области фитоосвещения // Современная светотехника. 2019. № 3. С. 38–40.
6. Петин В.А. Проекты с использованием Arduino / под ред. Е. Капалыгиной. 2019. 560 с.
7. Ivanova V.R., Ivanov A.S., Fetisov L.V. The development of an automated station for group soldering of the led lines // Actual problems of electronic instrument engineering (APEIE). 2018. Pp. 336–338.
8. Пятникова М.В., Роженцова Н.В. Фотобиологическая безопасность энергоэффективных систем освещения со светодиодными светильниками в образовательных учреждениях // Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники: матер. II Всерос. науч.-практ. конф. В 2-х томах // редкол.: Э.Ю. Абдуллазянов (гл. редактор) [и др.]. Т. 2. С. 276–280.
9. Тукшаитов Р.Х., Я. Ш. Алхамсс, Нигматуллин Р. М., Шириев Р.Р. Методика обеспечения энергосберегающего режима работы портативных светодиодных светильников в экспериментальных условиях их эксплуатации // Изв. вузов. Проблемы энергетики. 2013. № 2-3.

# ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ АКТИВНОГО ФИЛЬТРА СУБГАРМОНИК ТОКА ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ПОДАВЛЕНИЯ СУБСИНХРОННОГО РЕЗОНАНСА

Д.Н. Белкова  
НИЯУ МИФИ, г. Москва  
belkova34diana@gmail.com

Дан анализ возможных причин повышенной виброактивности ГТУ в автономной электроэнергетической системе. Разработан план работ по созданию активного фильтра, как наиболее эффективного средства борьбы с аварийными отключениями ГТУ с тиристорными частотно-управляемыми приводами. Подобные отключения приводят к финансовым и технологическим потерям.

**Ключевые слова:** субсинхронный резонанс, активный фильтр субгармоник тока, имитационная модель автономного энергорайона.

Увеличение доли распределённых источников энергии оправдано экономическими факторами. С позиции экономичности целесообразно использовать в качестве энергоресурса попутный нефтяной газ, поэтому на некоторых месторождениях электроснабжение обеспечивается от электростанций, работающих в островном (автономном) режиме. Но в процессе эксплуатации при сбросе нагрузки мощными частотно-управляемыми приводами возможен аварийный режим, при котором возникают крутильные субсинхронные колебания валов газотурбинной установки (ГТУ) и, как результат, система защиты от повышенной виброактивности отключает её [1].

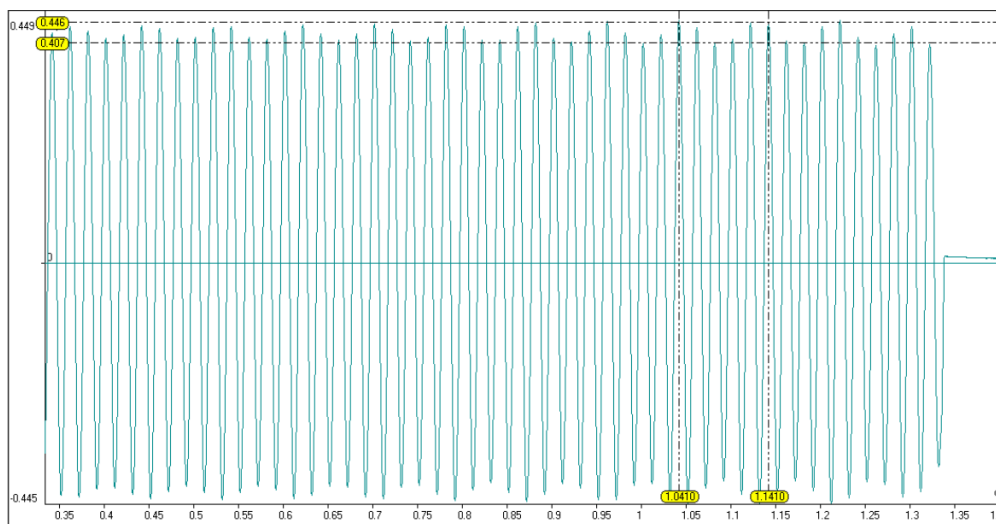
Состояние, при котором электрическая сеть обменивается энергией с механической составляющей ГТУ на одной из собственных частот ГТУ является субсинхронным резонансом (ССР). Его последствиями могут являться ненадёжность электроснабжения потребителей (нагрузок) и повышение усталостных напряжений валов и в будущем их разрушение.

В настоящее время отмечается две основные причины, вызывающие ССР:

1. Использование устройств продольной компенсации (УПК). Последовательно соединённая ёмкость, индуктивность и ротор генератора создают электромагнитный колебательный контур, который может вступать в резонанс с ГТУ. Проблема в этом случае решается использованием FACTS-устройств, что позволяет контролировать компенсацию реактивной мощности [2].



2. Электронная аппаратура (преобразователи частоты с тиристорным выпрямителем) нелинейных нагрузок может создавать низкочастотные пульсации потребляемой мощности при сбросе нагрузки. Вследствие взаимодействия ГТУ и нагрузок возникают незатухающие субгармонические колебания тока (рис. 1). На данный момент отсутствуют эффективные средства для демпфирования субгармоник тока и предотвращения развития ССР.



Оциллограмма тока нагрузки с наличием низкочастотной гармоника

В качестве основного инструмента для исследования ССР является имитационное моделирование изолированной электроэнергетической системы с помощью пакета прикладных программ MATLAB Simulink (рис. 2). Моделирование позволит оценить перспективы использования активного фильтра с оптимальным алгоритмом управления [3], основная задача которого будет – демпфирование субгармонических колебаний токов сети.

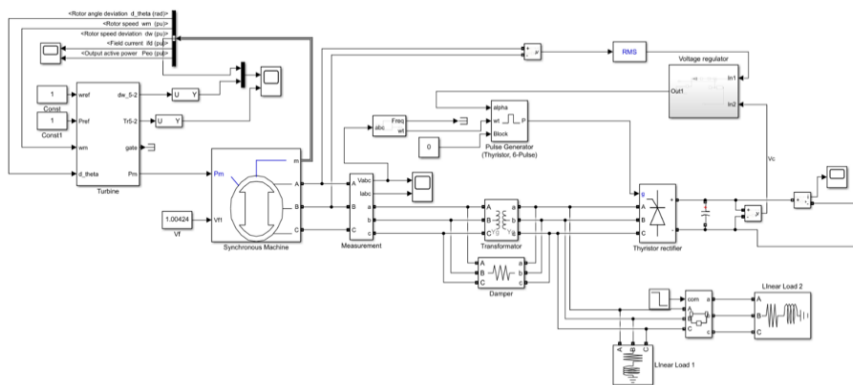


Рис. 2. Имитационная модель автономного энергорайона в MATLAB

План работ по созданию оптимального силового активного фильтра субгармоник тока (АФСТ):

I этап:

- 1) исследование возникновения и развития ССР;
- 2) тестирование имитационной модели автономного энергорайона;
- 3) исследование влияния доли нелинейных нагрузок на возникновение ССР;
- 4) разработка оптимального алгоритма управления силовым активным фильтром.

II этап:

- 1) экспериментальное исследование АФСТ в рамках модели;
- 2) определение основных технических параметров активного фильтра субгармоник тока: напряжение в точке подключения, ёмкость накопительного конденсатора;
- 3) экспериментальное исследование мощности и стоимости активного фильтра субгармоник тока.

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (Фонда содействия инновациям) № 16477ГУ/2021

### **Источники**

1. Техническое задание на оказание услуг по разработке мероприятий по устранению причин субсинхронных колебаний на газотурбинных установках MS5001 Ванкорской ГТЭС от 15.04.2015 г. [Электронный ресурс]. URL: <http://zakupki.rosneft.ru/files/zakup/238> (дата обращения: 19.09.2021).

2. Hosein Ghasemi, G.B. Gharehpetian, Seyed Ali Nabavi-Niaki, Jamshid Aghaei Overview of subsynchronous resonance analysis and control in wind turbines // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2013. Vol. 27. Pp. 234–243

3. Белкова Д.Н. Оптимизация силового активного фильтра для эффективного подавления субсинхронного резонанса // *Диспетчеризация и управление в электроэнергетике: матер. XV Всерос. открытой молод. науч.-практ. конф. / редкол. Э.Ю. Абдуллазянов (отв. редактор) [и др.]*. Казань, 2020. С. 21–24.

## ОПТИМИЗАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ВНЕШНЕГО ИСТОЧНИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В УСЛОВИЯХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИЕЙ

А.В. Варганова

ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск

aleksandra-khlamova@yandex.ru

В работе предложена модель внешнего источника электрической энергии в условиях систем электроснабжения с разнородной распределенной генерацией, позволяющая осуществлять поиск наилучшего варианта внешнего электроснабжения, учитывая при этом не только экономический фактор, но и надежность. Модель адаптирована к условиям алгоритма оптимизации, разработанного с использованием метода динамического программирования.

**Ключевые слова:** распределенная генерация, оптимизация, потери электроэнергии, система электроснабжения, математическая модель, динамическое программирование.

Темпы и перспективы ввода источников малой мощности, в том числе возобновляемых, создают предпосылки для поиска новых решений в части проектирования, управления режимами систем электроснабжения с распределенной генерацией.

Одной из задач в данной области является определение эффективности установки таких источников [1], места их расположения [2, 3]. Для решения поставленных задач применяются различные подходы, используются средства математической оптимизации, в том числе метод динамического программирования [4], модифицированный метод отсекающих плоскостей Келли [2], метод прямого перебора [3].

Решение указанных выше задач позволяет уже на этапе предпроектных работ определить наилучший вариант схемы электроснабжения, обосновать число и мощность собственных источников энергии.

В системах электроснабжения с распределенной генерацией важным этапом является определение необходимости подключения к внешнему источнику. При этом решаются следующие задачи: определение места подключения, оптимального числа внешних источников и величины мощности, принимаемой от них, с целью обеспечения экономичности и надежности работы системы.

В данной работе создан алгоритм определения оптимальной точки подключения к внешней сети, основанный на методе динамического программирования [4]. Задача оптимизации сводится к минимизации затрат на прием и передачу электроэнергии от внешнего источника рассматриваемой системы электроснабжения, при этом учитывается надежность электроснабжения в виде экономического ущерба:

$$Z = (C_{ЭЭ} + C_{\Delta W} + \alpha \cdot Y) \rightarrow \min$$

где  $C_{ЭЭ}$  – стоимость электроэнергии, руб.;  $C_{\Delta W}$  – стоимость потерь электроэнергии в системе электроснабжения, руб.;  $Y$  – экономический ущерб от перерыва электроснабжения, руб.;  $\alpha$  – коэффициент надежности источника электрической энергии.

На целевую функцию накладываются режимные ограничения (2):

$$\begin{cases} \sum P_{\text{ист}} = P_{\text{нагрузки}} + \Delta P_{\text{СЭС}} - \sum P_{G_N}, \\ U_{i\min} \leq U_i \leq U_{i\max}, \\ S_{i\min} \leq S_i \leq S_{i\max}, \end{cases}$$

где  $\sum P_{\text{ист}}$  – суммарная мощность источников распределенной генерации, МВт;  $P_{\text{нагрузки}}$  – нагрузка системы электроснабжения с распределенной генерацией, МВт;  $\Delta P_{\text{СЭС}}$  – потери активной мощности в системе электроснабжения с учетом мощности, принимаемой от внешнего источника, МВт;  $\sum P_{G_N}$  – активная мощность, вырабатываемая собственными источниками системы электроснабжения, МВт;  $U_{i\min}$ ,  $U_{i\max}$  – предельно допустимые потери напряжения в узле ( $\pm 10\%$  от номинального значения), кВ;  $S_{i\min}$ ,  $S_{i\max}$  – минимально и максимально допустимое значение мощности, протекающей по элементам электрической сети, определяется нагрузочной способностью, МВА.

Для поиска оптимального места подключения к внешнему источнику разработана его оптимизационная модель, представляющая собой зависимость возможных диапазонов мощностей, оговариваемых в договоре на поставку электроэнергии, от тарифа, величины потерь и коэффициента

надежности. Общий вид модели приведен в таблице.

### Модель внешнего источника электроэнергии

|                      |              |              |              |     |              |
|----------------------|--------------|--------------|--------------|-----|--------------|
| $P$ , МВт            | $P_1$        | $P_2$        | $P_3$        | ... | $P_n$        |
| $\beta$ , руб./МВт·ч | $\beta_1$    | $\beta_2$    | $\beta_3$    | ... | $\beta_n$    |
| $\Delta P$ , МВт     | $\Delta P_1$ | $\Delta P_2$ | $\Delta P_3$ | ... | $\Delta P_n$ |
| $\alpha$             | $\alpha_1$   | $\alpha_2$   | $\alpha_3$   | ... | $\alpha_n$   |

Модель внешнего источника электроэнергии позволяет определять наилучший вариант точки подключения к внешней сети в условиях систем электроснабжения с разнородными генерирующими источниками. Результаты работы решают предпроектные задачи в части поиска наилучшей конфигурации существующей или новой системы электроснабжения.

### Источники

1. Методика оценки эффективности внедрения источников распределенной генерации / А.В. Варганова [и др.] // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Сер.: Энергетика. 2019. Т. 19, № 4. С. 52–58.

2. Оптимизация местоположения и мощности малой генерации в распределительных сетях / С.А. Ерошенко [и др.] // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2012. № 1-2. С. 82–89.

3. Техничко-экономическое обоснование места установки источников распределенной генерации / А.В. Варганова [и др.] // Электротехнические системы и комплексы. 2019. № 3 (44). С. 68–72.

4. Оптимизация распределения активных мощностей между разнородными генерирующими источниками в системе электроснабжения промышленного предприятия / А.В. Кочкина [и др.] // Электроэнергетика глазами молодежи: сб. докл. III Междунар. науч.-техн. конф. Екатеринбург, 2012. С. 280–284.

## КОМПЛЕКС ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ ВИБРАЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ

Х.Ф. Вахитов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Olga\_yuminova83@mail.ru

В настоящей статье изложены основные методы диагностирования и принципы построения автоматизированных и экспертно-диагностических систем электрооборудования подвижного состава, приведены примеры практической реализации таких систем, как в России, так и за рубежом. Для более глубокого изучения проблем диагностирования силового электрооборудования необходимо изучение дополнительных материалов.

**Ключевые слова:** повышение надёжности, спектральный метод, компонент, процесс преобразования, методика, наработка, неисправность, возможные состояния.

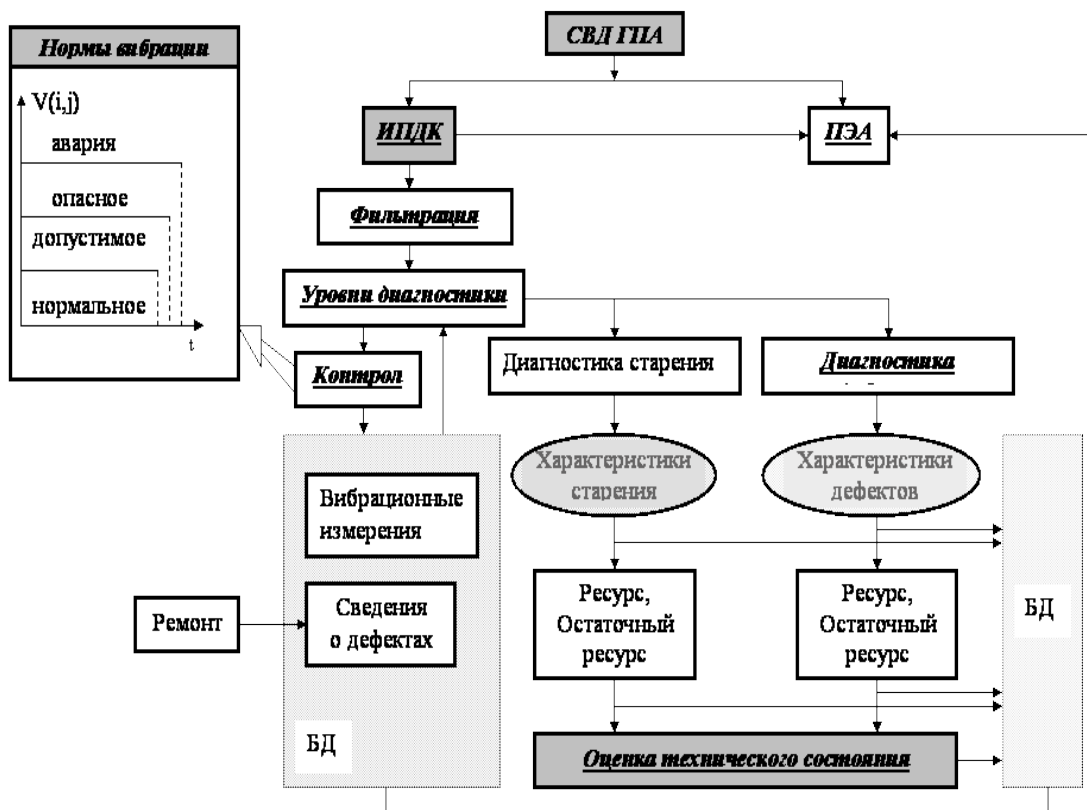
По определению, автоматической системой называется система, состоящая из некоторого управляемого объекта и автоматического управляющего устройства, которые взаимодействуют между собой в соответствии с заданной программой и без участия человека. Тогда основное требование к автоматическим системам технической (вибрационной) диагностики можно сформулировать как возможность автоматического получения оценок технического состояния объектов техники в режиме «online». При этом требуемые оценки технического состояния для этого режима должны получаться на базе жестких вычислительных алгоритмов, реализуемых, в том числе, на специальной вычислительной технике. Участие человека в этом режиме, пусть даже и специалиста самого высокого класса, по определению исключается полностью. Комплекс таких жестких вычислительных алгоритмов технической (вибрационной) диагностики для автоматических систем мы будем называть исполнительной подсистемой диагностического контроля (ИПДК). Отметим, в данном случае, не важно имеются ли реально на настоящее время алгоритмы такого класса или нет. Важна принципиальная предпосылка их необходимости для автоматических систем диагностики.

Одним из общих требований к системам технической диагностики, которые мы сформулировали, является принципиальная готовность программных алгоритмов к переходу на автоматическую обработку измерительной или иной информации в составе АСУ, а в перспективе

и в составе САУ. Тогда в соответствии с этим требованием диагностические алгоритмы автоматизированных систем диагностики (АСД) должны быть аналогами ИПДК для автоматических систем.

Легко видеть, что перечень основных требований к СТД является дополнительным и достаточно убедительным аргументом в пользу выбора адаптивных методов как на уровне создания методологии технической диагностики, так и при поиске решений конкретных практических задач. При этом указанные требования, вообще говоря, справедливы и достаточны для любых систем технической диагностики, т.е. совокупность таких или подобных требований является до некоторой степени универсальной.

С учетом сформулированных общих требований к СТД, например, общая принципиальная структура системы оперативной вибрационной диагностики газоперекачивающих агрегатов (СВД ГПА) имеет вид, представленный на рисунке.



Общая структура СВД ГПА

С другой стороны, на практике, при разработках конкретных систем технической (вибрационной) диагностики, выполнить все общие требования, не используя человеческого фактора, не представляется возможным, в том числе, и по определению понятия автоматизированной системы.

Принимая во внимание все отмеченное выше, нам представляется целесообразным общую архитектуру адаптивной автоматизированной системы вибрационной диагностики представить в виде двух основных взаимосвязанных, но функционально различных подсистем (см. рисунок):

- исполнительной подсистемы диагностического контроля (ИПДК);
- подсистемы экспертного анализа информации (ПЭАИ).

### **Источники**

1. Основы метода потенциальных функций и метода потенциалов / О.А. Филина [и др.] // Научный альманах. 2021. № 2-1 (76). С. 39–43.

2. Осетинский Г.В., Яшагина А.В. Построение проверяющего и диагностического тестов для комбинационной схемы объекта диагноза на логических элементах // Актуальные вопросы современной науки и практики: сб. науч. ст. по матер. IV Междунар. науч.-практ. конф. Уфа, 2020. С. 60–64.

3. Техническая диагностика и методы технического диагностирования / О.А. Филина [и др.] // Эксперт года – 2019: сб. ст. Междунар. науч.-исслед. конкурса. 2019. С. 48–52.

4. Особенности развития вибродиагностики в России / О.А. Филина [и др.] // Приоритеты мировой науки: эксперимент и научная дискуссия: Матер. XVII Междунар. науч. конф. 2018. С. 34–37.

5. Филина О.А., Пасечник С.В., Зараменских А.Н. Функции моторных масел и их примеси // Наука сегодня: вызовы и решения: матер. Междунар. науч.-практ. конф. 2017. С. 35–36.

6. Литвиненко Р.С., Аухадеев А.Э., Филина О.А. Исследование технической надежности городской электротранспортной системы // Транспорт: наука, техника, управление: науч. информ. сб. 2017. № 8. С. 60–71.

7. Филина О.А., Зараменских А.Н., Пасечник С.В. Объекты диагностики системы транспорта газа // Интеграционные процессы в науке в современных условиях: сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. 2016. С. 61–65.

8. Вольт-амперные характеристики составных электрощеток с поперечным разрезом / Н.И. Щуров [и др.] // Сборник научных трудов Новосибирского государственного технического университета. 2010. № 3 (61). С. 123–128.



## ВНЕДРЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСОМ АВТОНОМНОГО ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

И.Н. Гиниятуллина  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
ilyza1998@bk.ru

Статья раскрывает существо понятия гибридные возобновляемые источники энергии (ВИЭ). В ней расписана программа для автоматизации управления гибридным автономным комплексом на основе солнечных батарей и ветрогенераторов. Особенностью гибридных установок является надежное электроснабжение потребителей.

**Ключевые слова:** гибридная, возобновляемые, источник, энергия, энергетика, солнце, ветер, эффективность.

Глобальная тенденция роста тарифов на электроэнергию привело к тому, что мы все более решительно и настойчиво начали заниматься использованием возобновляемой энергией в нашей жизни.

Среди возобновляемых источников энергии ветроэнергетика является наиболее динамично развивающейся с точки зрения глобальной годовой и совокупной установленной мощности. Энергия ветра есть практически во всем мире, и она может работать круглосуточно, в отличие от других возобновляемых источников.

Солнечная энергия является самым чистым и наиболее распространенным источником возобновляемой энергии, доступным на земле.

Продуктивно сочетание двух энергоресурсов – это ветровая и солнечная энергия. Этот процесс обеспечивает устойчивые энергетические ресурсы, не нанося ущерб природе. Мы можем обеспечить бесперебойное питание, используя гибридную энергетическую систему.

Внедрение автоматизированной системы управления комплексом автономного энергосбережения (АСКАЭ) позволяет увеличить энергоэффективность гибридной системы электроснабжения [1–4].

Оборудование настроено таким образом, что в локальную сеть в приоритетном порядке поступает электроэнергия, вырабатываемая солнечной электростанцией и энергия, генерируемая ветряной электростанцией. Во вторую очередь зарабатывает аккумулятор, в третью – дизельная установка. Аккумуляторы помогают сдвигать потребление энергии в зависимости от времени суток, также выполняет роль буфера для солнечной и ветряной энергии.

Автономная гибридная электростанция на базе СФЭУ и ВЭУ проектируется в зависимости от расположения установки, где важно присутствие солнечного освещения и ветра.

В данной статье для автоматизации электроснабжающей гибридной системы использовались солнечные батареи, ветрогенератор, дизельный генератор, аккумуляторные батареи, датчики освещения, датчики движения, датчики для определения количества энергии и т. д.

Разработка схемы, которая будет отражать все основные функциональные части изделия и основные взаимосвязи между ними осуществляется в программе Codesys ПЛК PLC160 на языке реализации LD (LadderDiagram) [5, 6].

Идея заключается в том, чтобы источники энергии зарабатывали и выключались в определенное время и при заданных условиях.

Первым делом определяем список входных дискретных параметров, которые прописываем в виде BOOLEвых переменных в окне основной программы PLS\_PRG.

В конфигурации ПЛК задаем входные и выходные теги.

Далее объявляем переменные для всех цепей и задаем условия своей программы (рис. 1).

```
0001 PROGRAM PLC_PRG
0002 VAR
0003   Q1: RS;
0004   Q2: RS;
0005   Q3: RS;
0006   Q4: RS;
0007   Q5: RS;
0008   Q6: RS;
0009   notSun0: BOOL;
0010   notSun2: BOOL;
0011   notSun1: BOOL;
0012   notWind2: BOOL;
0013   notWind1: BOOL;
0014   notWind0: BOOL;
0015   s0: BOOL;
0016   s1: BOOL;
0017   s2: BOOL;
0018   w0: BOOL;
0019   w1: BOOL;
0020   w2: BOOL;
0021 END_VAR
0022
0023
0024
```

Рис. 1. Переменные программы

В итоге разрабатываем визуализацию задачи управления в Codesys, связывая графическое изображение с самой программой автоматизации процесса электроснабжения автономной гибридной установки (рис. 2).

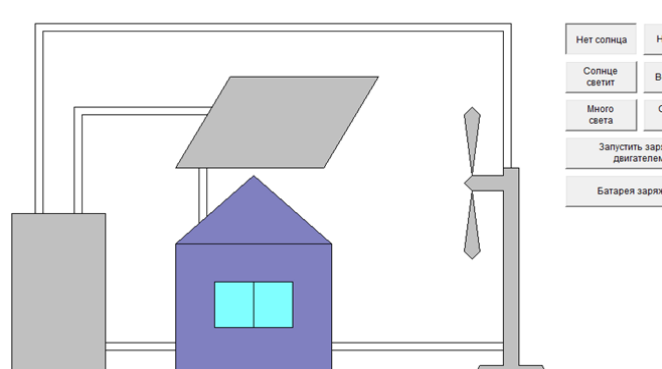


Рис. 2. Визуализация

Системы дистанционного управления предусматривают управление коммутационными аппаратами, обеспечивающими работу солнечных батарей, ветрогенераторов и дизельных двигателей в определенных погодных условиях.

Можно сделать вывод, что необходима автоматизированная система управления автономным гибридным источником энергии, которая позволит регулировать энергопотребление, контролировать целостность оборудования, своевременно подавать сигнал оперативному персоналу об аварийных ситуациях в сети.

### Источники

1. Свободно программируемые устройства в автоматизированных системах управления: учеб. пособие / И.Г. Минаев [и др.]. Ставрополь: «АГРУС», 2016. 168 с.

2. Минаев И.Г., Самойленко В.В. Программируемые логические контроллеры. Ставрополь: «АГРУС», 2009. 100 с.

3. Лихачев В.Л. Электротехника: справочник. М.: СОЛОН-Пресс, 2003. Т. 2. 448 с.

4. Ivanova V., Ivanov I., Rozhentsova N. Justification of the set of technical and technological criteria when designing a combined power supply system for multi-story residential buildings // International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems (ICOECS). 2019. Pp. 26–30.

5. Повышение энергоэффективности ступени конфузторного эжектора с пульсирующим движением активного потока в составе жидкостно-кольцевого вакуум-насоса / А.И. Рудаков [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17, № 17. С. 150–158.

6. Рудаков А.И., Роженцова Н.В., Денисова А.Р. Современные технические средства повышения энергоэффективности водокольцевых машин // Промышленная энергетика. 2014. № 5. С. 27–30.

## НЕЧЕТКОЕ УПРАВЛЕНИЕ СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕЕЙ

И.Н. Гиниятуллина  
 ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
 ilyza1207@bk.ru

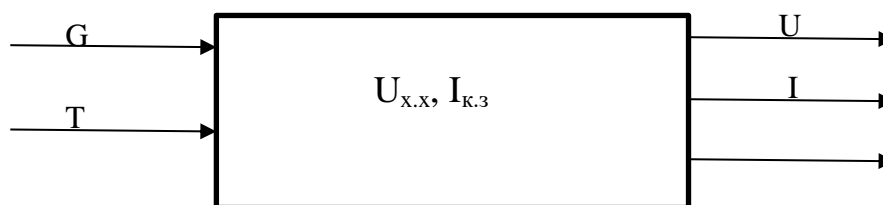
Солнечная батарея один из основных элементов для создания возобновляемых источников энергии. Нелинейные характеристики солнечных панелей требуют совершенствования алгоритмов управления для повышения эффективности выработки энергии при изменчивой окружающей среды.

**Ключевые слова:** солнечная батарея, моделирование, имитационная модель, метод возмущения и наблюдения, нечеткое управление.

Использование нетрадиционных источников энергии на сегодняшний день является перспективным направлением энергетики. В этом направлении солнечная энергия занимает лидирующую позицию, так как неисчерпаема и доступна во всем мире. Солнечные батареи способны преобразовывать большие количества тепловой энергии в электрическую без вреда для природы. Их надежность обеспечивается неподвижностью элементов. Чтобы пользование солнечными панелями было эффективным, необходимо управлять их работой и регулировать положение.

Контроллер солнечной установки должен обеспечивать максимальную выходную мощность при различных условиях. Больше всего отслеживание производится по методу возмущения и наблюдения. Чтобы решить эту задачу используют нечеткую логику и искусственные нейронные сети.

Фотоэлектрический элемент представляется в виде блок-схемы, которая имеет внутренние, внешние и выходные параметры (см. рисунок).



Параметры ФЭ

Основной характеристикой фотоэлектрических элементов является вольт-амперная характеристика.

Для синтеза систем управления, которые позволяют эффективно производить энергию при нестабильной внешней среде, требуется имитационное моделирование солнечной установки.

Решить данную задачу можно при использовании SimulinkMatlab, либо с SimscapeMatlab.

SimulinkMatlab – графический язык программирования, с которым можно представлять динамическую систему с набором блоков, которых описывают определенные математические зависимости.

Библиотека SimscapeMatlab является физическим языком моделирования, где имитационная модель формируется из библиотеки физических компонентов, взаимодействующих друг с другом через обмен энергии из двунаправленных портов связи. Если совместно использовать Simulink и Simscape можно сделать верификацию имитационной модели солнечных батареи.

Чтобы получить большее выходное напряжение ФЭ следует подключать последовательно, а для большего выходного тока параллельно. В модели солнечного элемента в Simscape три контакта: токовые вход и выход и уровень солнечной радиации.

Исследования результата моделирования показали, что характеристики солнечного модуля нелинейны и сильно зависят от солнечной радиации и температуры окружающей среды.

Эксперименты показали, что нелинейный закон управления помогает намного улучшить качество переходных процессов. Использование нечеткого управления окажется полезным при проектировании систем управления широким кругом объектов солнечной энергетики.

### **Источники**

1. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в Matlab, Sim Power Systems и Simulink. – М.: ДМК Пресс, 2008. 288 с.

2. Лихачев В.Л. Электротехника: справочник. М.: СОЛОН-Пресс, 2003. Т. 2. 448 с.

3. Васильев А.М., Ландеман А.П. Полупроводниковые фотопреобразователи. М.: Советское радио, 1976. 246 с.

4. Бураков М.В., Кирпичников А.П. Нечеткий регулятор ПИД-типа для нелинейного объекта // Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т. 18, № 4. С. 242–244.

5. Иванов И.Ю. Практические вопросы применения микропроцессорных защит для решения задач повышения устойчивости энергосистем и надёжности электроснабжения крупных промышленных потребителей // Диспетчеризация в энергетике: проблемы и перспективы: матер. V открытой молод. науч.-практ. конф. Казань, 2011. С. 25–28.

6. Иванова В.Р., Новокрещенов В.В., Роженцова Н.В. Разработка алгоритма для эффективного управления технологическим процессом промышленного предприятия на базе программируемого логического контроллера TM171PDM27S SchneiderElectric // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2020. Т. 22 (2). С. 75–85.

## РАСЧЕТ И ВЫБОР ЭЛЕМЕНТОВ ГИБРИДНОЙ СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ ЖИЛОГО ДОМА

Ю.С. Гурлихина<sup>1</sup>, А.Р. Денисова<sup>2</sup>, В.Р. Иванова<sup>3</sup>

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

<sup>1</sup>gurlikhina99@mail.ru, <sup>2</sup>denisova\_ar@mail.ru, <sup>3</sup>vr-10@mail.ru

Работа посвящена расчету и выбору оборудования для питания жилого дома от солнечных панелей и центральной системы одновременно. На основании принятого Федерального закона от 27 декабря 2019 г. № 471-ФЗ касающийся развития микрогенерации, который позволяет отдавать в сеть излишки электроэнергии и получать при этом прибыль.

**Ключевые слова:** гибридная система, солнечные панели, схема комбинированного типа, энергоэффективность, окупаемость.

Благодаря закону микрогенерации мы можем отдавать излишки электроэнергии в сеть при наличии установки альтернативной энергии не превышающую мощность 15 кВт. Продажу электроэнергии при этом можно осуществлять только по оптовой цене.

Схема подключения элементов представлена на рис. 1. За счет контроллера и аккумуляторной батареи обеспечивается необходимая надежность системы. Наличие аккумуляторной батареи позволяет накапливать и тратить электроэнергию когда солнечные батареи не производят достаточное количество. А также с помощью инвертора, счетчика отдавать излишки энергии в сеть и получать денежную выгоду или же покупать ее когда наша система не справляется.

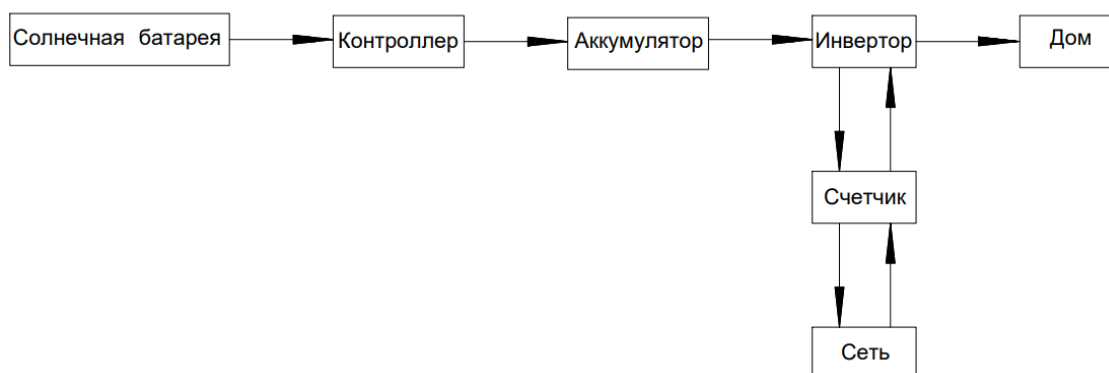


Рис. 1. Схема комбинированного типа

Расчет и выбор оборудования.

В работе выбраны солнечные панели монокристаллического типа, что связано с тем, что каждый фотоэлемент панелей состоит из кремниевых кристаллов. Они являются самыми эффективными за счет одностороннего направления этих кристаллов с КПД 20-22%, срок службы при этом около 25 лет.

В качестве аккумулятора выбраны AGM (влагопоглощающий стеклянный мат), по причине того, что он устойчив к непродолжительным коротким замыканиям, имеет большую нагрузочную способность, не требует обслуживания и вентиляции в отличие от других видов. Также в работе использован ШИМ контроллер (широко-импульсная модуляция), который подходит для проекта из-за его способности обеспечивать многоуровневый процесс заряда батареи: наполнение, поглощение, выравнивание и поддержание заряда.

Предложено использование гибридного инвертора, который способен преобразовывать напряжение постоянное в переменное, автоматически переключать питание с аккумуляторов на сеть, когда есть излишки энергии или же наоборот брать из сети электроэнергию при ее недостатке. Из дополнительных функций: он может контролировать мощность потребления дома и передавать данные на телефон или компьютер.

Для контроля отданной и полученной энергии было решено взять реверсивный счетчик (двунаправленный), умеющий считать сколько отдано и сколько потреблено энергии по отдельности.

Таблица 1

Расчет потребления приборов в сутки

| № п/п | Потребители                      | Потребление в сутки  |
|-------|----------------------------------|--|
| 1     | Стиральная машинка               | $0,8 \text{ кВт} \cdot 0,417 \text{ ч/сут} = 0,334 \text{ кВт} \cdot \text{ч/сут},$  |
| 2     | Компьютер                        | $0,15 \text{ Вт} \cdot 3 \text{ ч/сут} = 0,45 \text{ кВт} \cdot \text{ч/сут},$   |
| 3     | Холодильник                      | $0,18 \text{ кВт} \cdot 6 \text{ ч/сут} = 1,08 \text{ кВт} \cdot \text{ч/сут},$  |
| 4     | Телевизор                        | $0,13 \text{ кВт} \cdot 5 \text{ ч/сут} = 0,65 \text{ кВт} \cdot \text{ч/сут},$  |
| 5     | Светодиодные лампы               | $20 \text{ шт по } 5 \text{ Вт} = 100 \text{ Вт} =$<br>$= 0,1 \text{ кВт} \cdot 6 \text{ ч/сут} = 0,6 \text{ кВт} \cdot \text{ч/сут},$ |
| 6     | Микроволновая печь               | $1,2 \text{ кВт} \cdot 0,2 \text{ ч/сут} = 0,24 \text{ кВт} \cdot \text{ч/сут},$   |
| 7     | Фен                              | $1,2 \text{ кВт} \cdot 0,25 \text{ ч/сут} = 0,3 \text{ кВт} \cdot \text{ч/сут},$   |
| 8     | 3 мобильных телефона 5 Вт каждый | $0,015 \text{ кВт} \cdot 3 \text{ ч/сут} = 0,045 \text{ кВт} \cdot \text{ч/сут},$  |
| 9     | Газовый котел                    | $0,2 \text{ кВт} \cdot 6 \text{ ч/сут} = 1,2 \text{ кВт} \cdot \text{ч/сут},$  |
| 10    | Циркуляционный насос             | $0,05 \text{ кВт} \cdot 6 \text{ ч/сут} = 0,3 \text{ кВт} \cdot \text{ч/сут},$   |
| 11    | Утюг                             | $0,1 \text{ кВт} \cdot 0,2 \text{ ч/сут} = 0,02 \text{ кВт} \cdot \text{ч/сут},$   |
|       | Итого                            | 5,22 кВт · ч/сут   |

Нами предложено реализовать проект в городе Сочи, что связано с высоким уровнем инсоляции в год – 67,4 % солнечных дней в году.

Рассчитаем сколько необходимо вырабатывать электроэнергии в месяц для обеспечения комфортного пользования электроприборами в жилом доме:  $5,22 \text{ кВт} \cdot \text{ч/сут} \cdot 30 \text{ дней} = 156,6 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ .

В год:  $5,22 \cdot 365 = 1905,3 \text{ кВт}$ .

Общая мощность устанавливаемых солнечных панелей:

$$5220 \text{ Вт/7 ч} = 745 \text{ Вт},$$

где длительность пиковых солнечных часов в г. Сочи составляет 7 ч.

Выясним сколько и какой мощности лучше всего взять солнечные панели. Возьмем к примеру 2 панели по 560 Вт каждая, общей площадью  $5,46 \text{ м}^2$  и наклоном в  $43^\circ$ .

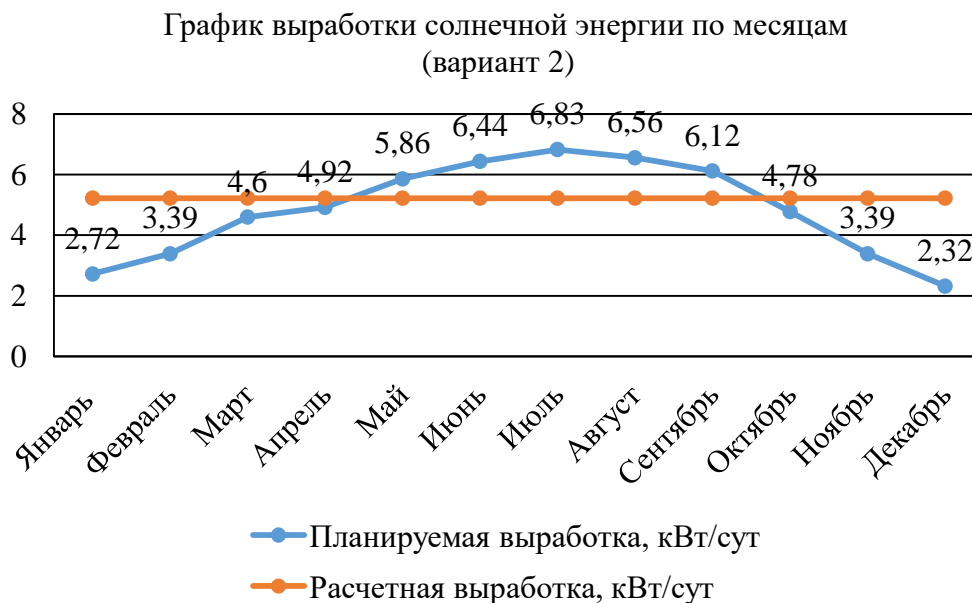


Рис. 2. График выработки солнечной энергии по месяцам, для двух панелей по 560 Вт

Тогда суммарная выработка электроэнергии за год составит  $1761,3 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$  и появится возможность в течении 5 месяцев полностью удовлетворять свои потребности в электроэнергии и продавать излишки в сеть, за счет этого покроется часть расходов на электроэнергию в зимние месяцы.

Установим две по 24 В солнечные панели последовательно и получим  $U_{\text{н}} = 48 \text{ В}$  для того чтобы подобрать остальное оборудование под это же напряжение.



Рассчитаем количество аккумуляторов и их емкость. При последовательном соединении аккумуляторов его напряжение складывается, емкость остается как у одного аккумулятора.

Зная сколько потребляется энергии в сутки – 5220 Вт, определим емкость батареи разделив на 12 В:  $5220 : 12 = 435$  А, тогда максимальное количество запасенной энергии составит:  $100 \cdot 12 \cdot 4 = 4800$  кВ · ч.

При этом надо учесть что нельзя разряжать аккумуляторы более чем на 50–70 %, тогда запас аккумулятор будет:  $4800 \cdot 0,7 = 3360$  кВ · ч.

При подборе контроллера необходимо разделить паспортную мощность солнечных батарей на напряжение аккумуляторной сборки, таким образом мы получим максимальный ток зарядки. Контроллер должен на постоянной основе выдерживать следующее значение зарядного тока:  $1120 : 48 = 23$  А = 30 А.

Выбираем подходящий контроллер заряда марки JUTA CM3048.

Инвертор был выбран следующим образом:

Так как у нас 2 батареи по 560 Вт, а это 1,12 кВт в сумме, то выбираем инвертор с ближайшей большей мощностью, в нашем случае – инвертор SmartWatt Hybrid 3K 48V на 3 кВт.

При выборе счетчика надо учитывать его способность работать в двух направлениях, т. е. учитывают отданную и потребленную энергию, а также анализировать данные при разных тарифах. Выберем счетчик СО-505, он так же способен отображать и измерять значения тока, напряжения, мощности, частоты.

Таблица 2

Параметры выбранных аппаратов и их стоимость

| Марка                    | N,<br>шт. | P,<br>Вт | Ток заряда,<br>А | Напряжение,<br>В | Стоимость,<br>руб |
|--------------------------|-----------|----------|------------------|------------------|-------------------|
| Солнечная панель         |           |          |                  |                  |                   |
| Jinko Solar              | 2         | 560      | 12,83            | 48               | 50000             |
| Контроллер               |           |          |                  |                  |                   |
| JUTA CM3048              | 1         | –        | 30               | 48               | 3700              |
| Аккумулятор              |           |          |                  |                  |                   |
| Sun Stone Power ML12-100 | 4         | –        | 30               | 48               | 52032             |
| Инвертор                 |           |          |                  |                  |                   |
| SmartWatt Hybrid 3K      | 1         | 3000     | 60               | 48               | 55000             |
| Счетчик                  |           |          |                  |                  |                   |
| СО-505                   | 1         | –        | –                | 220              | 1000              |
| Итого                    |           |          |                  |                  | 161632            |

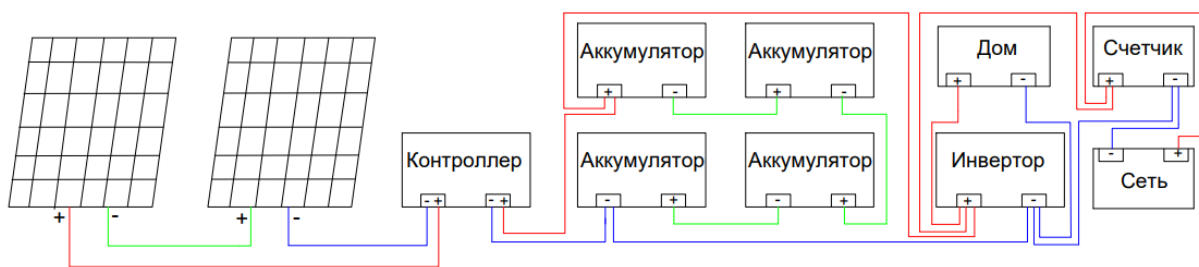


Рис. 3. Электрическая схема получившейся установки

Окупаемость системы наступит через 11 лет (см. рис 4.) Если в течении 25 лет будем получать 8305 р в год, то чистая прибыль за 25 лет:

$$8305 \cdot 25 = 207\,632,5 \text{ руб,}$$

$$207\,632,5 - 161\,632 = 46\,000,5 \text{ руб.}$$

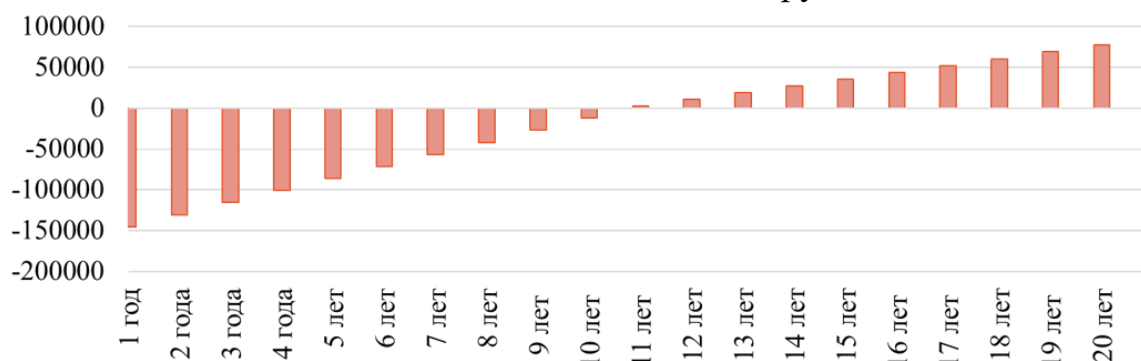


Рис. 4. График окупаемости системы

Таким образом, было выяснено что при правильном выборе и расчете элементов гибридной системы питания жилого дома возможна ее окупаемость и соответственно реализация на практике.

### Источники

1. Quaschnig V. Understanding Renewable Energy Systems [Электронный ресурс]. URL: <https://altenergiya.ru/wp-content/uploads/books/common/understanding-renewable-energy-systems.pdf> (дата обращения: 17.09.2021).
2. Лампа эксперт [Электронный ресурс]. URL: <https://lampaexpert.ru/alternativnye-istochniki/monokristallicheskie-i-polikristallicheskie-solnechnye-paneli> (дата обращения: 19.09.2021).
3. Timmons D., Harris J.M., Roach B. The Economics of Renewable Energy [Электронный ресурс]. URL: <http://large.stanford.edu/courses/2018/ph240/liang1/docs/gdae-2014.pdf> (дата обращения: 19.09.2021).

4. Денисова А.Р., Сидоров А.Е., Закирова З.Р. Перспектива модернизации системы освещения в промышленных отраслях с применением свето-диодных источников света // Федоровские чтения – 2020: матер. I Междунар. науч.-практ. конф. с элементами научной школы. Москва, 2020. С. 151–156.

5. Абдуллина Г.Р., Денисова А.Р., Сибгатуллин Э.Г. Энергоэффективный способ энергосбережения с помощью светильников с датчиками // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве: матер. VI Нац. науч.-практ. конф. Казань, 2020. С. 324–327.

6. Ivanova V., Ivanov I., Rozhentsova N. Justification of the set of technical and technological criteria when designing a combined power supply system for multi-story residential buildings. DOI: 10.1109/ICOECS46375.2019.8949983 // International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems. 2019.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ СТАНКОВ С ЧПУ

А.Р. Денисова<sup>1</sup>, Г.А. Аманова<sup>2</sup>, Е.С. Мухаметшина

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

ФГБОУ ВО «КНИТУ КАИ», г. Казань

<sup>1</sup>denisova\_ar@mail.ru, <sup>2</sup>amanova.gulfiya@mail.ru

В последние годы происходит активное развитие электронных устройств, совершенствование существующих и внедрение новых разработок в практику. Большая часть предлагаемых устройств приводит к искажению формы кривой напряжения. На промышленных предприятиях вышесказанные технологии широко применяются в станках с ЧПУ (числовое программное управление). Однако высокие требования к оборудованию сопровождаются такими же высокими требованиями к его эксплуатации, обслуживанию, питанию.

**Ключевые слова:** электрическая энергия, показатели качества электроэнергии, станок с ЧПУ.

Известно, что для нормального функционирования электроприемников в заданном рабочем режиме необходимо соблюдать требования, предъявляемые к показателям качества электроэнергии (ПКЭ). При работе промышленного оборудования в режимах, не соответствующих нормальным (что наблюдается при низком качестве электроэнергии в сети электропитания предприятия), происходит брак продукции, который представляет собой материальный ущерб для организации [1].

Как мы знаем, в таких станках, как токарный, фрезерный, сверлильный операции выполняются вручную, и для их выполнения требуется больше рабочей силы и больше времени для обеспечения высокой степени точности. Таким образом, чтобы преодолеть эту проблему, проектируется станок с ЧПУ, который известен как компьютер с числовым управлением.

Прежде чем приступить к эксплуатации станка с ЧПУ разрабатывается письменная программа станка с ЧПУ. Сначала задается программа работы на компьютере станка с ЧПУ, на него устанавливается заготовка и начинается процесс обработки.

Еще одна особенность рассматриваемого оборудования заключается в том, что работа токарного станка или любого другого ручного станка сопровождается выделением тепла между инструментом и заготовкой.

Чтобы избежать этого, необходимо подводить воду или любой другой охлаждающий агент для уменьшения нагрева. В случае станка с ЧПУ, который автоматически устанавливает водяные детали, нет необходимости производить это вручную.

Станок с ЧПУ можно определить как станок, который управляется компьютером, и операция выполняется путем подачи на него программы. Станок с ЧПУ руководствуется только двумя системами, которыми являются САД и САМ. САД означает автоматизированное проектирование. Эта система позволяет узнать о конструкции станка и его составляющих. САМ означает автоматизированное производство. Она также похожа на САД-систему, но в большей степени касается производства, в то время как САД занимается проектированием.

Система обработки с ЧПУ состоит из следующих элементов: программа; устройство для чтения ленты; считыватель; сервосистема мини-компьютера; станок с ЧПУ.

Она вводится в компьютер с помощью клавиатуры. Она представляет собой коды, используемые для управления машиной. Различные коды ЧПУ – это N-код, G-код, XYZ-код, F-код и т. д.

С целью практического исследования рассматриваемой проблемы влияния ПКЭ на функционирование станков с ЧПУ, нами проводились измерения показателей с помощью анализатора качества электроэнергии «Энерготестер ПКЭ-А» модификации ПКЭ-А-С4. Объектом исследования являлся станок с ЧПУ SVC-2000L/120 установленный на авиационном предприятии г. Казани. Согласно приложенным инструкциям прибор был подключен к трехфазной четырехпроводной сети 0,4 кВ при помощи токоизмерительных клещей и соединителей для подключения фазных напряжений и нейтрали. Измерения проводились в течение 6 часов.

Согласно представленным данным в сети электроснабжения оборудования присутствует нагрузка нелинейного характера. Однако возможно отдельные режимы работы станка способны вызвать наблюдаемые отклонения ПКЭ от нормативных значений.

В результате измерений было выявлено, что измеряемая частота находилась в нормально-допустимых пределах в 95 % измерений и в 100 % в предельно-допустимых пределах.

Результаты измерения несимметрии напряжений в 23,7 % измерений находились за предельно-допустимыми показаниями.

Провалов напряжения и перенапряжений в ходе измерений ПКЭ не наблюдалось.

Проводилось измерение значений коэффициентов гармонических искажений по напряжению (по фазам). Согласно действующему ГОСТ 32144 представленные коэффициенты находятся в нормально-допустимых пределах.

Если измеренные значения коэффициентов гармонических искажений по напряжению не превышают 5 %, то значения коэффициентов гармонических искажений по току достигают 35 % в отдельных случаях.

Искаженный гармонический состав тока и напряжения в сети ухудшает работу всех электроприборов и потребителей электрической энергии [3, 4]. На рисунке изображены кривые коэффициентов гармонических искажений по току. Уровень дополнительных потерь от несинусоидальности тока в питающих сетях промышленных предприятий составляет 2-4% номинальных потерь по сравнению с синусоидальным, во внутривозовских сетях они достигают 10-15% [5, 6].



Представление в программе показателей качества электроэнергии (ПКЭ).

График коэффициентов гармонических искажений по току

Результаты проведенных измерений характеризуются существенным уровнем несинусоидальности, который практически полностью обусловлен 3-й и 5-й гармониками. На основании этого можно сделать вывод о наличии существенных гармонических искажений кривых тока в сети электроснабжения рассматриваемого станка с ЧПУ. Стоит отметить, что на момент проведения измерений нагрузка в сети электроснабжения была незначительна.

Негативным влиянием гармоник являются электродинамические усилия, приводящие к вибрациям и акустическим шумам, помехи в слаботочных сетях (сети управления, сигнализации, измерений), нагрев

конденсаторов, потери во вращающихся машинах из-за разницы между скоростями гармонических вращающихся полей и ротора, потери активной мощности в кабелях. В связи с этим, необходимо принять меры для защиты узлов оборудования, чувствительных к гармоническим искажениям и несинусоидальности кривой тока.

Для уменьшения гармонических токов, создаваемых станком с ЧПУ, предлагаем рассмотреть установку активных или пассивных фильтров гармоник. Они способны обеспечить подавление всех основных гармоник, уменьшить коэффициент искажения кривой тока более чем в 10 раз и получить значение коэффициента мощности, обеспечить подавление всех основных гармонических токов.

### **Источники**

1. Денисова А.Р., Роженцова Н.В. Исследование воздействия внешних электромагнитных полей на качество передаваемой энергии в кабельных линиях систем электроснабжения // Промышленная энергетика. 2013. № 6. С. 45–49.

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

3. Кузнецов А.В., Чикин В.В. Управление качеством электроэнергии в электроэнергетической системе // Промышленная энергетика. 2021. № 5. С. 53–59.

4. Ivanova V.R., Ivanov A.S., Fetisov L.V. The development of an automated station for group soldering of the led lines // Proc. of the 14<sup>th</sup> International scientific-technical conference on actual problems of electronic instrument engineering. Novosibirsk, 2018. Pp. 336–338.

5. Жежеленко И. В. Избранные вопросы несинусоидальных режимов в электрических сетях предприятий. М.: Энергоатомиздат, 2007. 294 с.

6. Семенов А.С., Бондарев В.А., Заголило С.А. Контроль качества электроэнергии и анализ полученных результатов при измерении напряжения // Фундаментальные исследования. 2017. № 9-1. С. 86–92.

## ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ В СИСТЕМАХ ОФИСНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

А.Р. Денисова<sup>1</sup>, О.В. Исаева<sup>2</sup>, Р.А. Залилова<sup>3</sup>

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

<sup>1</sup>denisova\_ar@mail.ru, <sup>2</sup>isaeva.olga01@mail.ru, <sup>3</sup>zalilova@bk.ru

В работе предлагается использование системы автоматизированного регулирования светового потока для офисного освещения. Регулируя интенсивность искусственного света с помощью данной системы, встроенной в каждый светильник, можно добиться комфортного пребывания сотрудников и, одновременно, значительной экономии электроэнергии. Так же рассмотрена система автономного питания офисного освещения

**Ключевые слова:** светодиодный светильник, регулирование, световой поток, энергоэффективность, автоматизация

Актуальность работы определена тем, что во многих производственных организациях и учреждениях системы освещения являются одним из основных потребителей электроэнергии. Их постоянная работа в течение всего рабочего времени влечет высокое энергопотребление, необоснованные расходы финансовых средств. Мы предлагаем регулировать интенсивность искусственного света с помощью системы ADL-System встроенную в каждый светильник. При этом можно добиться комфортного пребывания сотрудников и, одновременно, значительной экономии электроэнергии [1, 2].

Система автоматического регулирования светового потока ADL-System кроме стандартного драйвера управления светодиодным светильником, включает контроллер и оптический фотодатчик [3, 4], которые автоматически поддерживают освещенность на рабочей поверхности на нормируемом уровне, уменьшая или повышая его световой поток. Оптический фотодатчик направлен на рабочую поверхность под светильником для контроля нормируемой освещенности. Принцип работы базируется на функции автодиммирования. Изменение интенсивности светового излучения происходит в зависимости от естественного света, проникающего в окна. Данная технология обеспечивает значительный зрительный комфорт находящимся в здании людям (рис. 1).



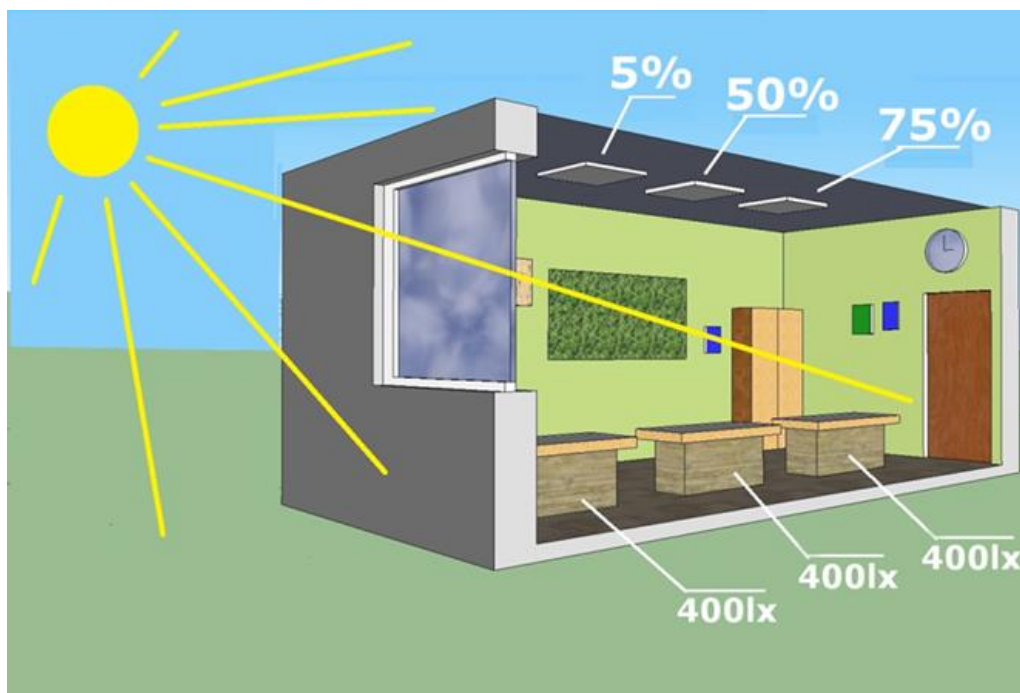


Рис. 1. Автоматическое регулирование интенсивности светового потока светильников в помещении с помощью ADL-System

Программа, функционирующая по определённому алгоритму, реализует задуманный сценарий. Она регулирует мощность светильника в зависимости от интенсивности естественного света, проникающего в помещение и уменьшает световой поток светильника на такую же относительную величину и освещенность под светильником остается в пределах нормы. Разработанная программа является самообучаемой, поэтому она не требует калибровки и дальнейшей поверки. Мы закладываем в программу периодическое измерение освещенности на рабочей поверхности и плавной подстройки светильника. В течение всего срока службы система будет поддерживать нормируемый уровень освещенности, несмотря на деградацию светодиодов и ухудшение свойств рассеивателя светильника. Изменение светового потока светильника происходит без скачков, плавно и незаметно для человека. Для этого путем большой экспериментальной работы были подобраны различные режимы управления контролера в начале цикла включения и его середине. Блок-схему автоматического регулирования светового потока светильника мы приводим в работе [4].

Если интенсивность естественного солнечного света, проникающего в помещения очень высока и освещённость на рабочем месте достигает нормируемой величины, система переводит светильник в «спящий режим». В этом режиме потребляемая мощность светильника уменьшается в среднем в 6 раз от номинального значения.

Система ADL-System является та, что она не требует дополнительных настроек при монтаже светильников и обслуживания в процессе эксплуатации, так же увеличивает ресурс светильника за счет работы в щадящем режиме. Сотрудникам нет необходимости в течение рабочего дня думать об экономии и комфорте, система может работать автономно.

Продолжением идеи энергосбережения за счет регулирования светового потока является система ArtificialSun. Данная система позволяет создать автономное освещение офисных помещений, ЖКХ, аварийное освещение на производстве и т.д. Система состоит из солнечных панелей (рис. 2), контроллера заряда, аккумуляторной батареи подключенных к группе светильников. Использование в данной системе светильников с автоматическим регулированием светового потока ADL-System позволяет оптимизировать потребление электроэнергии из сети, накопленной в аккумуляторной батарее (24 В; 48 В). В дневное время потребление на освещение снижается, следовательно, увеличивается накопленная в аккумуляторной батарее энергия, которая расходуется на освещение в темное время суток.

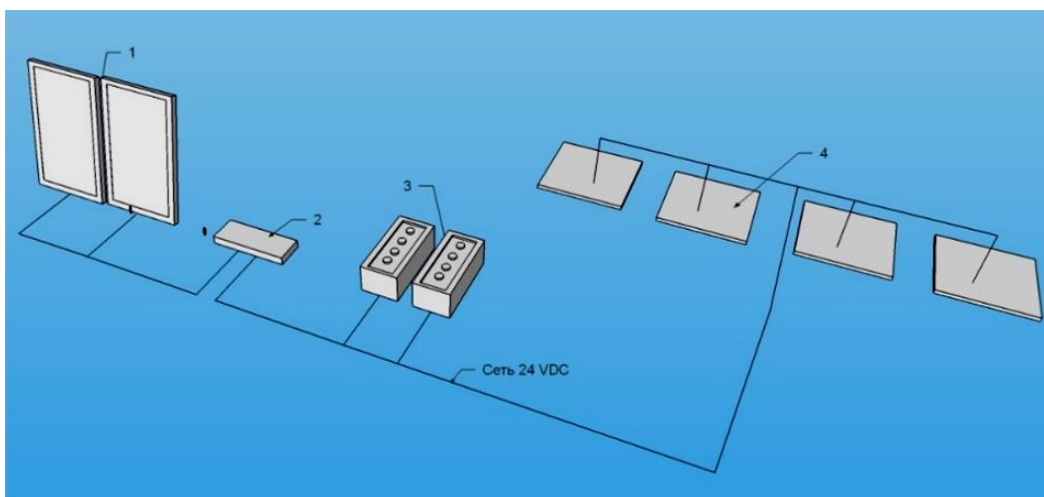


Рис. 2. Система ArtificialSun: 1 – солнечная панель; 2 – контроллер заряда; 3 – блок АКБ; 4 – источники света (светильники)

Светильники в системе ArtificialSun не имеют пускорегулирующей аппаратуры, что позволяет рационально использовать солнечную энергию. Накопленная электроэнергия в аккумуляторной батарее напрямую без потерь расходуется на освещение.

## Источники

1. Интеллектуальный блок питания светильника: п. м. 142028 Рос. Федерация № 2014103803; заявл. 04.02.2014; опубл. 20.06.2014, Бюл. № 17.

2. Денисова А.Р., Роженцова Н.В. Энергосбережение в промышленных и коммунальных предприятиях: учеб. пособие. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2010. 247 с.

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

4. Денисова А.Р., Савин Н.А. Энергоэффективная система автоматического регулирования светового потока светодиодных светильников // Фёдоровские чтения – 2020: матер. I Междунар. науч.-практ. конф. с элементами науч. шк. Москва, 2020. С. 121–126.

5. Денисова А.Р., Сидоров А.Е., Закирова З.Р. Перспектива модернизации системы освещения в промышленных отраслях с применением светодиодных источников света // Фёдоровские чтения – 2020: матер. I Междунар. науч.-практ. конф. с элементами науч. шк. Москва, 2020. С. 151–156.

6. Рудаков А.И., Роженцова Н.В., Денисова А.Р. Современные технические средства повышения энергоэффективности водокольцевых машин // Промышленная энергетика. 2014. № 5. С. 27–30.

7. Ivanova V.R., Ivanov A.S., Fetisov L.V. The development of an automated station for group soldering of the led lines // Proc. of the 14<sup>th</sup> International scientific-technical conference on actual problems of electronic instrument engineering. Novosibirsk, 2018. Pp. 336–338.

## РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЯЗЫКОВ СТАНДАРТА МЭК 61131-3

А.Р. Денисова<sup>1</sup>, Н.А. Савин<sup>2</sup>, Н.К. Афолина<sup>3</sup>

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

<sup>1</sup>denisova\_ar@mail.ru, <sup>2</sup>KOLAY\_AK@mail.ru, <sup>3</sup>nadiaafonina1406@gmail.com

Представлена информация об автоматизированной системе управления освещением с использованием программируемого контроллера. Программа написана на языках стандарта МЭК 61131-3. Система предназначена для регулирования световым потоком в зависимости от естественной освещенности, бесконтактным переводом светодиодных светильников в состояние включен/выключен при входе/выходе людей в помещение.

**Ключевые слова:** светодиодный светильник, программирование, искусственное освещение, энергоэффективность, автоматизация

В современном мире нет ни одной отрасли экономики, где бы не было необходимости в искусственном освещении. Особенно это касается производственного сектора, где освещение является одним из главных факторов поддержания нормальных условий труда и безопасности персонала, сохранения его здоровья и даже жизни. Автоматизированная система управления освещением это комплекс технологических решений, гарантирующие необходимое количество света в необходимое время и в нужном помещении. Иными словами, светильник «добавляет» света в совокупности с естественной инсоляцией на рабочую поверхность ровно столько, сколько должно быть по существующим нормам СанПиН.

Регулируя интенсивность искусственного света с помощью системы автоматического регулирования светового потока встроенную в каждый светильник можно добиться комфортного пребывания сотрудников и, одновременно, значительной экономии электроэнергии.

Система автоматического регулирования светового потока ADL-System включает в себя ряд устройств [3, 4], подключенных к светильнику с возможностью регулирования (светодиодный светильник), которые автоматически поддерживают освещенность на рабочей поверхности на нормируемом уровне, уменьшая или повышая его световой поток. Изменение интенсивности светового излучения происходит в зависимости от естественной освещенности помещения. Технология обеспечивает значительный зрительный комфорт находящимся в здании людям.

Принцип работы базируется на функции автодиммирования. Для работы в автоматическом режиме в стандартную схему каждого светодиодного светильника добавляется контроллер и оптический фотодатчик. Оптический фотодатчик направлен на рабочую поверхность под светильником, чтобы максимально точно измерять величину освещенности.

Совместно с регулированием светового потока каждого светильника предлагается использовать систему учета присутствия людей в помещении. Данная система отключает освещение, при отсутствии людей.

Система автоматического регулирования светового потока включает в себя: 2 датчика (на входе в помещение и на выходе из помещения); светодиодные светильники с возможностью регулирования; фоторелейный датчик, устанавливаемый на каждый светильник; программно-логистический контроллер, устанавливаемый на каждый светильник.

Система автоматического регулирования ADL-System, уменьшает световой поток светильника при определенном уровне естественного света из окна, снижая потребление мощности из сети. Основу системы составляет контроллер, который запрограммирован на определенный алгоритм действий при различном входящем сигнале от фотодатчика и сигналов от датчиков, установленных на входе или выходе из помещения. Именно контроллер выдает команду на необходимую интенсивность выдаваемого светового потока каждого светильника.

Изначально светильник включается на 100 % своей мощности. Фотодатчик под каждым светильником подает сигнал на контроллер о том, что на рабочей поверхности изменилась освещенность, а тот, в свою очередь, изменяет световой поток лампы, подстраиваясь под заданную освещенность. При срабатывании на входе датчика движения на вход человека подается сигнал на ключ, который подает электроэнергию на светильники, загораются все лампы на 100 % [5]. Подробнее алгоритм системы описан в работах [6, 7].

Для проведения необходимых настроек, испытаний, а так же определения уровня энергоэффективности данной системы на базе Казанского государственного энергетического университета была оборудована экспериментальная лаборатория.

В течение года проводилась апробация системы ADL-System. В результате экспериментальных исследований мы добились максимальной адекватности системы и полного выполнения заданных функций.

Для данного исследования были заданы 5 уровней естественной освещенности, при которых светильник будет изменять мощность светового потока. Согласно опытным данным естественная освещенность от окна в ясный день в феврале месяце равна: 1500 лк в 11:00 ч; 1000 лк в 12:00 ч; 750 лк в 14:00 ч; 300 лк в 20:00 ч; 0 лк ночью.

В таблице представлены экспериментальные данные зависимости мощности, потребляемой каждым светильником от естественной освещенности от окна:

| Номер светильника | Естественная освещенность, лк |      |     |     |    |
|-------------------|-------------------------------|------|-----|-----|----|
|                   | 1500                          | 1000 | 750 | 300 | 0  |
| 1                 | 0                             | 0    | 20  | 30  | 40 |
| 2                 | 0                             | 4    | 20  | 35  | 40 |
| 3                 | 28                            | 30   | 35  | 35  | 40 |
| 4                 | 14                            | 20   | 25  | 30  | 40 |
| 5                 | 30                            | 25   | 25  | 30  | 40 |
| 6                 | 35                            | 35   | 30  | 35  | 40 |

Проводились расчеты экономической эффективности и сроков окупаемости при внедрении системы ADL-System. В результате для исследуемого помещения было получено снижение интенсивности светового потока светильников первого ряда (ближе к окну) на 83 %, второго ряда на 65 % и третьего ряда на 5 %. Экономия электроэнергии за счет регулирования светового потока исследуемой группы светильников составила 51%, а срок окупаемости менее года. Безусловно, экономия электроэнергии должна рассчитываться для каждого помещения индивидуально.

Для управления системой освещения в целом нами предлагается использовать систему автоматизации включения/отключения при присутствии или отсутствии людей в помещении. Данная система способна вести подсчет вошедших и вышедших людей.

Основу системы составляет контроллер, который запрограммирован на определенный алгоритм действий при различном входящем сигнале от объемных датчиков, установленных на входе или выходе из помещения. Программирование контроллера осуществлено в среде Codesys 2.3, были использованы языки программирования стандарта МЭК 61131-3 (CFC и ST). При отключении всех светильников после того, как в помещении не останется ни одного человека, необходима задержка отключения в течение 5 с. Это достигается путем подачи на RS-триггер (SET, RESET1) сигнала от таймера TON.

RS\_TRIG – функциональный блок RS-триггер. Переключатель с доминантой выключения, RS-триггер:  $Q1 = RS$ . Он запишет логическую единицу со входа SET и выведет на выход Q1. В данной работе RS-триггер используется в качестве ключа подачи электроэнергии на светильники после срабатывания датчиков движения.

Датчики движения – лазерные датчики, считывающие изменения объема в пространстве и вырабатывающие сигнал, если таковое произошло. Для данной системы необходимо два таких датчика – на входе в дверь (устанавливается в коридоре) и внутри помещения (устанавливается в аудитории).

Считаем, что внутренний датчик подключен к первому входу контроллера. Его состояние будет задавать переменная Ex. Внешний датчик подключен ко второму входу контроллера. Его состояние задает переменная in. Первым выходом будем управлять переменной ламп, которая подает сигнал на RS-триггер.

Обязательное условие программы является изменение на единицу счетчика количества людей в аудитории.

Логика работы датчиков движения: когда человек входит в помещение, то сначала срабатывает датчик в коридоре, затем внутри помещения, когда вошедший откроет дверь. В этом случае в контроллере происходит операция +1 и идет сигнал на ключ (RS-триггер) и зажигаются все светильники. Если человек выходит из помещения, то сначала срабатывает датчик внутри помещения, затем датчик в коридоре, когда вышедший закрывает дверь. В этом случае в контроллере происходит операция -1 и через таймер TON идет сигнал на ключ (RS-триггер). Спустя 5 секунд отключаются все светильники.

Переменная ludi будет принимать значение равное числу людей, находящихся в данный момент времени в комнате, переменная pin будет отражать значение переменной in (состояние внешнего датчика) на предыдущем цикле программы, rex – отражать значение переменной Ex (состояние внутреннего датчика) на предыдущем цикле программы.

Фрагмент работы системы представлен на рис. 1, полученный в результате моделирования в программе CoDeSys.

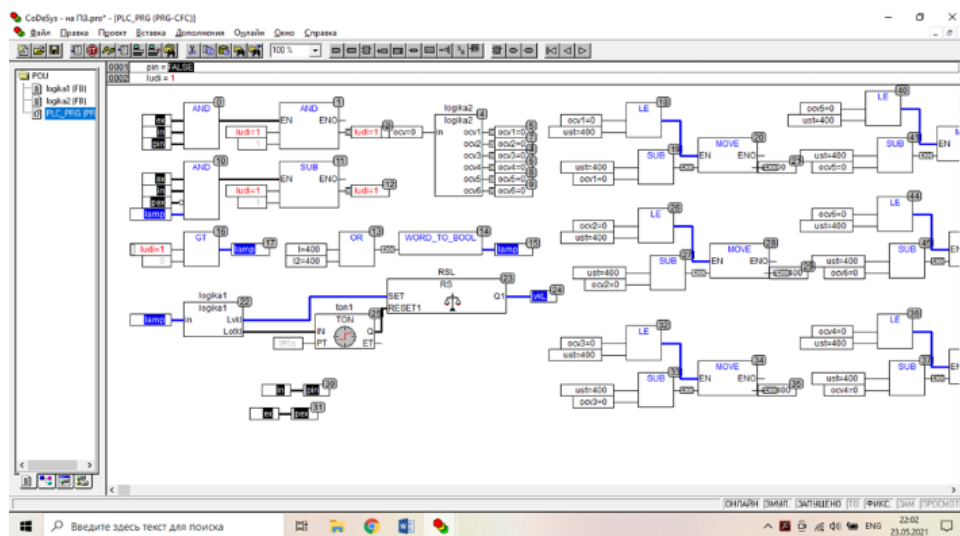


Рис. 1. Работа системы в программе CoDeSys

Для более наглядного представления результатов регулирования световым потоком светодиодных светильников на рис. 2 представлены визуализации работы системы при входе людей и различной естественной освещенности от окна.

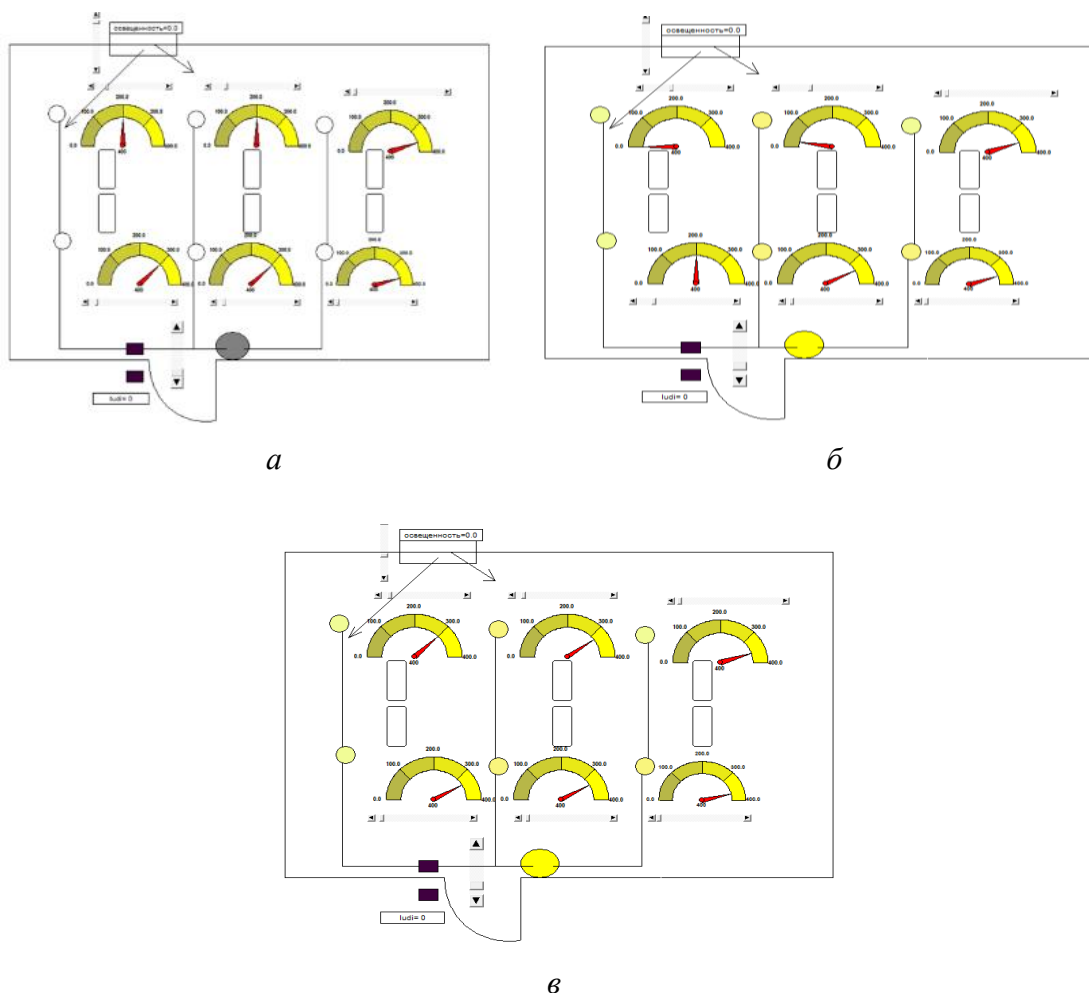


Рис. 2. Визуализация работы системы: *а* – в помещении отсутствуют люди, все светильники выключены; *б* – в помещении присутствуют люди, освещенность от окна 1000 лк; *в* – в помещении присутствуют люди, освещенность от окна 300 лк

### Источники

1. Интеллектуальный блок питания светильника: п. м. 142028 Рос. Федерация № 2014103803; заявл. 04.02.2014; опубл. 20.06.2014, Бюл. № 17.
2. Денисова А.Р., Роженцова Н.В. Энергосбережение в промышленных и коммунальных предприятиях: учеб. пособие. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2010. 247 с.
3. Денисова А.Р., Сибгатуллина Э.Г. Повышение энергоэффективности при использовании системы автоматического регулирования светового потока // Электроэнергия. Передача и распределение. 2020. № 1 (58). С. 38–39.



4. Денисова А.Р., Савин Н.А. Энергоэффективная система автоматического регулирования светового потока светодиодных светильников // Фёдоровские чтения – 2020: матер. L Междунар. науч.-практ. конф. с элементами науч. шк. Москва, 2020. С. 121–126.

5. Денисова А.Р., Сидоров А.Е., Закирова З.Р. Перспектива модернизации системы освещения в промышленных отраслях с применением светодиодных источников света // Фёдоровские чтения – 2020: матер. L Междунар. науч.-практ. конф. с элементами науч. шк. Москва, 2020. С. 151–156.

6. Рудаков А.И., Роженцова Н.В., Денисова А.Р. Современные технические средства повышения энергоэффективности водокольцевых машин // Промышленная энергетика. 2014. № 5. С. 27–30.

7. Ivanova V.R., Ivanov A.S., Fetisov L.V. The development of an automated station for group soldering of the led lines // Proc. of the 14<sup>th</sup> International scientific-technical conference on actual problems of electronic instrument engineering. Novosibirsk, 2018. Pp. 336–338.

## **ФИЛАМЕНТНЫЕ СВЕТОДИОДНЫЕ ЛАМПЫ. ИХ ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ.**

А.М. Загидуллин<sup>1</sup>, И.М. Шарипов<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>zagidullin\_almaz@bk.ru, <sup>2</sup>ilshat.sharipov.1998@mail.ru

На сегодняшний день современный рынок приборов освещения очень богат множествами видами светодиодных ламп. И среди всего разнообразия форм и размеров LED ламп, в последнее время часто начали встречаться филаментные лампы. Пока что простому народу мало что известно про данный вид ламп. В данной статье расскажем, что из себя представляет эта, на первый взгляд, необычная лампа и настолько ли она эффективна, как о них рассказывают нам маркетологи.

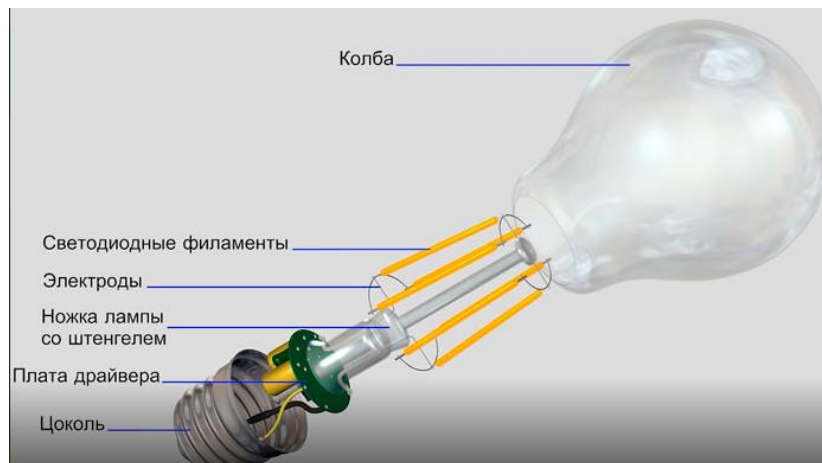
**Ключевые слова:** филамент, энергоэффективность, светодиоды потребляемая мощность, светоотдача.

Как правило, когда на рынке появляется новый продукт, он просто не вписывается в повседневную жизнь. Это объясняется тем, что потребитель с осторожностью смотрит на новые продукты, так как понимает, что они еще как следует не протестированы. Поэтому для внедрения инновационных продуктов и ввода их на рынок необходимо приложить немало усилий.

Идея создания филаментной лампы возникла у азиатских ученых. Первые успешные эксперименты по производству филаментных ламп были осуществлены еще в 2008 году японскими исследователями. Развитие технологий уже позволило в 2013 году наладить массовый выпуск.

Слово «filament» – в переводе с английского языка означает «нить накаливания.» При разработке данного продукта инженеры нашли, на первый взгляд, оптимальное решение: сама лампа, внешне можно сказать не отличается от знакомой всем лампы «Ильича» ни по форме, ни по содержанию, что значительно увеличивает шансы массового внедрения потребителям, ввиду того, что не требуется дополнительного оборудования для использования ламп. Единственным существенным отличием является наличие светодиодной нити на месте вольфрамовой.

Состав лампы следующий (см. рисунок): цоколь стандарта E27 и E14, стеклянная колба, драйвер и светодиодный филамент.



Внешний вид

Филаментные лампы имеют ряд достоинств по сравнению с светодиодными лампами и лампами накаливания. Лампа обеспечивает угол рассеивания света в 360 градусов, ввиду того, что она представляет собой прозрачную колбу. Тем самым она способна равномерно рассеивать свет во всех точках помещения.

Также достоинством филаментных ламп является то, что колба изготавливается из прозрачных материалов, что в свою очередь способствует беспрепятственному рассеиванию света.

Во время работы светодиоды часто нагреваются, а высокая температура, в свою очередь, является препятствием к увеличению их светотдачи. Особенность конструкции филаментной нити позволяет теплу равномерно распределяться между кристаллами светодиодов. Благодаря газу внутри колбы тепло быстро переносится к ее стенкам и рассеивается наружу. Эффективное отведение тепла от светодиодов позволяет повысить их мощность, что способствует увеличению срока службы и повышению энергоэффективности.

Наряду с достоинствами филаментные лампы также имеют ряд недостатков. Во-первых, они имеют завышенную цену, так как на данный момент они мало распространены на рынке. Из-за особенности конструкции драйвер находится внутри цоколя и не имеет возможности отвода тепла. Как уже говорилось выше, высокая температура негативно влияет на лампу и сокращает срок службы не только драйвера, но и лампы в целом.

Таким образом, основным преимуществом филаментных ламп является их высокая эффективность, но на этом их преимущества не заканчиваются. Эти источники света одинаково хорошо подходят для освещения домов, магазинов, кафе, учебных и общественных

заведений. Благодаря широкому углу рассеивания света, филаментные лампы можно применять для общего и местного освещения интерьеров. Филамент отлично сочетается с хрустальными светильниками и люстрами, открытыми и прозрачными плафонами, бра в форме фонарей и другими моделями в классическом и старинном стилях. Стекло не нагревается до высоких температур, поэтому филаментные лампы можно устанавливать возле натяжных или гипсокартонных потолков и других поверхностей, которые не допускают сильного нагрева.

### **Источники**

1. Алфёрова Т.В., Полозова О.А., Бахмутская В.В. Современные источники света как средство повышения эффективности использования электроэнергии // Электрика. 2010. № 9. С. 26–27.

2. Емекеев А.А., Сагдатуллин А.М., Муравьева Е.А. Интеллектуальное логическое управление электроприводом насосной станции // Современные технологии в нефтегазовом деле: сб. тр. Междунар. науч.-техн. конф. Уфа, 2014. С. 218–221.

3. Ковшова А.С., Абрамова Л.В., Железникова О.Е. К вопросу разработки практических рекомендаций по определению области применения осветительных установок со светодиодами // Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики: матер. 7 Междунар. науч.-техн. конф. Саранск, 2009. Саранск, 2009. С. 3–5.

4. Прокофьев А., Туркин А., Яковлев А. Перспективы применения светодиодов // Полупроводниковая светотехника. 2010. № 5. С. 60–63.

5. Радомский Н. Сравнительный анализ продукции ведущих производителей белых светодиодов // Полупроводниковая светотехника. 2010. № 4. С. 6–12.

6. Экспресс-оценка офисных светодиодных светильников по их технико-экономическому показателю / Р.Х. Тукшаитов [и др.] // Энергетика Татарстана. 2014. № 2 (34). С. 72–75.

7. Денисова А.Р., Роженцова Н.В. Исследование воздействия внешних электромагнитных полей на качество передаваемой энергии в кабельных линиях систем электроснабжения // Промышленная энергетика. 2013. № 6. С. 45–49.

## РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВЕТРОГЕНЕРАТОРНОЙ УСТАНОВКОЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЯЗЫКОВ СТАНДАРТА МЭК 61131-3

В.Р. Иванова<sup>1</sup>, Н.А. Третьяков<sup>2</sup>, Д.И. Гусамов<sup>3</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>vr-10@mail.ru, <sup>2</sup>tretyackov.k@yandex.ru, <sup>3</sup>gdi23@bk.ru

Увеличение мощности ветроустановок приводит к наращиванию размеров конструкции. Размеры полезной энергии, извлекаемой ветрогенератором из энергии напора воздуха, пропорциональны общей площади, обметаемой лопастями рабочего колеса. Однако увеличение габаритов ветряных установок приводит к увеличению нагрузки на соответствующие элементы передачи механической энергии в целом и на систему тормоза в частности. В работе рассмотрена тормозная система ветрогенератора, благодаря которой происходит надёжная работа установки в целом.

**Ключевые слова:** ветроэнергетика, ветрогенератор, возобновляемые источники энергии, стандарт МЭК 61131.

Наравне с использованием традиционных видов электроэнергетики (гидроэнергетика, теплоэнергетика, энергия атома), всё чаще стали говорить об альтернативных источниках электроэнергии. Таких как солнечная энергия, ветровая энергетика, энергия приливов и отливов, энергия морской волны. Одним из способов выработки электроэнергии является преобразование кинетической энергии воздуха (ветра) в электрическую, механическую и другие виды энергии. Электрическая же энергия, получаемая ветрогенераторами является универсальным типом энергоносителя и в связи с уже значительной распространённостью технологии, используется практически во всех аспектах жизнедеятельности человека.

В настоящее время большую часть мощных ветрогенераторов проектируют в виде трехлопастного «вентилятора» с осью вращения расположенной горизонтально, так же, встречаются конструкции ранее производимых двухлопастных и даже однолопастных ветрогенераторов. Также существуют конструкции ветрогенераторов с вертикальной осью вращения «карусельного» типа; парусного и капельного типа.

Мощность генератора зависит от площади, обметаемой лопастями ветрогенератора и уровнем их над поверхностью земли. Для защиты ветрогенераторных установок от сильных порывов ветра применяется система бурезащит. Для малых генераторов с диаметром винта до 1,5 м защита от урагана не особо нужна, так как нет такой большой нагрузки на винт.

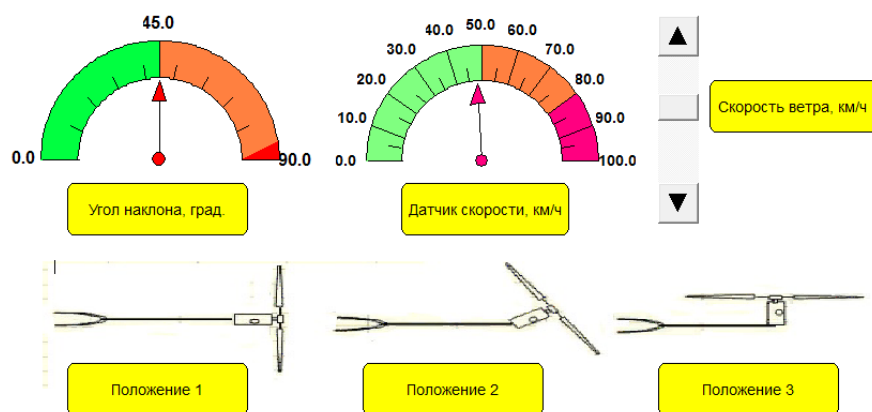
В заводских ветровых турбинах бурезащита уже создана, для малых ветроустановок как правило применяется электротормоз. А именно, при достижении критических оборотов, контроллерм закорачиваются фазы генератора и винт ослабляет скорость вращения уменьшая мощность. Или же защита совсем не предусмотрена и контроллер затормаживает закорачивая генератор только тогда, когда напряжение превышает определенное значение, например, 16 вольт для системы рассчитанной на 14 В системы. Для небольших ветряных генераторов часто применяют самодельные балластные регуляторы, которые так же подтормаживают лопасти при увеличении напряжения, тормозят подключением дополнительной нагрузки в виде ламп или нихромных спиралей, тенов.

Большие ветряки кроме контроллера должны иметь и механическую защиту так как большие винты отбирают большую мощность при сильном потоке воздуха и уходят в развал и даже полное замыкание генератора полностью не остановит винт. В заводских ветроустановках защита обычно выполнена методом поворота хвоста и винт отворачивается в сторону от ветра. У «ветроловов» за основу взят ставший уже давно классическим метод увода винта от ветра складыванием хвоста.

В работе рассмотрена данная система и разработана прикладная программа автоматизации. Программа исполнена на языке прикладного программирования стандарта МЭК 61131-3 для такой схемы управления, которая заключается в изменении угла поворота лопастей в зависимости от измеренной датчиком скорости воздушного потока. Система состоит из трех уровней поворота лопастей в зависимости от скорости ветра: от 0 до 50 км/ч; от 50 до 80 км/ч; более 80 км/ч.

На первом уровне скорости ветра лопасти остаются в горизонтальном положении. Когда ветер достигает второго уровня, то лопасти наклоняются относительно своего первоначального положения на угол 45°.

Когда ветер достигает третьего уровня, лопасти складываются на 90°, относительно первоначальной оси.



Визуализация системы управления

На рисунке представлена визуализация разработанной программы, на которой представлена зависимость угла наклона лопастей от скорости ветра.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках госзадания на выполнение НИР по теме «Распределенные автоматизированные системы мониторинга и диагностики технического состояния воздушных линий электропередачи и подстанций на основе технологии широкополосной передачи данных через линии электропередач и промышленного интернета вещей» (номер темы 075-00063-20-02).

### **Источники**

1. Аветисян Д.А. Автоматизация проектирования электрических систем. М.: Высшая школа, 2005. 511 с.
2. Иванова В.Р., Иванов И.Ю. Ветряные электростанции для электроснабжения промышленных потребителей // Проблемы совершенствования топливно-энергетического комплекса: матер. XIV Междунар. науч.-техн. конф. Саратов, 2018. Вып. 9. С. 97–98.
3. Иванова В.Р., Иванов И.Ю., Гильманова Г.Р. О выборе перспективных районов установки ветроэлектростанций с учетом совокупности технических, экономических и экологических критериев оценки принимаемых решений // Системы управления электротехническими объектами: сб. науч. тр. VIII Всерос. науч.-практ. конф. 2018. С. 37 -41.
4. Денисова А.Р., Роженцова Н.В. Исследование воздействия внешних электромагнитных полей на качество передаваемой энергии в кабельных линиях систем электроснабжения // Промышленная энергетика. 2013. № 6. С. 45–49.
5. Иванова В.Р., Гильманова Г.Р. О выборе установки ветроэлектростанций на территории Республики Татарстан для эффективного и безопасного их функционирования // Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники: матер. I Всерос. науч.-практ. конф. Казань, 2019. С. 479–483.

## ЦИФРОВЫЕ РЕШЕНИЯ В ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИИ

Ю.Р. Кадырмятов<sup>1</sup>, Н.В. Денисова<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>yulian.02@bk.ru, <sup>2</sup>natali.denisova@bk.ru,

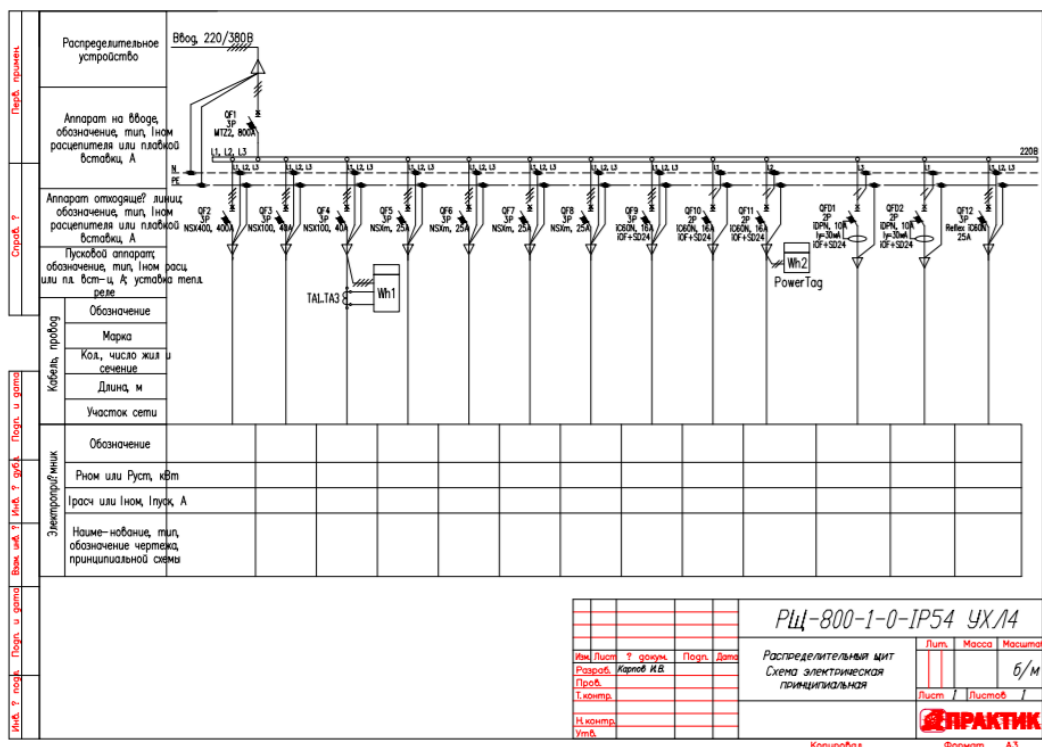
Рассматривается возможность использования цифровых продуктов Schneider Electric (SE) в электроснабжении. Также приводится рассуждение на тему эффективности, безопасности и необходимости использования данных устройств.

**Ключевые слова:** умный щит, Power Monitoring Expert (PME), PowerTag, электроснабжение, энергоэффективность.

Сегодня к высоким показателям энергоэффективности стремятся все – тут и жилые комплексы со своими собственными инфраструктурами, и огромные торговые и бизнес-центры, и тем более производственные объекты. Всё это многообразие объединяет один ключевой фактор – все они потребляют электроэнергию. В области электроэнергетики есть свои стандарты качества, которых нужно придерживаться. Не менее важно контролировать состояние и износ электrorаспределительного оборудования во избежание аварийных ситуаций. Для решения всех этих сложных задач можно использовать комплекс цифровых продуктов Schneider Electric поддерживающихся аналитической системой Power Monitoring Expert (PME) [1]. PME способно распределить учёт энергопотребления по зонам и типам нагрузок, давая ясную картину здания и помогая упростить ежедневное операционное и техническое обслуживание, гарантировать качество и непрерывность электроснабжения.

Для более удобного использования оборудования SE применяется Умный Щит (см. рисунок), на базе которого устанавливаются блоки защиты и контроля автоматических выключателей, счетчики электроэнергии, шины сбора данных от различных приборов учёта конечного распределения, микросерверы для архивации информации от всех устройств и многое другое. Также, благодаря PME, умный щит обладает рядом функций, облегчающих контроль как качества, так и потребления электроэнергии.





Однолинейная схема умного щита

Среди его возможностей наблюдаются следующие [2]:

- учёт любых энергоресурсов;
- контроль любых параметров сети электроснабжения в режиме реального времени;
- прогнозирование и анализ энергопотребления;
- уведомление и рассылка аварийных и предупредительных оповещений;
- построение различных отчётов и трендов на основе полученных данных;
- организация бесперебойного электроснабжения.

В казанском государственном энергетическом университете находится подобный Умный щит. С его помощью студенты могут изучать поведение электрического тока в сети. Благодаря умному щиту, находящемуся в КГЭУ, появилась возможность изучить принцип его работы и проверить его эффективность в условиях близких к реальным.

В состав наиболее важных цифровых составляющих умного щита входит PowerTag [3]. Это устройство способное передавать данные, измеряемые на контролируемых электрических нагрузках, с минимальной задержкой. PowerTag предоставляет своим владельцам информацию полученную с подключённой нагрузки. Он вычисляет суммарную активную энергию, межфазное напряжение, ток на фазу, общую активную мощность и активную мощность на фазу (измерения класса точности 1

по МЭК 61 557-12). Так же PowerTag способен сообщить о перегрузках ещё до срабатывания выключателя, оповещая с помощью мобильного приложения Facility Hero. Собранные данные PowerTag передаёт точке беспроводного доступа Acti9 Smartlink SiD по протоколу связи ZigBee.

ZigBee является перспективным протоколом беспроводной связи. Основными направлениями его применения являются домашняя автоматизация и низкоскоростная связь. Преимуществами ZigBee над другими интерфейсами связи, такими как IEEE 1394, Ethernet, PLC и Bluetooth, являются беспроводная связь и большое количество узлов ячеек.

Особенностью устройства PowerTag является способность в реальном времени отслеживать и контролировать конечные нагрузки, такие как отдельный станок на производстве, насос или группу светильников. Также к плюсам использования PowerTag можно отнести беспроводную связь с устройством Acti9 SmartlinkSiD, небольшой размер и вес устройства, удобное подключение к модульному автоматическому выключателю, защищающему потребителей электроэнергии.

В наше время используется большое количество зданий, построенных в прошлом столетии. К сожалению, электрические сети данных построек не совсем рассчитаны на нагрузки, которые применяются в наше время. Особенно велика вероятность перегрузок в старых офисных зданиях, где сейчас в течение рабочего дня используются десятки компьютеров и принтеров. Также общее качество электроэнергии в больших городах оставляет желать лучшего. Умный щит, использующий РМЕ, способен помочь решить данную проблему, предоставляя доступ к большому количеству данных, в том числе анализу качества электроэнергии. Наличие PowerTag в умном щите делает использование щита более удобным и эффективным.

## Источники

1. Система мониторинга EcoStruxure Power Monitoring 9.0: руководство по работе с системой [Электронный ресурс]. URL: <https://www.se.com/ww/en/download/document/PowerMonitoringExpertSysGuide/> (дата обращения: 18.09.2021).

2. Денисова Н.В., Абсатаров Д.А. Применение технических и программных продуктов компании Schneider Electric для создания «умной» среды // Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники: матер. Всерос. науч.-практ. конф. Казань, 2019. С. 345–351.

3. Руководство по применению PowerTag [Электронный ресурс]. URL: <https://download.schneider-electric.com> (дата обращения: 18.09.2021.)

## **ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРОВОДОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ НА ЗАТУХАНИЕ ЛОКАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ**

В.А. Касимов, А.В. Лазарева, Е.А. Петрова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

vasilkasimov@yandex.ru

Анализируется возможность контроля температуры проводов линий электропередачи по изменениям запаздывания локационных сигналов. Описывается влияние температуры проводов на удлинение проводов, анализируется корреляционное поле затухания локационных сигналов и температуры окружающей среды.

**Ключевые слова:** воздушные линии электропередачи, провода, провес, температура, локационное зондирование, затухание сигнала.

Воздушные линии электропередачи являются наименее надежными элементами энергосистемы. Одной из причин аварий на воздушных линиях электропередачи является то, что под действием нагрузочных токов и высокой температуры окружающей среды в летний период провода могут провисать ниже безопасного расстояния до земли. При этом передвигающаяся под линией электропередачи техника может задеть провисшие провода, вызвав аварию в виде обрыва или замыкания проводов, которая может сопровождаться поражением людей электрическим током.

Контроль температуры проводов воздушных линий электропередачи (ЛЭП) является актуальной задачей, так как от температуры провода зависит стрела провеса провода, а сверхнормативное провисание проводов может привести к аварии. Наличие данных о температуре проводов позволит своевременно определять аварийные режимы эксплуатации воздушных линий электропередачи.

Согласно экспериментальным данным локационного зондирования вариации температуры проводов вызывают изменение затухания и запаздывания локационных сигналов, распространяющихся по проводам ЛЭП [1]. Была поставлена задача исследования влияния температуры проводов на изменения параметров локационных сигналов.

Влияние температуры проводов на расположение провода в пролете может быть описано с помощью уравнения [2]:

$$\frac{\sigma_n}{\gamma_n} \operatorname{sh} \frac{\gamma_n l}{2\sigma_n} = \frac{\sigma_m}{\gamma_m} \operatorname{sh} \frac{\gamma_m l}{2\sigma_m} \left[ 1 + \frac{\sigma_n - \sigma_m}{E} + \alpha(T_n - T_m) \right], \quad (1)$$

где  $\sigma$  – напряжение в нижней точке провода;  $\gamma$  – нагрузка на провод;  $l$  – длина пролета;  $T$  – температура провода;  $\alpha$  – температурный коэффициент линейного удлинения;  $E$  – модуль упругости; индексом  $m$  отмечены переменные исходного режима, индексом  $n$  – рассчитываемого режима.

В качестве исходного режима принимается один из экстремальных режимов нагрузки проводов. После определения исходного режима по (1) рассчитывают произвольные режимы. Зависимость длины  $L$  и стрелы провеса  $f$  провода в пролете длиной  $l_x$  от напряжения в нижней точке провода  $\sigma_0$  и нагрузки на провод  $\gamma$  имеет вид:

$$L = \frac{\sigma_0}{\gamma} \operatorname{sh} \left( \frac{\gamma l}{2\sigma_0} \right); \quad (2)$$

$$f = \frac{\sigma_0}{\gamma} \left( \operatorname{ch} \left( \frac{\gamma l}{2\sigma_0} \right) - 1 \right). \quad (3)$$

Для примера на рис. 1 представлен график зависимости относительного удлинения  $\delta l$  провода от его температуры  $\theta$  для воздушной ЛЭП 110 кВ с проводами марки АС 120/19.

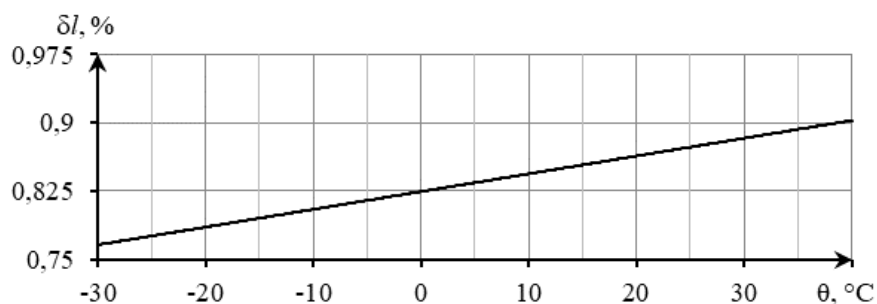


Рис. 1. Зависимость относительного удлинения проводов  $\delta l$  от температуры провода марки АС 120/19 (110 кВ)

При локационном мониторинге линий электропередачи сигналы передаются от передатчика к приемнику в виде электромагнитных волн, распространяющихся вдоль проводов. Токи и напряжения в линии, состоящей из 3 проводов, могут быть представлены через токи и напряжения 3 волновых составляющих, каждая из которых имеет свой коэффициент распространения. Более подробно теоретические вопросы распространения сигналов по проводам линий электропередачи рассмотрены в [3].

Было выполнено сравнение экспериментальных показаний локационной системы с результатами теоретических расчетов. Экспериментальные данные измерялись с интервалом в 15 мин на действующей ЛЭП 110 кВ в течение 2018 г. В качестве примера на рисунке 2 представлены корреляционные поля экспериментальных погонных затуханий локационных сигналов и температуры окружающей среды.

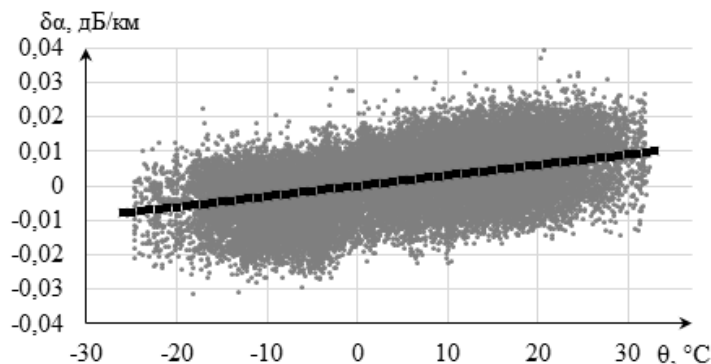


Рис. 2. Экспериментальные корреляционные поля погонных затухания  $\delta\alpha$  локационных сигналов и температуры окружающей среды  $\theta$  для действующей ЛЭП 110 кВ и соответствующие теоретические зависимости (сплошные линии)

Теоретическая зависимость затухания от температуры достаточно хорошо описывает наблюдаемое корреляционное поле параметра. Таким образом, имеется прямая зависимость затухания локационных сигналов от их температуры, которая может быть использована для решения обратной задачи по оценке температуры проводов по изменению затухания локационных сигналов.

Работа выполнена в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых МК-3279.2021.4.

### Источники

1. Современные методы обнаружения гололеда на проводах воздушных линий электропередачи. Ч. 2. Локационный метод / Р.Г. Минуллин [и др.] // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2013. № 9-10. С. 50–58.
2. Кессельман, Л.М. Основы механики воздушных линий электропередачи. М.: Энергоатомиздат, 1992. 352 с.
3. Костенко М.В., Перельман Л.С., Шкарин Ю.П. Волновые процессы и электрические помехи в многопроводных линиях высокого напряжения. М.: Энергия, 1973. 272 с.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСКОНТАКТНОЙ ИНДУКТИВНОЙ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ДЛЯ ЗАРЯДКИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

Д.Ю. Лямзина<sup>1</sup>, А.Р. Сафин<sup>2</sup>  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
<sup>1</sup>sng55555@mail.ru, <sup>2</sup>sarkazan@bk.ru

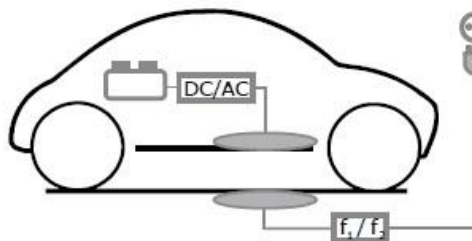
Предложена технология бесконтактной индуктивной передачи электроэнергии для зарядки электромобилей. Технология бесконтактной индукционной зарядки может внести значительный вклад в повышение популярности электромобилей, поскольку она увеличивает как удобство для пользователя, так и безопасность процесса зарядки.

**Ключевые слова:** бесконтактная индуктивная передача электроэнергии, электромобиль, зарядка аккумуляторов электромобилей.

Одним из аспектов, который в значительной степени способствует принятию и распространению электромобилей, является процесс зарядки аккумуляторов транспортных средств. В то время как процесс заправки играет второстепенную роль в обычных транспортных средствах с двигателем внутреннего сгорания, процесс зарядки приобретает все большее значение в транспортных средствах с альтернативными приводами. До сих пор водитель автомобиля с двигателем внутреннего сгорания заправлялся только несколько раз в месяц, а процесс заправки занимал всего несколько минут. С другой стороны, автомобили с чисто электрическим приводом необходимо заряжать чаще и дольше, так что удобство процесса зарядки, в частности, выходит на первый план. Бесконтактная индукционная зарядка здесь идеальна, так как она делает зарядку аккумуляторов автомобиля намного проще, удобнее и безопаснее [1].

При проводной зарядке пользователь должен заряжать свой автомобиль с помощью громоздкого и, в зависимости от емкости зарядки, толстого кабеля. Плохие погодные условия затрудняют работу с грязными, а на морозе – жесткими кабелями. Индуктивная зарядка позволяет осуществлять бесконтактную зарядку, так что водитель просто размещает свой автомобиль через зарядную станцию, установленную в полу. Кроме того, сокращаются затраты на техническое обслуживание, поскольку больше нет дефектов в линиях и разъемных соединениях из-за износа, коррозии или обрыва кабелей. Интеграция зарядных станций в инфраструктуру также предотвращает вандализм, кражи и износ.

Принципиальная схема индуктивной передачи энергии показана на рисунке.



Схематическое изображение индуктивной передачи энергии

Энергия передается через воздушный зазор между двумя катушками (на рисунке показаны овальными кружками) посредством магнитной связи. Первичная катушка заделана в асфальт как стационарная катушка. Вторичная катушка приемника расположена в днище автомобиля [2].

При разработке и использовании технологии индукционной зарядки необходимо соблюдать широкий спектр технических требований. Прежде всего, необходимо обеспечить достаточную передачу мощности через большие воздушные зазоры между зарядной станцией в земле и вторичной катушкой в автомобиле. Кроме того, механическая конструкция катушек должна быть как можно более компактной и легкой с учетом указанных ограничений места для установки. И последнее, но не менее важное: допуск по горизонтали между катушками играет важную роль с точки зрения комфорта пользователя [3].

При проектировании системы катушек, отвечающей описанным выше требованиям, необходимо учитывать большое количество геометрических степеней свободы. С одной стороны, существуют разные возможности в отношении геометрической топологии катушек. С другой стороны, важно оптимально спроектировать соответствующую топологию.

Поэтому в этой работе, с одной стороны, исследуются и сравниваются различные геометрии катушек. Путем определения индивидуальных свойств, сильных и слабых сторон можно определить оптимальные области применения (например, в отношении места для установки, стоимости или допуска положения) соответствующей топологии катушки. Для конкретной конструкции катушки необходимо множество численных расчетов, но они очень трудоемки и требуют больших вычислительных ресурсов. По этой причине в первую очередь используются планы статистических испытаний, с помощью которых можно значительно сократить усилия по моделированию. Для этого выбирается несколько проектных точек с планами испытаний по заполнению пространства,

которые затем рассчитываются численно. Затем на основе этой выборки можно сделать выводы о совокупности. Численные модели аппроксимируются с помощью математических метамоделей, так что основные взаимосвязи имитационной модели могут быть отображены с помощью аналитических функций. В частности, в этой работе используется модель гауссовского процесса. На основе этих метамоделей можно за очень короткое время детально изучить, спроектировать и оптимизировать систему бесконтактной зарядки электромобилей [4].

### **Источники**

1. Knaisch K., Huck T., Gratzfeld P. Analysis and optimization of a solenoid coupler for wireless electric vehicle charging // *Wireless Power Transfer*. 2017. Vol. 4, Is. 1. Pp. 13–20.

2. Methods for multi-disciplinary optimization and robustness analysis Software-Dokumentation «Methoden». Weimar, 2016.

3. Fraunhofer-institut für integrierte systeme und bau elemente technologie IISB: Elektroautos effizient induktiv laden [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fraunhofer.de/de/presse/presseinformationen/2014/Ag> (дата обращения: 27.09.2021).

4. A Multiresolution Gaussian Process Model for the Analysis of Large Spatial Datasets / Douglas Nychka [et al.] // *Journal of Computational and Graphical Statistics*. 2015. Vol. 24, Is. 2. Pp. 579–599.



## РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ УСТАНОВКОЙ

О.В. Маркелова<sup>1</sup>, В.Д. Сандаков<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>olyash23@mail.ru, <sup>2</sup>vitalysandakov@gmail.com

Описана конструкция вентиляционной установки, которая позволяет в короткие сроки избавиться от токсичных выделений, в особенности от углекислого газа CO<sub>2</sub>.

**Ключевые слова:** вентиляция, приточно-вытяжная установка, ирисовая диафрагма, датчик CO<sub>2</sub>, углекислый газ.

Всем давно известен факт того, что с повышением содержания углекислого газа самочувствие человека ухудшается. CO<sub>2</sub> – это неотъемлемая часть воздуха, Концентрация углекислого газа на улице составляет всего 400–450 ppm, что соответствует 0,04 % объемной концентрации. Норма уровня диоксида углерода в помещении превышает уличные значения примерно в 1,5 раза, т. е. до 600 ppm.

При концентрации CO<sub>2</sub> свыше 800 ppm в помещении уже появляются первые признаки раздражения, а именно: ощущение духоты, а при 1000 ppm, люди начинают жаловаться на качество воздуха, так как возникает сонливость, вялость, затрудненное дыхание. Превышением по санитарным нормативам является концентрация CO<sub>2</sub> свыше 1400 ppm, здесь проявляются такие признаки негативного влияния, как: дискомфорт, слабость, головная боль, возникают трудности концентрации на выполнении задач, соответственно снижается эффективность и появляется большее количество ошибок в работе. При частом и длительном нахождении в подобных условиях формируется хроническая усталость.

Критическим уровнем концентрации углекислого газа является 3000 ppm и более: проявляются признаки кислородного голодания (тошнота, учащение пульса) [1].

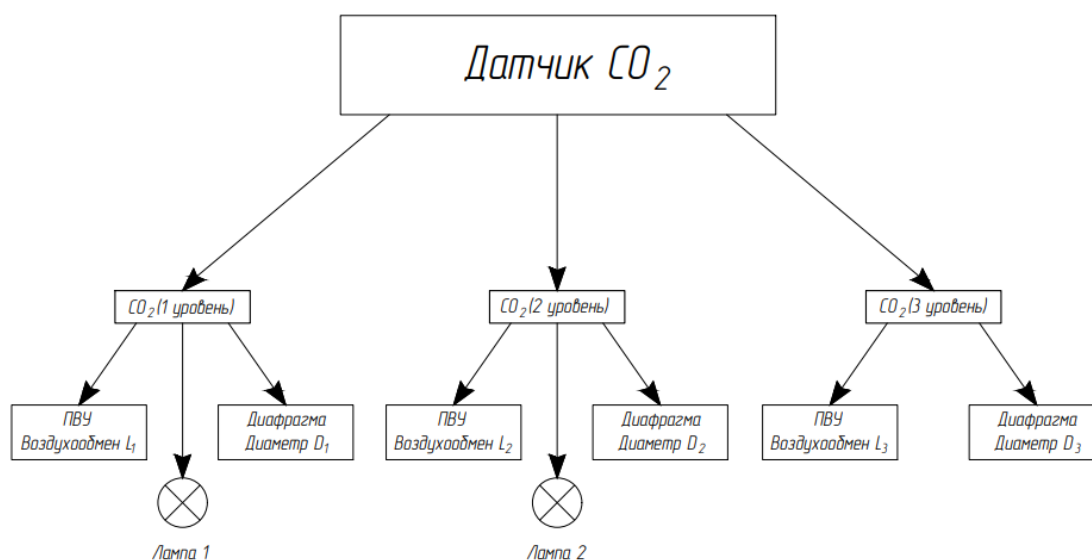
Поэтому для производственных помещений с частым скоплением людей была разработана вентиляционная установка, состоящая из: датчика измерения уровня диоксида углерода (CO<sub>2</sub>), ирисовой диафрагмы, мощной приточно-вытяжной установки, а также двух ламп, служащих индикаторами.

Ирисовая диафрагма необходима для регулирования потока воздуха и измерения его расхода в воздушных каналах круглого сечения, а также для поддержания постоянного давления в системе и для дополнительного охлаждения приточного воздуха в летнее время [2].

Приточно-вытяжная установка с рекуперацией обеспечивает контролируемый способ вентиляции помещения при минимизации потерь энергии. Системы вентиляции с рекуперацией представляют собой каналные вентиляционные системы, состоящие из двух вентиляторов – одного для всасывания воздуха снаружи и одного для удаления застоявшегося воздуха внутри [3, 4].

Датчик измеряет уровень  $CO_2$  в помещении в ppm, передает сигнал на ирисовую диафрагму, диаметр диафрагмы ( $D$ , где  $D_1 < D_2 < D_3$ ) расширяется или сужается в зависимости от концентрации  $CO_2$ . Также датчик подает сигнал на приточно-вытяжную установку, регулируя воздухообмен ( $L$ , где  $L_1 < L_2 < L_3$ ) изменением частоты вращения лопастей вентилятора. В составе установки присутствуют 2 индикатора в виде ламп, каждый из которых показывает свыше какой концентрации в данный момент  $CO_2$ .

Блок-схема автоматизации управления системы вентиляционной установкой изображена на рисунке.



Блок-схема автоматизации управления системы вентиляционной установкой

Разработанная автоматизированная система направлена на уменьшение энергозатрат, поддержание оптимальных показателей воздуха в помещении, улучшение самочувствия работников, следовательно, на более эффективную работу предприятия.

## Источники

1. Абдуллин И.Н. Содержание углекислого газа в помещениях и его влияние на организм человека // Закономерности и тенденции развития науки в современном обществе: матер. науч.-практ. конф. Уфа, 2015. С. 3–5.
2. Ирисовая диафрагма: пат. 2281539 Рос. Федерация № 2005106469/28; заявл. 11.03.2005; опубл. 10.08.2006, Бюл. № 22.
3. Бодров В. И., Махов Л. М., Троицкая Е. В. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха производственных зданий сельхозназначения: учеб. пособие для вузов. М.: Изд-во АСВ, 2014. 240 с.
4. Рэндалл М. Руководство по обслуживанию и диагностике систем кондиционирования воздуха. – М.: Алфамер Паблишинг, 2008. 176 с.
5. Ivanova V.R., Denisova A.R., Ivanov I.Y. Automation and control of the main elements of the electrotechnical system of biogas equipment // Proc/ of the International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems. 2020. Pp. 190–196.
6. Рудаков А.И., Фаттахов И.И., Максимова В.А. Повышение импульсных генерирующих систем за счет использования электромагнитного резонанса // Энергоэффективность и энергобезопасность производственных процессов: матер. V Всерос. науч.-техн. конф. студ., магистр., асп. Тольятти, 2019. С. 124–128.

## СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ РАБОТОЙ ОСНОВНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛИЦЫ

М.Н. Маслахова<sup>1</sup>, Н.В. Роженцова<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>milauch@mail.ru, <sup>2</sup>natalia15969@yandex.ru

Автоматическая система управления микроклиматом в теплицах является довольно значимой и перспективной областью для реализации, приносящее очевидную выгоду за счет экономии рабочей силы и улучшения качества выращиваемой продукции.

**Ключевые слова:** теплица, автоматизация, внешние факторы, датчик влажности почвы, датчик температуры воздуха

Теплица – это каркасная конструкция, имеющее светопропускающие покрытие, которое допускает максимальное проникновение света для выращивания сельскохозяйственных культур. Структура теплицы представляет собой как барьер для прямого контакта с внешней средой, так и сдерживание внутренней среды, подлежащее контролю.

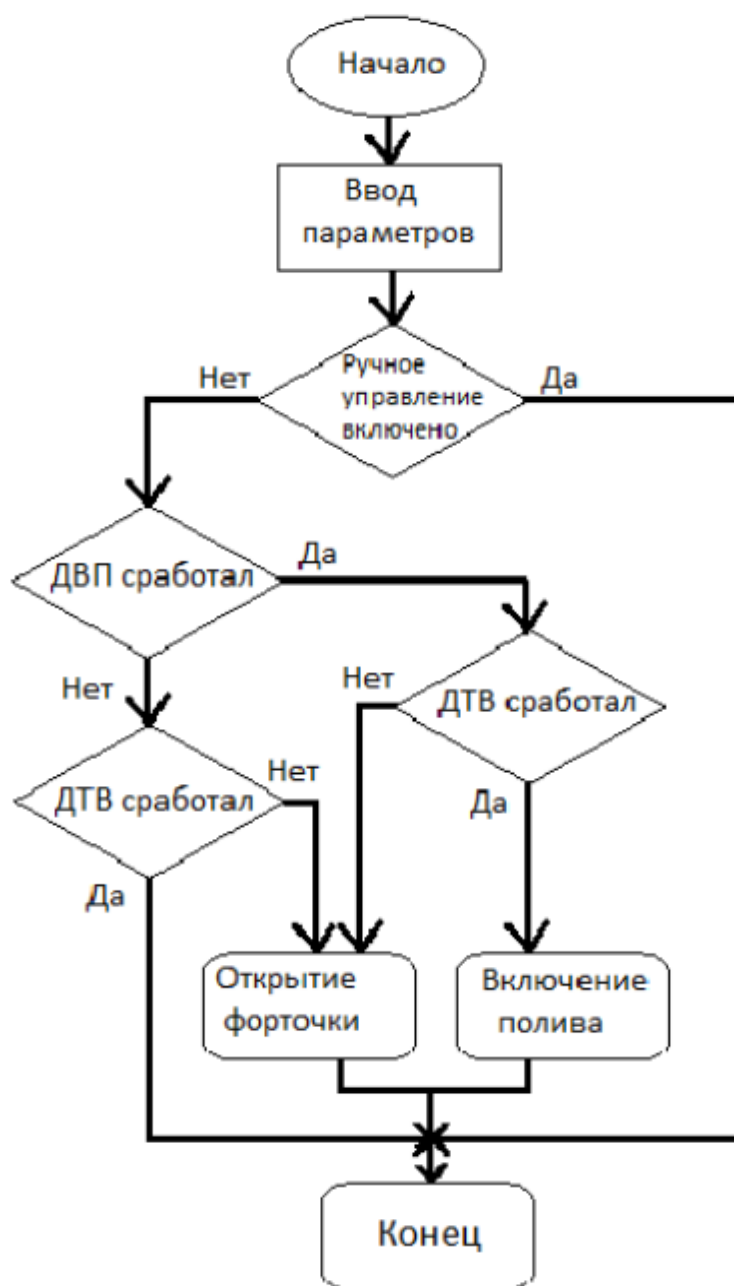
На сегодняшний день именно теплицы являются отличной защитой от неблагоприятных погодных условий, но многие не понимают, что внешние факторы оказывают значительное влияние на то, что происходит с вашими растениями внутри теплицы.

Существуют оптимальные условия, которые благоприятно влияют на рост культур. К вышесказанным условиям относятся не только в температуре воздуха, но и в сочетании нескольких факторов, влияющих на рост растений, таких как тепло, влажность, уровень освещенности и вентиляция. Поддержание факторов окружающей среды на оптимальном уровне упрощается за счет использования автоматизации.

В данной работе теплица предназначена для выращивания овощных культур, как томаты и огурцы.

После проведения обзора литературы, можем сделать вывод о том, что в теплице должна поддерживаться температура не выше 25 градусов и влажность почвы не ниже 60 %. Так же нужно учесть то, что при высокой температуре нельзя поливать растения, так как это может погубить их.

Для того чтобы следить за параметрами в теплице необходимо установить 2 датчика: датчик влажности почвы (ДВП) и датчик температуры воздуха (ДТВ) в теплице: ДВП срабатывает при значении меньше 60 %, ДТВ – при значении меньше 25 °С.



Алгоритм автоматизированной системы управления работой основных физических параметров теплицы

Полностью автоматизированные системы управления теплицами приносят очевидную выгоду, такую как экономия рабочей силы, но, что гораздо важнее, они позволяют улучшить качество продукции за счет чего увеличивают прибыль в несколько раз.

Так же с помощью устанавливаемых датчиков идёт непрерывный контроль, который передаётся и анализируется в контроллере. С помощью контроллера, сигналы подаются на автоматику для поддержания нужных условий для культур, что позволяет оставлять слишком требовательное

к условиям растения без присмотра на неопределённый срок. Система анализирует изменения в микроклимате внутри теплицы и реагирует на них активируя те или иные компоненты системы, что позволяет удерживать условия выращивания продолжительный период времени.

### **Источники**

1. Шишкин П.В., Олейников В.О. Полностью закрытая теплица с технологией поддержания параметров микроклимата на основе управления разделенными воздушными потоками (технология CODA Control Of Devided Airflows) // Теплицы России. 2016. № 2. С. 15–20.

2. Гиш Р.А., Карпенко Е.Н. Модернизация и совершенствование управления параметрами микроклимата – основа теплиц V поколения // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета КубГау. 2016. № 123 (09). С. 1929–1951.

3. Чебанов Т.Л., Рябощук Ю.А., Малеванный В.Ю. Область рационального применения технологии строительства мобильных теплиц // Строительное производство. 2017. № 62/1. С. 121–127.

4. Деменков Н.П. Системы автоматического управления на основе программируемых логических контроллеров // SchneiderElectric. 2016. Вып. 16. 81 с.

5. Исследование работоспособности и качества функционирования трансформаторного оборудования электротехнических систем / А.Р. Денисова [и др.] // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2020. Т. 22, № (3). С. 23–35.

6. Фетисов Л.В., Роженцова Н.В., Булатова О.А. Повышение качества электрической энергии в сетях низкого напряжения // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2018. Т. 20, № 11-12. С. 99–106.

## ОПТИМИЗАЦИЯ ОРГАНИЗАЦИИ РЕМОНТОВ ОБОРУДОВАНИЯ

Е.А. Маслов

ФГБОУ ВО «СамГТУ», г. Самара

egor-maslov-1997@mail.ru

Подход к организации ремонтов оборудования основан на заявленных производителем показателях надежности, что без учета особенностей эксплуатации является неэффективным. Проведен анализ изменения вероятности безотказной работы оборудования с учетом изменения интенсивности отказов оборудования ввиду воздействия на него случайных факторов. Получена модель, позволяющая пересмотреть подход к организации ремонтов для повышения их эффективности. Применение переменных поправочных коэффициентов интенсивности отказов оборудования при определении вероятности безотказной работы оборудования значительно повысит качество ремонтов при незначительном изменении количества плановых ремонтов и значительном сокращении числа аварий.

**Ключевые слова:** ремонты, оптимизация, интенсивность отказов, безотказная работа, график ремонтов.

Ремонт оборудования играет важную роль в обеспечении надежной работоспособности всей электроэнергетической системы в целом. Однако, организация ремонтов на предприятиях энергетической отрасли, эксплуатирующих оборудование, часто, не эффективно. Агрегаты ремонтируются согласно графику ремонтов, независимо от того, с какой интенсивностью и при каких условиях они эксплуатировались. График ремонтов закладывается, преимущественно, на стадии подбора оборудования, с учетом нормальных условий эксплуатации, как следствие, анализируя показатели надежности, заявленные производителем, принимается решение о периодичности проведения ремонтов и технического обслуживания.

Вероятность безотказной работы (1) подчиняется экспоненциальному распределению (рис. 1) [1]:

$$P(t) = e^{-\lambda t}, \quad (1)$$

где  $\lambda$  – интенсивность отказов оборудования.



Рис. 1. Вероятность безотказной работы

Ремонт оборудования позволяет частично восстановить его первоначальные свойства, тем самым повысив вероятность безотказной работы в данный момент времени и краткосрочной перспективе [2]. График экспоненциального распределения вероятности безотказной работы с учетом ремонтов приведен на рис. 2.

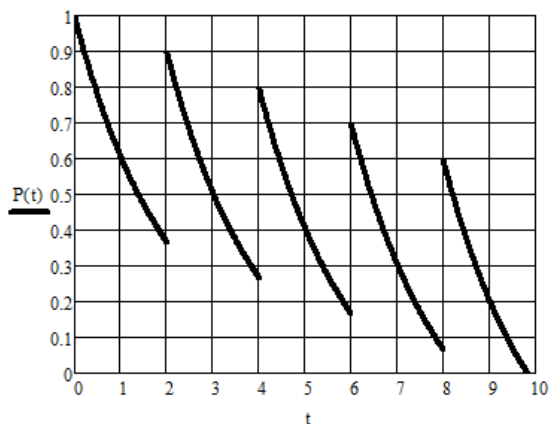


Рис. 2. Вероятность безотказной работы с учетом ремонтов

Стоит отметить, что данный подход, применяемый в большинстве случаев сейчас, не отражает реальных условий эксплуатации оборудования. Интенсивность отказов одного и того же оборудования при различных условиях эксплуатации, даже в пределах нормальных, заявленных производителем, тоже различается. Исходя из этого, следует вывод, что нельзя считать интенсивность отказов конкретного оборудования постоянной величиной на протяжении всего времени эксплуатации агрегата [3]. График экспоненциального распределения вероятности безотказной работы с учетом переменной интенсивности отказов, учитывающей условия эксплуатации оборудования, приведен на рис. 3.



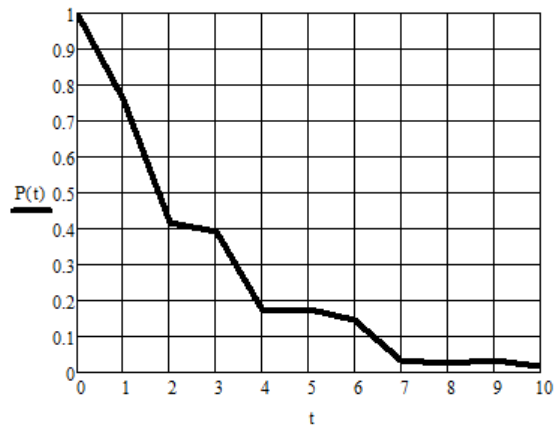


Рис. 3. Вероятность безотказной работы с переменной интенсивностью отказов

Из графика видно, на отдельных участках характеристики, значения вероятности безотказной работы с учетом переменной интенсивности отказов значительно различаются с графиком при постоянном значении данной величины. Введем ремонты оборудования при достижении вероятности безотказной работы 60 % (рис. 4).

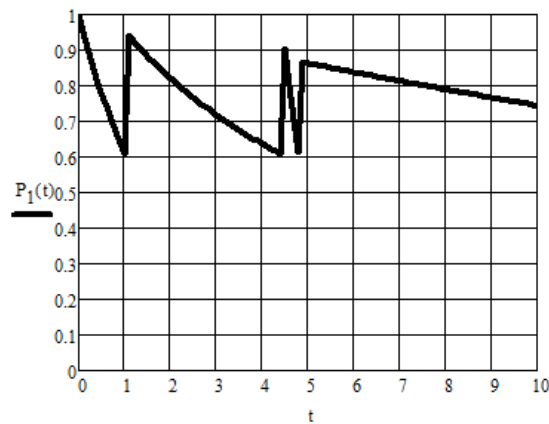


Рис. 4. Вероятность безотказной работы с переменной интенсивностью отказов с учетом ремонтов

Из графика видно, планирование ремонтов, основываясь на снижении вероятности безотказной работы с учетом фактической интенсивности отказов, оптимизирует организацию ремонтов, поскольку ремонтироваться будет именно то оборудование, которое нуждается в обслуживании. Такой подход возможен с применением эксплуатационных поправочных коэффициентов в формуле вероятности безотказной работы:

$$P(t) = e^{-\lambda \alpha t}, \quad (2)$$

где  $\alpha$  – поправочный эксплуатационный коэффициент.

Таким образом, ремонты оборудования должны планироваться исходя из эксплуатационных особенностей, такие как интенсивность работы в пределах нормальных условий, интенсивность и частота перегрузов и их особенность, условия окружающей среды. Подобные изменения в подходе к ремонту оборудования возможны лишь при тесном взаимодействии служб, занимающихся ремонтом оборудования и служб, эксплуатирующих его. В свою очередь, оптимизация взаимодействия служб приведет и к оптимизации организации ремонтов, а именно, производству ремонтов и технического обслуживания оборудования, когда оно действительно необходимо. Как следствие, это приведет к снижению количества аварийных ремонтов при относительно неизменном количестве плановых, что, в конечном итоге, повысит надежность энергоснабжения потребителей и снизит аварийность на объектах электроэнергетической отрасли.

### **Источники**

1. Черняк М.Ю., Эльберг М.С. Надежность технических систем: методические указания к изучению курса. Красноярск, 2017. 55 с.
2. Беляев С.А., Литвак В.В., Солод С.С. Надежность теплоэнергетического оборудования ТЭС: учебное пособие. Томск: Изд-во НТЛ, 2008. 218 с.
3. Ветошкин А.Г., Марунин В.И. Надежность и безопасность технических систем: учебное пособие. Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2002. 129 с.

## РАЗРАБОТКА СПОСОБА ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СОЛНЕЧНОЙ УСТАНОВКИ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА

Н.П. Местников<sup>1</sup>, А.М.-Н. Альзаккар<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «СВФУ им. М.К. Аммосова», г. Якутск,

<sup>1</sup>ФГБУН ФИЦ «ИФТПС им. В.П. Ларионова СО РАН», г. Якутск

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

<sup>1</sup>sakhacase@bk.ru

Представлен способ повышения электроэнергетической эффективности для защиты фотоэлектрической солнечной установки от поверхностного загрязнения в условиях Севера с применением различного силового, автоматического, регистрирующего и вычислительного электрооборудования. Также представлены результаты практической реализации данного способа повышения электроэнергетической эффективности данной электроустановки.

**Ключевые слова:** фотоэлектрическая установка, поверхностное загрязнение, мониторинг работы, жидкое покрытие и Север.

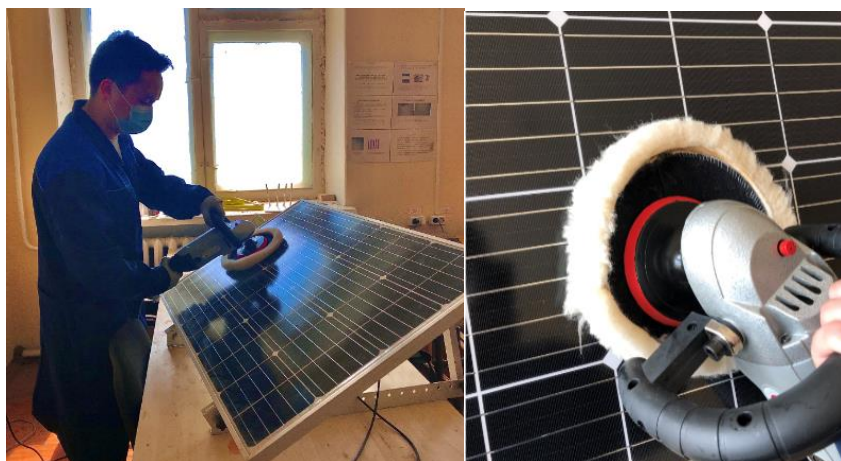
В настоящий момент электроснабжение различных видов потребителей Севера и Арктики производится с помощью объектов автономной генерации, а именно дизель-генераторных и газотурбинных установок. Однако уровень развития транспортной инфраструктуры Севера и Арктики находится на низком уровне, которая обосновывается в виде практического отсутствия круглогодичных автомобильных дорог и железнодорожной магистрали. В этой связи перевозка комплектующих и горюче-смазочных материалов производится с помощью речной навигации, где средний срок доставки составляет до 2,5 лет, а удельная стоимость комплектующих и ГСМ увеличивается до 200%.

В рамках решения данной проблемы необходимо применение объектов ВИЭ в целях экономии ГСМ, снижения изношенности основных мощностей и повышения надежности электроснабжения.

В настоящий момент местная энергетическая компания АО «Саха-энерго» успешно эксплуатирует более 20 солнечных электростанций, размещенные на северной части Якутии. Однако во время эксплуатации данных объектов зафиксирована значительная концентрация взвешенных веществ в виде пылевого загрязнения поверхности солнечных панелей,

которые снижают мощность генерации до 44,15 % [1, 2]. В связи с этим создается необходимость поиска методов и способов снижения влияния поверхностного загрязнения на работы солнечных панелей.

Авторами статьи собрана экспериментальная установка «СЭ-10-М» с функцией мониторинга и регистрации данных [3–5] и применено жидкое покрытие на основе силикона в целях нанесения на поверхность солнечной панели, где на рисунке представлена процедура полирования.



Процедура полирования солнечной панели

Затем после полирования поверхности солнечной панели произведено размещение объекта на открытом пространстве в целях образования поверхностного загрязнения в течение 15 календарных дней с последующим 24-часовым и 30-минутным мониторингом работы «СЭ-10-М» при двух случаях, а именно с загрязненной и чистой поверхностью.

В таблице представлено сравнение показателей работы фотоэлектрической установки «СЭ-10-М» в виде мониторинга.

Сравнение показателей снижения мощности генерации

| Параметр                    | При наблюдениях в течение 24 ч | При наблюдениях в течение 30 мин |
|-----------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| Снижение мощности генерации | 9,11                           | 8,21                             |
| Разность                    | 0,90                           |                                  |

На основании вышеизложенного авторами статьи разработан способ защиты фотоэлектрической солнечной панели от поверхностного загрязнения, где показатель снижения генерации составляют, всего лишь, от 8,21 до 9,11 %.

## Источники

1. Местников Н.П. Исследование влияния резко-континентального климата Севера на работу поликристаллической солнечной панели // EurasiaScience : сб. ст. XXXVII Междунар. науч.-практ. конф. Москва, 2021. С. 72–74.
2. Местников Н.П., Альзаккар А.М.-Н. Исследование влияния холодного климата Якутии на функционирование монокристаллической солнечной системы генерации электроэнергии // Тинчуринские чтения – 2021 «Энергетика и цифровая трансформация» : матер. Междунар. молод. науч. конф. / под общ. ред. Э.Ю. Абдуллазянова. Казань, 2021. Т. 2. С. 256–260.
3. Васильев П.Ф., Местников Н.П. Исследование влияния резко-континентального климата Якутии на функционирование солнечных панелей // Международный технико-экономический журнал. 2021. № 1. С. 57–64.
4. Исследование возможности применения фотоэлектрических солнечных установок внутри купольного строения в условиях Севера / Н.П. Местников [и др.] // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2021. Т. 25, № 4 (159). С. 435–449.
5. Местников Н.П., Васильев П.Ф., Альхадж Ф.Х. Разработка гибридных систем электроснабжения для энергоснабжения удаленных потребителей в условиях Севера и Арктики // Международный технико-экономический журнал. 2021. № 1. С. 47–56.

## ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА ВТОРИЧНОЙ ЭНЕРГИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ СИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ ЦЕЛЛЮЛОЗНО- БУМАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Д.С. Музюкова  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
diana7035@yandex.ru

Предложен усовершенствованный подход к методике термодинамического анализа с введением критериев выбора наиболее энергоэффективного варианта системы рекуперации вторичной энергии для конкретной энергетической системы.

**Ключевые слова:** термодинамический анализ, вторичная энергия, энергоэффективность.

В энергетических балансах предприятий особенно энергоемких отраслей значительное место занимают вторичные энергетические ресурсы (ВЭР) [1]. Под вторичными энергоресурсами понимают энергетический потенциал отходов продукции, побочных и промежуточных продуктов, образующихся в теплотехнологических установках, который может быть частично или полностью использован для энергоснабжения других установок или же в самом аппарате.

Для оценки потенциала ВЭР применяют термодинамический анализ, позволяющий проанализировать процесс преобразования теплоты в полезную работу, рассчитать потери работоспособности тепловых потоков, выявить потоки вторичной энергии с наибольшей работоспособностью для их дальнейшей регенерации [2].

Термодинамический анализ направлен на определение степени термодинамического совершенства промышленных, энергетических систем, их элементов и при организации систем генерации вторичной энергии может быть использован для выбора эффективного варианта системы с учетом возможностей использования потенциала имеющейся сбросной энергии на конкретном объекте.

При проведении термодинамического анализа предлагается ввести дополнительный этап с целью формирования объективной оценки эффективности утилизации имеющихся на предприятии вторичных ресурсов. Задача оценки эффективности отдельных элементов в составе объединяющей их системы решается введением в методику анализа термодинамической эффективности теплотехнологических схем такого критерия эффективности как коэффициента системного использования (КСИ) [3].

Применение КСИ позволяет определить долю использования в системе подведенной к объекту теплоты. Предлагается при расчёте КСИ не вычитать  $Q''_{ВЭР}$  (поток теплоты ВЭР, которую невозможно использовать в системе) из числителя, что позволит приблизить КСИ к КПД при использовании всех возможных ВЭР и сделать выбор в пользу более энергоэффективного варианта утилизации.

Следовательно, формула примет вид:

$$\begin{aligned} \text{КСИ}_Q &= \frac{\sum Q^{**}}{\sum Q^*} = \frac{\sum Q^* - \sum D}{\sum Q^*} = \\ &= \frac{\sum Q^* - (\sum Q_{\Pi} + \sum Q'_{сбр1} + \sum Q'_{сбр2} + \sum Q''_{сбр})}{\sum Q^*}, \end{aligned}$$

где  $\sum Q^*$  – подведенная к объекту теплота;  $\sum Q^{**}$  – полезно используемая теплота,  $\sum Q_{сбр}$  – теплота с отведенными из объекта потоками вещества (в частности, со вторичными энергоресурсами),  $\sum Q_{\Pi}$  – потери теплоты,  $\sum D$  – суммарные потери.

В качестве объекта термодинамического анализа и оценки термодинамической эффективности рассматривается целлюлозно-бумажное производство. В результате проведения термодинамического анализа данного производства получено, что среди отводимых потоков схемы часть потоков сбрасывается в окружающую среду. Среди них присутствуют тепловые потери, которые можно полезно использовать и потери, которые невозможно использовать в системе. Эксергетические потери в элементах системы составили 925 кВт оборотной воды, 11,63 кВт летучих веществ, 599,23 кВт отработанного влажного воздуха и 1329,23 кВт конденсата.

Далее рассматривается возможность возврата энергии этих потоков в данную схему. У аппаратов, в которых не происходит тепломассообмена, КПД высок, следовательно, нет необходимости производить их модернизацию. А у таких аппаратов как прессовая и сушильная часть бумагоделательной машины, КПД значительно ниже. Поэтому следует производить модернизацию именно этих аппаратов, а именно осуществить в данные аппараты возврат энергии потоков наибольшего эксергетического потенциала [4]. Поток конденсата ранее находил применение в рассматриваемой схеме в системе сбора и возврата конденсата, поэтому в предла-

гаемой системе возврата потоков не рассматривается. Теплоту потока отработанного влажного воздуха предлагается использовать для доведения параметров отработанного влажного воздуха до требуемых параметров греющего сухого воздуха. В результате возврата потока воздуха в процесс сушки эксергетический КСИ участка возрос с 49,5 до 65,6 %.

### **Источники**

1. Картавец С.В. Теплоэнергетические системы и энергетические балансы промышленных предприятий. Магнитогорск, 2017. 155 с.
2. Юшкова Е.А., Лебедев В.А. Потоки энергии и эксергии // Молодой ученый. 2017. Вып. 12 (146). С. 106–109.
3. Perfection of the methodology for developing industrial secondary energy generation systems / L.V. Plotnikova [et al.]. DOI: 10.1088/1755-1315/288/1/012069 // IOP conference series: Earth and environmental science. 2019. Vol. 288.
4. Дыскин Л.М., Грималовская И.П. Эксергия сжатого воздуха // Приволжский научный журнал. 2018. № 3. С. 46–49.



## ИЗМЕРЕНИЯ TRUE RMS ЗНАЧЕНИЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С ПОМОЩЬЮ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА

Р.Р. Назипов, С.Ю. Ситников  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
<sup>1</sup>therokzn@mail.ru, <sup>2</sup>sitnikov.sy@kgeu.ru

Рассмотрен способ измерения TrueRMS значений переменного тока с использованием микроконтроллера.

**Ключевые слова:** микроконтроллер, параметры тока, RMS-значения.

Величину переменного напряжения или тока, в большинстве случаев, выражают его среднеквадратичным значением и измеряют приборами электромагнитного типа или специальными среднеквадратичными измерителями. Для измерения переменного напряжения или тока несинусоидальной формы необходимо применять приборы категории TrueRMS.

Измерение TrueRMS переменного напряжения – задача не совсем простая. Обычно приходится измерять не чисто синусоидальный ток, а более сложный по форме ток, что обусловлено наличием гармоник и шумов [1].

Что заставляет нас измерять действующее значение, а не средневыпрямленное или какое-либо иное? Большинство электронных вольтметров начального уровня измеряют переменные ток и напряжение по средневыпрямленному значению. Схема измерения при этом такая: за один период переменного тока делается выборка из  $N$  значений амплитуды тока. Полученные значения суммируются без учета знака, затем усредняются (путем деления на  $N$ ). Далее усреднённый результат умножается на коэффициент:

$$\frac{2\sqrt{2}}{\pi} \quad (1)$$

Указанный коэффициент определяет зависимость действующего значения синусоидального сигнала от средневыпрямленного.

Этот подход к измерению прост, не требователен к ресурсам микроконтроллера (память и быстродействие). Однако большая ошибка измерения на несинусоидальных сигналах во многих случаях препятствует использованию такой методики [2].

Изменение напряжения и тока промышленной сети является тривиальной задачей вследствие синусоидальной формы сигнала и частоты 50 Гц. Однако, на практике, вследствие влияния различных факторов (например, подключение к сети нелинейных и импульсных нагрузок), а также применения инверторов с квазисинусоидальным выходным напряжением, синусоида напряжения в сети либо значительно искажается, либо вообще заменяется трапецевидными импульсами.

В таких квазисинусоидальных инверторах напряжение, на выходе, измеренное дешевым вольтметром, может быть равно 175–210 В, в то время как действующее (эффективное) напряжение будет равно ожидаемым 220 В.

Заметим, что именно действующие значения тока и напряжения определяют работу электрической системы. Например, электронагреватель выделяет тепло в прямой зависимости от действующих значений напряжения и тока) [1].

Как же тогда измерить такой ток? Необходимо вычислить его среднеквадратичное значение. Напряжение квазисинусоидальной формы имеет, тем не менее, период  $T$ . Преимущество измерения среднеквадратичного значения тока и напряжения в том, что время измерения не играет большой роли. Длительность измерения влияет только на полосу частот измерения [1].

Большее время измерения даёт большее усреднение. Меньшее время даёт возможность зафиксировать кратковременные всплески. Определение среднеквадратичного значения напряжения выглядит следующим образом:

$$U_q = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} \quad (2)$$

где  $u(t)$  – мгновенное значение напряжения;  $T$  – период измерения.

После процесса дискретизации интеграл заменится суммой отсчетов:

$$U_q = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=0}^N U_i^2} \quad (3)$$

Формула (3) означает, что производится выборка нескольких квантованных по уровню значений за период изменения сетевого напряжения, их квадраты суммируются, сумма усредняется делением на количество точек за период. Из полученного результата извлекается квадратный корень [1].

Но есть несколько сложностей в таких измерениях.

1) каждый период точки выборки набираются заново, что увеличивает погрешность измерения;

2) в реальной сети, около нуля напряжения, могут встречаться как «нулевые полки», так и повторные переходы через ноль напряжения, что вносит значительную погрешность в измерение.

Первую проблему нивелируют измерением суммы квадратов точек выборки за каждый полупериод, после чего суммируют  $n$ -ю сумму квадратов.

Второй пункт можно обойти введением зон нечувствительности по напряжению в обе стороны, а также зон нечувствительности по частоте (ограничив допустимую частоту сигнала напряжения).

Таким образом, мы получим рассчитанное значение действующего значения сетевого напряжения за период на каждом полупериоде сетевого напряжения:

$$U_q = \sqrt{\frac{1}{N_1 + N_2} \left( \sum_{i=0}^{N_1} U_i^2 + \sum_{j=0}^{N_2} U_j^2 \right)} \quad (4)$$

Ниже на рисунке приведен алгоритм, который может быть реализован в микроконтроллерном измерителе категории TrueRMS на платформе STM32 для случая измерения величины переменного напряжения промышленной частоты 50 Гц [1].

В микроконтроллерном измерителе старт измерения запускается по любому внешнему прерыванию. После запуска сначала измеряется постоянная составляющая на входе АЦП, затем микроконтроллер переходит в ожидание положительного перепада на выходе компаратора. Как только наступает прерывание по перепаду, микроконтроллер делает выборку из 20 точек, с временным шагом, соответствующим  $1/20 T$ . Чтобы измерение происходило в правильные моменты времени, необходимо учитывать время задержки контроллера [3]. Быстродействие выбранной платформы (STM32) многократно превышает необходимое для измерения тока и напряжения промышленной частоты.

После того, как создана выборка, имеем массив из 11 значений, включая «нулевое» значение. Применяя формулу Симпсона для численного интегрирования, получим следующее выражение:

$$S = \frac{h}{3} \left( 2 \sum_{i=1,2}^9 [U'(i) - U_0]^2 + 4 \sum_{i=2,2}^8 [U'(i) - U_0]^2 + [U'(10) - U_0]^2 \right) \quad (5)$$

где  $h$  – шаг измерения. Нулевой компонент формулы отсутствует, поскольку он равен 0.



Алгоритм измерения истинного среднеквадратичного значения переменного напряжения

В итоге получим значение интеграла в форме отсчётов АЦП. Для получения реальных чисел полученные значения нужно нормировать с учётом величины опорного напряжения АЦП и поделить на интервал времени интегрирования. Далее нужно извлечь квадратный корень из полученного значения [4].

## Источники

1. «Метод измерения действующего значения напряжения с применением МК» [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/post/193022/> (дата обращения: 17.09.2021).
2. «Истинное среднеквадратичное значение» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.kipis.ru/info> (дата обращения: 16.09.2021).
3. Хофманн М. Микроконтроллеры для начинающих / пер. с англ. А.В. Евстифеева. М.: Додэка XXI, 2017. С. 25–27.
4. Лихачев В. Электротехника. Практическое пособие. М.: Солон-пресс, 2020. С. 151–153.

## ПРИНЦИП ЧАСТОТНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ АСИНХРОННОГО ПРИВОДА НАСОСОВ КАНАЛИЗАЦИОННОЙ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

М.А. Немцева

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

nemceva99@gmail.com

Представлена функциональная схема системы асинхронного привода с частотно-параметрическим регулированием скорости вращения. Описан принцип работы системы частотно-параметрического регулирования. Представлена механическая характеристика асинхронного двигателя (АД) с короткозамкнутым ротором при частотно-параметрическом регулировании.

**Ключевые слова:** частотно-параметрическое регулирование, асинхронный двигатель, частота, преобразователь частоты.

Система частотно-параметрического регулирования асинхронного привода канализационной насосной станции позволяет регулировать следующие параметры [1]:

- ступенчатое поддержание уровня стоков в резервуаре, путем плавного регулирования работы АД (привода насосов)[3];
- поддержание скорости вращения двигателей, соответственно и насосов [5];
- скорость циркуляции воздуха в КНС, путем регулирования скорости вращения привода вентиляторов.

Принцип регулирования скорости вращения АД наглядно можно рассмотреть на рис. 1.

Скорость вращения АД регулируется при помощи преобразователя частоты [2].

На функциональной схеме в канал регулирования напряжения подключается функциональный преобразователь (ФП), обеспечивающий необходимое соотношение напряжения и частоты. Чтобы компенсировать падение напряжения в преобразователе частоты (ПЧ) выполнен замкнутый

контур для регулирования напряжения с обратной связью по напряжению и РН. Регулятор напряжения (РН) служит для ограничения напряжения при выходе частоты статора за пределы 50 Гц, для того чтобы напряжение оставалось номинальным [4].

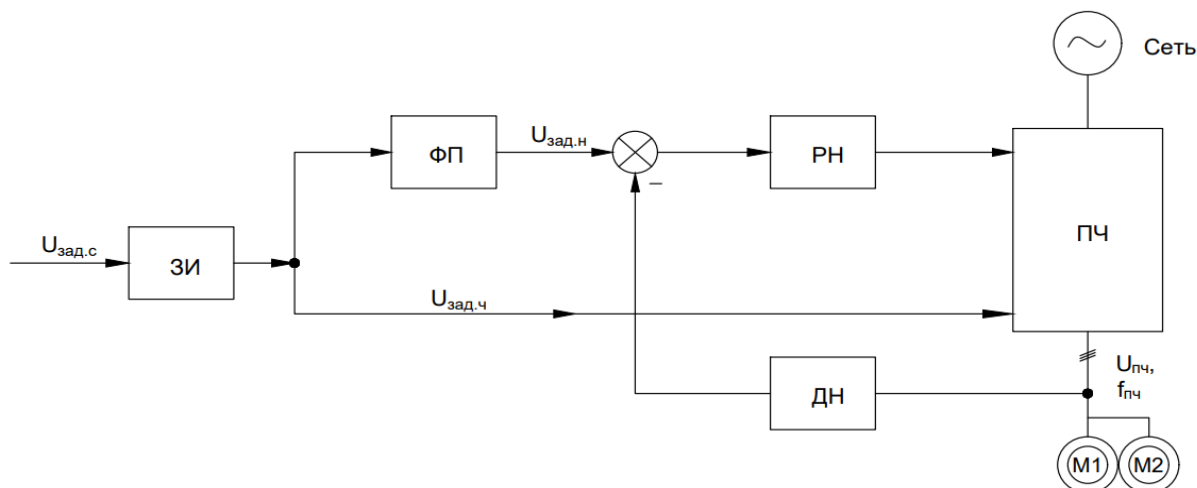


Рис. 1. Функциональная схема системы асинхронного привода с частотно-параметрическим регулированием

На приведенной схеме:

$U_{\text{зад.с}}$  – сигнал задания скорости;

$U_{\text{зад.ч}}$  – сигнал задания частоты;

$U_{\text{пч, f}_{\text{пч}}}$  – напряжение и частота на выходе из преобразователя.

В данной схеме чтобы поддерживать поток статора в канал задатчика интенсивности (ЗИ) приводится положительная обратная связь по току статора. Для того, чтобы увеличить диапазон регулирования и повысить точность регулирования можно предусмотреть обратную связь по скорости вращения. Обратную связь по скорости добавляют в случае необходимости высокой точности, в рассматриваемом технологическом процессе высокая точность не требуется.

Не учитывая обратную связь по скорости, получим следующую передаточную функцию АД:

$$W(p) = \frac{1}{T_M T p^2 + T_M p + 1}$$

На рис. 2 представлена механическая характеристика АД с короткозамкнутым ротором при частотно-параметрическом регулировании.

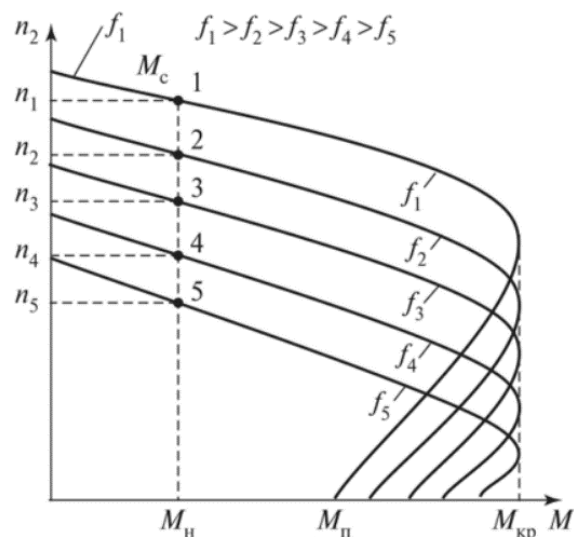


Рис. 2. Механическая характеристика АД при частотно-параметрическом регулировании

### Источники

1. Анучин А.С. Системы управления электроприводов. Вологда: Инфра-Инженерия, 2015. 373 с.
2. Москаленко В.В. Системы автоматизированного управления электропривода. Вологда: Инфра-Инженерия, 2016. 208 с.
3. Рутьнов А.А. Автоматизация систем водоснабжения и водоотведения: учеб. М.: ИНФРА-М, 2012. 205 с.
4. Юдович В.И. Энергосбережение и автоматизация производства в теплоэнергетическом хозяйстве города. Частотно-регулируемый электропривод: учеб. пособие. СПб.: Лань, 2013. 176 с.
5. Фетисов Л.В., Низамутдинов Р.Р., Шайхиев И.Г. Энергосбережение в электроприводе аэрационных установок очистных сооружений биологической очистки сточных вод // Вестник технологического университета. 2016. Т. 19, № 5. С. 158–160.
6. Сандаков В.Д., Подрезов А.Н., Валеев И.М. Повышение производительности установок очистки при воздействии на газовую среду ультрафиолетовым излучением // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2015. № 3-4. С. 96–100.
7. Рудаков А.И., Роженцова Н.В., Денисова А.Р. Современные технические средства повышения энергоэффективности водокольцевых машин // Промышленная энергетика. 2014. № 5. С. 27–30.



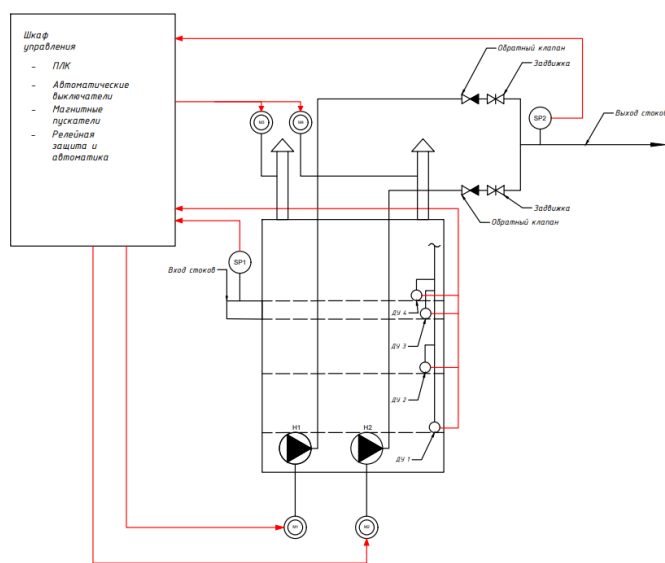
## РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НАСОСНОЙ СТАНЦИЕЙ С ДВУМЯ НАСОСАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЯЗЫКА НЕПРЕРЫВНЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СХЕМ СFC

М.А. Немцева  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
nemceva99@gmail.com

Рассмотрена функциональная схема работы канализационной насосной станции (КНС) с двумя насосами и четырьмя поплавковыми датчиками уровня (ДУ). Представлена разработанная программа автоматизированной системы управления КНС в программе Codesys 2.3 на языке непрерывных функциональных схем SFC, основанном на графическом языке FBD стандарта МЭК 61131-3.

**Ключевые слова:** канализационная насосная станция, датчик уровня, автоматизированная система управления, программируемый логический контроллер (ПЛК).

КНС с двумя насосами – это установка, которая откачивает воду из резервуара в автоматическом или ручном режиме, при этом один из насосов называется рабочим, а второй резервным и включается лишь в том случае, когда рабочий насос перестает справляться со своей задачей (рис. 1). Сама насосная станция используется для перекачки ливневых, промышленных или хозяйственно-бытовых сточных вод, тогда, когда невозможно отведение стоков самотеком [1, 2].



Функциональная схема КНС

Управление насосами будет осуществляться контроллером ПЛК150 с интерфейсом связи RS-232, RS-485 и Ethernet производство ОВЕН [3]. Контроллер имеет 6 дискретных входов, 4 аналоговых входа и 4 дискретных выхода [4].

Регулирование работы КНС может производиться по двум режимам: ручной и автоматический.

В ручном режиме насосы включаются и отключаются оператором при включенном положении «ручной режим управления». Возможна установка выдержки времени включения насосов. На каждый насос соответственно имеется своя кнопка пуск или общая кнопка пуска для одновременного включения обоих насосов. Остановка насосов также осуществляется путем нажатия кнопки стоп каждого насоса отдельно или если кнопка «Стоп» общая, то остановка производится одновременно обоих насосов.

В автоматическом режиме насосы включаются в зависимости от срабатывания датчиков уровня [5]:

1. При срабатывании самого нижнего ДУ 1 на шкаф управления придет сигнал о том, что резервуар начинает наполняться сточной водой. Сигнал ДУ 1 – это сигнал готовности системы, что скоро должен будет включиться первый рабочий насос.

2. Срабатывание ДУ 2 подает сигнал на шкаф управления, который в свою очередь пускает в работу асинхронный двигатель АД1 через УПП. По мере «разгона» двигателя запускается первый рабочий насос и начинает откачивать стоки в выходной трубопровод, создавая давление в системе. При этом все задвижки находятся в нормальном положении «открыто».

3. Подъем жидкости до ДУ 3 вызывает сигнал на шкаф управления с «просьбой о помощи» первому насосу. Сигнал ДУ 3 говорит системе о том, что один насос не справляется и требуется включить второй резервный насос. ПЛК запускает АД2 через устройство плавного пуска УПП и соответственно в работу включается второй насос.

4. Срабатывание верхнего, четвертого ДУ – аварийный режим. Система не справляется с откачкой стока, на шкаф управления приходит сигнал с ДУ 4 и срабатывает звуковая и световая сигнализация. В этот момент оба насоса останавливаются и дальнейшее откачивание жидкости будет производиться оперативным персоналом.

Программа АСУ разработана в Codesys 2.3 на языке СFCи представлена на рис. 2.

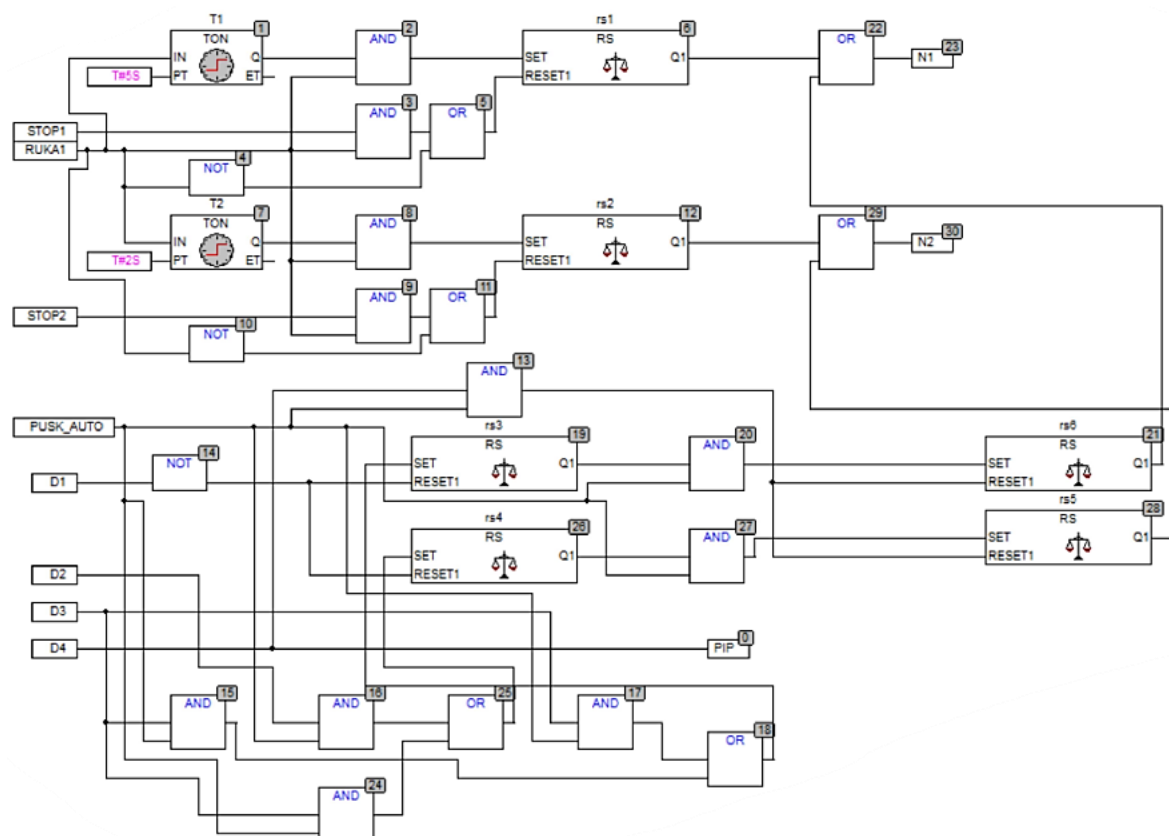


Рис. 2. Программа АСУ насосами КНС в Codesys 2.3

## Источники

1. Клепиков В.В., Схиртладзе А.Г., Султан-заде Н.М. Автоматизация производственных процессов: учеб. пособие. М.: Инфра-М, 2019. 351 с.
2. Фетисов Л.В., Низамутдинов Р.Р., Шайхиев И.Г. Энергосбережение в электроприводе аэрационных установок очистных сооружений биологической очистки сточных вод // Вестник технологического университета. 2016. Т. 19, № 5. С. 158–160.
3. ПЛК100/150/154 контроллеры для малых систем с AI/DI/DO/AO [Электронный ресурс]. URL: <https://owen.ru/product> (дата обращения: 21.08.2021).
4. Водовозов А.М. Микроконтроллеры для систем автоматики: учеб. пособие. М.: Инфра-Инженерия, 2016. 164 с.
5. ГОСТ 21.404-85. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах. М.: Стандартинформ, 2007. 16 с.

## РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЛИНЕЙНОГО ГЕНЕРАТОРА

А.Р. Петров<sup>1</sup>, Р.М. Петрова<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>petroval13@mail.ru, <sup>2</sup>1998renata@mail.ru

Предложена математическая модель генератора возвратно-поступательного движения на базе постоянных магнитов, выполненную в среде ПО Matlab/Simulink. По результату работы был произведён расчёт массогабаритных и удельных показателей линейных генераторов мощностью от 150 до 5000 Вт.

**Ключевые слова:** математическая модель, линейный электрический генератор, возвратно-поступательный генератор, свободнопоршневой двигатель.

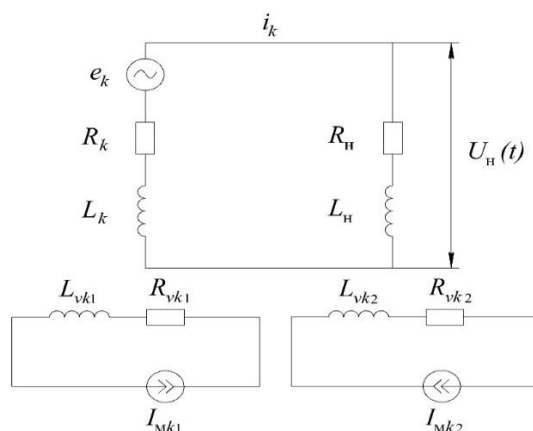
Математическая модель должна учитывать геометрические параметры магнитной системы, зависимость коэффициентов рассеяния и краевого эффекта, действие реакции якоря, неравномерность распределения магнитного поля в магнитной системе генераторов [2].

Уравнение для  $k$ -ого контура:

$$U_k = R_k i_k + \frac{d\psi_k}{dt}; \quad \psi_k = \sum_{n=1}^{\infty} i_n L_{kn}$$

где  $R_k, i_k, \psi_k$  – активное сопротивление, ток и потокосцепление  $k$ -го контура [4].

Эквивалентная электрическая схема представлена на рисунке.



Эквивалентная электрическая схема для  $k$ -го рабочего контура электрического генератора при работе на активно-индуктивную нагрузку

Уравнение электрического равновесия для  $k$ -го контура:

$$i_k(R_k + R_H) + i_k \left( \frac{dL_{kk}}{dt} \right) + \frac{di_k}{dt} (L_{kk} + L_H) + I_{mk1} \frac{dL_{kvk1}}{dt} + I_{mk2} \frac{dL_{kvk2}}{dt} = 0$$

где  $L_{kk}$  – собственная индуктивность  $k$ -го контура;  $L_{kvk}$  – взаимоиנדуктивность контуров [3].

Для расчета собственной индуктивности и взаимоиנדуктивности составляем эквивалентную схему магнитной цепи, представленной на рис. 2 [5].

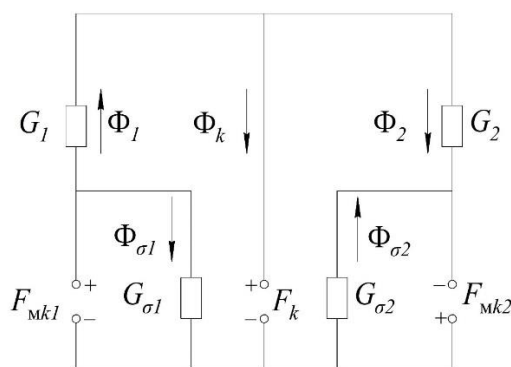


Рис. 2. Эквивалентная схема магнитной цепи генератора

Уравнение равновесия для  $k$ -ого контура генератора:

$$i_k(R_k + R_H) + i_k \omega_k^2 \frac{dG_z}{dt} + \frac{di_k}{dt} (L_H + G_z \omega_k^2) + \omega_k \left( \omega_{mk1} I_{mk1} \frac{dG_{z1}}{dt} + \omega_{mk2} I_{mk2} \frac{dG_{z2}}{dt} \right) = 0$$

### Показатели линейного генератора

| Показатели                       | Результаты расчетов |       |       |       |       |       |
|----------------------------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                  | 150                 | 250   | 500   | 1000  | 2500  | 5000  |
| Мощность, Вт                     | 150                 | 250   | 500   | 1000  | 2500  | 5000  |
| Длина генератор, м               | 0,026               | 0,028 | 0,028 | 0,028 | 0,036 | 0,054 |
| Диаметр генератора, м            | 0,07                | 0,09  | 0,15  | 0,233 | 0,623 | 0,77  |
| Диаметр магнита, м               | 0,04                | 0,06  | 0,12  | 0,2   | 0,6   | 0,75  |
| Толщина магнита, мм              | 3                   |       |       |       |       |       |
| Длина магнита, мм                | 13                  |       |       |       |       |       |
| КПД, %                           | 92                  | 91,3  | 92,4  | 90,8  | 90,6  | 93    |
| Необходимое усиление на штоке, Н | 33,5                | 53,22 | 114,2 | 214   | 550   | 5720  |
| Частота, Гц                      | 50                  |       |       |       |       |       |
| Удельная мощность, Вт/кг         | 34                  | 42    | 45    | 46    | 50    | 62    |

## Источники

1. Хитерер М.Я., Овчинников И.Е. Синхронные электрические машины возвратно-поступательного движения. СПб.: КОРОНА принт, 2013. 368 с.
2. Высоцкий В.Е. Линейный генератор с постоянными магнитами для систем электропитания автономных объектов // Известия вузов. Электромеханика. 2010. № 1. С. 80.
3. Духанин В.И., Кецарис А.А. Анализ конструкции автомобильного генератора возвратно-поступательного движения // Известия Московского государственного технического университета «МАМИ». 2012. № 2. С. 74.
4. Кецарис А.А., Духанин В.И. Линейный генератор с двигателем внутреннего сгорания со свободным поршнем. Структура и перспективы применения // Транспорт на альтернативном топливе. 2012. № 30. С. 7.
5. Обратимая электрическая машина возвратно-поступательного действия в модульном исполнении / И.В. Ившин [и др.] // Электрика. 2015. № 8. С. 2.

## ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Р.М. Петрова<sup>1</sup>, А.Р. Петров<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>1998renata@mail.ru, <sup>2</sup>petroval13@mail.ru

Рассмотрены перспективные методы диагностики внутренних дефектов силовых трансформаторов мощностью до 63 МВА без отключения от сети и мониторинга их эксплуатационного состояния. Разработана математическая модель с использованием среды ПО MatLab, позволяющая предопределить дефекты на стадии их развития.

**Ключевые слова:** силовой трансформатор, мощность, диагностирование, мониторинг, дистанционный мониторинг, MatLab.

Диагностирование – процесс определения технического состояния оборудования с поиском места и причин возникновения дефекта и вероятным прогнозом дальнейшей работоспособности оборудования. Приоритетная форма диагностирования – мониторинг – непрерывный контроль параметров объекта с применением автоматизированных систем, обеспечивающих сбор, хранение и обработку информации в режиме реального времени с оценкой состояния оборудования.

Результаты моделирования установившегося режима работы трансформатора мощностью 240 кВА с соединением обмоток по схеме  $\Delta/Y$  при питании от автономного инвертора напряжения (далее АИН) по схеме (рис. 1) без указания диодов защиты транзисторов приведены на рис. 2.

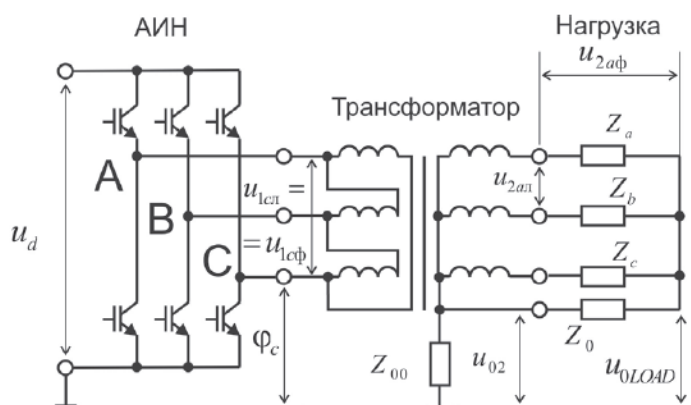


Рис. 1. Электрическая принципиальная схема включения трёхфазного трансформатора питания собственных нужд электровоза

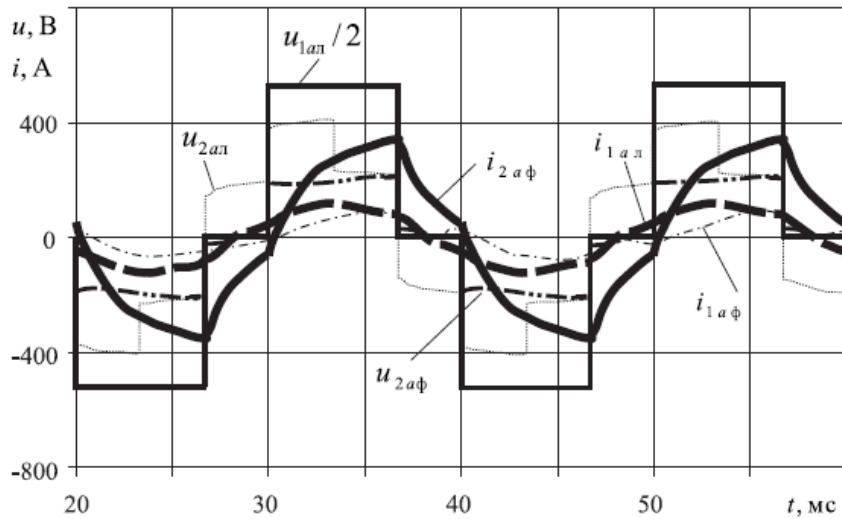


Рис. 2. Результаты моделирования токов и напряжений трансформатора 240 кВА  $\Delta/Y-11$

На рис. 3 указаны теоретические диаграммы напряжений. Некоторые различия в формах напряжений вторичной обмотки обусловлены влиянием падения напряжения ввиду протекания тока нагрузки в случае на рис. 2, тогда как на рис. 3 показан режим холостого хода.

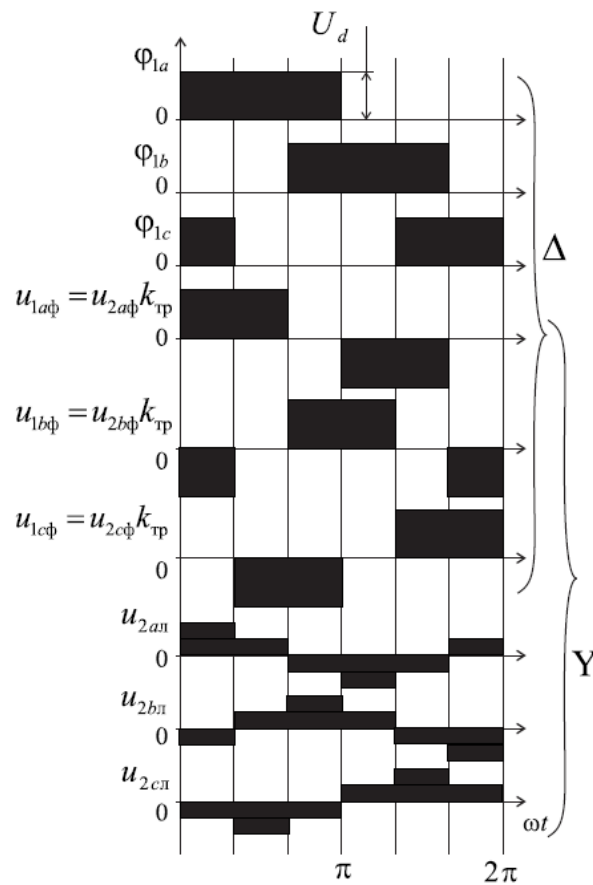


Рис. 3. Теоретические диаграммы напряжений при питании трансформатора  $\Delta/Y-11$  от двухуровневого АИН



На рис. 3 приняты обозначения:  $\varphi_1$  – потенциал входной клеммы соответствующей фазы первичной обмотки относительно земли;  $k_{тр}$  – фазный коэффициент трансформации.

Мониторинг состояния силового трансформатора обеспечивается путем определения значения отклонения индуктивности от базового значения, которое определяется на заводе-изготовителе.

Отклонение в пределах 2,5 % является нормальным. Отклонение в пределах 5 % показывает зарождение разрушающих процессов, но не требуется отключение его от сети и ремонта. Отклонения 6–15 % сигнализируют об опасности, подается сигнал оператору. Необходимо выполнить мероприятия по выводу трансформатора в ремонт без отключения ответственных потребителей от сети. Отклонения 25 % – аварийное отключение трансформатора от сети.

### **Источники**

1. ГОСТ 11677-85. Трансформаторы силовые. Общие технические условия. М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. 38 с.
2. ГОСТ 16110-82. Трансформаторы силовые. Термины и определения. М.: Стандартиформ, 2005. 27 с.
3. Smart Grid Working Group. Challenge and Opportunity: Charting a New Energy Future, Appendix A: Working Group Reports. Energy Future Coalition.
4. Michael T. Burr. Reliability demands drive automation investments [Электронный ресурс] // Public Utilities Fortnightly, Technology Corridor department. URL: <http://www.fortnightly.com/fortnightly> (дата обращения: 15.09.2021).
5. Federal Energy Regulatory Commission staff report. Assessment of Demand Response and Advanced Metering. United States Department of Energy, 2019. 20 p.

## РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ПАССАЖИРСКОГО ЛИФТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЯЗЫКОВ СТАНДАРТА МЭК 61131-3

Н.В. Роженцова<sup>1</sup>, Н.К. Афолина<sup>2</sup>, Н.А. Савин<sup>3</sup>

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

<sup>1</sup>natalia15969@yandex.ru, <sup>2</sup>nadiaafonina1406@gmail.com, <sup>3</sup>KOLAY\_AK@mail.ru

Представлена информация об автоматизированной системе управления электроприводом пассажирского лифта с использованием программируемого контроллера. Программа написана на языках стандарта МЭК 61131-3. Система предназначена для повышения безопасности пассажирских лифтовых перевозок.

**Ключевые слова:** электропривод, программирование, лифт, энергоэффективность, автоматизация

Лифт стал неотъемлемой частью искусственно созданной среды обитания человека технократической цивилизации. На протяжении почти столетия появилась возможность создать полностью автоматизированную систему внутреннего перемещения пассажиров и грузов в зданиях и сооружениях, которая надежно работает, не требуя специальных знаний и предварительного обучения от пользователей. В таких условиях возникает проблема мобильности людей, находящихся в одном здании.

Современный лифт – это сложное электромеханическое устройство, работающее в полуавтоматическом режиме по определенному алгоритму. Программа лифта зависит от положения и загрузки кабины лифта, действий пассажиров и регулируется системой управления.

Система управления лифтом позволяет решить задачи комфортного и безопасного передвижения пассажиров. Движение должно выполняться без заметных скачков и с разрешенной скоростью. Важную роль играет способность системы управления останавливать кабину на определенном уровне и с достаточной степенью точности. Вся необходимая информация о скорости и положении кабины должна считываться с помощью датчиков.

На основе технологического процесса автоматизированного объекта и определенных входных и выходных сигналов создается функциональная схема автоматизации, которая представлена на рис. 1.

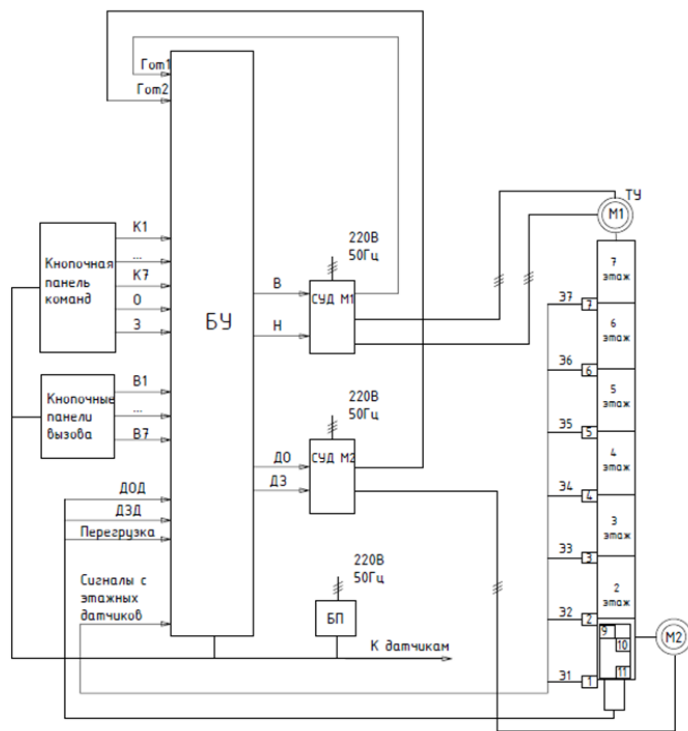


Рис. 1. Функциональная схема автоматизации лифта

По схеме, представленной на рисунке 1, пользуясь методикой [1–4], была написана программа на языке МЭК 61131-3 в программной среде Codesys 2.3, позволяющая смоделировать работу электропривода в различные штатные и аварийные ситуации, происходящие в загруженном и пустом лифте. Блок-схема алгоритма работы электропривода лифта представлена на рис. 2.

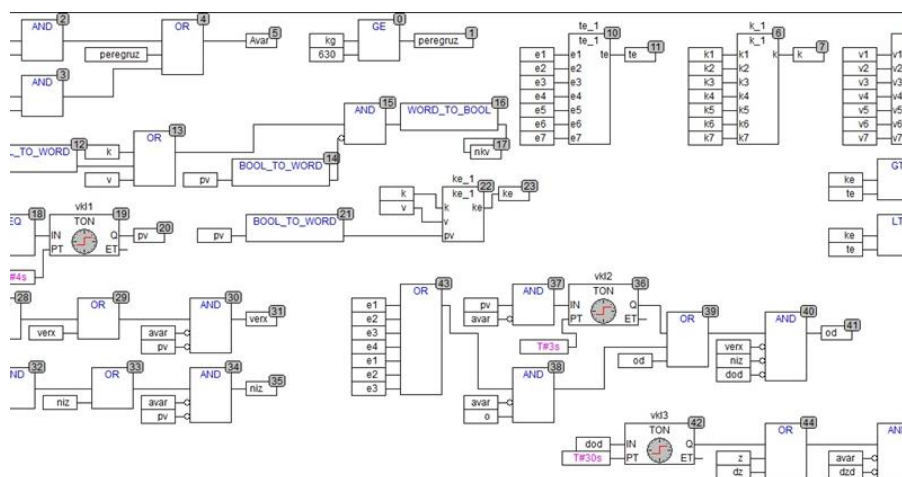


Рис. 2. Функциональная схема автоматизации лифта

Для более доступного представления управления электропривода лифта и упрощения анализа получившейся модели была спроектирована визуализация работы модели (см. рис. 3) [5, 6].

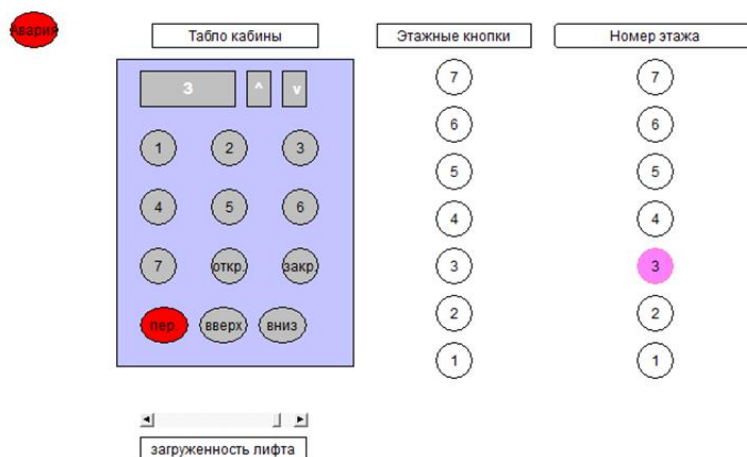


Рис. 3. Визуализация программы, разработанной в программе Codesys 2.3

Согласно написанной нами и проверенной логике при загруженности лифта более чем на 630 кг у нас должна сработать сигнальная лампа. В независимости на каком этаже находится лифт.

При нахождении на 3 этаже, при перегрузе кабины у нас действительно изначально пошел сигнал на лампу, показывающую на перегруз, которая в свою очередь подала сигнал на аварийную лампу, движение лифта далее невозможно.

### Источники

1. Петров И.В., Дьяконов И.В. Программируемые логические контроллеры. Стандартные языки и приемы прикладного проектирования. М.: СОЛОН-Пресс, 2004. 246 с.

2. Минаев И.Г., Самойленко В.В. Программируемые логические контроллеры. Ставрополь: «АГРУС», 2009. 100 с.

3. Свободно программируемые устройства в автоматизированных системах управления: учеб. пособие / И.Г. Минаев [и др.]. Ставрополь: «АГРУС», 2016. 168 с.

4. Компания «ОВЕН» Документация по CoDeSyS [Электронный ресурс]. URL: [http://www.owen.ru/catalog/codesys\\_v2](http://www.owen.ru/catalog/codesys_v2) (дата обращения: 14.08.2021).

5. Ivanova V.R., Denisova A.R., Ivanov I.Y. Automation and control of the main elements of the electrotechnical system of biogas equipment // International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems. 2020. Pp. 190–196.

6. Ivanova V.R., Rozhentcova N.V., Ivanov I.Y. Justification of the set off technical and technological criteria when designing a combined power supply system formulti-story residential buildings // International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems. 2019. Pp. 26–30.

## СОГЛАСОВАНИЕ РАБОТЫ ИСТОЧНИКОВ СОЛНЕЧНОЙ И ВЕТРОВОЙ ЭНЕРГИИ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ

А.И. Рудаков<sup>1</sup>, И.Н. Гиниятуллина<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>rud-38@mail.ru, <sup>2</sup>ilyza1998@list.ru.

Раскрывается существо понятия и состав гибридных возобновляемых источников энергии (ВИЭ). В ней подчеркивается, что это энергия постоянно существующих природных процессов на земле, а также энергоресурсы продуктов жизнедеятельности биocenозов растительного и животного происхождения. Отмечается тот факт, что используется широкий выбор энергий и энергоносителей. Рассмотрены ключевые виды энергий: солнечная и ветряная

**Ключевые слова:** гибридная, электроустановка, возобновляемые, источник, энергия, энергетика, энергоресурсы, солнце, ветер.

### **Особенности согласования возобновляемых источников энергии.**

Конструкции автономных энергетических систем построенных на базе возобновляемых источников энергии, являются технически законченными и адаптированными только под определенное элгергооборудование [1]. Это обусловлено различием основных технических показателей генерируемой ВИЭ: значения частоты, тока, напряжения. В настоящее время на рынке отсутствуют универсальные устройства возобновляемой энергетике, которые могли бы реализовать возможность объединения разнотипных возобновляемых источников энергии в единую энергетическую систему и обеспечить эффективное управление режимами их работы. Особенно негативно это сказывается на развитии малой энергетике, и, поэтому разработка таких устройств является актуальной задачей. Существуют разные варианты сопряжения ветроэнергетических установок (ВЭУ) и фотоэлектрических установок (ФЭУ) при работе на общего потребителя [3].

### **Оценка энергетических потребностей объекта энергоснабжения**

За основные источники энергии на основе возобновляемой энергетике для проектируемой системы энергоснабжения был принят поселок на 250–300 жителей, для которого определены солнечная энергия и энергия ветра, составляющие гибридную энергию.

Примем для рассмотрения гибридные установки необходимой мощности, с запасом 20 %, так как потребители имеют разный расход электроэнергии, а за основу берется среднее значение (см. рисунок).

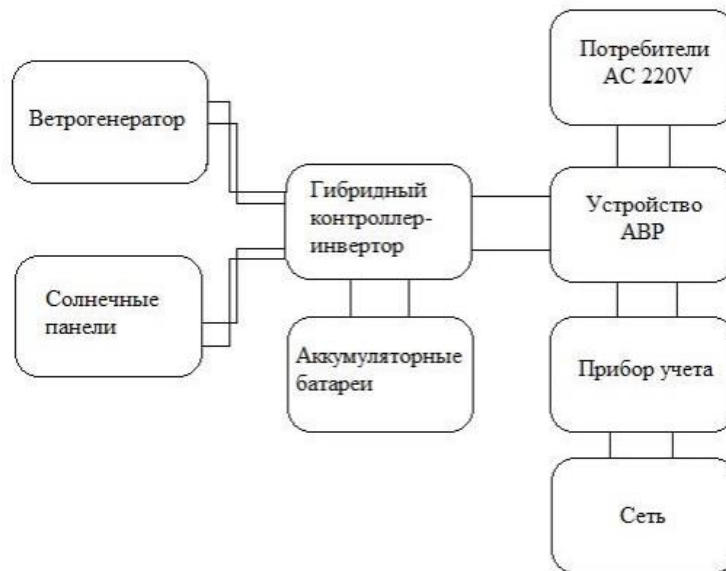


Схема подключения потребителей к ВИЭ с резервированием от сети

### Определение мощности и выбор энергетических установок.

В этом случае определяются мощность ветро и солнечной установок, которых будет достаточно для бесперебойного энергоснабжения и имеющих как можно меньшую стоимость [2, 4, 5].

#### Выбор ветроустановки.

Валовой потенциал ветровой энергии на территории объекта:

$$\mathcal{E}_{\text{уд}} = N_{\text{уд}} \cdot V_i \cdot t(V) \cdot 8760, \quad (1)$$

где  $N_{\text{уд}}$  – удельная валовая мощность ветрового потока;  $V_i$  – скорость ветра;  $t(V)$  – повторяемость скорости ветра.

Удельная мощность ветрового потока, проходящего через  $1 \text{ м}^2$  поперечного сечения:

$$N_{\text{уд}}(V_i) = 0,5 \cdot \rho \cdot V, \quad (2)$$

где  $\rho$  – заданная плотность воздуха, при нормальных условиях.

Для гибридной электростанции выбран – контроллер-инвертор *Boost MPPT* 4 кВт с пиковой нагрузкой в 6,5 кВт.

#### Выбор солнечной установки.

После изучения и сравнительных анализов по стоимости и качеству ряда солнечных панелей различных производителей, остановились на солнечных панелях *SIP250-24* (см. таблицу), которые производятся отечественной компанией ООО «Сила». 6 панелей по 250 Вт обеспечивают электроснабжение дома в дневное время суток.

## Основные характеристики солнечных панелей SIP250-24

|                            |  |
|----------------------------|--|
| Тип солнечного элемента    | Поликристалл                                     |
| Максимальная мощность, Вт  | 250  |
| Габариты, мм               | 1580×808×35                                      |
| Вес, кг                    | 16,5   |
| Покрытие                   | Стекло текстурированное, закаленное, даропрочное |
| Срок службы, лет           | Не менее 25                                      |
| Температурный диапазон, °С | от –40 до +85                                    |

КПД поликристаллических панелей на 30 % ниже монокристаллических, однако были выборы панели с худшим КПД, что дало выигрыш в цене, так как стоимость поликристаллических на 20 % ниже.

Солнечные панели будут размещаться на крыше с южной стороны. Номинальное напряжение солнечных панелей 24 В, номинальное напряжение контроллера 24 В, соединение фотоэлементов – параллельное.

### **Выбор устройства автоматического ввода резерва.**

В данном случае выбран АВР китайского производителя Huter с номинальной нагрузкой 4,5 кВт.

## Источники

1. Кирпичникова И.М., Малюгина А.А. Оценка энергетической эффективности возобновляемой энергетики // Альтернативная энергетика и экология. 2015. Т. 7-8. С. 19–24.

2. Лукутин Б.В., Муравлев И.О., Плотников И.А. Системы электроснабжения с ветровыми и солнечными электростанциями: учеб. пособие. Томск: ТПУ, 2015. 130 с.

3. Пеньшин М.Д. Гибридная система энергообеспечения малой мощности: дис. магистерская. ТГУ, 2018. С. 17–19.

4. ПНСТ 40-2015. Возобновляемая энергетика. Гибридные электростанции на основе возобновляемых источников энергии, предназначенные для сельской электрификации. Рекомендации. Часть 4. Выбор и конструирование системы. М.: Стандартинформ, 2005. С. 4–10.

5. Рудаков А.И., Максимова В.А., Фаттахов И.И. Повышение энергоэффективности гибридных электроустановок на базе возобновляемых источников энергии // Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации: матер. Междунар. науч.-практ. конф. Душанбе, 2019. С. 36–40.

6. Иванова В.Р., Киселев И.Н. Частотно-регулируемый электропривод для энергосбережения и оптимизации технологических процессов в электротехнических комплексах // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2019. Т. 21, № 5. С. 59–70.

## О НЕКОТОРЫХ ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКИХ НЕДОСТАТКАХ ГОСТ 32144-2013

О.Д. Семенова<sup>1</sup>, Р.Х. Тукшаитов<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>ollivka@bk.ru, <sup>2</sup>trh\_08@mail.ru

Рассмотрены недостатки некоторых терминов и их определений в ГОСТ 32144. Приведены отдельные рекомендации.

**Ключевые слова:** термин, медленные изменения напряжения, фликер, коэффициент нелинейных искажений, точка общего присоединения.

Ознакомление с содержанием ряда ГОСТов показало, что многие из них содержат разного рода недоработки, которые требуют их устранения [1]. Анализ ГОСТ 32144-2013 и его 3 предыдущих изданий позволил выявить ряд недостатков в наименованиях терминов, определений и их обозначениях. В данном докладе в силу ограниченного объема сообщения будет обсуждены лишь некоторые из них. Для облегчения ознакомления в материале будут приведены термины под теми номерами пунктов, которые указаны в рассматриваемом нормативном документе (НД).

### Перечень терминов и их обсуждение

**П. 4.2.2 «Медленные изменения напряжения».** Под этим понимается в документе колебания напряжения с длительностью более 1 мин. Любые колебания принято характеризовать амплитудой и частотой. Переведя длительность колебаний в Гц получаем, что к медленным колебаниям отнесены частоты менее 0,17 Гц. Вместе с тем, зрительный аппарат оператора хорошо воспринимает колебания и с частотой 1 Гц, поэтому вполне логично в качестве верхней граничной частоты выбрать это значение[2]. Нижняя частота в НД не указывается. Если ограничиться длительностью наблюдений одними сутками, то этому периоду соответствует частота порядка 0,00001 Гц, которую можно принять за нижнюю граничную частоту. Таким образом, медленные колебания напряжения в электросети происходят с частотой 0,00001–1 Гц.

**П. 3.1.21 «Быстрое изменение напряжения».** Параметр характеризуется изменениями напряжения между последовательными уровнями установившегося напряжения. Однако такое определение не дает ответа на вопрос с какой амплитудой и частотой проявляются быстрые изменения



напряжения. Такие сведения в этом НД отсутствуют, отсылая читателя к другому НД, а именно к ГОСТ 30804.3.3. Вместе с тем, в п. 4.2.3.1 приводятся требования к амплитуде и периодичности быстрых изменений. Согласно изложению, быстрые изменения не должны превышать 5 % в электрических сетях низкого напряжения. Здесь следовало указать, что изменение может составлять до  $\pm 5\%$  установившегося значения как в направлении повышения напряжения, так и понижения. В следующей фразе говорится, что иногда это отклонение с малой продолжительностью могут достигать до 0 % и «происходить нескольких раз в день».

Такое пояснение в НД содержит ряд неопределенностей. Так, возникает вопрос какое предельное значение может иметь длительность «быстрых изменений». Изменения напряжения «несколько раз в сутки» следует относить к изменениям напряжения до  $\pm 10\%$  и только малой продолжительности или к быстрым изменениям. Что значит малой продолжительности. Изложенное убедительно свидетельствует о необходимости проведения доработки данного подраздела.

**П. 3.1.23 «Прерывание напряжения».** Под этим выражением понимается снижение напряжения питания именно в точке передачи электрической энергии до уровня менее 5% номинального напряжения. Речь в данном пункте идет не о наличии в электросети незначительного остаточного напряжения.

**П. 4.2.4.1 «Гармонические составляющие напряжения».** В этом пункте речь идет в основном о «суммарном коэффициенте гармонических искажений». Это не что иное, как коэффициент гармонических искажений напряжения именуемый в англоязычной литературе как «total harmonic distortion». Следует отметить, что данный коэффициент используется в литературе под 20 наименованиями и поэтому мало осведомленному читателю достаточно трудно ориентироваться в такой их многообразии. Во избежание разночтения предложено унифицировать такое их количество, используя единое понятие «коэффициент нелинейных искажений», вычисляемый как отношение суммы среднеквадратических значений всех высших гармоник к действующему значению первой гармоники [3].

**П.3.1.34 «Фликер».** В НД дается лишь его определение. Это очевидно обусловлено тем, что методике определения фликера и описанию фликерметру посвящен специальный ГОСТ Р 51317.4.15.

Рассмотрим недостатки в определении понятия фликера в ГОСТ 32144. Под термином «фликер» понимается «ощущение неустойчивости зрительного восприятия, вызванное световым источником, яркость или спектральный состав которого изменяется во времени». В этом предложении при внимательном прочтении выявлено несколько и разного рода ошибок, касающиеся склонения слов, сочетания единственного числа со множественным. Кроме того, если идет речь о восприятии, то оно должно касаться

«яркости светового источника». Спектр излучения света при существующем уровне пульсаций мало претерпевает изменения и во избежание усложнения определения термина «фликер» вполне можно исключить весьма незначительные изменения спектра излучения источника света.

Понятие «фликер» следует вообще исключить из энергетики, поскольку действительности фликерметры измеряют не уровень мерцания света, а только интегральную величину пульсаций напряжения в электросети в диапазоне от 0,3 до 30 Гц. Показания прибора привязали к уровню фликера, вызываемого только лампой накаливания и только мощностью 60 Вт. Уровень фликера при мощности менее 60 Вт повышается почти в 2 раза, а при мощности 500 Вт уменьшается в 4 раза. Отсутствие таких сведений ведет к тому, что авторы, используя разные типы источников света (светодиодные, индукционные и др.) «установили» занижение показаний фликерметра на 50–60 % [4].

**П. 3.1.7 «Точка общего присоединения» и п. 3.1.6 «Точка передачи электроэнергии».** Определения обоих терминов сформулировано неудачно в отношении их быстрого освоения. На занятиях с магистрами второго курса в качестве эксперимента попросили одного из них прочитать определения обоих терминов в НД, а затем, обратившись к группе попросили пояснить эти понятия с дифференциацией их смыслов. Этот эксперимент еще раз подтвердил наличие недоработок в их определениях.

### Источники

1. Доработка ГОСТа р 55705-2013 – путь к новым энергосберегающим возможностям светодиодных осветительных систем / Э.Ю. Абдуллазянов [и др.] // Энергоресурсоэффективность и энергосбережение в Республике Татарстан: тр. XV Междунар. симпозиума. Казань, 2015. С. 200–202.

2. Тукшаитов Р.Х., Наумов А.А. Спектральный анализ «медленных колебаний напряжения» электросети и способы устранения их влияния на результаты изучения характеристик электроприборов // Управление качеством электрической энергии: сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф. Москва, 2020. С. 29–34.

3. Тукшаитов Р.Х., Семенова О.Д. О коэффициентах, применяемых для характеристики уровня высших гармоник тока и напряжения, и унификация их наименований. Часть 1 // Практическая силовая электроника. 2021. № 3 (83). С. 53–56.

4. Лисицкий К.Е. Совершенствование методов и средств оценки фликера при использовании источников света с разной чувствительностью к колебаниям напряжения в электрической сети // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2018. Т. 20, № 5-6. С. 55–66.

## ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОБЛЕМЫ СТАТИСТИЧЕСКИХ И ИМИТАЦИОННЫХ ПОДХОДОВ К ОПТИМИЗАЦИИ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

А.Е. Сидоров  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
asidorini@rambler.ru

Раскрыты основные положения и методология применения системного подхода к анализу развития электроэнергетических систем; аспекты планирования развития ЭЭС методы прогнозирования нагрузок и электропотребления.

**Ключевые слова:** электроэнергетическая система, электроустановка, топливно-энергетический комплекс, источник, энергия, энергетика, энергоресурсы, оптимизация.

Оптимизация развития электроэнергетических систем (ЭЭС) встречает значительные трудности вследствие неоднозначности условий развития, многоэкстремальности, многопараметров и неопределенностей, наличия большого числа условий связи и ограничений, имеющих зачастую нелинейный характер. Ряд параметров при этом имеет дискретный характер. Эти обстоятельства приводят к тому, что регулярные оптимизационные методы удается применить лишь к решению задач на самых верхних уровнях иерархии, когда высокая степень агрегирования информации позволяет рассматривать модели относительно простой структуры, например, линейные модели [1]. Однако и в этих случаях неопределенность прогнозных значений условий развития ЭЭС (параметров объектов, их экономических характеристик) требует привлечения специальных методов анализа ситуационной матрицы и принятия решений в условиях неопределенности, включая эвристические процедуры. Подобные подходы применяются и к выбору основных направлений развития топливно-энергетического комплекса (ТЭК) [2].

При переходе к задаче следующего уровня иерархии задачи оптимизации размещения и мощности электрических станций трудности решения резко возрастают. С одной стороны, для этой задачи сохраняются все сложности, вызываемые неоднозначностью условий развития, так как она, как и предыдущие, относится к классу задач долгосрочного планирования [3]. С другой стороны, здесь мы переходим к рассмотрению

конкретных объектов – электрических станций, поэтому для них не может быть использован метод агрегирования и эти объекты должны рассматриваться с учетом всех взаимосвязей: с топливно-транспортной системой, с электропотребляющей системой, с природной средой. При этом только информация по топливно-транспортным связям в значительной части задается как результат оптимизации на верхних ступенях иерархии (особенно как результат оптимизации топливно-энергетического баланса) [2].

Наиболее перспективными подходами к преодолению возникающих при этом трудностей являются методы статистического анализа и имитационный подход. Работы в этом направлении ведутся в последние годы, поэтому в работе излагаются только основные принципы этих подходов [3].

Основным критерием оптимальности принимаемых решений следует считать минимум приведенных народнохозяйственных затрат по сооружению и эксплуатации ЭЭС. Учитывая упомянутые выше связи задачи, критерий оптимальности целесообразно представить как сумму трех составляющих – затрат по электростанциям, топливо снабжающей и электро-снабжающей системам:

$$Z = Z_{эс} + Z_{т} + Z_{л}.$$

Соответственно можно выделить три блока задачи: стационарный, топливный и электросетевой.

При решении задачи оптимизации дальнейшего развития электрической сети можно определить как среднесрочное планирование, которое относится к более низкому уровню структуры [4].

Сама оптимизация заключается в выборе мощности и местоположения электростанций. Набор моделей может быть представлен в виде следующих четырех взаимосвязанных блоков: определение внешних условий развития ЭЭС и степени агрегирования исходной информации; моделирование местоположения и экономических характеристик электростанций; моделирование экономических характеристик электрических сетей; моделирование снижения затрат на разработку и распределение генерирующих мощностей ЭЭС и оптимизация разработки и размещения электрических станций [3].

В первом блоке внешние связи моделей развития ТЭС формируются как связи с топливно-энергетическим комплексом страны и природной

средой. Особенностью учета коммуникаций с топливно-энергетическим комплексом является высокая степень агрегации информации и отсутствие апостериорной информации.

Внешние условия развития определяются следующими показателями: прогнозными характеристиками потребления электроэнергии и тепла, режимами энергопотребления, балансами производства и потребления электроэнергии для ЭЭС; составом и расположением топливных баз, и вариантами размера потребления топлива для электростанций; вариантами структуры генерирующих мощностей.

Таким образом, характерной особенностью данной задачи является установление соответствующей степени агрегирования показателей развития ЭЭС и внедрение методов учета неопределенности условий развития. Неопределенность условий развития учитывается путем формирования и анализа ситуационной матрицы условий экологического развития. Из-за большой размерности ситуационной матрицы целесообразно сгруппировать исходные ситуации в соответствии с некоторыми результирующими характеристиками, например потребностью в общей генерирующей мощности [3, 4].

Во втором блоке формируются модели экономических характеристик КЭС. Специфику данного блока составляет учет особенностей сооружения КЭС на уровне пунктов размещения. В результате моделирование с применением традиционных методов математической статистики становится невозможным и приходится привлекать специальные методы. Далее показана возможность применения для этой цели методов факторного анализа.

Третий блок представляет собой комплекс математических моделей электрических сетей на основе их параметров и экономических характеристик. Проблема обусловлена большим отсутствием априорной информации, что заставляет проводить экспериментальные исследования, также отсутствие информации по развитию элементной базы составляющих систему электроснабжения [5].

Четвертый блок заключается в синтезе модели системы на основе ранее полученных моделей в предыдущих блоках. Результатом является общая модель затрат на развитие энергетической системы.

## Источники

1. Лазарев И.А. Синтез структуры систем электроснабжения летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1976. 254 с.
2. Ступаченко А.А. САПР технологических операций. Л.: Машиностроение, 1988. 233 с.
3. Ананичева С.С., Мезенцев П.Е., Мызин А.Л. Модели развития электроэнергетических систем: учеб. пособие. Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2014. 150 с.
4. Идрисова А.Р., Роженцова Н.В., Мухаметзянова Ф.М. Мероприятия по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях // Энергоэффективность и энергобезопасность производственных процессов: матер. IV Всерос. науч.-техн. конф. студ., магистр., асп. Тольятти, 2016. С. 97–100.
5. Рудаков А.И., Максимова В.А., Фаттахов И.И. Повышение энергоэффективности гибридных электроустановок на базе возобновляемых источников энергии // Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации: матер. Междунар. науч.-практ. конф. Душанбе, 2019. С. 36–40.
6. Рудаков А.И., Роженцова Н.В., Денисова А.Р. Современные технические средства повышения энергоэффективности водокольцевых машин // Промышленная энергетика. 2014. № 5. С. 27–30.

## АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УСТАНОВЛЕННОЙ МОЩНОСТИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

И.Э. Татур

ФГБОУ ВО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова», г. Барнаул

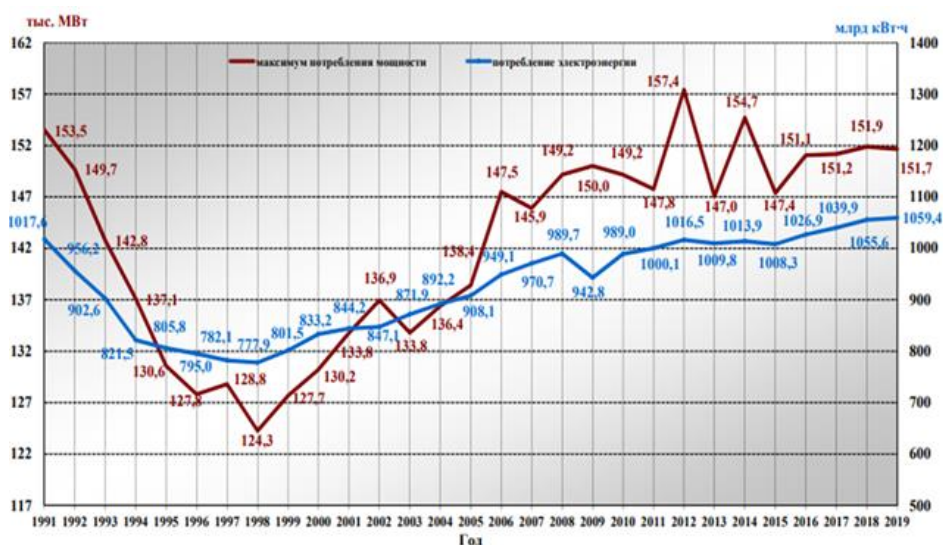
igortacher17@mail.ru

Произведен анализ изменения электрических нагрузок в ЕЭС РФ, выделены пики потребления и отмечено что в системе остается значительный резерв выработки электроэнергии за счет повышения эффективности эксплуатации электростанций. Предложен вариант повышения коэффициента использования установленной мощности электроустановок за счет применения накопителей электроэнергии.

**Ключевые слова:** единая энергосистема, потребление электроэнергии, КИУМ, накопители электроэнергии.

Единая энергетическая система России – это уникальный, высокоавтоматизированный, единый технологический комплекс, включающий 7 объединенных энергетических систем: Востока, Сибири, Урала, Средней Волги, Юга, Центра и Северо-Запада. Все ОЭС соединены межсистемными линиями электропередачи напряжением 220–750 кВ.

В последние годы прослеживается устойчивая тенденция роста потребления электроэнергии. Динамика изменения потребления электроэнергии и мощности по ЕЭС России представлена на рисунке [1].



Динамика изменения потребления электроэнергии и мощности по ЕЭС России

Годовой максимум потребления мощности ЕЭС России зафиксирован в 10:00 (мск) 24.01.2019 при частоте электрического тока 49,99 Гц и составил 151 661 МВт.

Стоит обратить внимание на то, что анализ суточных графиков генерации электростанций ЕЭС России показывает то, что станции были задействованы на 90–100 % своей мощности, в течение всего лишь 1–2 % времени за период с 04.2019 по 04.2020, что говорит о низкой эффективности загрузки электроустановок и малом значении коэффициента установленной мощности (КИУМ) [2].

В перспективе этот максимум потребления будет только расти, что потребует строительства дополнительных централизованных источников генерирующих мощностей, которые потребуют излишних капиталовложений. Чтобы избежать этих издержек предлагается повышать КИУМ.

Колебание потребляемой мощности даже в течение одних суток может составлять до 80 % от максимума, с несколькими пиками и полупиками, поэтому в системе обязательно наличие резерва мощности, который в свою очередь и приводит к снижению эффективности загрузки электростанций. По технической способности электростанций динамически изменять свою мощность присваивается различная маневренность. Тепловые ЭС и Атомные ЭС имеют низкую маневренность в связи с особенностями технологических процессов, происходящих на них. В случае быстрой смены режима работы атомного реактора высока вероятность возникновения аварии. На ТЭС сложно переходить на другой режим работы из-за сложности в быстром тушении и разжигании топлива. Более маневренными считаются ГЭС.

КИУМ даже при функционировании единой энергосистемы России в среднем составляет 50 %, при этом остается существенный запас мощности в системе, но для его использования необходимо либо стимулировать потребителей к работе в часы минимума нагрузок, либо управлять графиком нагрузок за счет применения накопителей электроэнергии, чтобы избежать холостой работы станций во время провала потребления, тем самым повысить КИУМ, и избежать излишней нагрузки на оборудование станции во время пика.

### **Источники**

1. Основные характеристики российской электроэнергетики [Электронный ресурс]. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/532> (дата обращения: 18.09.2021).

2. Отчет о функционировании ЕЭС России в 2019 году [Электронный ресурс]. URL: <https://www.so-ups.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure> (дата обращения: 18.09.2021).



## ИЗМЕРЕНИЕ ГЛУБИНЫ ЗАЛЕГАНИЯ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ ИНДУКЦИОННЫМ МЕТОДОМ

С.С. Филимонов<sup>1</sup>, К.В. Николаев<sup>2</sup>, Ш.Д. Ибрафиллов<sup>3</sup>

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

<sup>3</sup>ООО «ЭлектроОптима», г. Казань

<sup>1</sup>serfv43@gmail.com, <sup>2</sup>mr.nikolaev.2000@mail.ru, <sup>3</sup>israfilov\_shamil@inbox.ru

Представлены результаты исследований применимости индукционного метода для определения места расположения и глубины залегания различных видов силовых кабелей при помощи генератора звуковых частот и кабелеискателя.

**Ключевые слова:** кабельные линии, кабелеискатель, трассировка кабельных линий, индукционный метод.

Полигон учебно-исследовательской лаборатории по измерению и диагностике кабельных линий КГЭУ (далее – Полигон) имеет в своем составе различные кабели на напряжение 10 кВ и использован в данной работе с целью исследования эффективности индукционного метода для трассировки Кабельных линий (далее – КЛ). В дальнейшем, под трассировкой КЛ будем считать действия по определению месторасположения и глубины залегания кабеля.

Генератор ГЗЧ-2500 использовался для формирования переменного тока значением 20 ампер (А) на каждый предварительно заземленный переносным заземлителем ПЗРУ – 1Э кабель по отдельности. При таком подключении в измеряемом кабеле возникает электромагнитная индукция, фиксируемая антенной трассопоискового оборудования. С помощью кабелеискателя «ТехноАС Успех КБИ-406Н» зафиксированы сигналы, определено расположение кабеля и найдена глубина залегания КЛ.

По проекту на полигоне выбран участок длиной 30 метров с различной глубиной залегания кабелей. Исследования проводились на продукции заводов «Таткабель» и «Камкабель», имеющих следующие виды основной изоляции: сшитый полиэтилен, этиленпропиленовая резина и бумажно-масляный слой.

На исследуемом полигоне при помощи кабелеискателя определено расположение КЛ на различных видах грунта, измерена глубина залегания, выполнена развёртка по глубине. В работе использовался метод «45 градусов», рекомендованный производителем трассопоискового комплекта (рис. 1) [1, 2].

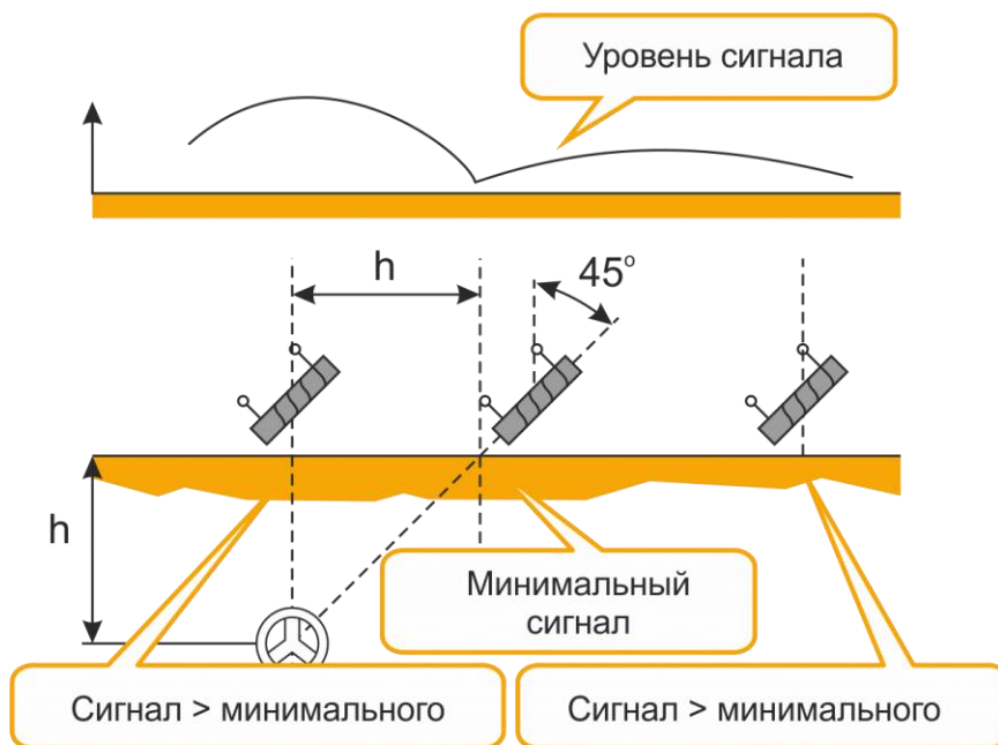


Рис. 1. Методика определения глубины залегания

Определение местоположения и глубины КЛ осуществлялось со следующими настройками приёмника АП-027 (рис. 2):

- уровень чувствительности – 14 дБ;
- частота принимаемого сигнала – 1024 Гц [3].



Рис. 2. Практическое применение предложенной методики

После сверки результатов произведенных исследований с проектной документацией сделан вывод о том, что использованный трассопоисковый комплект позволяет достоверно определять траекторию и глубину залегания КЛ, имеет допустимую для учебных целей погрешность, а также может применяться для инспекции соответствия проекту фактически выполненных работ по прокладке кабелей в грунте.

### **Источники**

1. Афонский А.А., Дьяконов В.П. Измерительные приборы и массовые электронные измерения. М.: Солон-пресс, 2011. 540 с.
2. Карапетян М.К., Воркунов О.В., Афанасьева Т.И. Методы и устройства контроля измерения сопротивления изоляции электроэнергетических объектов // Вестник современных исследований. 2018. № 5.3 (20). С. 459–460.
3. «Поисково-диагностический комплект кабелеискатель «Успех КБИ-406Н» [Электронный ресурс]: инструкция по эксплуатации. URL: [https://www.vseinstrumenti.ru/instruction/1509479\\_manual.pdf](https://www.vseinstrumenti.ru/instruction/1509479_manual.pdf) (дата обращения: 15.09.2021).

## ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ПО НАПРЯЖЕНИЮ

А.Ф. Хусаинова  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
khusainova.af@yandex.ru

Рассмотрены пути повышения качества электроэнергии по показателям отклонения и несимметрии напряжения. Качество электрической энергии характеризуется рядом показателей, при которых потребители могут нормально работать.

**Ключевые слова:** электроснабжение, качество электроэнергии, несимметрия, стабилизация напряжения.

Качество электроэнергии оказывает влияние на работу электрических приемников и электрических аппаратов, подключенных к электрическим сетям. Для низкого качества электроэнергии характерны любые изменения в энергоснабжении, приводящие к сбоям процесса производства или к повреждению электрооборудования. К показателям, определяющим качество электроэнергии, относятся частота переменного тока и напряжение [1].

Изменение напряжения оказывает неблагоприятное влияние на работу осветительных ламп и асинхронных двигателей. Нежелательно как его повышение, так и понижение на зажимах электроприемников. При снижении напряжения резко уменьшается световой поток ламп накаливания и их КПД, а при его увеличении световой поток повышается, однако сокращается срок службы ламп. Снижение в сети системы питания может привести к массовому останову асинхронных двигателей [2].

Рассматривая влияние изменения напряжения в качестве потребителя следует учитывать и трансформаторы, установленные на подстанции. Снижение напряжения для трансформаторов с постоянной мощностью приводит к увеличению тока в обмотках. Обычно это не представляет угрозы, так как  $S_{ном}$  трансформаторов превышает нагрузку, при условии, что их конструкция позволяет допускать определённую перегрузку [3].

Изменения характеристик напряжения электропитания в точке передачи электрической энергии подразделяются на продолжительные изменения характеристик напряжения и случайные (кратковременные). Продолжительные изменения характеристик напряжения включают в себя

медленные изменения напряжения, колебания напряжения и фликер, несинусоидальность напряжения, несимметрия напряжений в трехфазных системах. Показателями, которые относятся к случайным событиям, являются прерывания напряжения, провалы напряжения и перенапряжения, импульсные напряжения.

Отклонение напряжения и несимметрия напряжений – одно из основных показателей качества, характеризующееся коэффициентом несимметрии по нулевой последовательности и коэффициентом несимметрии по обратной последовательности [4]. Несимметрия токов и напряжений – явление в многофазной сети переменного тока, когда амплитуды фазных напряжений (токов) и/или углы между ними не равны между собой. Для уменьшения влияния несимметрии нагрузок на качество напряжения необходимо обеспечивать симметричное распределение однофазных приемников по фазам, а также включение на линейное напряжение более мощных из этих приемников.

Основными методами повышения качества электроэнергии, обеспечивающими технического обслуживания электрооборудования, является регулирование напряжения в центре питания и у электрооборудования; снижение потерь напряжения в электрооборудовании и сети; равномерное распределение нагрузки по фазам; применение активных фильтров и динамических компенсаторов искажений напряжения (ДКИН).

Путем регулирования напряжения в центре питания и у потребителей снижают отклонения и колебания напряжения. Для этой цели используются силовые трансформаторы с регулированием под нагрузкой (РПН), если требуется частое изменение уровня напряжения, и силовые трансформаторы с переключением без возбуждения при редком изменении [2].

Использование изменений коэффициента трансформации силовых трансформаторов создает определенный уровень напряжения у всех электроприемников. Следует отметить, что увеличение напряжения до допустимого уровня у наиболее удаленных электроприемников, как правило, приводит к повышенному уровню напряжения у близко расположенной к регулируемым трансформаторам нагрузки, что может превысить допустимое значение [3].

В тех случаях, когда показатели качества электроэнергии, характеризующие несинусоидальность, невозможно довести до нормированных значений схемным путем, необходимо применять фильтры, подключающиеся параллельно к сети, либо фильтрокомпенсирующие устройства, которые будут генерировать реактивную мощность и компенсировать потери мощности в сети и напряжения.

Динамические компенсаторы искажений напряжения (ДКИН) на 0,4 и 6 (10) кВ позволяют решить совокупность проблем, связанных как с качеством электроэнергии, так и с провалами и посадками (до трех секунд) напряжения. Устройства ДКИН предусматривают снижение потерь электроэнергии, устраняют несимметрию по фазам и несинусоидальность во всех режимах работы, регулируют напряжение нагрузки к номинальному значению, и обеспечивают быстрый отклик на провал напряжения, начиная работу уже после первой миллисекунды [5].

Таким образом, проблема качества электроэнергии очень важна, что стала синонимом «электромагнитной безопасности», так как отвечает за безотказную работу технических средств и выполнение технических процессов, которые отвечают за безопасность в энергетике.

### **Источники**

1. Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации [Электронный ресурс]: федер. закон от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ. Доступ из справ.-правовой системы «Консультант-Плюс» (дата обращения: 15.09.2021).

2. Гриднева Т.С., Нугманов С.С. Энергосбережение в электроснабжении АПК: практикум. Самара: РИЦ СГСХА, 2018. 137 с.

3. Граф Р. Электронные схемы: 1300 примеров / пер. с англ. М.: Мир, 1989. 688 с.

4. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М.: Стандартинформ, 2014. 16 с.

5. Вениаминов В.Н., Лебедев О.Н., Мирошниченко А.И. Микро-схемы и их применение: справ. пособие. М.: Радио и связь, 1989. 240 с.

# РЗА, ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ И ПОДСТАНЦИИ

УДК 621.317.7

## ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ НА ПОДДЕРЖАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ (ЧАСТОТА – УГОЛ РОТОРА) В НОРМАЛЬНЫХ И АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЯХ НА УРОВНЕ НАПРЯЖЕНИЯ (230-400) КВ

А.М. Альзаккар<sup>1</sup>, Н.П. Местников<sup>2</sup>, Алхадж Хассан.Ф.<sup>3</sup>

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

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

<sup>1</sup>Ahmadalzakkar86@gmail.com, <sup>2</sup>Sakhacase@bk.ru, <sup>3</sup>Fouadhajjhassan42@gmail.com

Произведен анализ влияния электрических соединений между восемью арабскими странами (Египтом, Ираком, Иорданией, Ливаном, Ливией, Палестиной и Турцией) на поддержку устойчивости (частота – угол ротора) синхронных генераторов в сирийской электросети путем сравнения системы, которая имитирует Сирийскую электрическую сеть (независимая сеть – взаимосвязанная сеть). Использовалась методика, основанная на динамическом представлении энергосистемы, с последующим использованием программы PSS®E 230-400 кВ.

**Ключевые слова:** Соединение, частота, PSS®E, устойчивость.

Поскольку наше исследование проводится при напряжении 230–400 кВ, то на рис. 1 показана однолинейная схема сирийской электросети на напряжение 230–400 кВ в 2011 г.

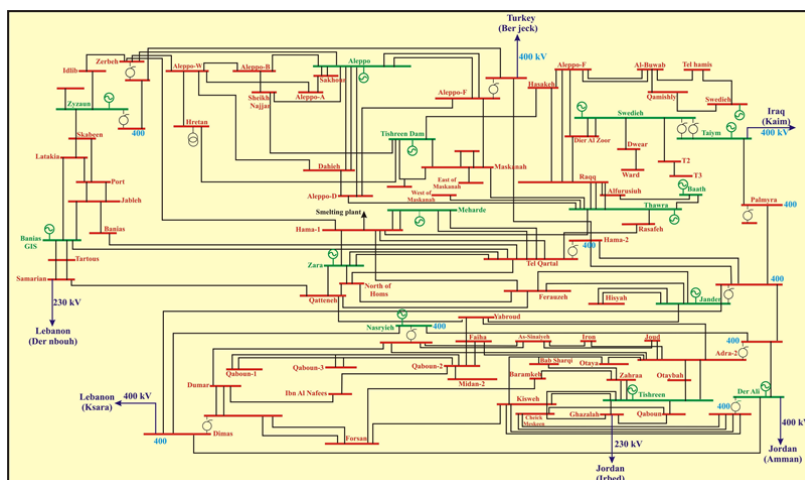


Рис. 1. Однолинейная схема электрической сети в Сирии

## 1. Поддержка устойчивости частоты в энергосистеме на уровне напряжения 230 кВ и 400 кВ в Сирии.

Используя таблицу защиты от понижения частоты на подстанциях сирийской сети [1], мы применили первую ступень (сброс нагрузки) 326 МВт ступени I качания ротора в генераторе, которая отключилась при  $f = 49$  Гц. Этот случай представлен с использованием PSS/E, а результирующая кривая показана на рис. 2, а. Примечательно, что частота не упала ниже  $f = 47,5$  Гц, а стабилизировалась на  $f = 47,7$  Гц, то есть не достигла уровня, при котором оборудование защищено от электрической сети. Следовательно, в электросети не будет обрушения или отключения электроэнергии.

Значение частоты ( $f = 48,2$  Гц), при которой электрическая сеть стабилизировалась, низкое. Используя таблицу [1], мы применили первую ступень (сброс нагрузки) этапа I (качение ротора в генераторе). Этот случай представлен с использованием (PSS/E) [2], а результирующая кривая показана на рис. 2, б. Сравните эту кривую с кривой на рис. 2, а. Было обнаружено, что падение частотной кривой уменьшилось, потому что частота стабилизировалась на ( $f = 48,9$  Гц) больше, чем ( $f = 47,7$  Гц).

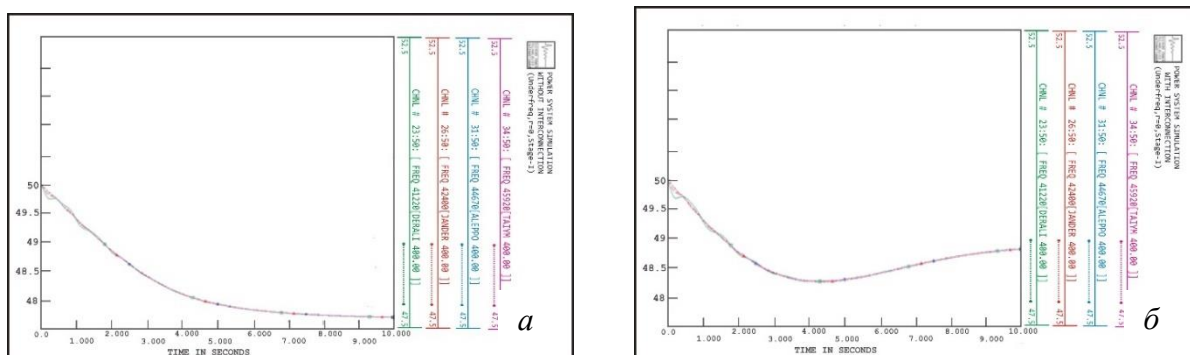


Рис. 2. Поведение частоты (с пониженной частотой - без резерва вращения):

а – независимая сеть; б – взаимосвязанная сеть

## 2. Поддержка устойчивости угла ротора в энергосистеме на уровне напряжения 230 кВ и 400 кВ в Сирии.

На рис. 3, а показана кривая угла ротора генерирующей установки Насрье (NASRG01) до соединения с (EIJLLPST). Когда происходит трехфазное короткое замыкание (3 фазы) на шине 55599 Насрыхской электростанции. Для разных времен сбоя (FT) = (100–200–250) мсек [3]. Из графика (синяя кривая) видно, что на электростанции Насрье противофазная синхронизация (OOPS) для FT = 250 мсек. Следовательно, CFCT = 200 мсек.



На рис. 3, б показана кривая угла ротора генераторной установки Насрье (NASRG01) после соединения с (EIJLLPST). Когда происходит трехфазное короткое замыкание (3 фазы) на шине 55599 Насрыхской электростанции. Для разных времен сбоя (FT) = (100-200-300) мсек. Из графика (синяя кривая) видно, что на электростанции Насрье противофазная синхронизация (OOPS) для (FT) = 300 мсек. Следовательно, CFCT = 250 мсек.

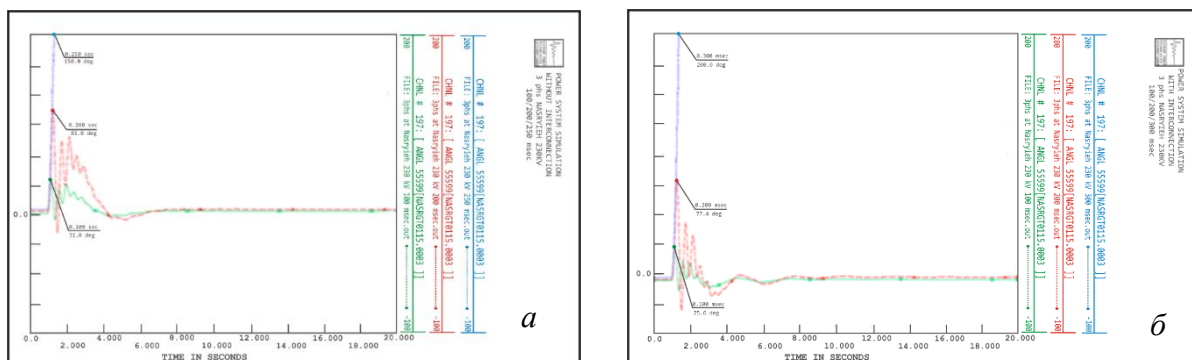


Рис. 3. Угол наклона ротора электростанции Насрье для различных (FT):  
а – независимая сеть; б – взаимосвязанная сеть

Перед тем, как приступить к подключению электрических систем к сирийской электросистеме, рекомендуется провести углубленные динамические исследования всей системы, чтобы показать влияние взаимосвязи на параметры системы, с учетом увеличения переносимой мощности и выбора соответствующей защиты для соединительных линий.

Обнаружено увеличение CFCT для энергоблоков сирийской электросистемы из-за активации межсоединения (увеличения транспонированной мощности (PT)), это привело к увеличению зоны послеаварийной стабилизации.

### Источники

1. Public Establishment of Electricity Generation & Transmission in Syria [Электронный ресурс]: Annual Report. URL: <https://cutt.us/Report2014> (дата обращения: 11.09.2021).
2. Alzakkar A., Mestnikov N. Study of Impact of the Main Parameters of Synchronous Generators on the Dynamic Stability in the Syrian Power System // Proc. of the International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing International. 2021. Pp. 197–203/
3. Alzakkar A., Hassan F.A. Support of Frequency Stability in Electrical Power System at Voltage 400 kV in Syria // Advances in Automation II: Proc. of the International Russian Automation Conference. 2021. Pp 891–902.

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ДЛЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ, УЧАСТВУЮЩИХ В МЕХАНИЗМЕ УПРАВЛЕНИЯ СПРОСОМ НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ

В.Ф. Ахуньянов<sup>1</sup>, П.А. Седов<sup>2</sup>

Филиал АО «СО ЕЭС» Башкирское РДУ, г. Уфа

<sup>1</sup>akhunyanov@rb.so-ups.ru, <sup>2</sup>sedov@rb.so-ups.ru

Выполнена оценка экономической эффективности установки накопителей электроэнергии для участия потребителей в механизме управления спросом на электрическую энергию, определена точка безубыточности и срок окупаемости оборудования для различных ценовых заявок.

**Ключевые слова:** управление спросом на электрическую энергию, накопители электрической энергии, окупаемость.

В ряде стран накопители энергии участвуют на рынках мощности и системных услуг в качестве самостоятельных технологических единиц. В то же время агрегаторы управления спросом имеют возможности и полномочия агрегировать разные типы ресурсов, к которым могут относиться и накопители. Например, агрегатор REstore использует накопители энергии в комбинации с энергоемкими промышленными процессами. При получении сигнала/требования о снижении нагрузки от оператора, сначала разряжается батарея, и тем самым обеспечивается время, необходимое для фактического снижения нагрузки в промышленном процессе. То есть такое сочетание увеличивает скорость реакции и тем самым повышается ценность предложения [1].

Рассмотрим экономическую эффективность применения накопителей электроэнергии в механизме управления спросом на электрическую энергию, на российском рынке, на примере условного потребителя мощностью 1 МВт, использующего накопители электроэнергии в качестве резервного источника питания при поступлении команды от системного оператора на снижение потребления электроэнергии. Расчет капитальных затрат на накопители электроэнергии

Согласно [2], потребитель электрической энергии в заявке, направляемой системному оператору на участие в конкурсном отборе, самостоятельно указывает количество последовательных часов в сутки, в которых потребителем электроэнергии должна быть обеспечена готовность к оказанию услуг по управлению спросом, составляющая 2 или 4 ч. Поскольку от указанного количества часов зависит величина коэффициента учета объема оказанных услуг, то для получения наибольшего экономического эффекта примем количество часов готовности оказания услуг равным 4.

Далее рассчитаем ток нагрузки в режиме потребления электроэнергии от аккумуляторной батареи (далее – АКБ) по известной формуле:

$$I_{\text{нагр}} = \frac{P_{\text{нагр}}}{U_{\text{ном}} \cdot \cos\varphi}; \quad (1)$$

Подставив необходимые значения, получим ток нагрузки равный 4784 А. Зная значения тока нагрузки и длительности работы электроприемников от массива АКБ, определим предварительную емкость:

$$C = \frac{I_{\text{нагр}} \cdot t}{k}; \quad (2)$$

где  $C$  – предварительная емкость АКБ;  $t$  – время разряда АКБ, принимаемый равным 4;  $k$  – коэффициент учитывающий глубину разряда АКБ, принимаемый равным 0,7.

Также необходимо учитывать максимальный ток разряда гелевых АКБ, который, согласно паспортным данным, не должен превышать 5 % от всей емкости массива АКБ. Исходя из данного условия, емкость массива АКБ составит 95 680 А · ч. Примем к установке гелевые аккумуляторы емкостью 200 А · ч, напряжением 12 В. Необходимое количество аккумуляторных батарей составляет 479 штук. Для преобразования постоянного значения тока и напряжения в переменное и повышения напряжения до величины питания электроприемников примем к установке инвертор номинальной мощностью 1,25 МВт.

Теперь, имея на руках исходные данные, рассчитаем капитальные затраты. Ориентировочная цена покупки на Российском рынке одного гелевого аккумулятора составляет 35 тыс. руб., инвертора – 15 000 тыс. руб. Общие капитальные затраты составят: 31 765 тыс. руб.

Согласно опубликованным на сайте системного оператора данным по конкурентному отбору субъектов электроэнергетики и потребителей электрической энергии, оказывающих услуги по управлению спросом на электрическую энергию в период с июля по сентябрь 2021 г., стоимость оказания услуг по управлению спросом на электрическую энергию составляет от 199 тыс. до 500 тыс. руб/МВт в месяц [3].

Точка безубыточности и срок окупаемости оборудования для различных ценовых заявок представлен на рисунке.

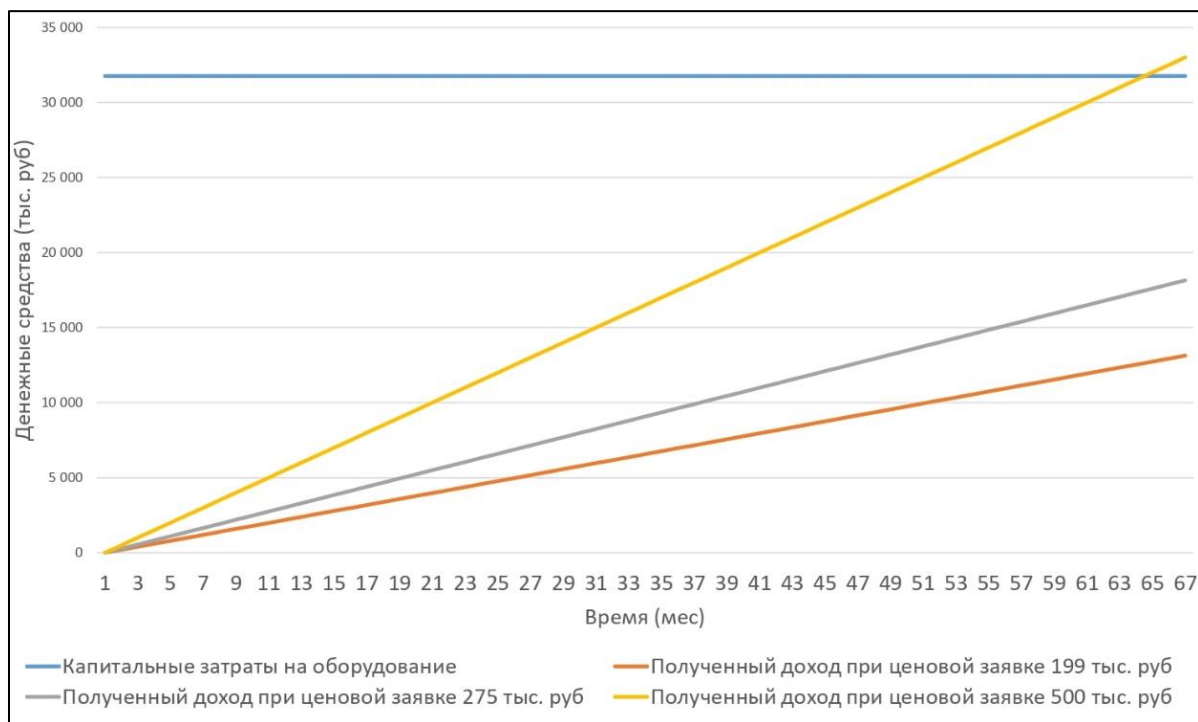


График безубыточности

Как видно из графика безубыточности, окупаемость оборудования при ценовой заявке 500 тыс. руб/МВт в месяц составляет 5,4 г.

Исходя из полученных данных, ни один из вариантов не имеет срок окупаемости ниже гарантийного срока эксплуатации оборудования в 5 лет. Кроме того, с каждым последующим отбором ценовых заявок на оказание услуг по управлению спросом на электрическую энергию происходит снижение цен на оказание услуг, что вызвано увеличением числа подаваемых заявок. Также данный расчет не учитывает амортизационные затраты на обслуживание оборудования. В связи с вышеизложенным, применение накопителей электроэнергии для потребителей, участвующих в механизме управления спросом на электрическую энергию, экономически не целесообразно при текущих ценах на основное оборудование.

## Источники

1. Управление спросом в электроэнергетике России: открывающиеся возможности: экспертно-аналитический доклад / В. Сидорович [и др.]; под ред. Ф. Опадчего, Д. Холкина. – М., 2019. – 100 с.

2. Правила отбора субъектов электроэнергетики и потребителей электрической энергии, оказывающих услуги по обеспечению системной надежности, и оказания таких услуг [Электронный ресурс]: утв. Постановлением Правительства Российской Федерации от 3 марта 2010 г. № 117. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант» (дата обращения: 11.09.2021).

3. О составе субъектов электроэнергетики и потребителей электрической энергии, оказывающих услуги по управлению спросом на электрическую энергию в период с июля по сентябрь 2021 года [Электронный ресурс]: протокол Комиссии по проведению отбора субъектов электроэнергетики и потребителей электрической энергии, оказывающих услуги по управлению спросом на электрическую энергию от 18 июня 2021 г. № 37. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс» (дата обращения: 11.09.2021).

## СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ БАЛАНСА АКТИВНОЙ И РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ НА УЧАСТКЕ ЦЕПИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Г.Д. Бочкарев  
ГАПОУ «СГК», г. Самара  
mister.hja@yandex.ru

Предложен математический алгоритм количественного представления баланса активной и реактивной мощностей, основанный на адаптируемых под аппаратные нужды требования, различных вычислительных систем измерительных органов.

**Ключевые слова:** электроэнергетическая система, активная мощность, реактивная мощность, оценка баланса мощности.

Любая электроэнергетическая система (ЭЭС), основанная на переменном напряжении, непременно включает в себя взаимодействие многих электротехнических элементов, таких как источники электроэнергии (электрические станции), повышающие и понижающие трансформаторы и автотрансформаторы, распределительные устройства (РУ) (открытые и закрытые) и потребители (предприятия промышленности и бытовые нужды населения) [1].

В связи с тем, что переменная электроэнергетика невозможна без выделения реактивной мощности со стороны РУ и потребителей, перед специалистами встает вопрос своевременного получения точной информации о текущем состоянии баланса мощностей на отдельно взятом участке ЭЭС [2].

В работе предложено одно из решений поставленного вопроса, позволяющее с высокой степенью достоверности и точности, получаемых за счет простоты и краткости его программной реализации в устройствах телеметрии и мгновенной оценки текущих параметров сети.

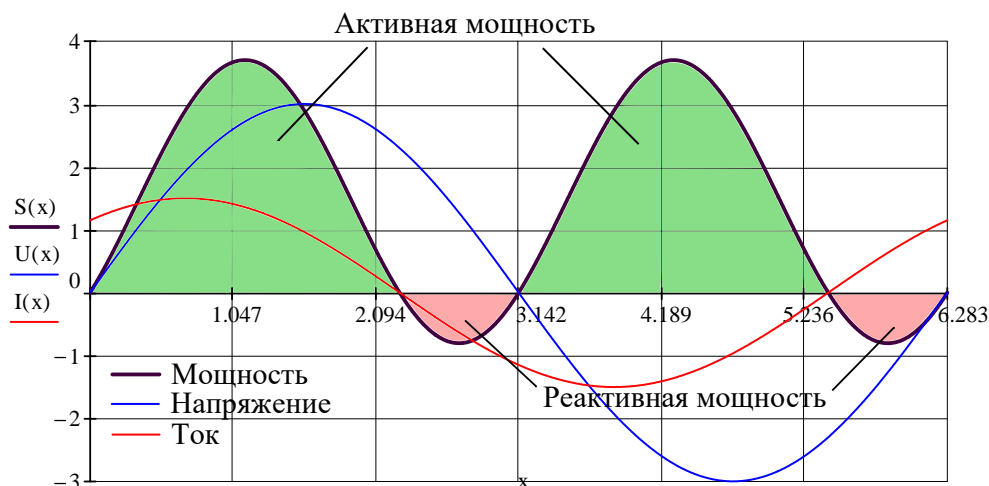
В основе метода вычисления лежит математический аппарат, изложенный в [3] и представляет из себя ряд алгебраических операций над оцифрованным сигналом от аналоговых источников напряжения и тока (трансформаторов тока и напряжения).

Как известно, переменная электроэнергетика описывается законом синуса, который в точности повторяет процессы повышения и снижения уровня напряжения и тока в сети. Поэтому для математического представления предлагаемого метода были сделаны следующие допущения:

- отсутствие гармонических составляющих в сигнале;
- отсутствие эффекта гистерезиса;
- отсутствие наведенных на основной сигнал шумов.

При питании потребителей, имеющих индуктивное сопротивление (трансформатор, электродвигатель, индуктор и пр.) происходит отставание вектора тока от вектора напряжения на некоторый угол  $\varphi$ , таким образом, что кривая сигнала тока опаздывает от кривой напряжения на некоторый отрезок времени, создавая тем самым участки одновременного существования как положительных, так и отрицательных участков значений тока и напряжения.

Мгновенное значение активной мощности является произведением мгновенных значений напряжения на тока, поэтому при появлении отрицательных мгновенных значений либо тока, либо напряжения, появляется и отрицательное мгновенное значение мощности (см. рисунок).



Визуальная интерпретация предлагаемого способа определения баланса мощностей активной и реактивной энергии

Предлагается представить ряд мгновенных значений полученной мощности, при наличии некоторого угла  $\varphi$  в виде кривой, положительные значения которых, относятся к активной мощности, отрицательные к реактивной. Для того, чтобы количественно оценить получаемые величины, предлагается проинтегрировать полученную функцию на положительных и отрицательных участках.

За основу предполагаемого сигнала напряжения и тока были взяты функции синуса:

- $U(x) = 3,5\sin(x)$  – переменного напряжения;
- $I(x) = 1,5\sin(x + \varphi)$  – переменного тока, отстающего от напряжения на угол  $\varphi$ ;

–  $S(x) = U(x) I(x)$  – мощности, являющийся произведением  $U(x)$  и  $I(x)$  (см. рисунок).

Для дальнейшей оценки полученных результатов необходимо вычислить площадь участков, образованных положительными и отрицательными полупериодами кривой мощности  $S(x)$ . Данные операции были проведены по:

$$P = \int_0^{\pi-\varphi} S(x) dx \text{ – активная мощность;}$$

$$Q = \int_{\pi-\varphi}^{\pi} S(x) dx \text{ – реактивная мощность.}$$

Таким образом, появляется возможность быстрой и достоверной оценки баланса мощностей в отдельно взятом участке цепи ЭЭС. Это позволит своевременно реагировать на потенциально опасные возмущения в сети и сократить аварийность отдельных участков.

### **Источники**

1. Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины: учеб. для вузов. В 2-х т. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во МЭИ, 2004. Т. 1. 654 с.
2. Программа инновационного развития. ПАО «Россети» на период 2016-2020 гг. с перспективой до 2025 г. М., 2016. 320 с.
3. Железко Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии. Руководство для практических расчетов. М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2016. 456 с.



## ТЕПЛОВИЗИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ПОДВЕСНОЙ ИЗОЛЯЦИИ С ПОМОЩЬЮ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ

А.В. Ветчинкина  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
vetchinckina.albina@yandex.ru

Рассмотрен метод тепловизионного контроля для диагностики состояния подвесной изоляции. Применение мини-дронов для выявления дефектов изоляции и его перспективы.

**Ключевые слова:** диагностика, тепловизионный контроль, тепловизор, квадрокоптеры.

Наиболее эффективным методом диагностики изоляции с точки зрения скорости проведения измерений, простоты и доступности является тепловизионное обследование. Современные тепловизоры очень просты и удобны в эксплуатации, при этом набор встроенных инструментов для анализа позволяет в отдельных случаях производить диагностику прямо на объекте.

Проведение диагностики состояния подвесных изоляторов с помощью тепловизионного контроля связано с меньшим количеством рисков, так как обслуживающий персонал соблюдает дистанцию от оборудования, находящегося под напряжением [1].

Главным плюсом тепловизионного контроля считается получение данных о дефектах без отключения оборудования, к тому же многие виды неисправностей проявляется в виде нагрева (или его отсутствия) нагруженном оборудовании. Как правило с целью установления подобных повреждений требуется проводить сложные электрические испытания, которые связаны с отключением оборудования и организационно-техническими мероприятиями, которые связаны с допуском бригады на испытания [2].

Для того, чтобы получить точные результаты измерений тепловизором в закрытом помещении достаточно разницы между внутренней и наружной температурой. Эта температура должна составлять примерно 15 °С и более. Другими словами, если в помещении температура +20 °С, а на улице +5 °С, то тепловизионные измерения будут достаточно точными.

При диагностике состояния изоляции в открытой подстанции желательны следующие погодные условия: отсутствие интенсивного солнечного освещения, отсутствие выпадения осадков (дождь, снег) и отсутствие сильного ветра. Все эти, а также некоторые другие обстоятельства будут влиять на результаты. Например, тепловизионный контроль изоляции лучше проводить утром или вечером, когда температура окружающей среды минимальна. Днем такая возможность предоставляется в пасмурную погоду. Зимой возможны измерения температурных скачков в условиях прямой солнечной засветки [3].

Таблица 1

Классификация выявленных дефектов подвесной изоляции

| Степень неисправности | Значение превышения температуры, °С, при номинальной нагрузке | Классификация дефекта   |
|-----------------------|---|---|
| 1                     | 5–10  | Начальная степень развития дефекта, которую следует держать под контролем.                            |
| 2                     | 10–30   | Развившийся дефект, учащенный контроль один раз в месяц. Устранение дефекта при первой необходимости. |
| 3                     | > 30  | Аварийный дефект. Требуется немедленного устранения.  |

При диагностике состояния изоляции в открытой подстанции желательны следующие погодные условия: отсутствие интенсивного солнечного освещения, отсутствие выпадения осадков (дождь, снег) и отсутствие сильного ветра. Все эти, а также некоторые другие обстоятельства будут влиять на результаты. Например, тепловизионный контроль изоляции лучше проводить утром или вечером, когда температура окружающей среды минимальна. Днем такая возможность предоставляется в пасмурную погоду. Зимой возможны измерения температурных скачков в условиях прямой солнечной засветки [3].

Для определения технического состояния изоляторов ВЛ и проведения диагностики с помощью тепловизионного контроля можно использовать беспилотные летательные аппараты. Маневренность данного вида техники позволяет эффективно провести осмотр подвесных изоляторов.

Инженерно-технические работники и ремонтные бригады могут быть обеспечены мини-дронами, снабженными тепловизионной камерой и позволяющими обнаружить тепло, исходящее от подвесной изоляции, превращая их в изображение и видео.

Беспилотные летательные аппараты могут управлять посредством пульта управления или с помощью собственного смартфона. Они способны удалиться от оператора на расстояние до 100 метров, что еще больше обезопасит работников.

Наибольшая эффективность тепловизионного контроля с помощью дронов достигается при комплексном подходе, когда получаемые данные обрабатываются и анализируются, то есть для более точных результатов измерений программное обеспечение тепловизоров должно учитывать угол съемки относительно поверхности изоляции, режим нагрузки оборудования, соединение с системами баз данных, погодные и другие внешние условия.

Применение мини-дронов в энергетике в ближайшие годы будет существенно возрастать, так как в зависимости от целей квадрокоптер можно оснастить любым количеством оборудования, что позволит производить контроль, осмотр и диагностику изоляции и оборудования электроэнергетики. Несомненным достоинством применения квадрокоптеров является их широкий спектр возможностей: установка различного оборудования, маневренность, способность приближаться на близкое расстояние к опасным для жизни человека объектам.

### **Источники**

1. Соловьев С.В., Филонова Д.Н. Тепловизионный контроль состояния электроустановок белгородских электрических сетей с помощью прибора Fliri50 // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: матер. 11-й Междунар. конф. по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики / под общ. ред. Р.А. Ковалева. Тула, 2015. С. 371.

2. Лисина Л.Ф. Методы испытания и диагностики изоляции высоковольтного оборудования // Вестник Ангарской государственной технической академии. 2014. № 8. С. 61–65.

3. Мамонтов А.Н., Астанин С.С., Рычков А.В. Тепловизионный контроль воздушных линий электропередач // Вести высших учебных заведений Черноземья. 2017. № 1 (47). С. 9–16.

4. Арбузов Р.С., Овсянников А.Г. Современные методы диагностики воздушных линий электропередачи. Новосибирск: Наука, 2009. 135 с.

## СРАВНЕНИЕ ИНТЕРФЕЙСОВ RS-485, RS-422, RS-232 ДЛЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

А.А. Гайнутдинов  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
a.gainutdinov57@gmail.com

Рассмотрены отличия интерфейсов RS-232, RS-422, RS-485 по функциональным и техническим параметрам. Рассматривается процесс автоматизации электроэнергетических систем, для упрощения управления технологическим оборудованием на предприятиях. На основе предложенных данных выбран наиболее эффективный интерфейс RS-485.

**Ключевые слова:** электроэнергетические системы, интерфейс, автоматизация.

Экономический рост России, обеспечивается за счет научно-технического прогресса во всех сферах производства. Одним из важнейших факторов на сегодняшний день, является усовершенствование технологий во всех системах, в том числе и электроэнергетических. С ростом автоматизации в электроэнергетике возрастает необходимость перехода всех технических оборудований на интерфейс RS-485, поскольку увеличивается количество устройств, подключенных к верхнему уровню системы и расстояние между ними.

Под обозначениями RS-232, RS-422, RS-485 понимаются интерфейсы для цифровой передачи данных. Стандарт RS-232 был создан для обеспечения связи между различными поставщиками небольших интерфейсов последовательной передачи данных. Стандарты RS-422, RS-485 были разработаны для увеличения расстояния и объема передачи данных.

Типология RS-485 различается от RS-232, RS-422, поскольку является многоточечной сетью. Данный тип системы отличается гибкостью, простотой изменения конфигурации сети, большим количеством настраиваемых опций, что позволяет увеличить эффективность оборудования, а также возрастает зона передачи сигнала. К недостаткам относятся сложности, связанные с использованием алгоритмов, но данная проблема решается путем учета и исправления указанных недостатков. В таблице представлены основные отличия интерфейсов протокола RS-232, RS-422, RS-485.

| Название                                       | RS-232                                 | RS-422                           | RS-485  |
|--|--|----------------------------------|---|
| Тип передачи                                   | Полный дуплекс                         | Полный дуплекс                   | Полудуплекс (2 провода), полный дуплекс (4 провода) |
| Максимальная дистанция                         | 15 метров при 9600 бит/с               | 1200 метров при 9600 бит/с       | 1200 м при 9600 бит/с                               |
| Задействованные контакты                       | TxD, RxD, RTS, CTS, DTR, DSR, DCD, GND | TxA, TxB, RxA, RxB, GND          | DataA, DataB, GND                                   |
| Топология                                      | Точка-точка                            | Точка-точка                      | Многоточечная                                       |
| Максимальное количество подключенных устройств | 1                                      | 1 (10 устройств в режиме приема) | 32 (с повторителями больше, обычно до 256)          |

По данным из таблицы можем пронаблюдать, что RS-232 покрывает меньшее расстояние и имеет меньшую скорость передачи данных, в то время как RS-485 распространяется на расстояние до 1200 метров и имеет максимальную скорость передачи данных 9600 бит/с. Это объясняет, почему RS-232 используется для соединений на малых расстояниях, а RS-485 – на больших расстояниях с более высокими требованиями к скорости передачи данных.

Научно-технический прогресс в электроэнергетических системах стремительно развивается, модернизируется и автоматизируется для ускоренного анализа и предотвращения критических ситуаций в системе. Для огромного количества данных необходимо использовать протоколы, которые имеют несколько систем, более высокие скорости передачи данных на большие расстояния и обладают большей помехоустойчивости.

### Источники

1. Хлебенских Л.В., Зубкова М.А., Саукова Т.Ю. Автоматизация производства в современном мире // Молодой ученый. 2017. № 16 (150). апрель 2017 г. С. 308–311.
2. Энциклопедия АСУ ТП [Электронный ресурс]. URL: [https://www.bookasutp.ru/chapter2\\_3](https://www.bookasutp.ru/chapter2_3) (дата обращения: 18.06.2021).
3. Goldie J. Ten Ways to Bulletproof RS-485 Interfaces [Электронный ресурс]. URL: <https://www.avrfreaks.net/sites/default/files/RS485%20Ten%20Ways%20to%20Bulletproof%20> (дата обращения: 18.06.2021).
4. Ott H.W. Noise Reduction Techniques in Electronic Systems. 2<sup>d</sup> ed. Wiley and Sons, New York, 1988. 448 p.
5. Ключевые различия между протоколами RS-485 и RS-232 [Электронный ресурс]. URL: <http://digitrode.ru/articles/3446> (дата обращения: 26.06.2021).

## ТЕХНОЛОГИЯ ВИРТУАЛЬНОГО СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

Р.Р. Гарафутдинов

Филиал АО «СО ЕЭС» Башкирское РДУ, г. Уфа

garafutdinov@rb.so-ups.ru

Описана технология виртуального синхронного генератора для реализации возможности участия электростанций на основе ВИЭ в обеспечении надежности и устойчивости энергосистемы. Определяются основные направления будущего развития технологии.

**Ключевые слова:** виртуальный, синхронный, генератор, инвертор, устойчивость, солнечные, электростанции, ВИЭ.

В традиционных энергосистемах роторы синхронных генераторов обладают большой инерцией вращения и большой кинетической энергией. При возникновении аварий в энергосистеме высокая кинетическая энергия роторов оказывает поддержку для сохранения устойчивости энергосистемы. Кроме того, демпфирующая функция синхронных генераторов может помочь сдерживать колебания частоты энергосистемы.

В отличие от традиционных синхронных генераторов у электростанций на основе ВИЭ отсутствуют инерционные свойства. Поэтому электростанции на основе ВИЭ с использованием инверторов (при существующих системах управления) не могут участвовать в обеспечении устойчивости энергосистемы.

Однако может быть смоделирована виртуальная инерция путем добавления к инвертору накопителя энергии в сочетании с подходящей системой управления для инвертора [1]. Таким образом, инвертор может вести себя как «виртуальный синхронный генератор» (ВСГ) в течение коротких интервалов времени и вносить свой вклад в обеспечение устойчивости сети [2].

ВСГ состоит из накопителя энергии, инвертора и системы управления инвертором (рис. 1). Система управляет обменом энергией между накопителем энергии и энергосистемой. Этот обмен энергией поддерживает энергосистему, предотвращая колебания частоты, подобные вращающейся инерции синхронного генератора.

Для описания принципиальной схемы управления ВСГ в качестве примера взята фотоэлектрическая установка. Взаимосвязь между инвертором и синхронным генератором показана на рис. 1.

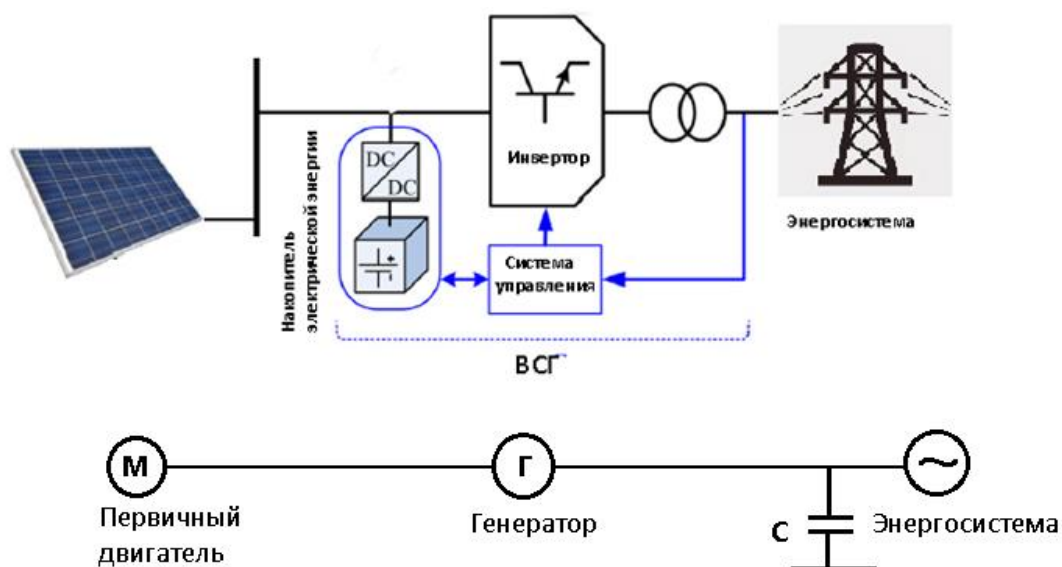


Рис. 1. Структурная схема ВСГ и взаимосвязь между инвертором и синхронным генератором

Как показано на рис. 1, эквивалентное соотношение между инвертором и синхронным генератором может быть описано следующим образом: солнечные панели могут быть заменены первичным двигателем (турбиной), накопитель энергии и инвертор могут представлять вращающуюся инерцию первичного двигателя (турбины) и генератора, система управления может представлять электромеханическое преобразование энергии синхронного генератора, средние выходные напряжения инвертора могут эквивалентно заменять генерируемую ЭДС синхронного генератора, индуктивность фильтра и соответствующее ей сопротивление можно рассматривать как индуктивность и сопротивление обмоток статора синхронного генератора.

На основе вышесказанного можно построить принципиальную схему управления ВСГ. Построенная на основе схемы управления синхронного генератора, схема управления ВСГ на базе солнечной электростанции, приведена на рис. 2 [3].

Основная идея ВСГ состоит в том, чтобы имитировать функции синхронного генератора с помощью управления инвертором и накопителем электрической энергии. Поэтому схема управления ВСГ включает в себя математическую модель синхронного генератора.

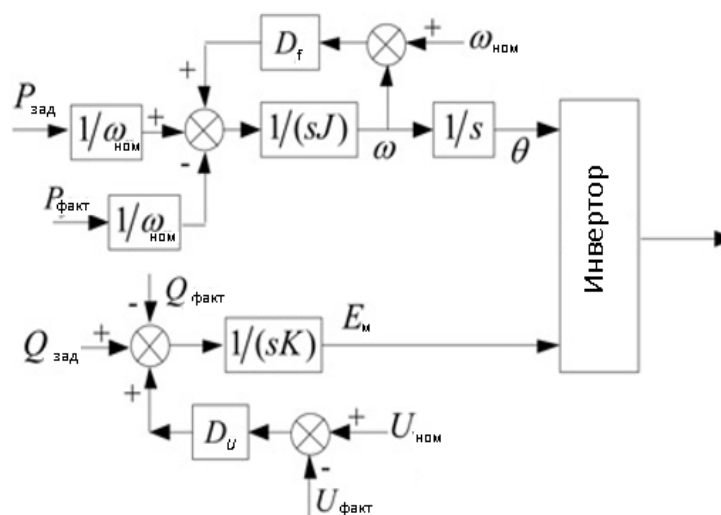


Рис. 2. Алгоритм управления ВСГ

Как показано на рис. 2, инвертор солнечной электростанции и другие силовые электронные устройства могут имитировать вращающуюся инерцию и демпфирующую функцию синхронного генератора, которая может эффективно реагировать на колебания частоты и напряжения электрической сети, что повышает устойчивость энергосистемы и позволяет эффективно внедрять большое количество электростанций с использованием инверторов [4]. Таким образом, технология ВСГ имеет широкие перспективы применения в задаче обеспечения устойчивости энергосистем и требует дальнейшего изучения.

### Источники

1. Torres M. and Lopes L.A.C. Virtual synchronous generator control in autonomous wind-diesel power systems. DOI: 10.1109/EPEC.2009.5420953 // Proc. of the IEEE Electrical Power & Energy Conference. 2009.
2. Emulating the features of conventional generator with virtual synchronous generator technology: an overview / X. Kong [et al.] // The Journal of Engineering. 2017. Vol. 13. Pp. 2135–2139.
3. Virtual synchronous generator: An element of future grids. DOI: 10.1109/ISGTEUROPE.2010.5638946 / T.V. Van [et al.] // Proc. of the IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe. 2010.
4. Robert F. Arrit, Roger C. Dugan. Review of the Impacts of Distributed Generation on Distribution Protection. DOI: 10.1109/REPC.2015.12 // Proc. of the IEEE Rural Electric Power Conference. 2015.



## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТОКОВ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА COMSOL MULTIPHYSICS

Ю.Р. Гervasьева, В.В. Максимов  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
yuliya-gervaseva@yandex.ru

Рассматриваются теоретические вопросы программного комплекса COMSOL Multiphysics при моделировании электрических токов. Излагается алгоритм использования программы, позволяющий освоить тонкости работы и получить расчетные данные, необходимые для принятия технических решений.

**Ключевые слова:** моделирование, электрический ток, интерфейс, электропроводимость, диэлектрическая проницаемость.

COMSOL Multiphysics – это современный программный комплекс, включающий интерактивную среду для моделирования и расчетные модули, позволяющие проводить расчетную оценку большинства научных и инженерных задач, основанных на дифференциальных уравнениях в частных производных (PDE) методом конечных элементов.

Одним из базовых направлений электротехнических расчетов является численное моделирование электрических токов при условии пренебрежимо малых магнитных индукционных эффектов. Среди таких задач исследования стационарных токов в проводящих средах и переменных токов в резистивных и/или диэлектрических средах, в т.ч. в резисторах, токопроводящих шинах и актуаторах. Зачастую такие постановки сопровождаются расчетом сопряженных эффектов [1].

В COMSOL Multiphysics для этих целей следует использовать интерфейсы группы Electric Currents, расширенные версии которых входят в состав модулей AC/DC или MEMS.

1. Модели проводящих и диэлектрических материалов. Исходя из физической сути решаемых уравнений при расчёте стационарных токов выборку для интерфейсов включают только области с проводниками, в прочих случаях и проводники с диэлектриками. Для это потребуются данные о проводимости или относительно диэлектрической проницаемости. В интерфейсе Electric Currents эти данные регламентируют модель материала, которая называется Current Conservation: стандартная модель (линейная проводимость и действительная проницаемость).

Помимо линейной модели доступен ряд модификаций. Часть из них связана:

а) с электропроводностью:

- Archie's Law – почва, насыщенная влагой, в том числе вода/нефть;
- Effective Medium – микс нескольких материалов;
- Linearized Resistivity – классический эмпирический учет зависимости от температуры;

б) диэлектрической проницаемостью:

- Dielectric Losses – диэлектрические потери в частотной области;
- Polarization – задание поляризации среды.

2. Граничные условия (ГУ) [2]:

1) электрические контакты описываются:

– стандартные ГУ для электрического подключения: Ground, Electric Potential, Floating Potential;

– ГУ Terminal с опциями Voltage/Current/Circuit и т. п. и постобработкой сосредоточенных параметров: ёмкость, напряжение и заряд; доступна объёмная версия Terminal;

– ГУ Boundary Current Source и Normal Current Density.

2) ГУ для тонких слоев с высокой или низкой электропроводностью и диэлектрической проницаемостью: Electric Shielding, Contact Impedance/Distributed Impedance;

3) ГУ Electric Contact – неидеальный контакт, в сопряжении с тепловым и механическим контактом.

3. Описание открытых задач Infinite Element Domains.

На внешней границе по умолчанию условие Electric Insulation ( $E_n=0$ ), противоположное условию по сути Floating Potential ( $E_t=0$ ). Оба условия в общем случае искривляют электрические поля. Они же являются условиями симметрии.

Альтернативный вариант: использование дополнительного слоя в геометрии и условия Infinite Element Domain:

1) дополнительный «фиктивный» слой;

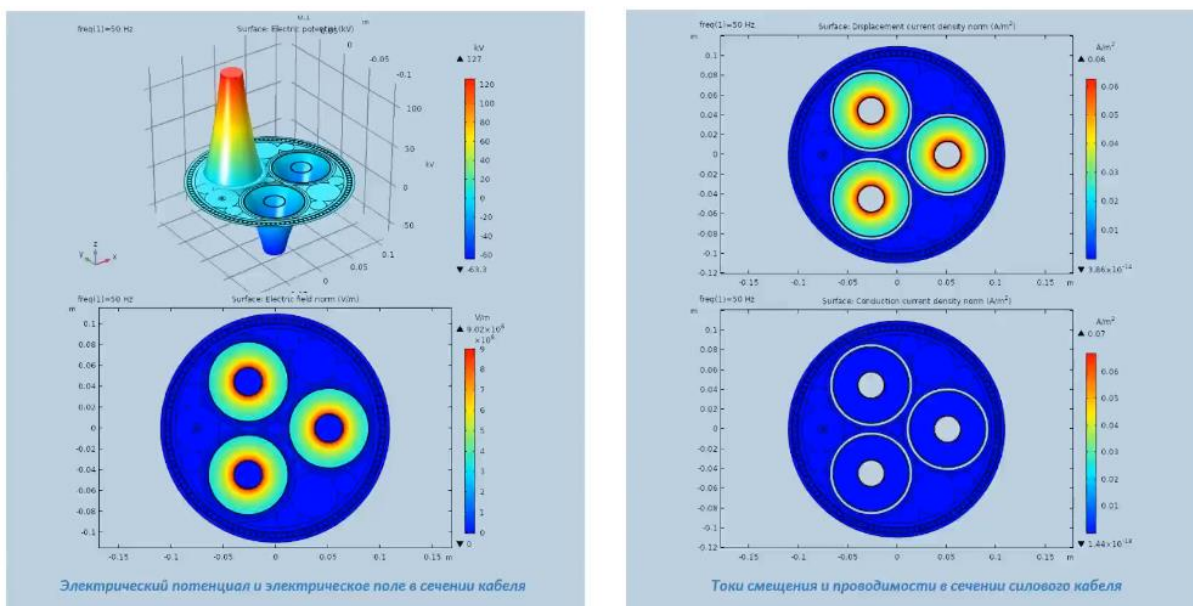
2) поля «виртуально» уводятся на бесконечность, не внося краевых эффектов в основной расчетной области;

3) требуется структурированная сетка.

4. Расчет электрических сил через Force Calculation.

Примерами расчетов электрического тока, с помощью программного комплекса, являются:

– расчет ёмкостных эффектов и соответствующих удельных параметров силового трехфазного кабеля (см. рисунок) [3];



2. Работа конденсатора на ВЧ и его разрядка.
3. Калькулятор для расчета удельных параметров линий электропередач и др.

### Источники

1. Моделирование параметров и процессов высоковольтного электрооборудования: практикум / Ю.Н. Бочаров [и др.]. СПб., 2012. 111 с.
2. Сальников В.Б., Беляков В.А. Расчеты с использованием программного комплекса COMSOL Multiphysics: методические указания к курсовому и дипломному проектированию. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015. 40 с.
3. Pryor Roger W. Multiphysics Modeling: Using COMSOL5 and MATLAB. Mercury Learning & Information, LLC, 2015. 700 p.

## **АНАЛИЗ МЕТОДА СПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛИЯНИЯ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ НА КАЧЕСТВО ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

А.Р. Гизатуллин, Л.В. Доломанюк  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
caff.tatap4uk@gmail.com

Рассмотрен метод спектроскопии, преимущество использования оптической спектроскопии для определения содержания ароматических углеводородов в трансформаторном масле в видимом диапазоне длин волн и в близких к нему УФ и ИК диапазонах. Рассмотрено содержание ароматических углеводородов в маслах разных марок, а также влияние ароматики на качество трансформаторного масла.

**Ключевые слова:** трансформаторное масло, спектроскопия, ароматические углеводороды

Трансформаторное масло (ТМ) используется для отвода тепла и изолирования узлов оборудования, находящихся под напряжением. ТМ получают в результате переработки нефти, при этом удаляются нежелательные компоненты, которыми могут являться и ароматические углеводороды, в избытке они уменьшают электрическую прочность.

Ароматические углеводороды всегда присутствуют в трансформаторных маслах. Их содержание и структура зависят от температуры выкипания фракции и природы нефти. Чем выше температур выкипания, тем больше в масле будет содержание ароматических углеводородов. Ароматические углеводороды ненасыщенные, поэтому менее стабильны и более химически активны. В связи с отрицательным влиянием ароматики на ТМ, его содержание сводят к минимуму, однако полное удаление этих углеводородов приведет к ухудшению других свойств масла. Ароматику можно разделить на углеводороды симметричного строения и ароматические соединения с длинными боковыми цепями. Первый тип окисляется крайне трудно, потому является ценной составляющей, а второй наоборот, склонен к окислению. Данная характеристика напрямую связана с ростом длины и числа боковых цепей.

Сегодня в мире существует два диаметрально противоположных мнения специалистов по поводу оптимального содержания ароматической группы в ТМ. Первое мнение принадлежит российским специалистам,

которые отмечают стойкость ароматических углеводородов к окислительным процессам, происходящих при эксплуатации масла в условиях повышенных температур, воздействия металлических соединений и других факторов. Второе мнение отмечает такое свойство ароматической группы как гигроскопичность, приводящее к увеличению влагосодержания в ТМ. Данный фактор ухудшает диэлектрические свойства ТМ. Этот вопрос является спорным. С одной стороны ароматика является наиболее стабильной к окислению, с другой полициклическая ароматика ухудшает диэлектрические свойства, вызывает выпадение обильных осадков. Таким образом, на сегодняшний день существует два взаимоисключающих мнения [1]:

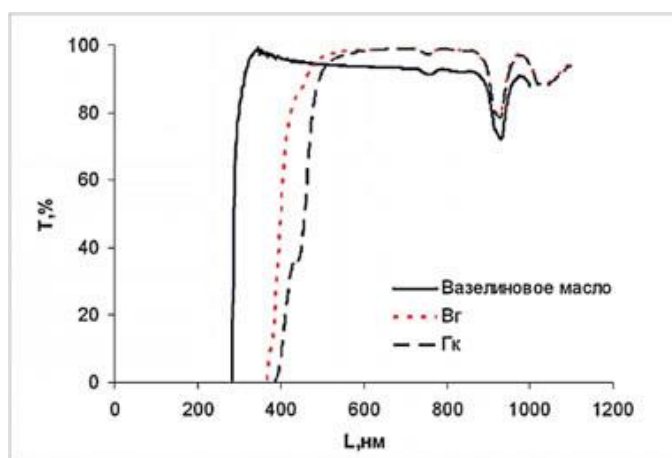
1) приемлемая концентрация ароматических соединений в ТМ 10 %, поскольку эти группы «рвут цепи реакций окисления», идущего по радикальному механизму;

2) долю ароматичности следует сводить к минимальной (менее 0,1 %) еще при производстве ТМ.

Вопрос концентрации ароматических углеводородов в ТМ до сих пор до конца не изучен, а контроль содержания ароматических соединений крайне важен, потому что эти соединения сильно могут сказываться на качестве ТМ в процессе эксплуатации [2].

Одним из методов определения концентрации ароматики в ТМ является оптическая спектроскопия. У данного метода есть несомненный плюс, его можно использовать для непрерывного контроля качества ТМ, к тому же метод отличается простотой проведения измерений и невысокой стоимостью оборудования.

На рисунке представлен оптический спектр трансформаторных масел.



Оптический спектр ТМ

Для сравнения на рисунке имеется спектр вазелинового масла, имеющего высокую величину пропускания вследствие отсутствия ароматических соединений. Поглощение излучения в коротковолновой части спектра (300–500 нм) обусловлено как раз таки наличием ароматических углеводородов. Как мы видим, содержание ароматических углеводородов вызывает смещение спектра пропускания в более длинноволновую часть спектра [3].

При УФ исследованиях масла ГК было показано, что ароматика представлена моно- и бициклическими соединениями, а концентрация полиароматических соединений незначительно [4], следовательно в новых маслах наличие ароматики отрицательно не сказывается. В ходе эксплуатации увеличивается количество полиароматики, в связи с чем ухудшается качество ТМ.

Большинство силовых трансформаторов России устаревшие, а методы контроля качества ТМ на сегодня неидеальны и требуют улучшений. Перспективным за счет простоты и возможности использования даже вне лаборатории (применение волоконной оптики позволяет отнести прибор на большое расстояние и т. д.) является метод спектроскопии.

### **Источники**

1. Куракина О.Е. Контроль качества трансформаторного масла в процессе эксплуатации методами спектроскопии: дис. ... канд. техн. наук. Казань, 2019. 116 с.

2. Анализ структурно-группового состава трансформаторного масла марки ГК по данным ИК, Рамановского рассеяния и ЯМР спектроскопии/ О.Е. Куракина [и др.] // Проблемы энергетики. 2011. № 11-12. С. 92–97.

3. Муратаева Г.А., Козлов В.К. Интерпретация спектров трансформаторного масла в УФ и видимой области // Трансформаторы – эксплуатация, диагностирование, ремонт и продление срока службы: матер. Междунар. науч.-практ. конф. Екатеринбург, 2010. С. 178–183.

4. Гарифуллин М.Ш., Козлов В.К. Особенности оптических характеристик трансформаторных масел различных марок // Проблемы энергетики. 2015. № 11-12. С. 11–19.

## РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ КАБЕЛЬНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

А.Э. Гильфанова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

astronavt551@mail.ru

Рассмотрены основные программы автоматизированного проектирования кабельной линии электропередачи.

**Ключевые слова:** электропередачи, силовые кабели, автоматизированное проектирование, уровень электропотребления, кабельные линии.

Силовые кабели высокого напряжения 110–500 кВ все больше применяются для передачи и распределения электрической энергии. В сравнении с воздушными линиями электропередачи, стоимость кабельных линий выше, однако они находят широкое применение на промышленных предприятиях, больших городах, где плотность нагрузки и уровень электропотребления достаточно высоки. Также применение кабелей для передачи электроэнергии является необходимым техническим решением в местах, где применение воздушных линий электропередачи затруднительно, а именно: в стесненных условиях городской среды, в промышленных зонах, при переходах трассы линии через водные пространства, по условию заказчика и т. д. С точки зрения строительства кабельной линии электропередачи, высоковольтный кабель является самым дорогим компонентом в протяженных кабельных линиях. Выбор оптимального сечения одножильного кабеля – это одна из важнейших задач проектирования ЛЭП. Трасса кабельной линии должна выбираться с учетом наименьшего расхода кабеля, обеспечения его сохранности при механических воздействиях, обеспечения защиты оболочки от химического воздействия, вибрации, перегрева и от повреждений соседних кабелей электрической дугой при возникновении короткого замыкания на одном из кабелей.

При проектировании и эксплуатации кабельных линий инженеры предпочитают пользоваться автоматизированными средствами расчетов, выбирая специализированный САПР. Для определения погонных параметров кабеля необходимо определить сопротивления жилы кабеля, экрана, взаимное сопротивление между экраном кабеля и его жилой

и взаимное сопротивление между соседними кабелями, которые зависят от активного, индуктивного сопротивления жилы и экрана кабеля, активного сопротивления земли, от расстояния между экраном и жилой кабеля и расстояния между соседними кабелями. Для двухстороннего, одностороннего заземления экранов кабеля, транспозиции необходимо рассчитывать токи и потери мощности в экранах, наведенный потенциал на разомкнутом конце экранов в узлах транспозиции, которые зависят от величины тока в жиле, сечения экрана, диаметра кабеля по экрану, расстояния между кабелями, длины кабельной линии.

В связи с этим, на основании методики выбора оптимального сечения жилы одножильного кабеля с изоляцией из СПЭ, авторами была создана программа «Проектирование КЛ». Созданная в программном комплексе LabVIEW программное обеспечение для эффективного выбора трассы КЛ, сечения токопроводящей жилы и экрана для кабельных линий 110 кВ позволяет:

- сократить время, затраченное проектировщиком на расчеты;
- избежать ошибок, возникающих за счет человеческого фактора;
- повысить гибкость расчетов, благодаря возможности внесения изменений и быстрого пересчета результатов;
- наблюдать промежуточные величины, выводимые в окне программы;
- получить расчет для включения в проектную документацию.

### **Источники**

1. Дмитриев М.В. Заземление экранов однофазных силовых кабелей 6–500 кВ. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. 154 с.

2. СТО 6947007-29.060.20.103-2011 Силовые кабели. Методика расчета устройств заземления экранов, защиты от перенапряжений изоляции силовых кабелей на напряжение 110–500 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена [Электронный ресурс]. URL: [https://www.fsk-ees.ru/upload/docs/20.129\\_sto\\_56947007-29.060.20.103-2011\\_n.pdf](https://www.fsk-ees.ru/upload/docs/20.129_sto_56947007-29.060.20.103-2011_n.pdf) (дата обращения: 21.08.2021).

3. СТО 56947007-29.060.20.020-2009 Методические указания по применению силовых кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 10 кВ и выше [Электронный ресурс]. URL: [https://www.fsk-ees.ru/upload/docs/STO\\_56947007-29.060.20.020-2009\\_izm\\_10052018.pdf](https://www.fsk-ees.ru/upload/docs/STO_56947007-29.060.20.020-2009_izm_10052018.pdf) (дата обращения: 21.08.2021).



## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМА НАПРЯЖЕНИЯ И ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

Р.Р. Гиниятуллина  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
rezedaginiyatullina@mail.ru

Предложена математическая модель, которая позволяет определять рациональные места подключения и оптимальные параметры компенсирующих установок, а также определять оптимальные и рациональные уровни напряжения как на секциях шин промышленной подстанций, так и на секциях шин узловой или районной подстанции.

**Ключевые слова:** реактивная мощность, суточные графики, математическая модель, централизованная компенсация реактивной мощности.

Основной задачей моделирования режимов систем электроснабжения является определение предельных параметров режима в нормальных и аварийных условиях работы – значений токов, напряжений и мощностей в отдельных ветвях и узлах системы. По параметрам режима производится выбор основного электрооборудования: количества и мощности силовых трансформаторов, сечений проводников питающих линий, номинальных данных и уставок коммутационных аппаратов и аппаратов защиты [1].

Математические модели для анализа режимов работы систем электроснабжения строятся, как правило, на основе моделей «внутреннего механизма». Создание математической модели в этом случае обычно подразумевает составление схемы замещения исследуемой системы, определение ее параметров и расчет токов и напряжений известными математическими методами, используемыми в электротехнике при анализе электрических схем[2].

Математическая модель позволяет определять рациональные места подключения и оптимальные параметры компенсирующих установок, а также определять оптимальные и рациональные уровни напряжения как на секциях шин промышленной подстанций, так и на секциях шин узловой или районной подстанции.

В таблице представлены основные параметры математического моделирования в относительных единицах (эквивалентные значения активной, реактивной и полной мощности соответствующие рациональному уровню напряжения компенсированной и некомпенсированной отходящей линии) [3].

### Результаты математического моделирования режима напряжения и электропотребления фидера 1

| Основные параметры математического моделирования в относительных единицах (о. е.),<br>в некомпенсированной сети |              |              |              |              |                   |                   |                   |                    |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| Унач.л.   | Укон.л.      | $\Sigma P$   | $\Sigma Q$   | $\Sigma S$   | $\Sigma \Delta U$ | $\Sigma \Delta P$ | $\Sigma \Delta Q$ | $\text{tg} \gamma$ |
| 0,883   | 0,800        | 0,849        | 0,623        | 1,053        | 8%                | 0,0560            | 0,0376            | 0,733              |
| 0,901   | 0,820        | 0,848        | 0,623        | 1,052        | 8%                | 0,0536            | 0,0360            | 0,735              |
| 0,919   | 0,840        | 0,846        | 0,623        | 1,051        | 8%                | 0,0513            | 0,0345            | 0,736              |
| 0,938   | 0,860        | 0,845        | 0,623        | 1,050        | 8%                | 0,0492            | 0,0330            | 0,738              |
| 0,947   | 0,870        | 0,844        | 0,623        | 1,049        | 8%                | 0,0482            | 0,0323            | 0,738              |
| 0,965   | 0,890        | 0,843        | 0,624        | 1,048        | 8%                | 0,0462            | 0,0310            | 0,740              |
| 0,984   | 0,910        | 0,842        | 0,624        | 1,048        | 7%                | 0,0444            | 0,0298            | 0,741              |
| 0,999   | 0,927        | 0,841        | 0,624        | 1,047        | 7%                | 0,0429            | 0,0289            | 0,742              |
| 1,019   | 0,948        | 0,840        | 0,625        | 1,047        | 7%                | 0,0413            | 0,0277            | 0,744              |
| 1,039   | 0,969        | 0,839        | 0,626        | 1,047        | 7%                | 0,0397            | 0,0267            | 0,746              |
| <b>1,058</b>  | <b>0,990</b> | <b>0,839</b> | <b>0,627</b> | <b>1,047</b> | <b>7%</b>         | <b>0,0382</b>     | <b>0,0257</b>     | <b>0,747</b>       |
| 1,068   | 1,000        | 0,838        | 0,627        | 1,047        | 7%                | 0,0375            | 0,0252            | 0,748              |

На основании имеющихся данных таблицы строим графики зависимостей уровня напряжения в начале линии в компенсированной и некомпенсированной отходящей линии в функции от напряжения в конце линии, а также графики зависимостей активной, реактивной и полной мощностей от напряжения в центре питания и зависимости их потерь.

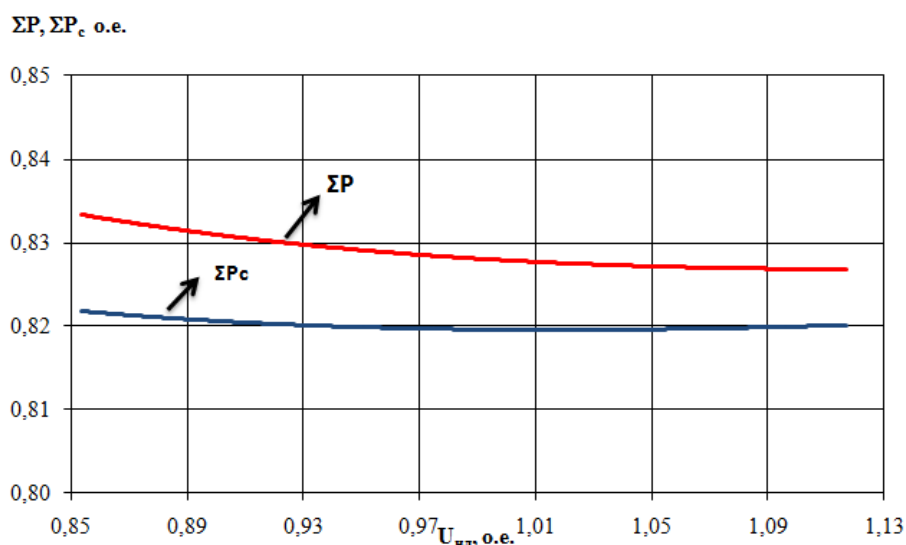


Рис. 1. График зависимости активной мощности в функции напряжения на секции шин

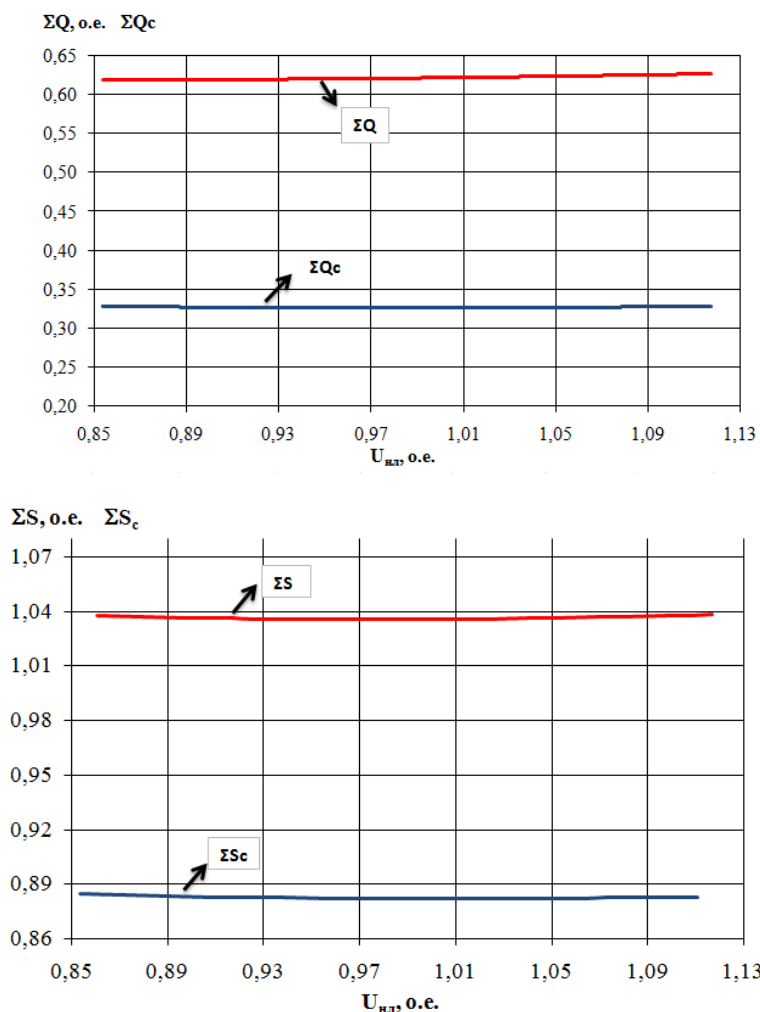


Рис. 2. График зависимости реактивной мощности в функции напряжения на секции шин

### Источники

1. Рожкова Л.Д., Коновалова Л.Л. Электроснабжение промышленных предприятий и установок: учебное пособие для техникумов. М.: Энергоатомиздат, 1989. 528 с.
2. Справочник по проектированию электроэнергетических систем / под ред. С.С. Рокотяна и И.Г. Шапиро. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1985. 349 с.
3. Регулируемые компенсирующие устройства реактивной мощности: справочник / И.Н. Богаенко. К.: Техніка, 1992. 152 с.
4. Мукосеев Ю.Л. Электроснабжение промышленных предприятий. М.: Энергия, 1973. 584 с.
5. Красник В.В. Автоматические устройства по компенсации реактивной мощности в электросетях предприятий. М.: Энергоатомиздат, 1983. 136 с.

## СТАНДАРТНЫЕ ПРОЦЕДУРЫ РЕГЕНЕРАЦИИ ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА

А.В. Захаров  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
koktel42@mail.ru

Были рассмотрены зарубежные и отечественные установки регенерации масел. Произведено сравнение их характеристик.

**Ключевые слова:** регенерация масел, трансформатор.

В данный момент времени рынок трансформаторного масла стремительно набирает обороты, и чтобы не идти по пути замены отработанного масла, целесообразнее использовать процесс регенерации. Использование этого метода лучше сказывается на экологии окружающей среды, а также экономически выгоднее нежели утилизация и закупка нового масла.

При регенерации трансформаторного масла выполняются следующие процедуры:

1) фильтрация – масло фильтруется вначале, проходя через крупный фильтр, и в конце очистки используя высокоэффективный фильтр тонкой очистки;

2) нагрев – трансформаторное масло нагревается для удаления газов и влаги;

3) дегазация и обезвоживание – удаления испаренных газов и воды из масла при помощи насосов.

Данный процесс продолжается до тех пор, пока трансформаторное масло не будет соответствовать необходимым стандартам и требованиям ГОСТ.

На отечественном рынке было разработано множество мобильных установок:

1) установка ЭТМА УРТМ-3х2-И А У1 представляет собой стационарный контейнер, в котором происходит вся процедура регенерации масла, подробнее можно рассмотреть его в источнике [1];

2) система регенерации масел РИТек 1000. В отличие от предыдущего примера эта установка выполнена в мобильном исполнении с возможностью транспортировки. Подробнее указано в статье [2].

На зарубежном рынке также имеется множество вариации различных установок, но лидирующее место занимают установки компании Globecore:

1) мобильная масляная станция СММ – Р12. Уникальность данного комплекса заключается в том, что он способен проводить регенерацию изоляционных масел прямо в трансформаторе при этом трансформатор может обрабатываться как во включенном состоянии, так и в отключенном [3];

2) СММ – Р2 (вариант более компактного оборудования), он способен делать то же, что и предыдущий вариант, но в более меньших объемах в виду, его габаритов [4].

Рассмотрев характеристики можно выделить достоинства и недостатки установок регенерации трансформаторного масла:

– производительность зарубежной установки хоть немного, но всё же выше, чем у отечественного;

– при использовании зарубежной установки можно достичь результата за один цикл, в то время как отечественный производитель не гарантирует нам результата, при прохождении регенерируемого масла одного цикла.

### **Источники**

1. «Установка ЭТМА УРТМ-3х2-И АУ 1» [Электронный ресурс] URL: <http://etma.com.ua/products/regeneration-oil/urtm-3x2-u1.html/> (дата обращения: 20.11.2020).

2. Системы регенерации масла «РИТек» [Электронный ресурс]. URL: <http://master-oil.ru/ru/catalog> (дата обращения: 21.11.2020).

3. «Комплекс регенерации масла трансформаторного фуллеровой землей» [Электронный ресурс]. URL: <https://globecore.ru/products> (дата обращения: 20.11.2020).

4. «Регенерация трансформаторного масла с реактивацией сорбента землей фуллера» [Электронный ресурс]. URL: <https://globecore.ru/products/ochistka-i-regeneratsiya-promyshlennyh-masel> (дата обращения: 20.11.2020).

## МЕТОД ПРЕВЕНТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ НАГРУЗКОЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 0,4 КВ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ АВАРИЙ

А.И. Зуев

ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ», г. Москва

zuyevali@mpei.ru

Важной составляющей стабильной работы сложной электроэнергетической системы является поддержание баланса выработки электрической энергии электрическими станциями (тепловыми, атомными, гидроэлектростанциями и пр.) и ее потребления конечными потребителями. Большинство применяемых в настоящее время подходов для стабилизации баланса мощности и электроэнергии осуществляется путем частичного или полного отключения нагрузки у потребителей (в том числе жилые и общественные здания). Метод, изложенный в статье, исключает полное отключение потребителей электроэнергии при возникновении дефицита мощности в энергосистеме, и использует их разделение на две группы: приоритетные и неприоритетные в зависимости от готовности отключения собственной нагрузки.

**Ключевые слова:** электроэнергетическая система, управление нагрузкой, аварийная ситуация, график нагрузки.

Превентивным управлением некоторым объектом (или системой) называется такое управление, которое направлено на предотвращение возникновения какого-либо неблагоприятного состояния этого объекта [1]. Применительно к сфере электроэнергетики неблагоприятным состоянием объекта будет являться авария в электроэнергетической системе, возникшая по каким-либо неизвестным причинам или в результате воздействия на систему тех или и иных внешних факторов. Одной из основных причин возникновения аварий в энергосистемах [2, 3] является неправильная или ложная работа устройств, способных предотвратить данную аварию – устройств противоаварийной автоматики (ПА). Большинство существующих применяемых подходов к сохранению работоспособности электроэнергетической системы при дефиците мощности, в том числе работа ПА реализуются путем отключения нагрузки конечного потребителя [4]. При этом не всегда учитывается наличие различных требований по надежности электроснабжения у отдельных потребителей.

Предлагаемый метод превентивного управления нагрузкой в сетях 0,4 кВ исключает полное отключение потребителей электроэнергии при дефиците мощности в системе, и может служить одним из инструментов поддержания баланса мощности в системе и предотвращения возникновения возможных аварийных ситуаций.

К участию в регулировании потребления электроэнергии могут быть привлечены потребители различного типа. Отличия могут касаться как заявленной мощности и состава электроприемников, так и режимов их работы и назначения того технологического процесса, по которому используется этот электроприемник. Наиболее перспективными для участия в регулировании потребления являются потребители способные снизить свою нагрузку на небольшое время или сдвинуть ее во времени без какого-либо ущерба для своего нормального режима работы.

Такие потребители, как малые производства, малые торговые предприятия, административные и офисные здания, потребители бытового сектора и сферы обслуживания не имеют жестких ограничений технологического процесса и являются наиболее подходящими в плане регулирования потребления.

Из фактической нагрузки каждого  $i$ -го потребителя, необходимо выделить приоритетную и неприоритетную часть.

$$P_i = P_i^{\text{пр}} + P_i^{\text{непр}} .$$

Приоритетная нагрузка  $P_i^{\text{пр}}$  – такая часть нагрузки, которая не подвержена отключению ни при каких условиях и постоянно остается в работе. Неприоритетная нагрузка  $P_i^{\text{непр}}$  – часть общей нагрузки потребителя, участвующая в регулировании потребления. В свою очередь неприоритетная нагрузка может включать в себя несколько ступеней.

К приоритетной (неотключаемой) нагрузке относятся электроприемники, обеспечивающие нормальную работу потребителя, а также электроприемники I категории надежности и электроприемники аварийной брони (минимальная мощность, обеспечивающая безопасное для персонала и окружающей среды состояние предприятия с полностью остановленным технологическим процессом). Электроприемники, входящие в состав неприоритетной нагрузки должны иметь возможность быть отключенными без последствий для потребителя или их работа может быть сдвинута во времени. Состав приоритетной и неприоритетной нагрузки у каждого конкретного  $i$ -го потребителя определяется строго индивидуально, в зависимости от технологического процесса, режима работы и условий функционирования (в том числе климатических).

На практике превентивное управление нагрузкой можно реализовать с помощью реле приоритета нагрузки (РПН) и реле контроля напряжения (РКН), а также изменения традиционного подхода к монтажу, в частности, разделение приемников электрической энергии (ЭЭ) каждого потребителя после вводного автомата и узла учета на две части – приоритетные и неприоритетные.

Применение электротехнических устройств, позволяющих выполнить отключение части нагрузок, а также выполнение схем электропитания потребителей с выделением приоритетной и неприоритетной нагрузок позволит осуществить регулирование электропотребления, привести общую нагрузку к параметрам, соответствующим расчетным значениям и избежать централизованного отключения большого количества потребителей.

### **Источники**

1. Воронина В.М. Превентивное антикризисное управление промышленным предприятием на основе диагностики [Электронный ресурс]: автореф. дис. д-ра эконом. наук. СПб., 2009. URL: [https://new-disser.ru/\\_avtoreferats/01004659246.pdf](https://new-disser.ru/_avtoreferats/01004659246.pdf) (дата обращения: 14.08.2021).

2. «Аварийность» [Электронный ресурс]. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/267> (дата обращения: 14.08.2021).

3. Федеральное государственное бюджетное учреждение «Ситуационно-аналитический центр Минэнерго России» [Электронный ресурс]: офиц. сайт. URL: <https://сацминэнерго.рф/> (дата обращения: 16.08.2021).

4. Автоматика электроэнергетических систем: учеб. пособие для вузов по специальности «Автоматизация производства и распределения электроэнергии» / О.П. Алексеев [и др.]; под ред. В.Л. Козиса, Н.И. Овчаренко. М.: Энергоиздат, 1981. 480 с.



## ОСОБЕННОСТИ МОНИТОРИНГА ЦИФРОВОЙ ПОДСТАНЦИИ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЙ

Е.В. Иванова  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
EvgeniyaIv.1997@yandex.ru

Рассматриваются основные аспекты и особенности мониторинга электрооборудования на цифровых подстанциях. Особое внимание уделено автоматизированным системам мониторинга, влияющим на профилактическое обслуживание, контроль и диагностику оборудования, а также повышает безопасность и эффективность эксплуатации подстанции.

**Ключевые слова:** цифровая подстанция, мониторинг, электрооборудование, диагностика, надежность.

Переход от традиционной распределительной сети к цифровой распределительной сети в основном обусловлен включением распределенных и сильно колеблющихся энергоресурсов (например, солнечной, ветровой, волновой энергии), а также увеличивающимся количеством потребляемой электроэнергии. Это подразумевает необходимость сложных методов мониторинга, управления и защиты энергосистемы. Таким образом, глубокая интеграция информационных и коммуникационных технологий (ИКТ), то есть цифровизация, является фундаментальной для реализации этой развитой концепции распределительной сети, которую обычно называют интеллектуальной сетью.

На цифровой подстанции данные легко становятся доступны для анализа из операций перспектива, а также в целях обслуживания. В конечном итоге это позволяет простоту внедрения обслуживания на основе данных такие стратегии, как техническое обслуживание, ориентированное на надежность системы. Для точной автоматической оценки высокого напряжения оборудование, системы мониторинга состояния необходимо предоставить дополнительные ключевые параметры для системы управления активами. Примеры таких параметров – это непрерывная плотность SF<sub>6</sub> в распределительном устройстве с элегазовой изоляцией или коэффициент абляции для выключателя генерации.

Системы мониторинга применимы для новых и для модернизации существующих, подходящих для перехода на цифровизации подстанций. Они отображают все доступные данные и информацию о предупреждениях и аварийных сигналах через МЭК 61850 напрямую на пульт диспетчера. Кроме того, встроенный веб-сервер позволяет доступ к данным через порт

Ethernet. Порт может быть подключен к интерфейсу беспроводной локальной сети, который обеспечивает доступ к данным на портативном устройстве устройства, включая планшеты или смартфоны внутри здания подстанции.

В проектировании и реконструкциях подстанций под стандарты цифровизации видна тенденция на использования современных методов мониторинга и диагностики таких как:

– устройства SAMU («Stand-Alone-Merging-Unit»), которые устанавливаются рядом с традиционными измерительными трансформаторами тока и напряжения;

– система АСКУЭ (хранение, сбор, обработка и передача данных, которые получены от индивидуальных и коллективных приборов учёта. Данные выводятся на мониторы и сохраняются в базах);

– в системе управления АСУ ТП обеспечивается автоматизированный сбор и обработка информации, необходимая для оптимизации управления технологическим объектом в соответствии с принятым критерием;

– SCADA, является программно-аппаратным комплексом для сбора данных и диспетчерского контроля. Совместно применяется система SCADACam.

В заключении можно сделать вывод, что современные системы и устройства для мониторинга электрооборудования на подстанциях проходят обновления и проверки на совместимость, что можно считать одним из самых многообещающих решений для устойчивого будущего энергетической системы.

### Источники

1. Горелик Т.Г., Кириенко О.В. Перспективы развития «умных сетей» // Электроэнергия. Передача и распределение. 2010. № 2 (2). С. 88–91.

2. Корсунов П.Ю., Моржин Ю.И., Попов С.Г. Разработка Концепции «Цифровая подстанция»: договор № И-11-41/10. М.: ОАО «НТЦЭ», 2011. 248 с.

3. Цифровая подстанция. Подходы к реализации / А.В. Данилин [и др.] // Электроэнергия. Передача и распределение. 2012. № 3 (12). С. 96–99.

4. Об инновационном проекте «Умная сеть» / И.Ш. Фардиев [и др.] // Энергетика Татарстана. 2010. № 3. С. 5–12.

5. Медведева Е.А. Острые углы цифровизации // Электроэнергия. Передача и распределение. 2018. № 4. С. 18–20.

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ РЕЖИМА ЗАЗЕМЛЕНИЯ ГРОЗОТРОСОВ ВЛ 110 КВ И ВЫШЕ НА ТОКИ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

А.Р. Иманаева<sup>1</sup>, К.С. Хайруллина<sup>2</sup>, А.З. Пушкарева<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Филиал АО «СО ЕЭС» Башкирское РДУ, г. Уфа

<sup>1</sup>imanaeva@rb.so-ups.ru, <sup>2</sup>hayrullina@rb.so-ups.ru, <sup>3</sup>pushkareva@rb.so-ups.ru

Проведен анализ влияния режима заземления грозотроса на токи короткого замыкания. Для расчетов аварийных режимов в энергосистеме России используется расчетная базовая математическая модель (БММС), которая соответствует схеме электрических присоединений объектов электроэнергетики [1]. Изменение режима заземления грозотроса влияет на параметры, вносимые в БММС, и влечет за собой изменение токов короткого замыкания (КЗ).

**Ключевые слова:** линия электропередач, грозотрос, режим заземления, короткое замыкание, проверка по токам короткого замыкания.

Системным оператором для расчетов аварийных режимов, в том числе в целях выбора параметров настройки устройств релейной защиты и автоматики (РЗА) и проверки электросетевого оборудования на соответствие токам короткого замыкания (КЗ), используется базовая математическая модель (БММС), соответствующая нормальной схеме электрических соединений объектов электроэнергетики [1]. Параметры линий электропередачи (ЛЭП) и электросетевого оборудования вносятся в нее по данным, предоставляемым собственниками. В гололедный сезон для некоторых ВЛ собственник может менять режим заземления грозотроса, что влияет на величину сопротивлений ВЛ, вносимых в БММС и влечет за собой изменения токов КЗ. Для примера рассмотрим воздушную линию электропередач с двусторонним питанием (ВЛ 220 кВ ПС А – ПС Б).

В табл. 1 приведены результаты расчетов токов короткого замыкания, протекающих по данной ЛЭП в различных режимах заземления грозотроса при однофазном КЗ (А0) и двухфазном КЗ на землю (АВ0) на ВЛ у шин ПС А и ПС Б.

По итогам данных расчетов сформирована табл. 2, в которой представлены процентные соотношения токов КЗ в различных режимах заземления грозотроса.

Таблица 1

Результаты расчетов токов короткого замыкания на ВЛ 220 кВ ПС А – ПС Б при КЗ на шинах противоположной подстанции на различных режимах заземления грозотроса

|                       | Основной режим |      | Гололедный сезон |      | Грозотрос заземлен на каждой опоре ЛЭП |      |
|-----------------------|----------------|------|------------------|------|--|------|
|                       | A0             | AB0  | A0               | AB0  | A0                                     | AB0  |
| Замер со стороны ПС А |                |      |                  |      |  |      |
| 3I0 (A)               | 1251           | 1094 | 1247             | 1090 | 1326                                   | 1170 |
| IA (A)                | 1931           | 2352 | 1929             | 2349 | 1968                                   | 2406 |
| Замер со стороны ПС Б |                |      |                  |      |  |      |
| 3I0 (A)               | 418            | 459  | 417              | 458  | 436                                    | 480  |
| IA (A)                | 343            | 292  | 342              | 291  | 350                                    | 302  |

Из результатов анализа следует, что влияние режима заземления грозотроса в основном режиме заземления грозотроса и гололедном сезоне на токи КЗ незначительно (в пределах допустимой погрешности 5 %) и в БММС можно не учитывать изменения параметров ВЛ в гололедный сезон [1].

Таблица 2

Сравнение токов короткого замыкания на различных режимах заземления грозотроса

|                       | Гололедный сезон относительно основного режима |       | Режим заземления грозотроса по всей длине ЛЭП |       |                |       |
|-----------------------|--|-------|---|-------|----------------|-------|
|                       |  |       | гололедный сезон                              |       | основной режим |       |
|                       | A0   | AB0   | A0  | AB0   | A0             | AB0   |
| Замер со стороны ПС А |  |       |   |       |                |       |
| 3I0, %                | -0,32  | -0,37 | +6,34   | +7,34 | +6,00          | +6,95 |
| IA, %                 | -0,10  | -0,13 | +2,02   | +2,43 | +1,92          | +2,30 |
| Замер со стороны ПС Б |  |       |   |       |                |       |
| 3I0, %                | -0,24  | -0,22 | +4,56   | +4,80 | +4,31          | +4,58 |
| IA, %                 | -0,29  | -0,34 | +2,34   | +3,78 | +2,04          | +3,42 |

В случае, если за основной режим принят режим заземления грозотроса на каждой опоре ЛЭП, то в гололедном сезоне токи КЗ могут снижаться до 7,5 % (выше допустимой погрешности), что может привести к снижению чувствительности параметров настройки устройств РЗА, и данный факт необходимо учитывать при актуализации БММС.

### **Источники**

1. Требования к формированию и актуализации математических моделей электрической сети для расчета параметров аварийного режима [Электронный режим]: распоряжение АО «СО ЕЭС» № 68р от 19 июня 2020 г. URL: <https://www.so-ups.ru/> (дата обращения: 27.08.2021).

2. Об утверждении требований к релейной защите и автоматике различных видов и ее функционированию в составе энергосистемы и о внесении изменений в приказы минэнерго россии от 8 февраля 2019 г. № 80, от 13 февраля 2019 г. № 100, от 13 февраля 2019 г. № 101 [Электронный ресурс]: приказ Минэнерго России от 10 июля 2020 г. № 546. URL: [https://www.so-ups.ru/fileadmin/files/laws/orders/pr546\\_100720me.pdf](https://www.so-ups.ru/fileadmin/files/laws/orders/pr546_100720me.pdf) (дата обращения: 27.08.2021).

## НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЙ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ ПО ПАРАМЕТРАМ АВАРИЙНОГО РЕЖИМА

И.И. Исламов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

ilnarislamov5@gmail.com

Рассмотрен один из методов определения места повреждения (ОМП) воздушных линий электропередач – метод по параметрам аварийного режима, рассмотрены его преимущества и недостатки, намечены пути совершенствования методов ОМП.

**Ключевые слова:** определение места повреждений, параметры аварийного режима, погрешность методов.

Среди методов определения места повреждений (ОМП) на ЛЭП широкое распространение получил метод по параметрам аварийного режима (ПАР). Он основан на измерении составляющих или комбинаций напряжений и токов в аварийном режиме. В зависимости от месторасположения устройств измерения токов и напряжений эти методы делятся на односторонние и двусторонние.

Для ОМП по ПАР применяются расчётные формулы и таблицы, специализированные программные комплексы и приборы ОМП.

Преимуществами ОМП по ПАР являются простота реализации, доступность исходных данных.

Недостатками ОМП по ПАР являются погрешности измерительных каналов приборов, расчёта параметров ЛЭП.

Погрешность ОМП является главным показателем качества ОМП. Причинами погрешностей ОМП по ПАР являются технические и человеческие факторы.

К техническим факторам относятся: неисправность фиксирующих приборов (ФП), его неправильная настройка по времени, по параметрам пуска, по диапазонам измерений, ошибка в схеме включения ФП, погрешности трансформаторов тока (ТТ) и трансформаторов напряжения (ТН), погрешности из-за электромагнитных помех, погрешности, связанные с невозможностью точной синхронизации результатов измерения токов и напряжений и т. д.

К человеческим факторам могут быть отнесены промахи при считывании показаний ФП, ошибки при записи показаний ФП в оперативный журнал, ошибки при передаче показаний ФП диспетчеру сетей по телефону или через интернет, несовпадения используемых в расчетах и фактических данных по ВЛ и т. д.

В настоящее время ведется работа по совершенствованию средств ОМП.

Во-первых, решается вопрос повышения точности измерительных ТТ и ТН. Широкое применение получают оптические ТТ и ТН (волоконно-оптический датчик тока и волоконно-оптический измерительный преобразователь напряжения), основанные на использовании оптического волокна.

Во-вторых, осуществляется совершенствование алгоритмов и разработка новых методик определения мест повреждения.

Кроме того, на данный момент ведется разработка алгоритмов идентификации параметров ВЛ, основанных на данных, получаемых регистраторами электрических процессов.

Также наблюдается тенденция повышения точности синхронизации с использованием спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС и GPS.

### **Источники**

1. Афонин В.В., Набатов К.А. Электрические системы и сети: учеб. пособие: в 2 ч. Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2014. Ч. 2. 128 с.

2. СТО 17330282.29.240.004-2008 Правила предотвращения развития и ликвидации нарушений нормального режима электрической части энергосистем. М.: ОАО «Системный оператор Единой энергетической системы», ОАО «Энергетический институт им. Г.М. Крижановского», 2008. 18 с.

3. Толстихина Л.В. Параметры электрооборудования и режимы электроэнергетических систем в примерах и иллюстрациях: учеб. пособие для практических занятий. Саяногорск: Сибирский федеральный университет; Саяно-Шушенский ф-л, 2010. 180 с.

4. Мельников Н.А., Солдаткина Л.А. Технико-экономическая оценка целесообразности регулирования напряжения в электрических сетях // Электричество. 1965. № 2. С. 1–7.

5. Степанов А.Г, Меньшенин С.Е. Увеличение пропускной способности как средство повышения энергетической эффективности работы ЛЭП // Технические науки: теория и практика: матер. VIII Междунар. науч. конф. Чита, 2016. С. 92–95.

6. Зорин В.В., Буйный Р.А., Красножон А.В. Повышение пропускной способности линий электропередач по ряду критериев в условиях эксплуатации // Вестник Черниговского державного технологического университета. 2012. № 2 (57). С. 196–203.

7. Оптимизация конструкции воздушных линий электропередачи повышенной пропускной способности // Электричество. 1991. № 1. С. 105–118.



## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ ПРОКЛАДКИ КАБЕЛЬНОЙ ЛИНИИ В ГРУНТЕ

К.В. Николаев<sup>1</sup>, С.С. Филимонов<sup>2</sup>, Ш.Д. Исрафилов<sup>3</sup>

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

<sup>3</sup>ООО «ЭлектроОптима», г. Казань

mr.nikolaev.2000@mail.ru

Рассматриваются вопросы поиска границ труб, используемых при прокладке кабельных линий; данная информация поможет быстрее выполнить и рациональнее спланировать ремонтные работы кабельной линии при ее повреждении.

**Ключевые слова:** кабельная линия, способ прокладки, поиск повреждения, трассопоисковый комплект.

С каждым годом протяжённость кабельных линий (далее – КЛ) увеличивается и всё более острым становится вопрос быстрого обнаружения места повреждения кабельной линии на местности для скорейшего устранения этого повреждения. В условиях плотной городской застройки и ввиду существования развитых коммуникаций (линии связи, водоснабжение и т. п.), кабельные линии прокладывают в грунте в трубах из различных материалов.

При возникновении повреждения внутри трубы, проложенной по причине сложных подземных коммуникаций, не рационально проводить раскоп около места повреждения с последующим разрушением трубы или нарушением однородности её материала. Гораздо выгоднее проводить раскоп в одном из концов трубы, так как перечень работ при выполнении ремонта кабельной линии заметно сокращается, для его выполнения нужно меньше специалистов.

В работе рассматривается вопрос поиска области входа кабельной линии в трубу, пролегающей в грунте.

Решение данной задачи проводилось на учебно-исследовательском полигоне кабельных линий в Казанском государственном энергетическом университете. В качестве объекта исследования выбран кабель ПвПг-нг-10 1×95/70 мм<sup>2</sup> длиной 125 м, на исследуемом участке трассы кабель согласно проекту проложен в трубе из поливинилхлорида, но точное расположение концов трубы не задано.

Исследование трассы КЛ проводилось поисково-диагностическим комплектом в составе: генератор звуковых частот ГЗЧ-2500 (рис.1) и кабелеискатель «Успех КБИ-406Н» (рис. 2).



Рис. 1. Генератор звуковых частот ГЗЧ-2500



Рис. 2. Кабелеискатель «Успех КБИ-406Н»

В ходе проведения исследования при помощи ГЗЧ-2500 в кабеле формируется синусоидальный ток с частотой 1024 Гц, в свою очередь приёмник АП-027 с подключённым электромагнитным датчиком ЭМД-247 улавливает наведенный сигнал генератора и отображает его уровень в условных единицах на ЖК-экране [1].

Во время указанных исследований трассы кабельной линии важно, сохранять стабильность выходного сигнала генератора. При выполнении этого условия на сигнал приёмника основное влияние оказывают факторы, указанные в таблице.

#### Факторы, влияющие на уровень сигнала

| Влияющий фактор                    | Причина влияния   |
|------------------------------------|---|
| 1. Отклонение датчика от трассы КЛ | Если датчик располагается не строго над кабелем, а с некоторым отклонением по горизонтали, то расстояние до кабеля увеличивается, что влияет на результат измерения |
| 2. Глубина залегания КЛ            | С увеличением расстояния от КЛ до датчика уровень входного сигнала уменьшается  |
| 3. Способ прокладки КЛ             | Проницаемость сигнала через трубу ниже, чем через грунт, если кабель проложен в трубе, то уровень сигнала заметно снижается   |

Для того, чтобы сделать вывод о влиянии 3-го фактора на изменения измеряемого сигнала необходимо оценить влияние 1-го и 2-го факторов.

Оценка влияния 1-го фактора на исследуемом участке трассы КЛ проводится измерением «методом минимума» (рис. 3), с целью определения точной траектории пролегания кабеля в горизонтальной плоскости.

В дальнейшем оценивается влияние фактора 2-го выполняется измерение «методом 45 градусов» на том же участке (рис. 4) и определяется вертикальная координата расположения кабеля в измеряемых точках трассы КЛ. Используя полученные результаты, проводится

заключительное измерение по «методу максимума» (рис. 5). Сравнивая значения измеренных сигналов в разных точках по длине исследуемого участка определяется область с выраженным градиентом, что свидетельствует об обнаружении границы трубы.

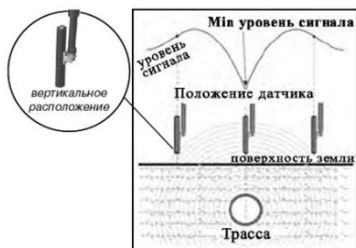


Рис. 3. Метод минимума

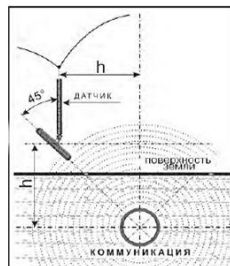


Рис. 4. Метод 45°



Рис. 5. Метод максимума

Описанный метод позволяет найти начало и конец участка трассы, где кабель проложен в трубе, с этой информацией проведение ремонтных работ по устранению повреждений, возникающих на описанных участках, осуществляется с меньшими финансово-временными ресурсами. Предложенный подход апробирован на участке с кабелем 10 кВ в ПВХ трубе, и, по мнению авторов, может использоваться для определения мест смены способов прокладки КЛ, что входит в планы дальнейших исследований.

### Источники

1. Поисково-диагностическое оборудование кабелеискатель «Успех КБИ-406Н» [Электронный ресурс]: руководство по эксплуатации. URL: [https://www.vseinstrumenti.ru/instruction/1509479\\_manual.pdf](https://www.vseinstrumenti.ru/instruction/1509479_manual.pdf) (дата обращения: 17.09.2021).

## АНАЛИЗ ИНДИКАТОРОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В СЕТЯХ 6–35 кВ

Л.И. Камалиева  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
lily\_lam@mail.ru

Индикаторы короткого замыкания (ИКЗ) актуальны для бесперебойного электроснабжения и позволяют сократить время на устранение неисправности в сети. Анализ существующих ИКЗ показал применимость определённых моделей в зависимости от климатических условий в Российской Федерации.

**Ключевые слова:** индикаторы короткого замыкания (ИКЗ), воздушная линия (ВЛ), время срабатывания, однофазное замыкание на землю (ОФЗ).

Индикаторы короткого замыкания (ИКЗ) простые в конструкции, обеспечивают надёжность применения. Большой чувствительностью к изменениям тока и напряжения обладают индикаторы, которые устанавливаются на провод ВЛ. Их устанавливают в стратегических местах ВЛ (в районе отпаек, рядом с линейными разъединителями, до и после труднопроходимых участков и т. п.) на расстоянии 0,5–10 м от изоляции [1].

Срабатывание устройства обеспечивает магнитное поле вокруг проводника при протекании токов КЗ. В аварийном режиме индикатор питается от встроенного элемента питания (литиевая батарея с длительным сроком службы). Некоторые модели индикаторов самостоятельно способны передавать данные об аварии на диспетчерский пункт или в систему SCADA с помощью радиоканала или GSM-связи [2].

Рассмотрим номенклатуру ИКЗ в сетях 6–35 кВ производства «Антракс», «Horstmann», «Siemens», «Иннион» представленную в таблице.

ИКЗ FLA3.1V от «Иннион» может быть адаптирован к автоматическим повторным включениям в сети. Это обеспечивает оптимизированную индикацию неисправностей. [3]

Все линейки ИКЗ-ВххЛ от производства «Антракс» могут быть оснащены блоками сбора и передачи информации (БСПИ) на сервер сбора данных в систему КОМОРСАН или SCADA заказчика. Доступно СМС оповещение о произошедших событиях с указанием GPS координат [4].

Основные устройства по индикации ведущих в мире производителей

| Наименование модели | Время срабатывания, мс | Диапазон порога срабатывания по току, А | Чувствительность по току КЗ, А | Регистрация ООЗ, А | Температура эксплуатации, °С | Модуль GSM передачи данных |
|---------------------|------------------------|---|--------------------------------|--------------------|------------------------------|----------------------------|
| <b>Антракс</b>      |                        |   |                                |                    |                              |                            |
| ИКЗ-В54Л            | 0...200                | 20...1000                               | 20                             | от 0,5             | -40...+70                    | +                          |
| ИКЗ-В53Л            |                        |   |                                | от 2               |                              |                            |
| ИКЗ-В52Л            |                        |   |                                | от 4               |                              |                            |
| ИКЗ-В51Л            |                        |   |                                | –                  |                              |                            |
| ИКЗ-В34Л            |                        |   |                                | от 0,5             |                              |                            |
| ИКЗ-В33Л            |                        |   |                                | от 2               |                              |                            |
| ИКЗ-В32Л            |                        |   |                                | от 2/4             |                              |                            |
| ИКЗ-В31Л            |                        |   |                                | 25                 |                              |                            |
| <b>Horstmann</b>    |                        |   |                                |                    |                              |                            |
| RotorSystem         | 100                    | 150...2000                              | –                              | –                  | -40...+85                    | –                          |
| FluidSystem         | 200                    | 400, 600, 1000                          | –                              | –                  | -20...+30                    | –                          |
| <b>Siemens</b>      |                        |   |                                |                    |                              |                            |
| 6MD2314-1Ax10       | 300                    | 75...1500                               | 50                             | от 5               | -25...+70                    | –                          |
| 6MD2314-1Ax11       |                        |   |                                |                    |                              | +                          |
| <b>Иннион</b>       |                        |   |                                |                    |                              |                            |
| FLA3.1V             | 40...300               | 20...1500                               | –                              | –                  | -20...+85                    | +                          |

ИКЗ от немецкого производителя «Horstmann» FluidSystem состоит из капсулы с жидкостью, поэтому их можно применить только при температуре  $-20$  до  $+30$  °С. Модель RotorSystem рассчитана на разные токи срабатывания и на разные диаметры проводов. Данный индикатор нужно переводить вручную в нормальное положение, после устранения КЗ, используя изолированную штангу [5].

В модели 6MD2314-1Ax10 от «Siemens» ошибки отображаются локально с помощью светодиодов на устройстве. В зависимости от статуса ошибки генерируется мигающий световой сигнал, зависящий от типа ошибки. 6MD2314-1Ax11 – со встроенной связью: местный светодиодный дисплей, может указываться вид повреждения (КЗ или замыкания на землю) [6, 7].

Анализ ИКЗ показывает, что с функциональной точки зрения устройства производимых компанией «Антракс» разработаны с учётом специфики сетей классов напряжений 6–35 кВ, имеющих изолированную нейтраль. Рассмотренные модели могут эксплуатироваться в диапазоне температур от  $-40$  до  $+70$  °С. Установлено, что ИКЗ компании «Антракс» могут эксплуатироваться во всех климатических зонах Российской Федерации.

### Источники

1. «Индикаторы короткого замыкания «Астрон» в распределительных линиях 6–10 кВ» [Электронный ресурс] // Энергетика и промышленность России. 2012. № 7 (195). URL: <https://www.eprussia.ru/epr/195/13920.htm> (дата обращения: 18.09.2021).

2. «Индикаторы короткого замыкания 6–35 кВ российского производства» [Электронный ресурс]. URL: [https://www.elec.ru/files/2019/05/22/Маркетинговое\\_исследование\\_индикаторов\\_короткого.pdf](https://www.elec.ru/files/2019/05/22/Маркетинговое_исследование_индикаторов_короткого.pdf) (дата обращения: 18.09.2021).

3. «Индикаторы повреждения на воздушных линиях» [Электронный ресурс]. URL: [http://innion.ru/solution/dmg\\_indicators](http://innion.ru/solution/dmg_indicators) (дата обращения: 18.09.2021).

4. Решения по обнаружению повреждений для ВЛ 6–35 кВ и 110 кВ [Электронный ресурс]: каталог. URL: <https://antraks.ru/biblioteca/katalogi> (дата обращения: 18.09.2021).

5. «Horstmann» [Электронный ресурс]. URL: <https://skomplekt.com/tovar/1/5/76/> (дата обращения: 18.09.2021).

6. “Method for operating a fault indicator Siemens AG” [Электронный ресурс]. URL: <https://support.industry.siemens.com/cs/DE> (дата обращения: 18.09.2021).

7. “Short-circuit indicator for overhead lines – SICAM FSI” [Электронный ресурс] (дата обращения: 14.08.2021).

## ОТКЛЮЧАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ С ИЗОЛЯЦИЕЙ НА ОСНОВЕ CO<sub>2</sub>

А.А. Латыпова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Применение высоковольтных выключателей (ВВ) с элегазовой изоляцией имеет такие положительные качества, как надежность, хорошие дугогасительные свойства и высокая диэлектрическая прочность. Однако элегаз может быть опасен для людей, так как при реакциях выделяются токсичные химические элементы. Для окружающей среды элегаз также имеет негативное влияние: потенциал глобального потепления у элегаза очень велик (в 22000 раз выше, чем у углекислого газа) [1]. Рассмотрена возможность применения выключателей с CO<sub>2</sub> изоляцией. Проведен сравнительный анализ элегазовой изоляции и изоляции на основе CO<sub>2</sub>. Выявлена зависимость отключающей способности от давления у углекислого газа.

**Ключевые слова:** высоковольтный выключатель, элегаз, дугогасительное устройство, CO<sub>2</sub> изоляция, отключающая способность.

Элегаз является одним из шести парниковых газов, у которых высокий потенциал глобального потепления. Приведем наглядный пример: когда 1 кг элегаза выбрасывается в атмосферу, то он оказывает такой же парниковый эффект, как выбросы от автомобиля среднего размера с бензиновым двигателем, проехавшим около 120 тыс. км (выбросы около 185 г CO<sub>2</sub> на км). Таким образом, необходимо найти альтернативу элегазу, которая будет отвечать следующим требованиям: высокая диэлектрическая прочность, хорошие дугогасящие свойства, низкий потенциал глобального потепления, не токсичность, невоспламеняемость, совместимость с материалом выключателя и доступность.

Природные газы, такие как сухой воздух, углекислый газ (CO<sub>2</sub>) и азот (N<sub>2</sub>) имеют очень низкий парниковый эффект, поскольку их потенциал глобального потепления составляет соответственно 1,1 и 0, а потенциал разрушения озонового слоя всех из них равны нулю. Наибольшее внимание, в качестве возможной альтернативы элегазу, уделяется углекислому газу (CO<sub>2</sub>) и его смесям [2].

Как известно, отключающая способность CO<sub>2</sub> значительно уступает элегазу. Диэлектрическая прочность чистого углекислого газа равно 0,99 В/см, что значительно ниже, чем у элегаза (2,3 В/см). Результаты

исследований показали более низкую отключающую способность  $\text{CO}_2$  по сравнению с  $\text{SF}_6$ , более длительное время восстановления диэлектрической прочности промежутка после отключения дуги в  $\text{CO}_2$  [3]. Дугогасящая способность чистого  $\text{CO}_2$  примерно в 2 раза хуже, чем  $\text{SF}_6$ . Именно поэтому при использовании  $\text{CO}_2$  необходимо существенно повысить номинальное давление в высоковольтном выключателе для сохранения его отключающей способности. Но эксперименты с повышением давления ограничены возможностями самих выключателей, так как повышение давления во много раз может привести к непредвиденным последствиям.

Покажем, как влияет увеличение давления на отключающую способность на примере из [4]. При давлении  $p_1 = 6,8$  атм отключающая способность  $\text{SF}_6$  примерно в 1,5 раза выше, чем у  $\text{CO}_2$ :  $dU/dt = 0,5$  кВ/мкс у  $\text{CO}_2$  и  $dU/dt = 0,8$  кВ/мкс у элегаза (рис. 1). Показывает, что с увеличением давления растет отключающая способность у дугогасительного устройства с  $\text{CO}_2$  изоляцией. При давлении  $p_2 = 13,6$  атм она оказывается равной  $dU/dt = 0,75$  кВ/мкс, что близко к отключающей способности элегазового дугогасительного устройства. Приходим к выводу, что для получения такой же отключающей способности как у элегаза, давление в дугогасительном устройстве с  $\text{CO}_2$  изоляцией должно быть выше как минимум в 2 раза.

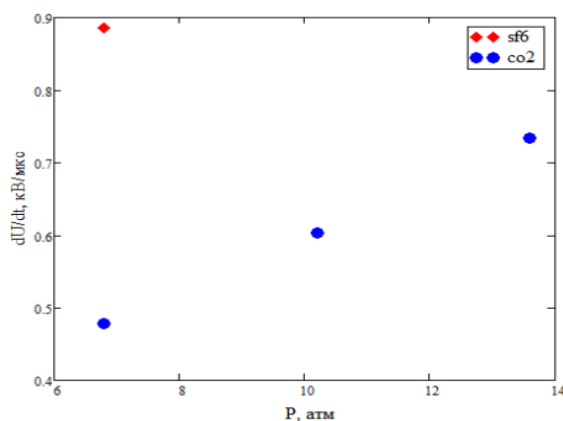


Рис. 1. Зависимость отключающей способности от давления

Далее рассмотрим зависимость времени образования непроводящего участка от давления для  $\text{CO}_2$  и элегаза [4]. По рис. 2. видно, что восстановление диэлектрической прочности у  $\text{CO}_2$  начинается позднее, чем у  $\text{SF}_6$ . Время, за которое на оси появляется участок непроводящего газа у  $\text{CO}_2$  равно 2,2 мкс, когда у  $\text{SF}_6$  – 0,6 мкс. С увеличением давления в 2 раза ( $P_2 = 13,6$  атм), рассматриваемое время в  $\text{CO}_2$  уменьшается, но незначительно, до 1,7 мкс.



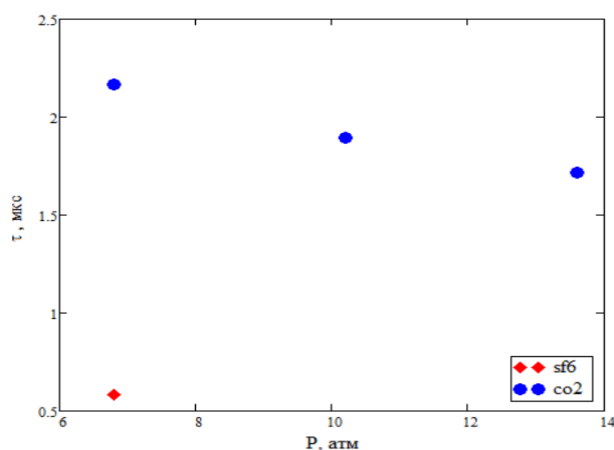


Рис. 2. Зависимость времени образования холодного участка от давления

Таким образом, начало восстановления диэлектрической прочности у углекислого газа начинается намного позднее, и чтобы получить такие же значения как у элегаза, придется многократно увеличить давление.

Дугогасительные свойства чистого  $\text{CO}_2$  не так хороши, как у элегаза. При увеличении давления в камере сжатия в 2 раза – до  $p_0 = 13,6$  атм – происходит рост отключающей способности в  $\text{CO}_2$  до значения  $dU/dt = 0,75$  кВ/мкс, что все равно оказывается меньше, чем в  $\text{SF}_6$  при давлении в 6,8 атм. Таким образом, подтверждена необходимость существенного увеличения давления в ДУ с  $\text{CO}_2$  в качестве рабочего газа.

Для того, чтобы использовать  $\text{CO}_2$  в качестве изоляции в высоковольтных выключателях, необходимо дальнейшее изучение отключающей способности дугогасительного устройства с  $\text{CO}_2$  в качестве рабочего газа. Также необходимо изучить влияние более высоких давлений на саму аппаратуру, так как использование углекислого газа без увеличения давления будет нерациональным.

### Источники

1. «Концепция нулевых выбросов» [Электронный ресурс]. URL: <http://dilo-gmbh.ru/koncepciya-nulevux-vybrosov/> (дата обращения: 16.09.2021).
2. Comparison of the Interrupting Capability of GasCircuit Breaker According to  $\text{SF}_6$ ,  $\text{g}^3$ , and  $\text{CO}_2/\text{O}_2$  Mixture / Woo-Young Lee [et al.] // Energies 2020. Vol. 13, Is. 23. . 6368; doi:103390/en13236388
3. Study of the arc interruption performance of  $\text{CO}_2$  Gas in High-Voltage Breaker / Ze Guo [et al.] // Proc/ of the IEEE Transactions on Plasma Science. 2019. Vol. 47, Is. 5. Pp. 2742–2751.
4. Ризничук Ю.А. Дугогасительное устройство автокомпрессионного  $\text{CO}_2$ -выключателя 330 кВ, 31,5 кА [Электронный ресурс]. СПб., 2016. DOI: 10.18720/SPBPU/2/v16-279.

## СНИЖЕНИЕ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

А.А. Мавляветдинов, Д.М. Валиуллина

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

ainur0909@bk.ru

Рассмотрены мероприятия по снижению технических потерь электрической энергии в распределительных сетях. Проанализировано применение компенсирующих устройств как эффективный метод уменьшения потерь.

**Ключевые слова:** технические потери, качество электроэнергии, надёжность, мероприятия по снижению потерь, мощность.

В настоящее время мы можем наблюдать колоссальный рост потребления электрической энергии в городах и больших населённых пунктах на всей территории России. Причиной такого роста является увеличение у жителей количества бытовых приборов и оборудования, без которых трудно представить нашу повседневную жизнь. Увеличение потребления мощности прямо пропорционально росту технических потерь электроэнергии. Это неблагоприятно влияет на показатели качества электрической энергии и на надёжность системы электроснабжения. Чтобы снизить технические потери электроэнергии и повысить энергетическую эффективность компаний необходимо использовать различные мероприятия и дополнительные технические средства.

В последнее время можно заметить склонность значительного изменения структуры потребления электрической энергии городской нагрузки. Потребляемая реактивная мощность в городах и населённых пунктах составляет примерно 60–70 % от максимальной потребляемой активной мощности нагрузки и имеет тенденцию для последующего роста. Основную структуру городских электрических сетей напряжением 0,4–110 кВ составляют протяжённые распределительные линии 10(6)/0,4 кВ (около 80%). Из-за сравнительно большой протяжённости распределительных сетей основная доля нагрузочных потерь приходится именно на сети данного класса напряжения.

При реальных потерях электроэнергии больше проектного уровня рациональным будет мнение, что имеется отставание в скорости увеличения пропускной способности сети по сравнению с существующей схемой электроснабжения. Поэтому в данном случае нужно создать и внедрить в структуру имеющейся энергетической системы эффективные и результативные технические мероприятия, целью которых является снижение потерь в электрических сетях, что приведёт к дальнейшей реконструкции сети. Поскольку мероприятия по реконструкции электрической сети производятся с целью увеличения надёжности и экономичности работы сети и ведут к повышению качества электрической энергии, отпускаемой потребителям, то при определении их эффективности необходимо тщательно и точно принимать во внимание все части данных мероприятий.

Мероприятия по снижению потерь мощности можно поделить на четыре составляющие:

- 1) оптимизация режимов электрических сетей;
- 2) реконструкция электрических сетей;
- 3) совершенствование системы учёта электроэнергии;
- 4) снижение хищений электроэнергии.

Эффективным мероприятием по снижению потерь электрической энергии необходимо выделить применение компенсирующих устройств. Во многих рекомендациях по компенсации реактивной мощности в распределительных сетях рассматриваются, как правило, установка нерегулируемых конденсаторных батарей, а также оптимизируется их расположение в узлах сложной замкнутой сети. Все вычисления делаются для минимального и максимального режимов с их последующей проверкой на соответствие уровней напряжения у потребителей нормируемым значениям. Данное мероприятие не может осуществить однозначного выполнения задачи и требует постоянных пересчётов, в частности при изменении схемы сети.

Монтаж конденсаторных батарей на шинах 0,4 кВ трансформаторных подстанций является наиболее осуществимой мерой, потому что энергоснабжающая компания заинтересована в уменьшении технических потерь. Не составляет труда и выбор мощности конденсаторных батарей, как и их дальнейшее обслуживание и ремонт.

В последнее время, когда требования к качеству, надёжности и мощности систем электроснабжения городов и населённых пунктов значительно возросли, необходимо создавать и внедрять новые решения

для выбора мероприятий по снижению технических потерь электроэнергии и оценки их сравнительной эффективности. Поэтому в настоящее время, когда нашу повседневную жизнь невозможно представить без электроэнергии, вопросы по оптимизации процессов производства и распределения электрической энергии являются крайне актуальными и востребованными.

### **Источники**

1. Управление качеством электроэнергии / И.И. Карташев [и др.]. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Издательский дом МЭИ, 2008. 354 с.

2. Филатов А.Н., Пантелеев В.И. Управление режимами реактивной мощности и напряжения промышленного предприятия: моногр. Красноярск : ИПЦ КГТУ, 2005. 125 с.

3. Кудрин Б.И. О теоретических основах и практике нормирования и энергосбережения // Промышленная энергетика. 2000. № 6. С. 33–36.

## ЗАЩИТА БЛИЖНЕГО РЕЗЕРВИРОВАНИЯ АВТОТРАНСФОРМАТОРА

Е.Д. Максакова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

maksakova\_alena@mail.ru

При междуфазных коротких замыканиях (КЗ) на стороне низкого напряжения (НН) часто резервные защиты не обладают достаточной чувствительностью, чтобы сработать и отключить поврежденный элемент. Поэтому возникла необходимость в защитах ближнего резервирования автотрансформатора (АТ).

Один из вариантов ближнего резервирования АТ заключается в обновлении программного обеспечения терминала и использовании пятой ступени дистанционной защиты АТ в качестве защиты ближнего резервирования. Ступень будет направлена в АТ и действовать на отключение АТ без выдержки времени в случае КЗ на стороне НН или в АТ.

**Ключевые слова:** ближнее резервирование, резервные защиты, чувствительность защиты, повышение надежности.

Отказ релейной защиты при КЗ может привести к серьезным последствиям: повреждению оборудования, отключению потребителей от сети, угрозе жизни и здоровью людей и другое. Поэтому требуется обеспечить надежную работу релейной защиты. Для этого реализуются системы ближнего и дальнего резервирования.

Существует проблема в сложности обеспечения чувствительности резервных защит автотрансформатора при междуфазных КЗ на стороне смежного напряжения АТ при выборе параметров настроек резервных защит АТ. На практике можно встретить случаи, когда 2-я ступень дистанционной защиты АТ не чувствительна к междуфазным КЗ на стороне НН.

Для выбора уставок 2-ой ступени дистанционной защиты требуется обеспечить чувствительность к междуфазным КЗ в автотрансформаторе и на шинах смежного напряжения. Однако при выборе уставок по чувствительности к междуфазным КЗ на стороне НН АТ возникает невозможность отстройки от нагрузочного режима в сети смежного напряжения (переток со стороны ВН в сторону СН или наоборот).

Предлагаемый мною вариант повышения чувствительности подойдет в том случае, когда резервные защиты АТ реализованы с помощью шкафа типа ШЭ2607 071(072) производства ООО НПП «ЭКРА». Это использование специально выделенной 5-й ступени дистанционной защиты, с направлением ее в АТ и действием на отключение АТ без выдержки времени в случае КЗ на стороне НН или в АТ. Таким образом обновление программного обеспечения резервного шкафа типа ШЭ2607 071(072) и использование 5 ступени в качестве защиты ближнего резервирования позволит решить проблему обеспечения надежной защиты АТ, а также существенно уменьшить время ликвидации КЗ на стороне НН АТ в условиях отказа на срабатывание основных защит АТ. Такой подход не потребует установки дополнительных шкафов или панелей для успешного резервирования стороны, а лишь требует усовершенствования работы шкафа путем разработки новых алгоритмов для работы программного обеспечения и изменения логики 5-й ступени ДЗ АТ. Пятая ступень будет направлена в сторону АТ, а не в сторону шин 220 кВ (для случая, когда дистанционная защита установлена на стороне ВН 220 кВ АТ).

Логика защита будет заключаться в следующем: при одновременном срабатывании реле сопротивления данной ступени и реле срабатывания 5-й ступени ДЗ резервной защиты АТ смежной стороны или отключенного выключателя смежной стороны (так возможно установить факт наличия КЗ в АТ или же в сети смежной стороны) защиты действует на отключение. При пуске МТЗ низкого напряжения защита будет действовать с 1-й выдержкой времени на отключение выключателя НН АТ и далее со 2-й выдержкой времени на отключение всего АТ с запретом АПВ, т. е. будет резервировать действие МТЗ НН. При этом времена срабатывания защиты ближнего резервирования согласовываются с временами срабатывания МТЗ НН. Если пуска МТЗ НН не было или защита отсутствует (АТ не ошинован по стороне НН), то защита ближнего резервирования действует на отключение всего АТ с запретом АПВ с минимальной выдержкой времени  $t = 0,2$  с – защита ближнего резервирования с ускорением.

Преимущество данной ступени заключается в том, что отпадает необходимость отстройки от нагрузочного режима в сети смежного напряжения (т.е не нужно учитывать переток со стороны ВН в сторону СН или наоборот).

Как показывает практика при использовании такого метода ближнего резервирования чувствительность 5-й ступени будет приблизительно составлять 1,5. Это позволит нам резервировать данной ступенью сторону смежного напряжения от междуфазных КЗ.

Достоинство применения пятой ступени для ближнего резервирования в том, что для данного метода используется уже установленный шкаф. Для реализации резервирования необходимо лишь провести соответствующие расчеты, убедиться в эффективности использования данного метода и обновить программное обеспечение шкафа типа ШЭ2607 071(072) производства ООО НПП «ЭКРА».

### **Источники**

1. Рубинчик В.А. Резервирование отключения коротких замыканий в электрических сетях. М.: Энергоатомиздат, 1985. 120 с.
2. Руководящие указания по релейной защите. Выпуск 13А. Релейная защита понижающих трансформаторов и автотрансформаторов 110–500 кВ: схемы. М.: Энергоатомиздат, 1985. 112 с.
3. Руководящие указания по релейной защите. Выпуск 13Б. Релейная защита понижающих трансформаторов и автотрансформаторов 110–500 кВ: Расчеты. М.: Энергоатомиздат, 1985. 96 с.
4. Шкаф резервной защиты автотрансформатора 110–220 кВ типа ШЭ2607 072: руководство по эксплуатации. Чебоксары: ООО НПП «ЭКРА», 2021. 140 с.
5. Рекомендации по расчету уставок резервных защит автотрансформаторов напряжением 220–500 кВ на базе шкафов серий ШЭ2607, ШЭ2710. Чебоксары: ООО НПП «ЭКРА», 2014. 90 с.

## АНАЛИЗ НИЗКОЧАСТОТНЫХ КОЛЕБАНИЙ В СОВРЕМЕННЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМАХ

Я.Ю. Малькова<sup>1</sup>, Р.А. Уфа<sup>2</sup>

ФГАОУ ВО «НИ ТПУ», г. Томск

<sup>1</sup>yamalkova96@gmail.com, <sup>2</sup>hecn@tpu.ru

Развитие и совершенствование современных электроэнергетических систем предопределяет увеличение вероятности существования низкочастотных колебаний. Для демпфирования низкочастотных колебаний, как правило, применяют автоматические регуляторы возбуждения с соответствующей настройкой. В статье представлен вариант уменьшения низкочастотных колебаний посредством размещения в энергосистеме устройства вставки постоянного тока.

**Ключевые слова:** низкочастотные колебания, степень демпфирования, автоматический регулятор возбуждения, вставка постоянного тока, анализ.

В настоящее время в мировой электроэнергетике наблюдается тенденция развития и совершенствования электроэнергетических систем (ЭЭС), в том числе посредством увеличения количества и установленной мощности энергоустановок, объединенных в единую сеть. Обозначенная тенденция, в свою очередь, определяет повышение вероятности возникновения высокоамплитудных низкочастотных колебаний (НЧК), обнаружение и последующее демпфирование которых непосредственно связано с сохранением устойчивости ЭЭС.

Возникновение НЧК в ЭЭС, а также их несвоевременное устранение при неблагоприятном исходе способно привести к каскадному отключению энергоустановок и разделению ЭЭС на изолированно работающие части.

Кроме того, НЧК свойственен переход локальных колебаний в зональные, то есть имеет место их распространение по всей ЭЭС. Таким образом, учет вероятности возникновения НЧК в ЭЭС при планировании развития последней предполагает занижение предела передаваемой мощности по линиям связи, в том числе межсистемным.

Одним из наиболее распространенных подходов к демпфированию НЧК в ЭЭС в настоящее время является соответствующая настройка автоматических регуляторов возбуждения (АРВ) [1]. Так, например, в [2] представлены результаты моделирования двух возможных методов применения АРВ для уменьшения НЧК, а именно изменение предписанной



уставки по напряжению АРВ и изменение схемы АРВ посредством добавления блока модулирования колебаний, находящихся в противофазе с НЧК. Однако ввиду наличия временной задержки работы АРВ, а также ряда других причин применение данных устройств с целью обнаружения и демпфирования НЧК не во всех случаях является оптимальным.

В рамках же представленной работы для демпфирования НЧК в ЭЭС предлагается рассмотреть вариант применения устройств на базе силовой полупроводниковой техники, в частности, современных вставок постоянного тока (ВПТ). Стоит отметить, что свойства и возможности ВПТ позволяют разделить ЭЭС на два частотно независимых энергорайона, тем самым значительно ограничивая зону распространения НЧК.

Исследование эффективности демпфирования НЧК проводилось в программно-вычислительном комплексе «EUROSTAG» на примере модели Томской ЭЭС. Согласно [3], местом установки ВПТ определена подстанция 220 кВ Парабель.

В соответствии с [1], в качестве возмущающего воздействия принято трехфазное короткое замыкание. Возмущение проводим в следующих точках: шины 220 кВ СХК, шины 220 кВ ТЭЦ-3 и шины 110 кВ ГРЭС-2.

На рис. 1 и 2 представлены осциллограммы активной мощности на выводах генераторов СХК, ТЭЦ-3 и ГРЭС-2 при нормативном возмущении на шинах 220 кВ СХК без установленной ВПТ и с установленной ВПТ соответственно.

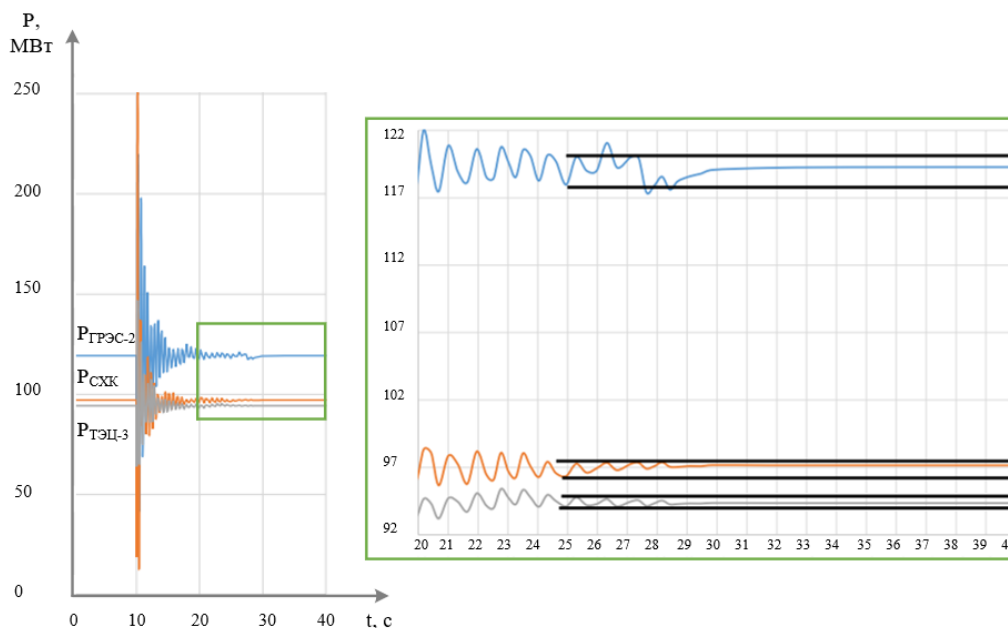


Рис. 1. Осциллограмма активной мощности на выводах генераторов СХК, ТЭЦ-3 и ГРЭС-2 при нормативном возмущении на шинах 220 кВ СХК без установленной ВПТ

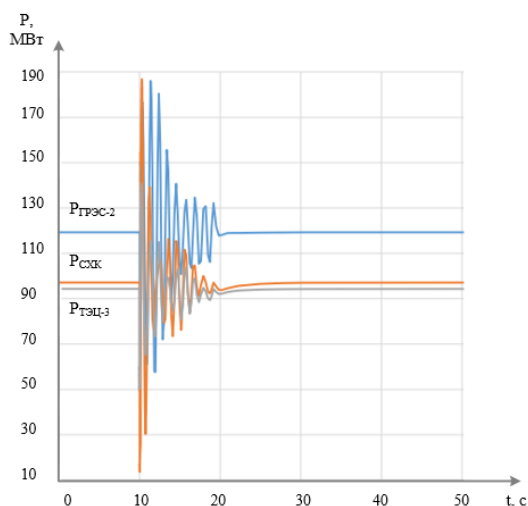


Рис. 2. Осциллограмма активной мощности на выводах генераторов СХК, ТЭЦ-3 и ГРЭС-2 при нормативном возмущении на шинах 220 кВ СХК с установленной ВПТ

Согласно представленным фрагментам результатов моделирования, можем заключить, что и соответствующая настройка АРВ, и установка ВПТ оказывают положительное влияние на демпфирование НЧК в ЭЭС, причем уменьшение НЧК с установленной ВПТ оказалось более эффективным. Степень демпфирования, определяемая, согласно [1], через 15 с после начала возмущения (нормативное возмущение осуществлено в 10 с), в данном случае близка к нулю, то есть к моменту времени 25 с колебания полностью погашены, режим работы ЭЭС – установившийся.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-79-00275.

### Источники

1. Методические указания по осуществлению диспетчерскими центрами АО «СО ЕЭС» оценки параметров настройки автоматических регуляторов возбуждения сильного действия синхронных генераторов на цифровой модели энергосистемы: приложение 1 к распоряжению АО «СО ЕЭС» от 19 августа 2019 г. № 94р. М.: АО «СО ЕЭС», 2019. 29 с.

2. Климова Т.Г., Савватин М.В. Локализация источников низкочастотных колебаний по данным синхронизированных векторных измерений и разработка методов демпфирования низкочастотных колебаний // Релейщик. 2019. № 1. С. 18–22.

3. Включение на параллельную работу объединения северной и южной частей энергосистемы Томской области / Р.А. Уфа [и др.] // Электричество. 2019. № 6. С. 33–41.

## ИССЛЕДОВАНИЕ КОММУТАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ В МОДЕЛИ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

И.А. Минаев, И.М. Минегалиев  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
enhtane@gmail.com

Волновой метод определения места повреждения в линиях электропередач позволяет экспериментально регистрировать широкий спектр переходных сигналов. Эти сигналы запускаются множеством коммутационных процессов. Для практического применения информации, содержащейся в виде результирующего сигнала переходного процесса, необходимо исследовать их с помощью моделей.

**Ключевые слова:** переходные процессы, коммутация, PSCAD, линия электропередач, модель.

При любых коммутациях в линиях электропередач рождается сигнал переходного процесса. Волновой метод определения места повреждения в линиях электропередач основан на использовании временных задержек регистрации начала сигнала переходного процесса в разных точках сети.

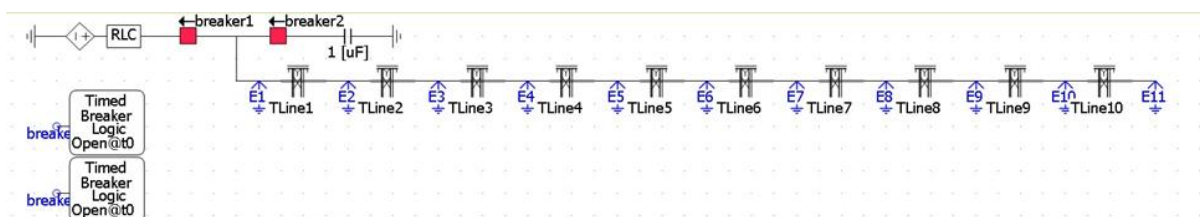
Экспериментально зарегистрированные формы сигналов переходного процесса, кроме времени регистрации его начала, содержат большое количество зашифрованной информации. Это информация о причине коммутации, фазе провода на котором произошла коммутация, удаленности места коммутации от места регистрации сигнала, структуре линии и др.

Безусловно, эта информация должна быть использована при функционировании комплексов волнового определения места повреждения для увеличения его надежности и функциональности. Расшифровка этой информации невозможна без совместного использования экспериментальных и модельных методов. Моделирование коммутационных процессов в линиях электропередач позволяет найти объяснение экспериментально наблюдаемым зависимостям.

В работе [1] приводятся примеры экспериментально зарегистрированных зависимостей формы сигналов переходного процесса в разных фазах линий электропередач. В работе [2] предлагается использовать информацию о зависимости формы сигнала переходного процесса от места коммутации в разветвленной сети для определения места коммутации. Приведены результаты моделирования.

Целью данной работы является исследование сигналов коммутационных процессов в линиях электропередач с помощью моделей, созданных в PSCAD, для объяснения экспериментально наблюдаемых зависимостей.

В работе исследуются временные и пространственные формы сигналов переходного процесса в модели воздушной линии напряжением 10 кВ (см. рисунок). Модель линии состоит из десяти блоков однофазной линии с распределенными параметрами. Каждый блок состоит из провода АС-95/16 длиной 10 км.



Модель в PSCAD

Были исследованы разные виды сигналов: ступень напряжения, солитон, затухающее колебание, ступень напряжения в середине линии и солитон в середине линии.

В ходе работы были получены осциллограммы, в которых показано увеличение амплитуды результирующего сигнала по мере приближения к концу линии; показан переход результирующего сигнала в квазисинусоидальную форму; показана закономерность увеличения длительности переднего фронта бегущей волны, генерируемой процессом переключения.

Таким образом, проведенные опыты генерации коммутационных сигналов показали вклад разных механизмов распространения сигналов (дисперсия, переотражение, интерференция) в формирование результирующих сигналов переходного процесса.

Мощные коммутационные процессы вызывают длительные изменения параметров режима. В их спектре велика доля низкочастотных составляющих. Они формируют квазигармонические результирующие сигналы. Время существования таких сигналов определяется постоянной затухания гармонических колебаний с периодом равным учетверенному пробегу бегущей волны всей длины линии.

При запуске сигнала в середине линии амплитуда сигнала переходного процесса на первых 50 км меньше, чем на вторых 50 км. Это объясняется отражением сигнала от конца линии с коэффициентом «+1». При этом время затухания сигнала переходного процесса на 50-м км самое высокое.

Маломощные коммутационные процессы вызывают лишь кратковременные изменения параметров режима. Для них результирующие сигналы, вызванные переотражениями, малы по амплитуде. Высокочастотный спектр бегущей волны вызывает их сильное затухание при распространении вдоль линии. Модельные результаты подтверждают экспериментально наблюдаемые факты увеличения амплитуды результирующего сигнала на более дальних расстояниях. Модельные результаты для всех типов сигналов подтверждают экспериментально наблюдаемые величины увеличения длительности переднего фронта на 1 мкс за каждый пройденный километр. Модельные результаты подтверждают одинаковость фазового сдвига квазигармонических колебаний результирующих сигналов в разных точках сети. Полученные результаты позволяют правильно интерпретировать результаты наблюдений сигналов переходного процесса, вызванных коммутационными процессами в линиях электропередач.

### **Источники**

1. Locating faults by the traveling waves they launch / E.O. Schweitzer [et al.]. DOI: 10.1109/CPRE.2014.6798997 // Proc. of the 67<sup>th</sup> Annual Conference for Protective Relay Engineers. 2014. Pp. 95–110.
2. Куликов А.Л., Лоскутов А.А., Пелевин П.С. Алгоритм идентификации поврежденного участка на кабельно-воздушных линиях электропередачи на основе распознавания волновых портретов // Электричество. 2018. № 3. С. 11–17.

## ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛАГОСОДЕРЖАНИЯ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ МАСЕЛ

И.М. Минегалиев, О.Е. Куракина  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
minegaliev.1998@mail.ru

Рассмотрены некоторые методы определения влагосодержания в трансформаторном масле, а также преимущества использования спектроскопии для определения влагосодержания трансформаторных масел. Систематизированы теоретические основы процессов появления воды, а также последствия повышенного содержания воды в масле.

**Ключевые слова:** трансформаторное масло, мониторинг, контроль качества, метод, влагосодержание, спектроскопия.

Трансформаторным маслом (ТМ) заполняются баки силовых трансформаторов и реакторов, масляных выключателей, измерительные трансформаторы и вводы. Масло используется в качестве изолирующей и охлаждающей среды.

В процессе эксплуатации увеличивается влагосодержание, что резко снижает качество масла. Содержание влаги в масле нормируется действующим отраслевым стандартом РД 34.45-51.300-97 «Объем и нормы испытаний электрооборудования» [1]. Согласно стандарту, содержание воды в масле, заливаемом в трансформаторы с пленочной или азотной защитой, герметичные вводы и измерительные трансформаторы, массовая доля не должна превышать 0,001 % или 10 г/т. В трансформаторы без пленочной защиты и негерметичные вводы- содержание воды в масле может составлять 0,002–0,0025 % или 20–25 г/т. Источником воды в трансформаторе является атмосферная влага, которая проникает вместе с воздухом через несовершенные системы защиты от увлажнения. Другой путь- проникновение воздуха через уплотнения под воздействием градиента давления. Отрицательными последствиями повышенного влагосодержания в масле являются:

- ускорение окисления масла;
- снижение электрической прочности масла;
- снижение стойкости к частичным разрядам;
- ускорение старения бумажно-масляной изоляции;

– ухудшение механических характеристик масла с ростом температуры;

– усиление коррозии стальных частей трансформатора.

Таким образом, контроль влагосодержания ТМ играет важную роль в обеспечении долговечности, а также надежности его работы.

Существует несколько методов определения влагосодержания в ТМ, основные из них описаны ниже:

1. Гидридкальциевый метод, стандартизированный в РФ и в странах СНГ по ГОСТ 7822-75 [2]. Основан на измерении количества выделившегося газообразного водорода в результате реакции. Подходит для масел, не содержащих эмульсионную воду.

2. Метод К. Фишера получил распространение в РФ, в странах СНГ, а также за рубежом (ГОСТ 24614-81, МЭК 60814), [3]). Чувствительность данного метода превосходит чувствительность гидридкальциевого метода. Во время процесса титрования происходят сложные химические реакции воды с йодом и двуокисью серы. В результате рассчитываются количество воды по количеству электричества, израсходованных на электролиз. Существенным недостатком является нечувствительность к диспергированной воде, которая не может взаимодействовать с реагентом Фишера. Метод неприменим для окислившихся масел, поскольку реактив Фишера взаимодействует с продуктами окисления, содержащими группу ОН.

3. Метод измерения относительного влагонасыщения. Основан на изменении проводимости емкостного чувствительного элемента в зависимости от относительного насыщения масла. Элемент состоит из двух электродов, которые соединены гигроскопичным тонкопленочным полимером. Молекулы воды из масла проникают в полимер и изменяют его емкость пропорционально относительному насыщению масла. Относительное насыщение выражается в процентах и является эквивалентом растворенной воды, которая выражается как отношение содержания растворенной воды в масле к значению абсолютного насыщения масла водой.

4. Спектральный метод. Спектральный метод позволяет получить информацию о химическом составе вещества посредством анализа его спектра. Данный метод позволяет провести количественный и качественный анализ без разложения вещества, что обычно составляет суть химического анализа [4]. Преимуществами спектрального анализа являются высокая скорость получения результата исследования и точность, низкая себестоимость, а также возможность проведения исследования в режиме реального времени и без отбора пробы [5].

Также существуют некоторые другие методы, которые не получили широкого распространения, например масс-спектрометрия, система обнаружения воды WDS 400, фото-акустическая спектроскопия.

Из всех методов контроля влагосодержания ТМ для непрерывного контроля подходит только спектральный метод. Данный метод обладает простотой проведения измерений, отсутствием необходимости в реактивах, а также относительно низкой стоимостью оборудования проведения исследований.

На сегодняшний день, большинство силовых трансформаторов в России физически и морально устарело. Существующие методы контроля и диагностики недостаточно совершенны и не могут в полной степени обеспечить безопасность эксплуатации и надежность работы трансформаторов. Сравнивая существующие методы контроля и диагностики трансформаторного масла, установлено, что перспективным методом является спектральный метод контроля показателей качества трансформаторного масла.

### **Источники**

1. Объем и нормы испытаний электрооборудования [Электронный ресурс] / под общ. ред. Б.А. Алексеева, Ф.Л. Когана, Л.Г. Мамиконянца. 6-е изд., с изм. и доп. М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004. [http://www.infosait.ru/norma\\_doc/11/11967](http://www.infosait.ru/norma_doc/11/11967) (дата обращения: 13.09.2021).

2. ГОСТ 7822-75. Масла нефтяные. Метод определения растворенной воды [Электронный ресурс]. М.: Издательство стандартов, 1984. 6 с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200004512> (дата обращения: 13.09.2021).

3. ГОСТ 24614-81. Жидкости и газы, не взаимодействующие с реактивом Фишера. Кулонометрический метод определения воды [Электронный ресурс]. М.: Изд-во стандартов. 2004. 11 с. URL: <https://docs.cntd.ru/document> (дата обращения: 13.09.2021).

4. Крищенко В.П. ближняя инфракрасная спектроскопия [Электронный ресурс]. М.: Крона-пресс, 1997. 638 с. <https://search.rsl.ru/ru/record/01001767047> (дата обращения: 13.09.2021).

5. Куракина О.Е. Контроль качества трансформаторного масла в процессе эксплуатации методами спектроскопии: дис. ... канд. техн. наук. Казань, 2019. 116 с.



## ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРЕЛЯЦИОННО-РЕГРЕССИОННОЙ ЗАВИСИМОСТИ МЕЖДУ ПОКАЗАТЕЛЯМИ БАЛАНСА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Т.А. Мусаев<sup>1</sup>, М.Н. Хабибуллин<sup>2</sup>, И.М. Валеев<sup>3</sup>

<sup>2</sup>АО «Сетевая компания», г. Казань

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

<sup>1</sup>musaevkgeu@rambler.ru

Проведено исследование корреляционно-регрессионной зависимости основных составляющих баланса электрической энергии: поступления, полезного отпуска и потерь. Выявление основных характеристик зависимости позволит повысить эффективность прогнозирования величины технологического расхода электрической энергии при ее передаче по электрическим сетям, что приведет к повышению производственно-технических показателей предприятия электрических сетей.

**Ключевые слова:** потери электроэнергии, прогнозирование величины потерь электроэнергии.

Прогнозирование основных показателей баланса электрической энергии таких как: поступление, полезный отпуск (как по конечным потребителям электроэнергии, так и потребителям, подключенным непосредственно к сетям предприятия электрических сетей – ПЭС) и потери электрической энергии является общеизвестной и широко изученной задачей. Основная цель прогнозирования – это предсказание значений показателей баланса в будущих периодах. Точность прогноза оказывает значительное влияние на деятельность ПЭС, так как основании прогнозных значений формируются и утверждаются показатели бюджета предприятия. В связи с этим повышение точности прогнозирования является важной и актуальной задачей. Одним из вариантов прогнозирования является формирование регрессионной модели технологического расхода электрической энергии в зависимости от величины поступления [1]. Однако при этом сама величина поступления также является прогнозной, причем основой для прогнозирования выступают ретроспективные данные. Иначе говоря, точность прогнозирования поступления оказывает непосредственное влияние на прогноз потерь электроэнергии. Помимо прогнозирования потерь, важным направлением является прогнозирование величины полезного отпуска по конечным потребителям, как показывает

практика, величина отпуска прогнозируется достаточно точно. Таким образом, новизна исследования заключается в установлении корреляционно-регрессионной зависимости между основными показателями баланса электрической энергии и выбора базового значения для формирования новой регрессионной модели. При существующем подходе к прогнозированию потерь электрической энергии используются ретроспективные данные базового года: величина поступления, величина и уровень потерь электрической энергии. Характерным недостатком данного подхода является отсутствие учета существенных условий, влияющих на показатели баланса электрической энергии. Проблематика исследования заключается в необходимости повышения точности прогнозирования потерь электрической энергии, так как существующий подход не учитывает ряд существенных факторов и строится на зависимости потерь от поступления, при том, что поступление само является прогнозной величиной.

В целях решения указанной проблематики предлагается провести исследование, направленное на выявление корреляционно-регрессионной зависимости показателей баланса электрической энергии для выявления необходимых базовых значений для прогнозирования.

В рамках разработки новых подходов к прогнозированию потерь электроэнергии проведен корреляционно-регрессионный анализ величин, входящих в состав баланса электрической энергии (все величины представлены в именованных единицах – кВт·ч): полезный отпуск по конечным потребителям (далее – ПО К); полезный отпуск по ПЭС (далее – ПО ПЭС); поступление по ПЭС (далее П ПЭС); потери по ПЭС (далее – Пт ПЭС). Первоначально выдвинута гипотеза о наиболее тесной корреляционной взаимосвязи потерь и поступления электрической энергии. Однако при проведении анализа, гипотеза не подтвердилась, коэффициент корреляции между величинами составил – 0,818 (при идеальном значении – 1), что говорит о положительной тесной связи между величинами. При этом, коэффициент корреляции между ПО К и ПО ПЭС составил – 0,9898, что позволяет сделать вывод о высокой степени соотношения приведенных величин. Значение коэффициента корреляции для различных соотношений приведено в табл. 1.

Таким образом, следует вывод, что для более точного прогнозирования потерь электроэнергии, вероятнее всего, требуется осуществить следующий алгоритм: спрогнозировать ПО К; далее спрогнозировать ПО ПЭС; далее спрогнозировать П ПЭС; наконец, спрогнозировать Пт ПЭС. Для оценки точности модели прогнозирования проведена оценка регрессионной статистики параметров баланса электроэнергии, значения, приведенные в табл. 2.

Таблица 1

Значение коэффициентов корреляции между показателями баланса  
электрической энергии

| №<br>п/п | Соотношение величин | Значение коэффициента корреляции |
|----------|---------------------|----------------------------------|
| 1        | Пт ПЭС – П ПЭС      | 0,883                            |
| 2        | ПО К – ПО ПЭС       | 0,9898                           |
| 3        | ПО ПЭС – Пт ПЭС     | 0,8228                           |
| 4        | П ПЭС – ПО ПЭС      | 0,993                            |
| 5        | ПО К – П ПЭС        | 0,984                            |
| 6        | Пт ПЭС– ПО К        | 0,818                            |

Таблица 2

Значения коэффициента регрессии между показателями баланса  
электрической энергии

| №<br>п/п | Соотношение величин | Значение R-квадрата |
|----------|---------------------|---------------------|
| 1        | Пт ПЭС – П ПЭС      | 0,776               |
| 2        | ПО К – ПО ПЭС       | 0,967               |
| 3        | ПО ПЭС – Пт ПЭС     | 0,986               |

Значение *R*-квадрат отражает адекватность модели, чем ближе значение к единице, тем более точная модель сформирована. Исходя из представленных значений, предложенный алгоритм прогнозирования является приемлемым. Таким образом, для корректного прогноза величины потерь электроэнергии необходимо корректно спрогнозировать ПО К, что может быть осуществлено с помощью применения нейронных сетей и машинного обучения (ARIMA), далее предлагается сформировать прогнозную величину потерь электроэнергии.

### Источники

1. Щербина Ю.В., Бойко Н.Д., Бутенко А.Н. Снижение технологического расхода энергии в электрических сетях. Киев: Техника, 1981. 104 с.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМЫ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ, КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ МАКСИМАЛЬНО ДОПУСТИМОГО ПЕРЕТОКА В КОНТРОЛИРУЕМЫХ СЕЧЕНИЯХ

Р.Г. Мустафин<sup>1</sup>, К.С. Стоцкий<sup>2</sup>  
 Филиал АО «СО ЕЭС» Башкирское РДУ, г. Уфа  
<sup>1</sup>mustafin@rb.so-ups.ru, <sup>2</sup>stockiy@rb.so-ups.ru

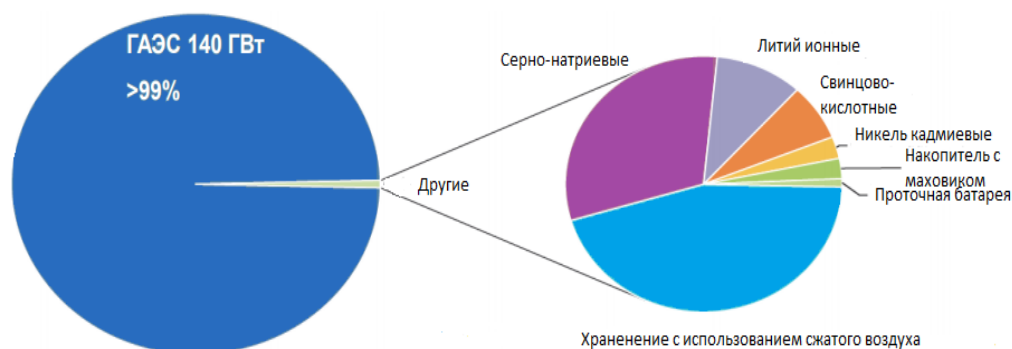
Описано использование накопителей энергии в электроэнергетических системах (ЭЭС), как новая возможность для повышения надежности ЭЭС и увеличения максимально допустимого перетока в контролируемых сечениях (МДП).

**Ключевые слова:** накопителей электрической энергии, гидроаккумулирующие электростанции, электрохимические аккумуляторы, проточные электрохимические аккумуляторы, емкостные накопители, противоаварийное управление, максимально допустимый переток, контролируемое сечение.

Накопитель электрической энергии – это устройство, принимающее, сохраняющее и выделяющее электрическую энергию для дальнейшего её использования.

Использование накопителей энергии в электроэнергетических системах (ЭЭС) открывает новые возможности для повышения надежности ЭЭС и увеличения максимально допустимого перетока в контролируемых сечениях (МДП).

На данный момент в ЕЭС России основной вид накопителя электроэнергии это – гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС) (см. рисунок). Недостатком ГАЭС является то, что при их строительстве приходится вмешиваться в уже сложившиеся природные комплексы. Кроме этого, наиболее успешные проекты ГАЭС были реализованы в горной местности, где есть твердые горные породы и легко обеспечить перепад уровней между двумя водохранилищами [1].



Структура установленной мощности (МВт) систем накопления различных типов,  
 работающих совместно с ЭЭС (по данным МЭА/IEA)

При внедрении генерирующих установок на базе возобновляемых источников энергии в энергосистему происходит разгрузка основной и распределительных электрических сетей, что ведет к снижению потерь электроэнергии, повышению устойчивости и надежности системы, высвобождается пропускная способность линий электропередач [2]. Но вследствие непостоянного режима их работы, могут возникать проблемы регулирования и устойчивости электроэнергетических систем, невозможности управления режимом работы таких установок, можно ожидать увеличения токов короткого замыкания и снижения качества электрической энергии. Для решения указанных проблем целесообразно применять накопители электрической энергии.

Автоматическое противоаварийное управление в энергосистеме реализуется посредством следующих видов противоаварийной автоматики (ПА):

- автоматики предотвращения нарушения устойчивости (АПНУ);
- автоматики ограничения снижения частоты (АОСЧ);
- автоматики ограничения снижения напряжения (АОСН);
- автоматики ограничения повышения напряжения (АОПН);
- автоматики ограничения перегрузки оборудования (АОПО).

Один из вариантов эффективного использования систем накопления электрической энергии – в качестве управляющих воздействий от противоаварийной автоматики: АПНУ, АОСЧ, АОСН, АОПО.

За счет дополнительной генерации от систем накопления электроэнергии в дефицитных энергорайонах произойдет увеличение максимально допустимого перетока активной мощности в контролируемых сечениях, а также благодаря использованию систем накопления энергии (СНЭ) в качестве управляющих воздействий (УВ) от ПА возможно сократить объемы отключаемой нагрузки от ПА или вовсе её исключить.

Также увеличение МДП приведет:

- а) к включению меньшего (экономически более выгодного) объема генерации на стадии планирования выбора состава включенного генерирующего оборудования (ВСВГО) по критерию обеспечения параметров электроэнергетического режима в послеаварийной схеме;
- б) к повышению надежности и живучести энергосистемы;
- в) к увеличению количества реализуемых ремонтов в ходе ремонтной кампании;
- г) к снижению затрат на технологическое присоединение потребителей. При технологическом присоединении потребителей на данный момент существуют следующие технические решения:

- строительство линий электропередачи (ЛЭП);
- строительство автотрансформатора (АТ);
- установка батареи статических конденсаторов (БСК);
- установка ПА.

В ряде случаев для присоединения потребителя мощностью 10–20 МВт, требуется строительство ЛЭП, данное техническое решение может увеличить затраты в десятки раз, в особых случаях даже требуется строительство несколько ЛЭП и АТ. Стоит обратить внимание на альтернативный вариант – это использование систем накопления электроэнергии.

1. Основная проблема использования накопителей электрической энергии в электроэнергетических системах – это высокая стоимость, но рынок накопителей продолжает развиваться высокими темпами с тенденцией к снижению удельной стоимости запасенной энергии. Надо уже сейчас продумывать возможные варианты эффективного применения СНЭ в ЕЭС России.

2. Применение накопителей в качестве технических решений при технологическом присоединении может значительно снизить капитальные затраты.

3. Благодаря использованию СНЭ возможно снизить объемы нагрузки, отключаемые от противоаварийной автоматики или в некоторых случаях вовсе их исключить.

4. Системы накопления электрической энергии идеально подходят для поддержания баланса мощности в ЕЭС России, с помощью СНЭ возможно снижение расхода топлива на электростанциях и снижение износа генерирующего оборудования.

### **Источники**

1. The Strategic Energy Technology Plan [Электронный ресурс]. URL: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/technology-and-innovation> (дата обращения: 18.09.2021).

2. Сокольникова Т.В., Суслов К.В., Ломбарди П. Определение оптимальных параметров накопителя для интеграции возобновляемых источников энергии в изолированных энергосистемах с активными потребителями // Вестник ИрГТУ. 2015. № 10. С. 206–211.

## МЕТОДИКА КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ НАДЁЖНОСТИ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ПРИ ОПЕРАТИВНО-ДИСПЕТЧЕРСКОМ УПРАВЛЕНИИ

А.А. Назаров

Филиал АО «СО ЕЭС» Смоленское РДУ, г. Смоленск

nazarovaa105@yandex.ru

Предложена методика комплексной оценки надёжности линий электропередачи (ЛЭП) напряжением 110 кВ и выше в операционной зоне (ОЗ) диспетчерского центра (ДЦ) в реальном времени на основе анализа основных причин аварийных отключений и определяющих факторов надёжности ЛЭП. Предложен индекс вероятности аварийного отключения ЛЭП, который определяется в сравнении с эталонной ЛЭП с наихудшими показателями, и его качественное представление на основе функции желательности Харрингтона.

**Ключевые слова:** надёжность, вероятность аварийного отключения линий электропередачи, управление режимами работы энергосистемы.

При управлении электроэнергетическими режимами ЭЭС в реальном времени диспетчерские центры не используют информация о надёжности ЛЭП (оборудования). Для оценки надёжности ЛЭП используются в основном усреднённые справочные данные, а одними из основных показателей являются параметры потока отказов, которые определяются в целом по регионам, временам года и т. д. Возникает необходимость поиска новых методов оценки и ранжирования надёжности объектов энергетических систем с использованием различных факторов [1, 2].

Надёжность ЛЭП зависит от большого числа факторов, как правило, независимых друг от друга. Их можно условно разделить на эксплуатационные (срок службы, техническое состояние и т. д.), конструктивные (длина пролета, конструкция опор, типы проводов и т. д.), климатические (температура воздуха, скорость ветра, атмосферные перенапряжения и т. д.) и внешние (воздействие птиц, посторонних лиц и т. д.). Для разработки методики необходимо определить наиболее важные из них. С этой целью был проведен анализ причин аварийных отключений ЛЭП напряжением 110 кВ в Калужской энергосистеме. Выявлено, что большинство из них имеют ярко выраженный сезонный характер. Так же необходимо учитывать параметры ЛЭП, которые значительно влияют на её надёжность, это длина и номинальное напряжение ЛЭП.

Для учёта множества факторов, обладающих количественной и размерной неоднородностью, предлагается использовать методику сравнительной рейтинговой оценки [3]. Каждый фактор необходимо количественно охарактеризовать, то есть выбрать такой показатель, вес которого можно определить на основании статистики аварийных отключений ЛЭП одного класса напряжения в ОЗ ДЦ. В табл. 1 представлены основные факторы аварийных отключений ЛЭП и характеризующие их показатели.

Таблица 1

Основные факторы и показатели аварийных отключений ЛЭП

| Основные факторы аварийных отключений ЛЭП       | Показатель <i>i</i> -й ЛЭП, условное обозначение и ед. измерения            | Значение показателя для самой низкой/высокой вероятности аварийного отключения ЛЭП        |
|---|---|---|
| Несвоевременное выявление и устранение дефектов | Индекс технического состояния, ИТС, о.е.                                    | 1/0   |
| Ветровые нагрузки                               | Максимальная скорость ветра (на ближайшие 3 ч) по ОЗ (району ОЗ) ДЦ, V, м/с | 0/ максимальная скорость ветра для ОЗ ДЦ в соответствии с картой районирования территории |
| Атмосферные перенапряжения                      | Вероятность грозы (на ближайшие 3 ч) по ОЗ (району ОЗ) ДЦ, G, %             | 0/100   |
| Воздействие птиц                                | Суммарная длина участков <i>i</i> -й ЛЭП, оборудованная ПЗУ, Y, км.         | Длина <i>i</i> -й ЛЭП / 0   |
| –   | Длина ЛЭП, L, км.   | $L_{мин} / L_{макс}$ в ОЗ ДЦ  |

Итоговая рейтинговая оценка учитывает все важнейшие показатели, характеризующие факторы аварийного отключения *i*-й ЛЭП. В основе итогового показателя рейтинговой оценки лежит сравнение ЛЭП по каждому показателю с условной эталонной ЛЭП, имеющей наихудшие результаты (наибольшую вероятность отключения, показатели в правом столбце табл. 1) в ряду всех сравниваемых ЛЭП ОЗ ДЦ. Базой отсчёта для рейтинговой оценки относительной вероятности отключения ЛЭП являются не субъективные предположения экспертов, а полученные в условиях режима реального времени наиболее высокие результаты из всей совокупности сравниваемых объектов с учётом статистики за предыдущий период эксплуатации [2].

Относительную важность факторов аварийного отключения ЛЭП будут определять весовые коэффициенты показателей табл. 1, которые оцениваются в соответствии со статистикой отключений ЛЭП данного класса напряжения в ОЗ ДЦ с разделением по причинам аварийных отключений и времени года.

Введен и предложен алгоритм расчета «индекса вероятности аварийного отключения ЛЭП» ( $S_{ав}$ ), который предлагается в качестве количественной меры оценки надёжности ЛЭП в ОЗ ДЦ. Значения  $S_{ав}$  ЛЭП (табл. 2) зависят как от метеорологических условий и времени года,



так и технического состояния ЛЭП, что позволяет использовать его для оценки относительной надёжности ЛЭП. Наиболее целесообразно использовать данный индекс для получения качественной сравнительной оценки надёжности нескольких ЛЭП на основе функции желательности Харрингтона и отображения её на схеме энергосистемы ДЦ в реальном времени, на основе получения информации о погодных условиях.

Таблица 2

Пример расчета индекса  $S_{ав}$  для ЛЭП ОЗ ДЦ

| № ЛЭП | Хорошие метеоусловия<br>(штиль, без гроз) |      |      |   |   | Штормовое предупреждение<br>(ветер с порывами до 25 м/с,<br>вероятность гроз 100 %) |      |      |      |                     |   |                                    |      |      |      |  |
|-------|---|------|------|---|---|---|------|------|------|---------------------|---|------------------------------------|------|------|------|--|
|       | Показатель, о.е.                          |      |      |   |   | Индекс $S_{ав}$<br>в квартале года  |      |      |      | Показатель,<br>о.е. |   | Индекс $S_{ав}$<br>в квартале года |      |      |      |  |
|       | L   | ИТС  | У    | V | G | I   | II   | III  | IV   | V                   | G | I                                  | II   | III  | IV   |  |
| 1     | 0,68                                      | 0,53 | 0,11 | 0 | 0 | 0,04  | 0,24 | 0,29 | 0,07 | 1                   | 1 | 0,10                               | 0,51 | 0,62 | 0,15 |  |
| 2     | 0,7                                       | 0,51 | 0,52 | 0 | 0 | 0,04  | 0,19 | 0,20 | 0,07 | 1                   | 1 | 0,11                               | 0,50 | 0,60 | 0,16 |  |
| 3     | 0,88                                      | 0,45 | 0,34 | 0 | 0 | 0,06  | 0,29 | 0,31 | 0,10 | 1                   | 1 | 0,14                               | 0,65 | 0,78 | 0,20 |  |
| 4     | 0,24                                      | 0,41 | 0,34 | 0 | 0 | 0,02  | 0,08 | 0,09 | 0,03 | 1                   | 1 | 0,04                               | 0,18 | 0,21 | 0,06 |  |
| 5     | 1   | 0,3  | 0,47 | 0 | 0 | 0,08  | 0,37 | 0,36 | 0,15 | 1                   | 1 | 0,16                               | 0,76 | 0,89 | 0,25 |  |

Предлагаемая методика может быть использована ДЦ при управлении режимом работы энергосистемы. Она позволит обеспечить высокий уровень надёжности работы энергосистемы за счёт выявления наиболее «слабых» ЛЭП по совокупности факторов и своевременно подготовить превентивные схемно-режимные мероприятия, направленные на снижение последствий аварийных отключений.

### Источники

1. Ковалев Г.Ф., Лебедева Л.М. Области использования и пределы применимости критерия  $(n-i)$  при формировании структуры и выборе параметров элементов ЭЭС. М.: ИСЭ им. Л.А. Мелентьева СО РАН, 1999. 68 с.
2. Назаров А.А. Методика комплексной оценки надёжности линий электропередачи в режиме реального времени // Энергетик. 2021. № 5. С. 12–16.
3. Баканов М.И., Шеремет А.Д. Теория экономического анализа: учебник. М.: Финансы и статистика, 1997. 416 с.
4. Harrington E.C. The desirable function // Industrial Quality Control. 1965. Vol. 21, Is. 10. Pp. 494–498.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАГОСОДЕРЖАНИЯ БУМАЖНОЙ ИЗОЛЯЦИИ

Г.Ф. Нигматуллина<sup>1</sup>, Р.А. Саяхутдинов<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>fandamovna@mail.ru, <sup>2</sup>Hard\_modes@mail.ru

Рассматривается влияние влаги и масла на свойства бумажной изоляции маслонаполненного трансформатора. При помощи высокочувствительного оптоволоконного спектрофотометра измерили спектр пропускания света через трансформаторную бумагу.

**Ключевые слова:** бумажная изоляция, влагосодержание, маслонаполненный трансформатор, высокочувствительный оптоволоконный спектрофотометр AvaSpec-2048XL.

Трансформаторное масло оказывает существенное влияние на работоспособность и срок службы силовых трансформаторов. Однако, как отдельный элемент изоляционной системы трансформаторное масло не определяет переход изоляционной системы в предельное состояние, так как в любое время может быть подвергнуто регенерации с полным восстановлением его изоляционных свойств. Бумажная изоляция, напротив, утратив часть своих первоначальных свойств, далеко не всегда может быть подвергнута регенерации. Например, увлажнение бумажной изоляции может быть устранено в процессе её сушки тем или иным образом. Утрата же механических свойств бумажной изоляции не может быть восстановлена в процессе эксплуатации.

Целью работы является определение экспериментальным путем влияния влаги и масла на свойства бумажной изоляции.

Для выполнения данной работы ставятся следующие задачи:

1. Сбор данных о видах изоляции.
2. Изучение методов определения качества изоляции.
3. Определение влагосодержания бумажной изоляции.
4. Изучение воздействия влаги на изоляцию обмоток трансформатора.

Методика.

В ходе работы выяснили, что при содержании влаги в бумаге, скорость ее разложения увеличивается пропорционально процентному содержанию воды. Это явление работает при содержании в бумаге влаги в диапазоне

от 0,3 до 7 %. Влияние влаги усиливается при ускоренном разложении бумаги. При содержании влаги 2 % старение бумаги происходит быстрее в 6–16 раз, а при 4 % – в 12–45 раз чем при 0,3 %.

У новых трансформаторов влагосодержание изоляции составляет не более 0,5 %. При эксплуатации трансформатора в зависимости от нагрузочных условия влагосодержание может увеличиться до 5 %. При таких условиях трансформатор может проработать от 25 до 30 лет, а степень полимеризации при этом не менее 360.

Для эксперимента подготовили 5 образцов бумаги:

- трансформаторная бумага для стороны НН 0,4 кВ;
- белый лист формата А4;
- трансформаторная бумага, пропитанная водой;
- трансформаторная бумага, пропитанная чистым маслом марки ГК;
- трансформаторная бумага, пропитанная «грязным» маслом марки ГК.

При помощи высокочувствительного оптоволоконного спектрофотометра AvaSpec-2048XL измерили спектр пропускания света через трансформаторную бумагу. Нашли соотношение спектра пропускания белой бумаги А4 на спектр пропускания трансформаторной бумаги, пропитанной водой и маслом марки ГК трансформаторной бумаги (рис. 1.). Так же нашли соотношение спектра пропускания трансформаторной бумаги на спектр пропускания пропитанной водой и маслом марки ГК трансформаторной бумаги (рис. 2.). Обнаружили на отрезках графика провалы, характеризующие влияние влаги и масла на бумажную изоляцию трансформатора. По этим отрезкам можно определить концентрацию масла и воды.

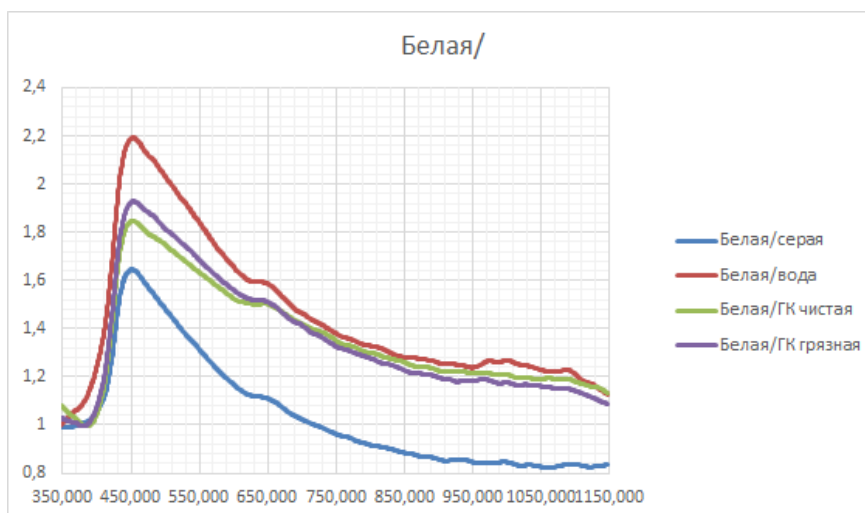


Рис. 1. Соотношения спектра пропускания белой бумаги А4 на спектр пропускания трансформаторной бумаги, пропитанной водой и маслом марки ГК трансформаторной бумаги

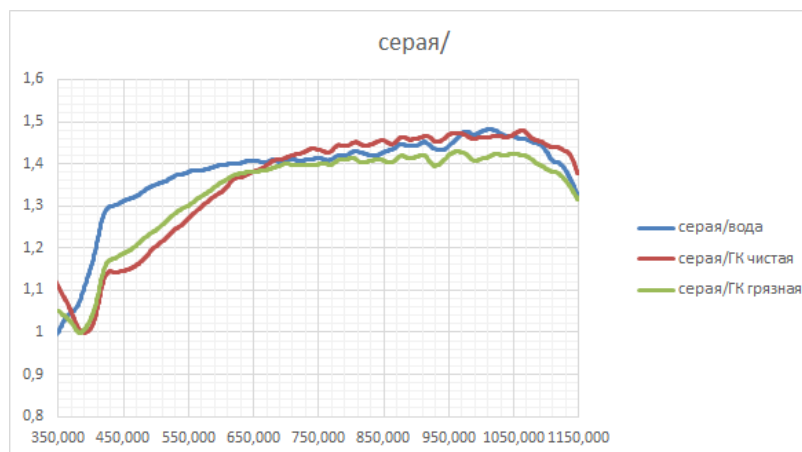


Рис. 2. Соотношения спектра пропускания трансформаторной бумаги на спектр пропускания пропитанной водой и маслом марки ГК трансформаторной бумаги

Вывод: при помощи спектра пропускания света через трансформаторную бумагу, пропитанную водой или маслом, можно определить концентрацию масла и воды в бумаге.

### Источники

1. Алексеев Б.А. Контроль состояния (диагностика) крупных силовых трансформаторов. М. : Изд-во НЦ ЭНАС, 2002. 211 с.
2. Ершов Б.Г., Комаров В.Б., Лютко Е.О. Измерение степени полимеризации бумажной изоляции силового оборудования в электроэнергетике и электроэнергетической промышленности // Измерения в современном мире – 2013: сб. науч. тр. 4-й Междунар. науч.-практ. конф. СПб., 2013. С. 21–24.
3. Козлов В.К., Сабитов А.Х. Экспресс-метод определения степени полимеризации бумажной изоляции трансформаторов в лабораторных условиях // СибОптика – 2015: сборник материалов Междунар. науч. конф. В 3 т. Новосибирск, 2015. Т. 1. С. 189–192.
4. Козлов В.К., Сабитов А.Х., Низамутдинов Б.Р. Исследование процесса старения бумажно-масляной изоляции в видимом диапазоне // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2015. № 3-4. С. 81–85.

## ПОДХОДЫ К РЕКОНСТРУКЦИИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Е.В. Оборина

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Предложено решение проблем модернизации и технического перевооружения распределительных устройств (далее – РУ) задачами которого являются повышение надежности эксплуатации оборудования, минимизация рисков недоработки электрической энергии и невыполнение заданий по рабочей мощности станции в результате отказа элементов РУ.

**Ключевые слова:** распределительные устройства, электроснабжение, надежность, электрооборудование, резерв, подстанции

РУ служат для приёма, распределения электроэнергии. Любое входящее в состав распределительных устройств электрооборудование должно целостно отвечать за обеспечение надежности. Одним из способов снижения рисков недодачи электроэнергии является проведение технического перевооружения морально устаревшего оборудования на современное, обладающее высокой надежностью электроснабжения любой подстанции или станции для которой это необходимо.

Для проведения исследования также послужила предварительная оценка не только снижения рисков падения электроснабжения, но и диагностика экономической эффективности модернизации за счет снижения стоимости обслуживания РУ за счет уменьшения численности обслуживающего персонала, затрат на содержание в связи с уменьшением количества воздействий человека в год

Так же предпосылками для реализации исследования послужило:

- снижение надежности работы существующего оборудования РУ большинства регионов страны вследствие физического износа и морального старения оборудования;
- необходимость частого проведения ремонтов электрооборудования;
- необходимость обеспечения надежной и устойчивой работы подстанций и станций системообразующей сети.

Необходимо провести исследования экономической целесообразности модернизации распределительных устройств, а также оценить возможность бесперебойного режима работы предприятий, в случае нарушений плана нагрузки потребителей необходимо обеспечить постоянный доступ к резервам.

### **Источники**

1. Чичерюкин В.Н., Малахов Н.О. Электрические станции и подстанции. М.: Московский политехнический университет, 2020. 147 с.

2. Анчарова Т.В., Рашевская М.А., Е.Д. Стебунова. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений: учеб. М.: Форум, 2014. 414 с.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ПЕРЕРЫВОВ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ В СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ

А.С. Петрова

ФГБОУ ВО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова», г. Барнаул

petrovaarina@mail.ru

Произведено исследование надежности получения электроэнергии потребителями в распределительных сетях 0,4–10 кВ. Приведены весомые аргументы для секционирования линий данных классов и актуальность проведения таких мероприятий в сетях. Определена эффективность модернизация линии путем установки разъединителей.

**Ключевые слова:** короткое замыкание, линии электропередач, подстанции, потребители, требования ПУЭ, разъединители.

Сети 10 кВ построены таким образом, что короткое замыкание где-либо на участке влечет за собой отключение всей секции, к которой одновременно запитаны множество потребителей. Специфика прокладки и устройства ВЛ на данном классе напряжения такова, что вероятность короткого замыкания достаточно высока.

В настоящее время для аварийной защиты участков линий электропередач используют разъединители. Они устанавливаются на участках, однако работают в ручном режиме. При аварийной ситуации, на место установки разъединителей выезжает аварийная бригада. Специалисты отключают электроэнергию во всех районах, привязанные к одной подстанции. В связи с этим возникает ряд проблем:

1) без электроэнергии остаются другие районы, в которых нет обрыва линии;

2) некоторые потребители несут убытки в связи с выходом из строя своего имущества. Возникает вопрос о повышении надежности электроснабжения в воздушных линиях вышеуказанного типа.

Необходимо учитывать пункты «Правила установки электроустановок». Пункты 1.2.20 и 1.2.21 говорят о том, что для потребителя третьей категории допустимое число часов отключения в год составляет 72 час, но не более 24 час подряд [1]. Однако некоторые отдаленные районы Алтайского края зачастую остаются без электроэнергии на десятки часов,

это связано с труднодоступностью местности, удаленностью от станции. Работники не могут в кратчайшие сроки добраться до поврежденного участка, и тем более не имеют возможности к скорейшему ремонту или замене поврежденного элемента системы электроснабжения воздушной линии.

Проведем расчет перерывов электроснабжения потребителей в селе Сетовка Алтайского края. Схема электроснабжения с. Сетовка представлена на рисунке.

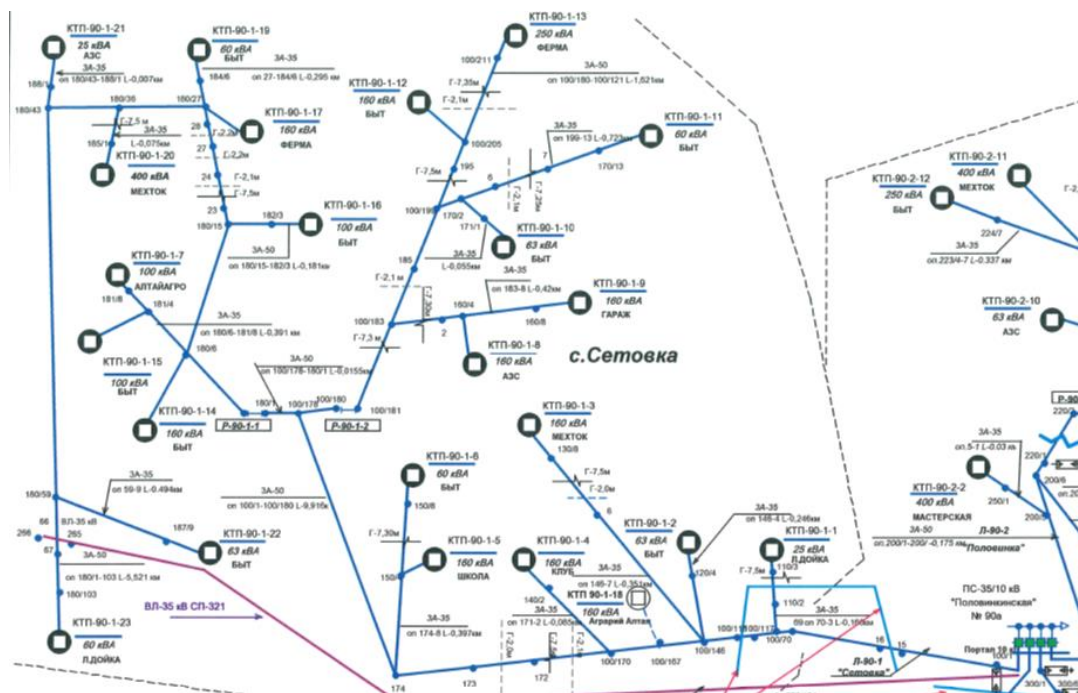


Схема электроснабжения с. Сетовка

Воздушная линия села Сетовка Алтайского края. Весь населенный пункт питается от ПС-35/10 кВ «Половинкинская» №90. На территории села расположены 23 ТП-18-5. Произведем расчет продолжительности отключения потребителей без использования секционирующих элементов и с применением разъединителей в местах ветвления схемы электроснабжения [2].

Расчет средней продолжительности перерыва электроснабжения по причине аварий:

$$\text{Авария на линии} = \frac{(k*t*l)}{100},$$

где  $k$  – частота устойчивых отказов 1/100 км в год;  $t$  – время восстановления электроснабжения;  $l$  – длина участка линии.



Авария на КТП = коэфф. частоты \* время восстановления.

Произведенные расчеты показали, что без применения секционированных устройств, продолжительность перерыва электроснабжения для потребителей в среднем составляет порядка 170 час в год. При установке разъединителей на опорах 180/1 и 100/180 продолжительность перерывов электроснабжения снизится и составит от 60 до 67 час. Данные значения соответствуют требованиям ПУЭ, таким образом, для сети 10 кВ, имеющей значительную протяженность и разветвленность, как в рассмотренном примере, секционирование обязательно.

### **Источники**

1. Глава 1.2. Электроснабжение и электрические сети. Категории электроприемников и обеспечения надежности электроснабжения [Электронный ресурс]. URL: <https://www.elec.ru/library/direction/pue> (дата обращения: 12.09.2021).

2. Разъединители наружные 10 кВ [Электронный ресурс]. URL: <https://tmtrade.ru/raz-ediniteli-6-10-kv> (дата обращения: 14.09.2021).

## ВНЕДРЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ АДАПТИВНЫХ СЕТЕЙ

В.Е. Петропавловский  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
Letterz2me@mail.ru

Рассмотрена интеллектуальная энергетическая система с активно-адаптивной сетью (Smart Grid). Обозначены проблемы, препятствующие распространению данных технологий в России, а также приведены преимущества данной сети.

**Ключевые слова:** интеллектуальная энергетическая система, энергетика, активно-адаптивная сеть.

Энергетика – это крупнейшая и ключевая отрасль современной отечественной промышленности. В настоящее время российская энергетика характеризуется недостаточной эффективностью, устойчивостью и надежностью. Для решения существующих проблем в российской энергетике необходим ее переход на новый качественный уровень путем формирования целостной многоуровневой системы управления с увеличением объемов автоматизации и повышением надежности всей системы.

Этому способствует интеллектуальная энергетическая система с активно-адаптивной сетью (Smart Grid) [1].

«Smart Grid» – интеллектуальная сеть, которая расширяет при помощи цифровых технологий распределительную и транспортную системы для обеспечения надёжной и качественной передачи электрической энергии от источника к приёмнику в нужное время и в необходимом количестве.



Схема сети с распределенной генерацией

Среди целей создания выделяют следующие:

- увеличение использования цифровых и контролирующих технологий для обеспечения надежности, безопасности и эффективности электрической сети;
- динамическая оптимизация операций в сети с обеспечением полной информационной защищенности;
- развитие и интеграция распределенной генерации, включая возобновляемые источники энергии;
- управление спросом;
- использование интеллектуальных технологий для мониторинга состояния сети и управления сетью;
- интеграция «умных» приборов учета и устройств потребителя;
- развертывание и интеграция технологий хранения электроэнергии и снятия пиков нагрузки;
- предоставление потребителям своевременной информации и возможностей управления;
- разработка стандартов взаимодействия «умных» приборов и оборудования, подключенного к сети, включая инфраструктуру управления сетью (Plug&Play);
- идентификация и снижение неразумных и излишних барьеров, препятствующих развитию технологий, практик и услуг в области интеллектуальных сетей [2].

Основными проблемами, которые препятствуют распространению технологии Smart Grid в России, являются:

- значительное количество потребителей, предъявляющих разные требования к качеству электрической энергии;
- отсутствие надежных накопителей энергии;
- значительные финансовые вложения в процессе внедрения системы Smart Grid и ее последующего обслуживания;
- отсутствие стандартов и нормативов;
- отсутствие мотивации у генерирующих компаний, так при введении технологии, их доходы могут значительно снизиться.

В России активным внедрением элементов сетей Smart Grid занимаются такие компании, как МРСК («умные» системы учета) и ФСК ЕЭС (установка БСК, СТАТКОМ, регулируемых шунтирующих реакторов, статических тиристорных компенсаторов, а также создание опытного полигона «Цифровая подстанция»).

Создание интеллектуальных сетей может уменьшить потребность в новой мощности электростанций на 25–30 % и сократить капиталовложения в электроэнергетику России на 22–23 % за период с 2010 по 2030 гг., что даст прямой экономический эффект до 5,5 трлн руб. при необходимых капиталовложениях в 2,4–3,2 трлн руб. до 2030 г. Прямой экономический эффект от внедрения Smart Grid в России оценивается в сумму до 50 млрд руб. в год [3].

Несмотря на возникающие препятствия, развитие технологий Smart Grid является важной стратегической задачей, решение которой позволит решить ряд проблем в современной отечественной энергетике.

### **Источники**

1. Ледин С.С. Интеллектуальные сети Smart Grid – будущее российской энергетики // Автоматизация и ИТ в энергетике. 2010. № 11 (16). С. 4–8.
2. Гаврилович Е.В., Данилов Д.И., Шевченко Д.Ю. «Умные сети» Smart Grid – перспективное будущее энергетической отрасли России // Молодой ученый. 2016. № 28 (2). С. 55–59.
3. Чистова Е. Передавать с умом // Атомный эксперт. 2018. № 7. С. 22–27.

## АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИЕЙ МЕТОДОМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В СРЕДЕ MATLAB

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

Политехнический Институт Таджикского Технического Университета,  
г. Худжанд

<sup>1,2</sup>shukrona14\_01\_2011@mail.ru

Произведен анализ устойчивости электроэнергетической системы с распределенной генерацией методом имитационного моделирования в среде MatLAB. Изложены основные принципы обеспечения устойчивости электроэнергетической системы с распределенной генерацией. Приведено описание системы электроснабжения района. Представлены результаты моделирования электроэнергетической системы.

**Ключевые слова:** модель, электроэнергетическая система, распределенная генерация, устойчивость, электрический ток, генератор

При анализе функционирования электроэнергетических систем, учитываются не только электромагнитные параметры систем электроснабжения, но и механические параметры элементов системы, поскольку эти параметры оказывают влияние на электромагнитные процессы. Электромеханические процессы в основном происходят в генераторах, двигателях нагрузки в регуляторах, где электрическая энергия преобразуется в механическую. В качестве параметров электроэнергетической системы принято напряжение в узловых точках и токи в ветвях ЭС, а под возмущением понимают изменение механического момента на валу двигателя, генераторов или мощности нагрузки [1, 2].

При управлении системы электроснабжения без систем распределенной генерации (РГ), расчеты переходных процессов производится с учетом изменения схемно-режимной ситуации, правильная работа противоаварийной автоматики обусловлен просмотром значительного количества аварийных ситуаций за ограниченное время, чтобы не допустить каскадное развитие аварий в системе электроснабжения [3].

При децентрализованном электроснабжении обеспечение селективности работы противоаварийной автоматики значительно сложнее, чем при централизованной электроснабжении, поскольку при введении

дополнительных источников электроэнергии изменяется свойства электроэнергетической системы. Поэтому требуется разработка новых подходов обеспечения устойчивости электроэнергетической системы с учетом специфики задач управления сетей с распределенной генерацией. Основной целью исследования является анализ статической и динамической устойчивости электроэнергетических систем с РГ в нормальных и аварийных ситуациях [4, 5].

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

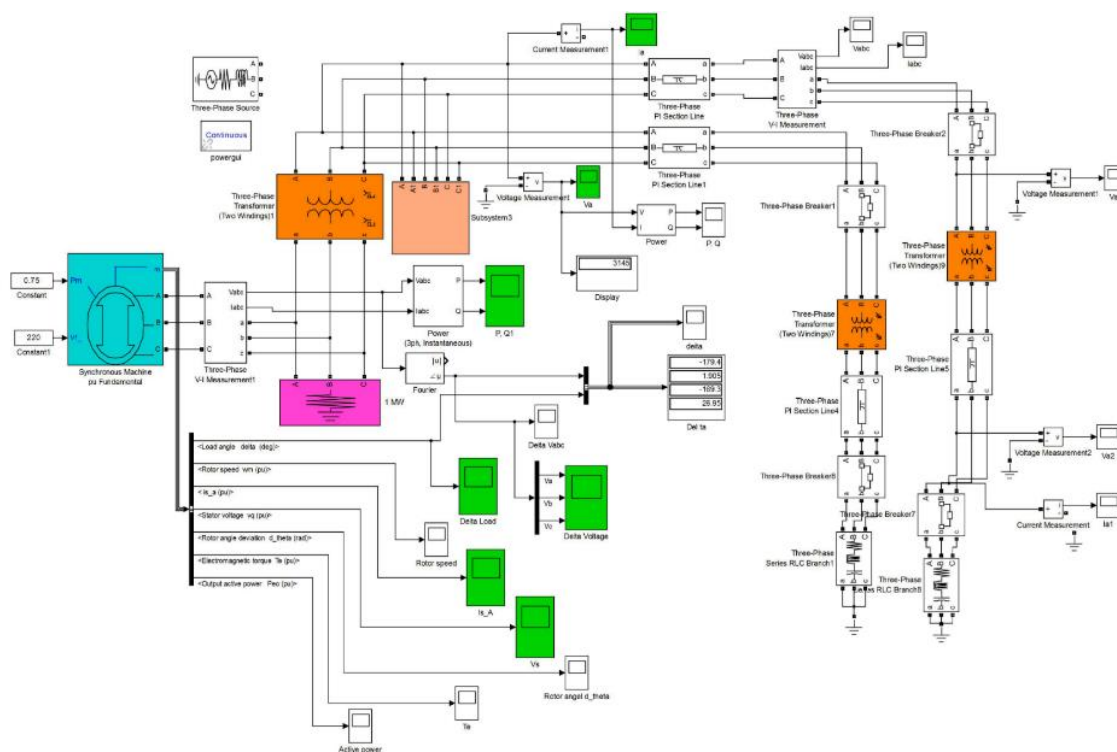


Рис. 1. Иммитационная модель электроэнергетической системы с источником РГ

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

По условным обозначениям, которые применены в модели можно определить местоположение вышеперечисленных элементов электроэнергетической системы. На модели представлены контрольно-измерительные приборы, которые предназначены для контроля механических и электрических параметров системы. Между источником и повышающим трансформатором расположен комплект измерительных приборов, основная предназначение которых является контроль изменения электрических и механических параметров на зажиме основного генератора. На выходе понижающих трансформаторов также подключены контрольно-измерительные приборы.

Одним из основных параметров, характеризующими устойчивость электроэнергетической системы, являются изменение угла фазового сдвига между ЭДС-ом генератора и напряжением сети, которая определяется по формуле [6]:

$$\lambda = \frac{\varphi_E - \varphi_U}{\varphi_E}, \quad (1)$$

где  $\varphi_E$  – угол фазового сдвига генератора, град.;  $\varphi_U$  – угол фазового сдвига напряжения сети, град.

На рис. 2 приведен график фазового сдвига в течение времени.

На графике отчетливо выделяется три отрезка времени, которые соответствуют трем режимам работы электроэнергетической системы. В течение 0,1 с производится пуск всей системы транспортировки электроэнергии, переходной процесс пуска системы заканчивается через 0,6 с и ротор основного генератора совершает колебание устойчивого значения угла равным 27 град., которая зависит от величины и характера нагрузки.

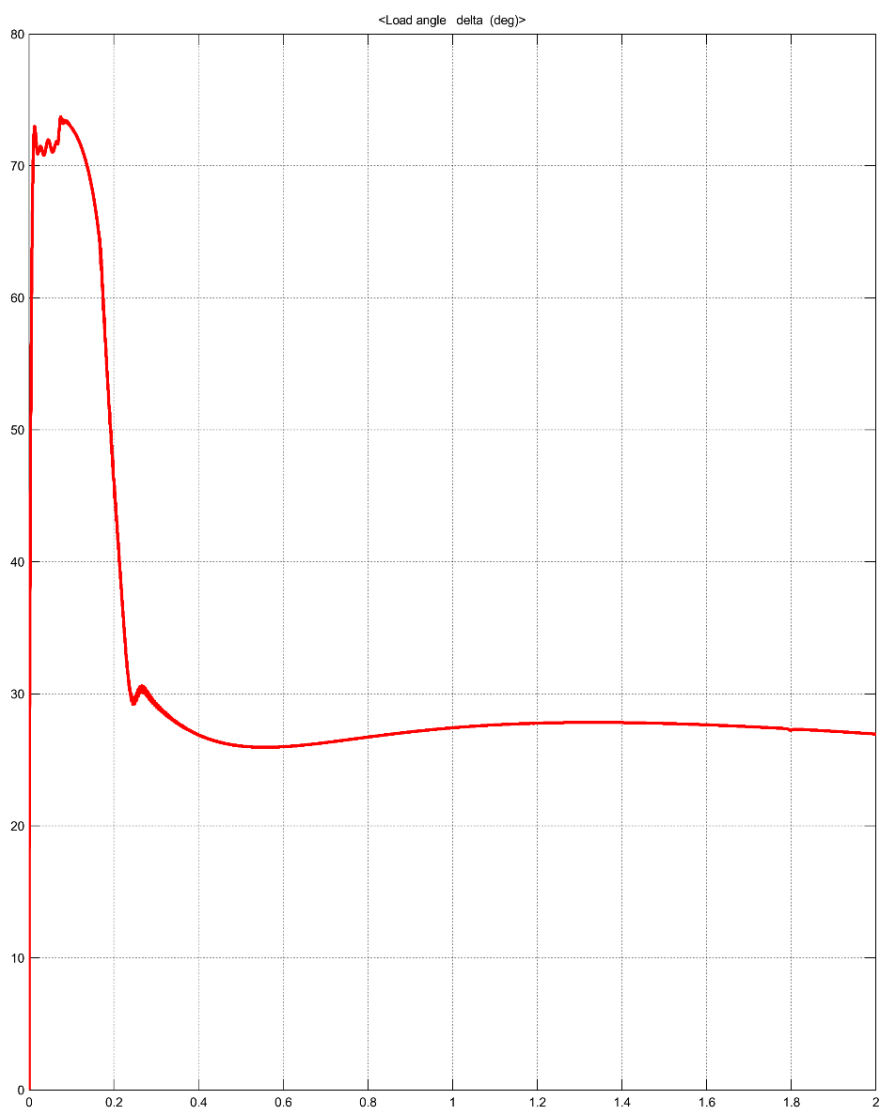


Рис. 2. График изменения угла фазового сдвига между ЭДС-ом генератора и напряжением сети

Таким образом, исследование режимов работы энергосистем с распределенной генерацией путем моделирования в среде MatLAB в значительной степени сокращает затраты на проектирование энергосистем и исследование режимов. При этом такой метод анализа обладает наглядностью и позволяет прогнозировать поведение системы при работах, связанных с модернизацией электроэнергетических систем.

### Источники

1. Соснина Е.Н., Шалухо А.В., Липужин И.А. Исследования устойчивости изолированных систем электроснабжения с ветро-дизельными электростанциями // Пром-Инжиниринг. 2016. С. 280–285.



2. Tanaka T., Yamasaki M. Simulation analysis of AC power supply system stability // IEICE transactions on communications. 2004. Vol. 87, Is. 12. Pp. 3465–3470.

3. Анализ переходных режимов систем электроснабжения промышленных предприятий, имеющих в своем составе объекты малой энергетики / О.В. Буланова [и др.] // Промышленная энергетика. 2010. № 4. С. 22–28.

4. Бийгазиева К.Ж., Суеркулов М.А. Способы обеспечения статической устойчивости систем электроснабжения // Наука и инновационные технологии. 2016. № 1. С. 82–85.

5. Горячев В.Я., Елинов Д.А., Кудашев А.В. Анализ устойчивости энергетической системы путем имитационного моделирования в среде Matlab // Надежность и качество: тр. Междунар. симп. 2008. Т. 1. С. 337–339.

6. Анализ статической устойчивости синхронных генераторов / Малафеев А.В. [и др.] // Главный энергетик. 2013. № 7. С. 17–25.

## КОМПЛЕКСНАЯ СИСТЕМА EOCORTEХ ДЛЯ СБОРА И ОБРАБОТКИ ВИДЕОИНФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ СЕТЕВЫХ ВИДЕОКАМЕР

В.О. Садыков<sup>1</sup>, Ш.Ф. Рахманкулов<sup>2</sup>, В.В. Максимов<sup>3</sup>

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

<sup>1</sup>svo-1999@mail.ru, <sup>2</sup>shamil74000@mail.ru

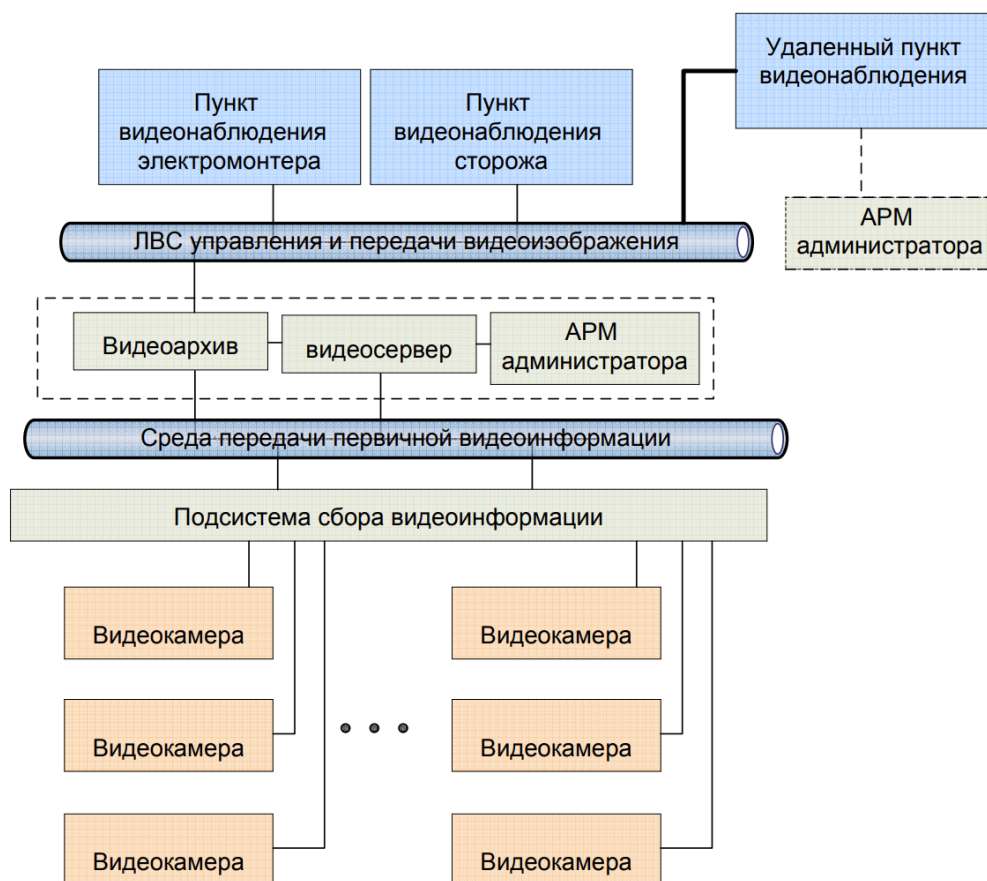
Предложена комплексная система сбора, хранения и обработки видеoinформации на подстанции для последующего её анализа и мониторинга работы системы и электрооборудования. Представлена реализация современных методов обработки видеoinформации, которые позволяют реализовать широкий спектр функциональных возможностей, среди которых выделяется автоматизация систем мониторинга работы персонала, систему его авторизации на подстанции и порядка выполнения работ, а также ведение видеоархива для анализа нештатных ситуаций.

**Ключевые слова:** система видеонаблюдения, анализ видеoinформации, мониторинг, рабочий персонал.

Комплексная система Eocortex, включает в себя такие интегральные компоненты, как видеосервер, видеоархив, которые позволяют вести удаленный мониторинг рабочих мест и сбора видеoinформации на основе сетевых камер [1]. Каждый пункт видеонаблюдения имеет набор экранных профилей, определяющий отображаемую информацию, доступ к изображению видеокамер, доступ к управлению видеокамерами, доступ к видеоархиву [2].

Продвинутая система видеонаблюдения может выступать как основная система безопасности объекта, поскольку реализация не только основного технологического видеонаблюдения, так же реализуется функционал охранного видеонаблюдения [3], а информация поступает сразу на несколько уровней администрирования, согласно схеме представленной (см. рисунок).

К примеру, реализовать можно следующие функции по мониторингу и работе персонала: автоматизированная система авторизации персонала по уровню доступа и соответствующей группе электробезопасности с помощью технологии «Face recognition» [4], система контроля присутствия персонала на рабочем месте, к примеру дежурного персонала. Обнаружение защитных касок, детектор позволяет минимизировать уровень производственного травматизма и смертности работников в результате нарушения правил безопасности работниками.



Структура системы: Принципы организации

Далее рассмотрим подробнее каждую из них:

1) система авторизации персонала с помощью технологии «Face recognition», создание базы данных фотографий «доверенных» и «черных» лиц [5] получать автоматические уведомления на свой монитор, телефон или электронную почту о попытках проникновения, совершаемых людьми, которые не имеют права доступа поиск фрагментов с обнаруженным лицом в видеоархиве, поиск людей в видеоархиве с использованием их фотографий;

2) система контроля присутствия персонала на рабочем месте, это помогает повысить эффективность работы ваших сотрудников и снизить риски, связанные с человеческим фактором. Система фиксирует перемещение или его отсутствие в зоне мониторинга деятельности в режиме реального времени. Если в течение некоторого времени не замечено движения, заданный адресат, как правило диспетчер получает немедленное уведомление на свой монитор, телефон или e-mail.

3) обнаружение защитных касок, детектор позволяет минимизировать уровень производственного травматизма и смертности работников в результате нарушения правил безопасности работниками [6]. В случае

отсутствия каски на голове человека, Вы автоматически получите уведомление на вашем мониторе, телефоне или электронной почте. Все события управления автоматически регистрируются. Фрагмент видео с нарушением можно найти в архиве в любое время.

### **Источники**

1. Каячков Р.А., Тен Е.Е. Цифровая трансформация как способ повышения качества услуг по передаче электроэнергии // Инновации. Наука. Образование. 2020. № 12. С. 372–377.

2. Лапшин Е., Селиханович А., Афонин И. Система мониторинга и диагностики силовых трансформаторов и КРУЭ на цифровой подстанции «Медведевская» // Электроэнергия. Передача и распределение. 2018. № 52 (9). С. 42–43.

3. Лобов Б.Н., Лызарь И.О., Левчук В.Э. Понятие «Цифровая подстанция» // Молодой исследователь Дона. 2020. № 3 (24). С. 49–52.

4. Михеев Г.М. Цифровая диагностика высоковольтного электрооборудования. М.: ИД «Додэка XXI», 2008. 304 с.

5. Руссов В.А. Мониторинг сухих и маслонаполненных распределительных трансформаторов 6-35 кВ в условиях цифровых подстанций // Энергоэксперт. 2019. № 1. С. 44–47.

6. Старкова Л.Е., Балашов Е.П. Анализ целесообразности внедрения цифровых электрических подстанций // Вестник Вологодского государственного университета. Сер. Технические науки. 2020. № 2 (8). С. 44–48.

## О ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОБИЛЬНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Б.М. Салахутдинов  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
bulat110@mail.ru

Применение трекеров, предназначенных для слежения за Солнцем, позволит повысить эффективность солнечных электростанций. В работе предложен алгоритм программы управления солнечным трекером.

**Ключевые слова:** солнечная энергия; повышение эффективности; слежение за Солнцем, солнечный трекер, контроллер.

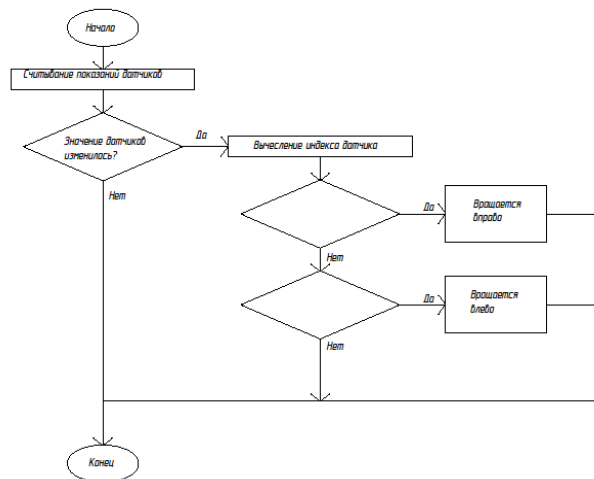
Современные тенденции развития электроэнергетики предполагают увеличение доли малых и мобильных солнечных электростанций. Ведется поиск путей увеличения эффективности преобразования энергии светового потока Солнца в электрическую энергию. Многие солнечные электростанции относительно небольшой мощности в своей конструкции применяют неподвижные солнечные панели [1].

В силу изменчивости положения небесного светила, эффективность применения солнечных панелей в качестве источника электрической энергии и их мощность являются величинами не только не постоянными, но и далекими от номинальных значений. Мобильные электростанции тоже не предусматривают в своей конструкции применение подвижных элементов и возможности слежения за положением Солнца [2].

Одним из способов увеличения эффективности солнечных электростанций является применение устройств корректировки ориентации в пространстве солнечных панелей с автоматическим слежением за положением небесного светила [3]. Обеспечение ориентации лучей Солнца строго по нормали к солнечной панели посредством автоматического трека увеличит КПД солнечной станции примерно на 21–50 %, в зависимости от широты, а также значительно уменьшит срок окупаемости [4].

Зачастую в устройстве автоматического слежения за положением небесного светила имеются два датчика с несколькими фоторезисторами, которые фиксируют уровень светового потока. При возникновении разницы токов в их цепях, подается управляющий сигнал для поворота панели в ту или иную сторону.

В нашем проекте будут использоваться 5 приемников светового потока. Вначале был разработан алгоритм управления солнечным трекером (см. рисунок). В дальнейшем будет написана программа управления.



Алгоритм программы автоматизированной системы управления трекером солнечной панели

## Источники

1. Кашкаров А.А. Солнечные батареи и модули как источники питания // Современная электроника. 2015. № 5. С. 8–15.
2. Шириев Р.Р., Нигматзанов И.Р. Особенности влияния спектра излучения источников света на эффективность солнечных элементов // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве: матер. IV Нац. науч.-практ. конф. Казань, 2018. Т. 1. С. 521–523.
3. Шириев Р.Р., Загидуллина А.Ш. Орбитальная солнечная электростанция // Проблемы и перспективы развития энергетики, электротехники и энергоэффективности: матер. III Междунар. науч.-техн. конф. Чебоксары, 2019. С. 98–103.
4. Рудаков А.И., Максимова В.А. Повышение энергоэффективности солнечных фотоэлектрических установок // Наука. Технология. Производство – 2019: Моделирование и автоматизация технологических процессов и производств, энергообеспечение промышленных предприятий: матер. Всерос. науч.-метод. конф, посвящ. 100-летию образования Республики Башкортостан. Уфа, 2019. С. 193–196.

## МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ МЕСТ ПОВРЕЖДЕНИЯ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ

Р.И. Самарханова<sup>1</sup>, Д.М. Валиуллина<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>samarenata@mail.ru, <sup>2</sup>valiullinadiliya@mail.ru

Рассмотрены основные группы определения мест повреждения кабельных линий и разобран метод импульсной рефлектометрии.

**Ключевые слова:** кабельные линии, места повреждения кабеля, метод, метод импульсной рефлектометрии.

Обнаружение обрыва кабеля или его неисправности – одна из самых серьезных проблем в повседневной практике для инженера-измерителя.

Наиболее крупные электрические соединения между потребителями энергии и источниками энергии выполняются с помощью кабелей. Обычно это система параллельных друг другу кабелей, муфт и крепежей. Повреждение даже в самой малой степени чревато как минимум экономическими потерями.

Определение места повреждения кабеля в самых сложных случаях представляет собой целый комплекс измерительных процедур с использованием трех основных групп кабельных устройств:

1) рефлектометры, реализующие импульсный метод (как для силовых, так и слаботочных кабелей), импульсно-дуговые и волновые методы (для силовых кабелей): позволяют с высокой точностью (до 0,01 %) определять расстояние до неоднородностей волнового сопротивления кабеля и таким образом определить: длину кабеля, определить расстояние до обрыва и короткого замыкания кабеля, определить места «блокировки кабеля», определить кабельные муфты и точки пересечения, в том числе определить погрешности пересечения, места редуцированных изоляция;

2) кабельные мосты, которые используют методы перемычки для поиска повреждений, как обнаруживают место повреждения кабеля (обрыв цепи, низкое сопротивление изоляции, короткое замыкание), так и измеряют основные электрические параметры кабеля (измерение сопротивления контура, измерение изоляции) сопротивление, измерение электрической емкости;

3) трассоискатели и трассодефектоискатели, они реализуют индукционные и контактные методы, представляют собой устройства, которые позволяют локальное повреждение кабеля, например, обрыв, короткое замыкание, места с низкой изоляцией (утечка на землю), определить направление и глубину кабеля. К таким устройствам предъявляются жесткие требования по помехозащищенности и избирательности приемного тракта.

Метод импульсной рефлектометрии позволяет определять зону повреждения (в пределах погрешности измерения) и использовать отдельные методы для обнаружения следов только на небольших участках трассы, что позволяет существенно сократить время точного определения места повреждения.

Основными видами повреждений силовых кабелей и линий связи являются: короткие замыкания и обрывы, появление течи между жилами или между жилами и экраном (анкеровка), увеличение продольного сопротивления.

Причин повреждения много: механические повреждения, например, при земляных работах, старение изоляции, нарушение влагоизоляции и т. д.

Устройства, реализующие этот метод, называются рефлектометрами во временной области.

Сущность метода импульсной рефлектометрии заключается в выполнении следующих операций:

- 1) зондировании кабеля (двухпроводной линии) импульсами напряжения;
- 2) приеме импульсов, отраженных от места повреждения и неоднородностей волнового сопротивления;
- 3) выделении отражений от места повреждений на фоне помех (случайных и отражений от неоднородностей линий);
- 4) определении расстояния до повреждения по временной задержке отраженного импульса относительно зондирующего.

### **Источники**

1. Основы теории цепей: учеб. для вузов / Г.В. Зевеке [и др.]. М.: Энергоатомиздат, 1989. 528 с.

2. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники: электрические цепи: учеб. М.: Энергоатомиздат, 2013. 701 с.



## АЛГОРИТМ СИНХРОНИЗАЦИИ ЭНЕРГОРАЙОНА С СЕТЬЮ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

Е.Ю. Сапцына<sup>1</sup>, Р.Б. Абеуов<sup>2</sup>

ФГАОУ ВО НИ ТПУ, г. Томск

<sup>1</sup>lizoksu@gmail.com, <sup>2</sup>Abeuov\_rb@list.ru

Предложен алгоритм синхронизации энергорайона с сетью энергосистемы. В основу алгоритма положен принцип управления по программным траекториям движения технических объектов. Разработанный алгоритм позволит повысить скорость и точность синхронизации энергорайонов с сетью энергосистемы.

**Ключевые слова:** алгоритм, синхронизация, программные траектории движения, энергосистема, энергорайон.

Газотурбинные и газопоршневые электростанции обычно эксплуатируются, как автономно, так и в составе энергорайонов, параллельно с сетью энергосистемы. В таких энергорайонах собственная генерация и нагрузка примерно сбалансированы, а дефицит покрывается из энергосистемы. Связь энергорайонов с энергосистемой осуществляется по линиям электропередачи напряжением 6–110 кВ от ближайших центров питания районных распределительных сетей (рис. 1).

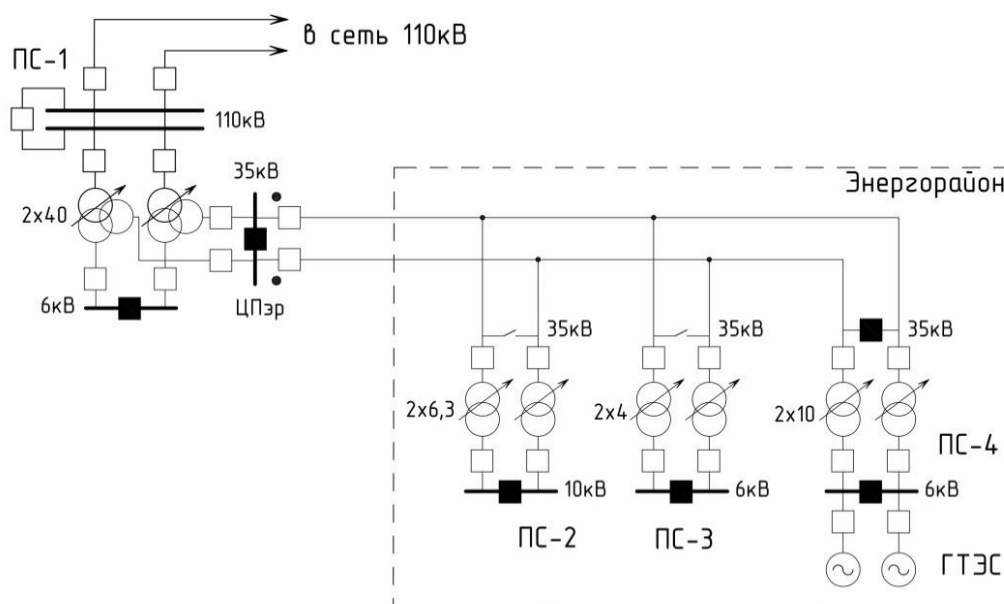


Рис. 1. Схема распределительной сети

При возникновении системных аварий в энергосистеме, энергорайон с электростанцией выделяется на изолированный режим работы, что позволяет обеспечивать надежное электроснабжение потребителей энергорайона. Однако, после ликвидации системных аварий и восстановления нормального режима работы энергосистемы, требуется обратное включение энергорайона на параллельную работу с сетью энергосистемы с соблюдением условий точной синхронизации. Синхронизация должна осуществляться в точках выделения энергорайона на изолированную работу.

Для синхронизации энергорайона с сетью энергосистемы в указанных точках (см. рис. 1) используются автоматические устройства точной синхронизации генераторов. Однако, в виду того, что эти устройства устанавливаются на шинах центра питания, а не на генераторах, у них отсутствует возможность регулирования напряжения и частоты. Кроме того, они обладают длительным временем и сравнительно невысокой точностью синхронизации.

Одним из способов автоматического управления, который может быть положен в основу построения устройств точной автоматической синхронизации энергорайона с сетью, позволяющих повысить точность и скорость синхронизации, является способ управления по программным траекториям движения (ПТД) технических объектов.

Описание общего принципа управления по ПТД неоднократно приводилось в ранее опубликованных работах [1, 2].

На основе принципа управления по ПТД разработан алгоритм синхронизации энергорайона с сетью энергосистемы. Действие алгоритма направлено на осуществление быстрого и точного включения энергорайона на параллельную работу с сетью энергосистемы. Исходными данными для действия алгоритма являются непрерывно измеряемые параметры режимов энергорайона и энергосистемы. К таким параметрам относятся значения напряжения, частоты и фазового угла.

На первом шаге алгоритма, на основании измеренных параметров, осуществляется сравнение значений напряжений сети ( $U_c$ ) и энергорайона ( $U_{ЭР}$ ) в точке синхронизации, а также регулирование  $U_{ЭР}$  в случае необходимости.

На втором шаге алгоритма, на основании измеренных параметров, осуществляется сравнение значений частоты сети ( $f_c$ ) и энергорайона ( $f_{ЭР}$ ), а также регулирование  $f_{ЭР}$  путем управления по ПТД, в случае необходимости.

На третьем шаге алгоритма, на основании измеренных параметров, осуществляется сравнение значений фазовых углов и их выравнивание путем управления по ПТД.

Графическое изображение алгоритма синхронизации энергорайона с сетью энергосистемы представлено на рис. 2.

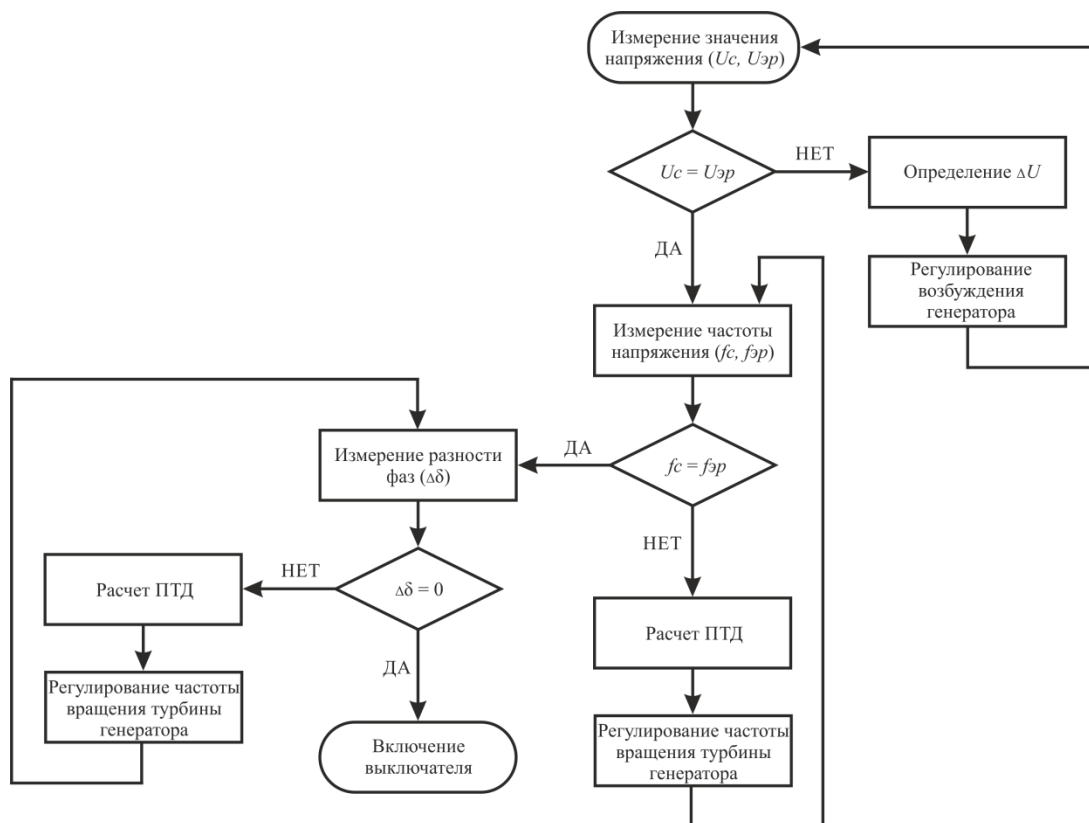


Рис. 2. Алгоритм синхронизации энергорайона с сетью энергосистемы

Представленный алгоритм синхронизации энергорайона с сетью энергосистемы по программным траекториям движения технических объектов позволяет обеспечить эффективное управление параметрами режима энергорайона для осуществления точной синхронизации с сетью энергосистемы. Данный алгоритм синхронизации значительно сокращает время и повышает точность включения энергорайона на параллельную работу с сетью энергосистемы.

### Источники

1. Автоматическое управление процессом синхронизации генераторов мини-ТЭС по программным траекториям движения технических объектов / Р.Б. Абеуов [и др.] // Доклады Томского государственного уни-верситета систем управления и радиоэлектроники. 2007. № 2 (16). С. 180–185.
2. Хрущев Ю.В. Управление движением генераторов в динамических переходах энергосистем. Томск: STT, 2001. 310 с.

## СПЕЦИАЛЬНЫЕ МЕРЫ ПО ОГРАНИЧЕНИЮ ПУСКОВОГО ТОКА, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ КОНДЕНСАТОРНЫХ БАТАРЕЙ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ

А.А. Сахабутдинов  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
sakhabutdinov.azat@mail.ru

Коммутация конденсаторных батарей среднего напряжения предъявляет особые требования к автоматическому выключателю. Одним из потенциально критических воздействий является пусковой ток. В тезисе рассмотрены и проанализированы меры, которые необходимо предпринять для ограничения пускового тока включения, и тому, как автоматический выключатель реагирует на переключение конденсаторных батарей, допустимые нагрузки, которые он выдерживает.

**Ключевые слова:** конденсаторные батареи, пусковой ток, автоматический выключатель.

Допустимый пусковой ток зависит от номинальных характеристик автоматического выключателя и конденсаторной батареи.

Автоматический выключатель. Во избежание недопустимого напряжения и износа контактных деталей необходимо соблюдать допустимые пределы пускового тока. Что касается плоских контактов, предельное значение основано на тенденции к контактной сварке, если пусковой ток не спадает достаточно быстро в течение времени до дуги (1... 2 мс) хода замыкания контакта. В ином случае, допустимы значительно более высокие начальные значения пускового тока (рис. 1).

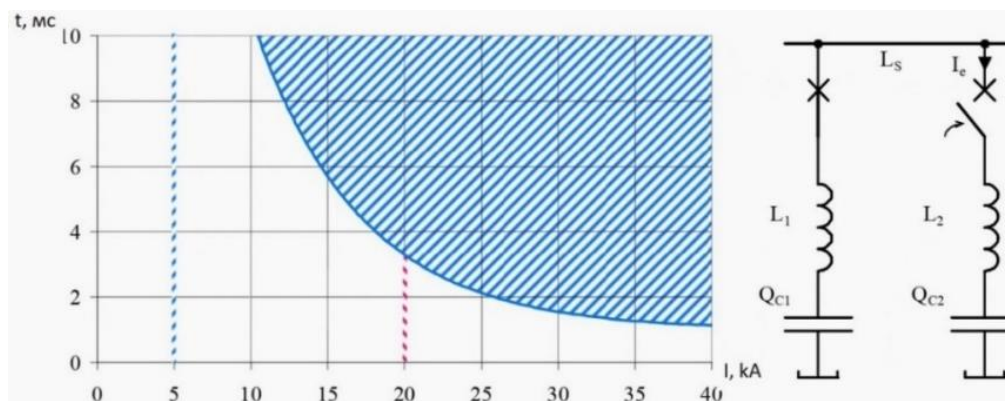


Рис. 1. Допустимый взаимный пусковой ток в зависимости от постоянной времени

Конденсаторная батарея. Независимо от автоматического выключателя, пиковое значение пускового тока не должно в 100 раз превышать номинальный нормальный ток конденсатора, чтобы ограничить влияние электродинамических сил. Коэффициент 100 является только общим правилом, при высоких скоростях переключения, рекомендуется ограничивать пусковой ток до более низких значений.

Есть два возможных способа уменьшить высокий пусковой ток включения и переместить его в допустимую область:

1) ограничение пускового тока до  $\leq 10$  кА (или  $\leq 5$  кА) с помощью реактора;

2) уменьшение постоянной времени (постоянной затухания) с помощью блока резистора-индуктора, подключенного параллельно реактору.

Для заданной реактивной мощности и индуктивности между батареями конденсаторов пусковой ток включения при обратном переключении можно определить по графикам (рис. 2).

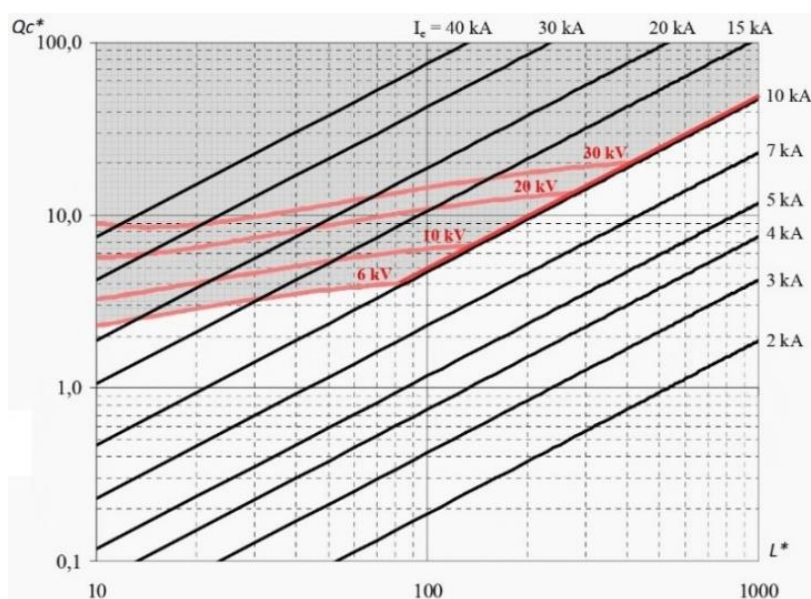


Рис. 2. Обратный пусковой ток включения двух конденсаторных батарей в зависимости от индуктивности между батареями

Если пусковой ток слишком велик, на диаграмме показана индуктивность, необходимая для поддержания пускового тока ниже предела.

Индуктивность между батареями конденсаторов складывается из индуктивностей соединительных проводов и распределительного устройства:

$$L^* = L_1 + L_2 + L_s.$$

Свободно выбираемый реактор (рис. 3, а) – самый простой способ ограничить пусковой ток. В случае, если реактор уже установлен или запланирован, но пусковой ток все еще слишком высок, резистор, включенный параллельно (рис. 3, б), может настроить постоянную затухания.

Однако сопротивление может изменяться только в небольшом диапазоне. Оно не должно быть ни слишком высоким (чтобы быть эффективным), ни слишком низким (чтобы избежать тепловой перегрузки резистора). Импеданс  $L$ – $R$  параллельно реактору (рис. 3, в) облегчает более точную настройку.

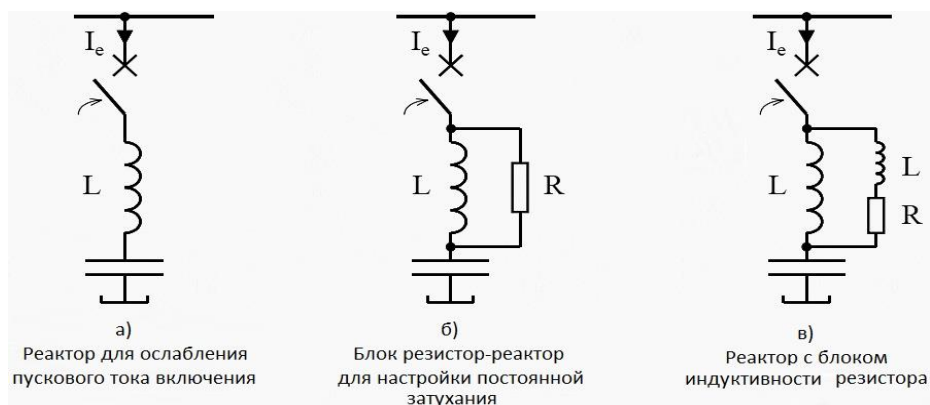


Рис. 3. Методы ограничения пускового тока включения

Оценка индуктивности между батареями конденсаторов дает представление о том, находится ли пусковой ток в критическом диапазоне, и требует подробных расчетов. На данный момент, существует два эффективных способа уменьшить пусковой ток: ограничение пускового тока с помощью реактора и уменьшение постоянной затухания с помощью блока резистора-индуктора, подключенного параллельно реактору. В любом случае демпфирующие элементы необходимо проектировать индивидуально для данной установки.

### Источники

1. Алиев И.И. Справочник по электротехнике и электрооборудованию. Ростов н/Д: Феникс, 2004. С. 156–158.
2. Крысанов В.Н., Демихов А.В. Оптимизация способов подключения конденсаторной батареи // Электротехнические комплексы и системы управления. 2009. № 4. С. 53–58.

## ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАТРАТ ВРЕМЕНИ ДИСПЕТЧЕРСКОГО ПЕРСОНАЛА ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА С ГОЛОСОВЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Я.Н. Седюк<sup>1</sup>, А.А. Федоров<sup>2</sup>

Филиал АО «СО ЕЭС» Башкирское РДУ, г. Уфа

<sup>1</sup>sedyuk@rb.so-ups.ru, <sup>2</sup>fedorov-aa@rb.so-ups.ru

Предложены области применения голосового помощника с искусственным интеллектом при осуществлении оперативно-диспетчерского управления режимами работы энергосистем, позволяющие оптимизировать затраты времени диспетчерского персонала на выполнение ряда действий.

**Ключевые слова:** диспетчерский персонал, голосовой помощник.

Голосовые помощники с искусственным интеллектом (ИИ) активно развиваются и меняют наш образ жизни: уже сейчас доступны в смартфоне, дома, в личном автомобиле. Голосовые помощники с ИИ экономят время пользователей.

Голосовые помощники с ИИ активнее всего внедряются в банковской сфере. При этом, ИИ с голосовым управлением находят применение также в промышленности, логистике, медиа, медицине, науке и образовании [1].

Работа диспетчерского персонала по управлению режимом работы энергосистемы связана с постоянным дефицитом времени. Значительное количество оперативных переговоров, анализируемых данных, постоянная необходимость обращения к справочной информации открывают перспективы применения голосовых помощников с ИИ для оптимизации временных затрат диспетчерского персонала.

Возможные области применения голосового помощника с искусственным интеллектом в оперативно-диспетчерском управлении

Использование имеющихся возможностей голосовых помощников с искусственным интеллектом.

Как и в быту, при осуществлении оперативно-диспетчерского управления режимом работы энергосистемы диспетчерский персонал может использовать базовые возможности существующих голосовых помощников: совершать звонки, составлять сообщения, устанавливать напоминания, просматривать прогноз погоды и т. д.

Использование голосового помощника для авторизации по голосу.

Голосовая биометрия решает сразу несколько задач – идентификацию, когда нужно определить личность, и аутентификацию, когда личность человека нужно подтвердить. Физические особенности – фонетические и морфологические – индивидуальны для каждого человека, благодаря этому технология способна обеспечить защиту от нарушения информационной безопасности [2].

Использование голосового помощника для первичной обработки звонков.

В ситуациях, когда диспетчерский персонал не может ответить на звонок, голосовой ассистент обрабатывает поступающие звонки. Таким образом, использование голосового помощника для первичной обработки звонков позволит диспетчерскому персоналу в кратчайший срок получать важную информацию, не отвлекаясь на несущественные на данный момент переговоры.

Использование голосового помощника для поиска и предоставления справочной информации.

Интеграция голосового помощника с ИИ в корпоративные продукты (диспетчерская электронная библиотека ПАК «ДЭБ», ОИК) позволит оперативно получать доступ к необходимой информации путем отдачи голосовой команды, вместо поиска информации вручную в нормативно-технической документации, либо в формах и в таблицах ОИК.

Использование голосового помощника для составления и передачи оперативных сообщений.

Текст оперативного сообщения об аварии имеет, как правило, типовую форму, что позволяет привлечь голосового помощника к составлению и рассылке сообщения.

Использование голосового помощника для ведения оперативного электронного журнала.

Электронный оперативный журнал имеет стандартные поля для заполнения, их заполнение производится единообразно. Обученный ИИ при получении команды от диспетчерского персонала будет производить внесение записей в оперативный журнал.

Использование голосового помощника для изменения режима работы объектов электроэнергетики с использованием дистанционного управления.

Применение голосового помощника позволит вместо открытия формы, внесения команды и её подтверждения путем внесения пароля, выполнить необходимую команду путем её отдачи непосредственно ассистенту голосом с последующим её подтверждением.



Использование голосового помощника для изменения эксплуатационного состояния оборудования с использованием дистанционного управления

Благодаря применению автоматизированных программ переключений с помощью голосового помощника возможно изменение эксплуатационного состояния оборудования отдачей ему голосовой команды на вывод в ремонт, ввод в работу и т. д., что позволит значительно снизить время производства переключений.

Использование голосового помощника для выполнения расчетов режима работы энергосистемы с использованием систем моделирования электроэнергетического режима

Интеграция голосового помощника с ИИ в программные комплексы для расчета текущих и планируемых электроэнергетических режимов позволит оперативно оценивать риски при управлении режимом работы энергосистемы путем отдачи голосовых команд.

Высокие темпы развития ИИ с голосовым управлением позволяют рассчитывать на их широкое применение при осуществлении оперативно-диспетчерского управления режимами работы энергосистем. Многофункциональность голосового помощника с ИИ позволит существенно оптимизировать работу диспетчерского персонала, быстрее выполнять «механические» действия, повысить производительность, что, в свою очередь, позволит диспетчерскому персоналу уделять больше времени анализу и прогнозированию режима работы энергосистемы – это приведет к более надежному и эффективному функционированию энергосистем. В перспективе интеграция голосового помощника с ИИ в ОИК нового поколения позволит выполнять переключения и изменение режима работы объектов генерации, комплексов противоаварийной автоматики посредством отдачи команд диспетчерским персоналом голосовому ассистенту с минимальными затратами времени.

## **Источники**

1. Обработка естественного языка, распознавание и синтез речи. Аналитический сборник № 2 // Альманах «Искусственный интеллект». 2019. № 2. С. 67–101.

2. Ассистенты научатся узнавать человека по голосу: создатели Алисы, Маруси и других помощников обсудили будущее voice tech [Электронный ресурс]. URL: <https://vc.ru/services/238286> (дата обращения: 31.07.2021).

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАМЕРА ПЕРВОЙ СТУПЕНИ ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ ОТ ВСЕХ ВИДОВ КЗ ПРИ ЗАМЫКАНИИ НА ЗЕМЛЮ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ВЗАИМОИНДУКЦИИ

М.Н. Семенов<sup>1</sup>, К.В. Иванов<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Филиал АО «СО ЕЭС» ОДУ Средней Волги, г. Самара

<sup>2</sup>ООО «Энергозащита»

krikaut@gmail.com

Предложены основные способы реализации защиты дистанционной защиты от всех видов КЗ, в частности от замыканий на землю. Предложены методы компенсации тока нулевой последовательности для одиночных и параллельных линий. Проведенные расчеты выполнены в среде Matlab/Simulink и Mathcad. Представлены расчетные условия для определения замера в месте установки защиты и условия применения разных методик для определенных случаев.

**Ключевые слова:** дистанционная защита, замыкания на землю, компенсация тока, взаимоиנדукция

Дистанционная защита от всех видов замыканий позволяет определить замыкания на землю и отключить поврежденный участок. Данная возможность реализована только в первой ступени и уже используется в устройствах отечественных производителей. В зависимости от топологии сети, технической возможности и других факторов будут применены различные методики. [1]

Для защиты одиночной сети используется скомпенсированный ток нулевой последовательности, что даст точное определение сопротивления от места установки защиты до точки повреждения. [2] Сопротивление замера будет определяться по следующему выражению:

$$Z_{A0} = \frac{U_A}{I_A + k_0 \cdot I_0} \quad (1)$$

где  $Z_{A0}$  – дистанционный замер в месте установки защиты;  $U_A$  – фазное напряжение поврежденной фазы в месте установки защиты;  $I_A$  – фазный ток поврежденной фазы в месте установки защиты;  $k_0$  – коэффициент компенсации тока нулевой последовательности защищаемой линии, определяемый по удельным параметрам  $\frac{Z_{0л}-Z_{1к}}{Z_{1к}}$ ;  $I_0$  – ток нулевой последовательности, измеренный в месте установки защиты.

Использование (1) при наличии взаимоиндукции, которая появляется на участке с парцелльными линиями и в двухцепных опорах, вызывает неточность в измерении сопротивления контура замыкания, называемой погрешностью измерения.

Для наглядного представления возьмем участок с параллельной линией со взаимоиндукцией и односторонним питанием со следующими удельными параметрами (см. таблицу).

### Параметры параллельных линий

| Удельные сопротивления линии первичные, Ом/км |               |                            |               |   |                |
|---|---------------|----------------------------|---------------|---|----------------|
| прямой последовательности                     |               | нулевой последовательности |               | взаимной индукции с параллельной линией |                |
| $X_{1ПЕРВ}^0$                                 | $R_{1ПЕРВ}^0$ | $X_{0ПЕРВ}^0$              | $R_{0ПЕРВ}^0$ | $X_{0МПЕРВ}^0$                          | $R_{0МПЕРВ}^0$ |
| 0.394   | 0.162         | 1.234                      | 0.37          | 0.7674                                  | 0.2083         |

Для данного примера наибольшая погрешность измерения увеличивается от начала линии к концу и составляет наибольшее значение в конце, равное 18 %, что показано на рис. 1. Расчеты не показаны из-за большой громоздкости.

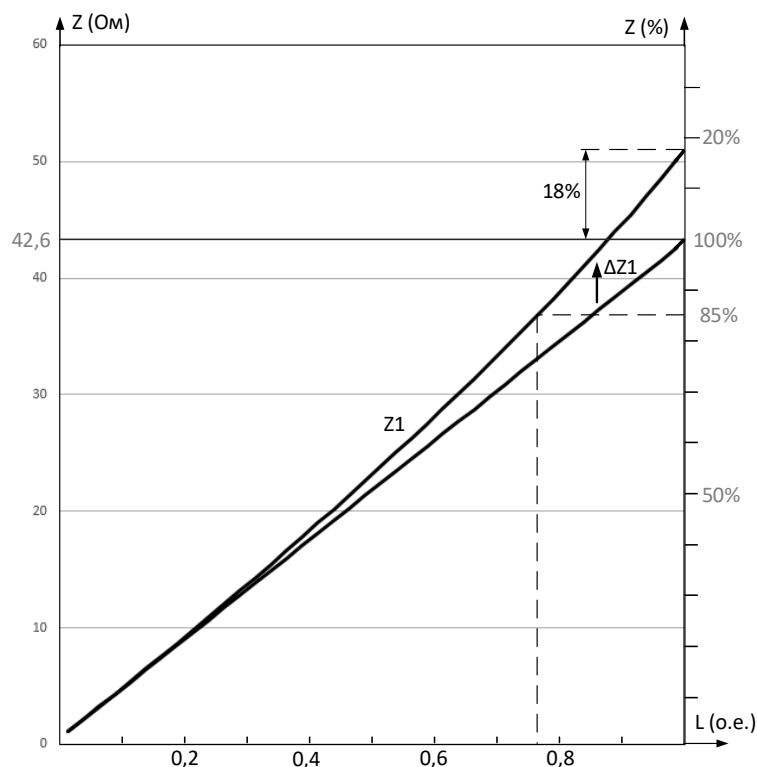


Рис. 1. Погрешность измерения

Для устранения погрешности измерения применяется следующий способ. При однофазном КЗ напряжение поврежденной фазы в месте установки защиты будет выглядеть следующим образом:

$$U_A = Z_{1L} \cdot (I_1 + I_2) + Z_{0L} \cdot I_0 + Z_{0M} \cdot I_{0P} = Z_{1L} \cdot (I_A + k \cdot I_0 + k_{0M} \cdot I_{0P}) \quad (2)$$

где  $I_1, I_2$  – токи прямой и обратной последовательности поврежденной линии в месте установки защиты;  $Z_{0M}$  – сопротивление взаимоиндукции параллельных линий;  $I_{0P}$  – ток нулевой последовательности в параллельной линии;  $k_{0M}$  – коэффициент компенсации тока нулевой последовательности параллельной линии, равный  $\frac{Z_{0M}}{3 \cdot Z_{1L}}$ .

Из (2) видно, что сопротивление измеряется правильно, если в знаменателе прибавить  $k_{0M} \cdot I_{0P}$ . Данная процедура получила название компенсация влияния параллельной линии.

Физически это реализуется подключением в РЗ защищаемой линии цепей, по которым протекает ток нулевой последовательности параллельной линии.

Компенсация влияния взаимоиндукции действует не только при повреждениях на защищаемой линии, но и на параллельной. Поэтому используют специальный блокирующий орган, который сравнивает токи в защищаемой и параллельной линиях. Если ток в параллельной линии превышает ток в защищаемой линии, то этот орган блокирует компенсацию. Данный принцип основан на том, что ток в поврежденной линии всегда больше, чем в параллельной, или равен ему [3].

Компенсация влияния взаимоиндукции может быть некорректной или невозможной в следующих случаях:

- если линии проходят параллельно только часть своей длины и подвести к защите ток нулевой последовательности параллельной линии невозможно;

- если параллельная линия отключена и заземлена с двух сторон, контролировать ток нулевой последовательности параллельной линии невозможно, поскольку точка заземления обычно находится за точкой подключения трансформатора тока (исключение – линейные трансформаторы тока);

- при КЗ на параллельной линии использование компенсации тока  $I_{0P}$  может привести к неселективной работе ДЗ неповрежденной линии [4].

В данных случаях коэффициент компенсации нулевой последовательности станет  $k_p$ , который изменяется в зависимости от расчетной схемы. Возможны три основных режима:

1) параллельная линия отключена и заземлена с обеих сторон:

$$k_p = k_0 - \frac{k_{0M}^2}{k_0 + 1} \quad (3)$$

2) параллельная линия отключена без заземления:

$$k_p = k_0 \quad (4)$$

3) обе линии в работе:

$$k_p = k_0 + k_{0M} \quad (5)$$

Таким образом, для рассматриваемых режимов работы двух параллельных линий получены следующие расчетные выражения (3)–(5) для коэффициентов компенсации, которые позволяют обеспечить полную компенсацию тока  $3I_0$  защищаемой ЛЭП с учетом режима работы параллельной линии. Расчетным режимом является ремонт (отключена и заземлена) параллельной линии, которому соответствует наименьший коэффициент компенсации.

Например, линии с параметрами  $X_{1УД} = 0,4$  Ом/км,  $X_{0УД} = 1,4$  Ом/км,  $X_{МУД} = 0,8$  Ом/км имеет следующие коэффициенты в трех режимах:

1)  $k_p = 2,5 - (2 \cdot 2)/(2,5 + 1) = 1,35$ ;

2)  $k_p = (1,4 - 0,4)/0,4 = 2,5$ ;

3)  $k_p = 2,5 + 0,8/0,4 = 4,5$ .

При выборе наименьшего коэффициента  $k_p = 1,35$  длина зоны в первом режиме равна 0,85 от длины линии, во втором режиме – 0,69, в третьем – 0,63. Если режим отключения линии и заземления не предусмотрен и взят коэффициент  $k_p = 2,5$ , то в режиме 2 охват зоны составит 0,85, а в третьем – 0,73. Если режим 1 все же возникает, то зоной защита будет вся линия. [5].

Для ЛЭП, индуктивно связанных с другими линиями, протяженных ЛЭП с емкостной проводимостью, при наличии ответвлений с Т(АТ) с глухозаземленными нейтралями сопротивление в защиту подается согласно выражению:

$$Z_{A0} = \frac{U_A}{I_A + k_0 \cdot k_{kZ} \cdot I_0} \quad (6)$$

где  $k_{kZ}$  – корректирующий множитель, равный отношению  $k_Z/k_0$ :

$$k_Z = \frac{\left| \frac{U_A - Z_{1л} \cdot I_A}{3I_0} \right|}{Z_{1л}} \quad (7)$$

В шкафах защит применяются вещественные коэффициенты компенсации  $k_{kX}$  и  $k_{kR}$ .

Можно сделать вывод, что замеры сопротивления для междуфазных замыканий и замыканий имеют отличие. В последнем случае используются специальные коэффициенты компенсации, которые позволяют учесть нулевую составляющую тока и производить правильный замер контура замыкания. Коэффициенты компенсации по-разному определяются для одиночных и параллельных линий, так как в последнем появляется взаимоиндукция между линиями. Обеспечение нужного охвата зоны заметно усложняется для ЛЭП, входящих в группу взаимоиндукции, охватывающую несколько линий.

### Источники

1. Фабрикант В.Л. Дистанционная защита: учеб. пособие для вузов. М.: Высшая Школа, 1978. 215 с.
2. Аржанников Е.А. Дистанционный принцип в релейной защите и автоматике линий при замыканиях на землю. М.: Энергоатомиздат, 1985. 177 с.
3. Циглер Г. Цифровая дистанционная защита: принципы и применение / пер. с англ.; под ред. А.Ф. Дьякова. М.: Энергоиздат. 2005. 322 с.
4. Дони Н.А., Малый А.П., Шурупов А.А. Учет влияния взаимоиндукции параллельных линий на замер реле сопротивления // Релейная защита и автоматизация. 2012. № 2 (7). С. 10–13.
5. Микропроцессорное устройство защиты линий 110–220 кВ «Сириус-3-ЛВ-03»: техническое описание и руководство по эксплуатации. М.: ЗАО «РАДИУС Автоматика», 2016. 169 с.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ В ПАКЕТЕ PSCAD РЕЖИМА ОДНОФАЗНОГО ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ

Д.А. Смирнов<sup>1</sup>, Р.Г. Хузяшев<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>99daniil1999@mail.ru, <sup>2</sup>142892@mail.ru

Рассматривается получение упрощенной схемы однофазного замыкания на землю. С помощью программного комплекса PSCAD получены осциллограммы переходных процессов в упрощенной схеме.

**Ключевые слова:** сигнал переходного процесса, PSCAD.

Процессы, возникающие в электрической цепи при переходе от одного установившегося энергетического режима к другому установившемуся энергетическому режиму, называются переходными процессами (режимами). Причиной возникновения переходных процессов является коммутация, т. е. скачкообразное изменение структуры цепи, параметров ее элементов, а также подключение или отключение источников энергии [1].

Традиционно однофазное замыкание на землю в трехфазной сети изображается следующим образом (рис. 1).

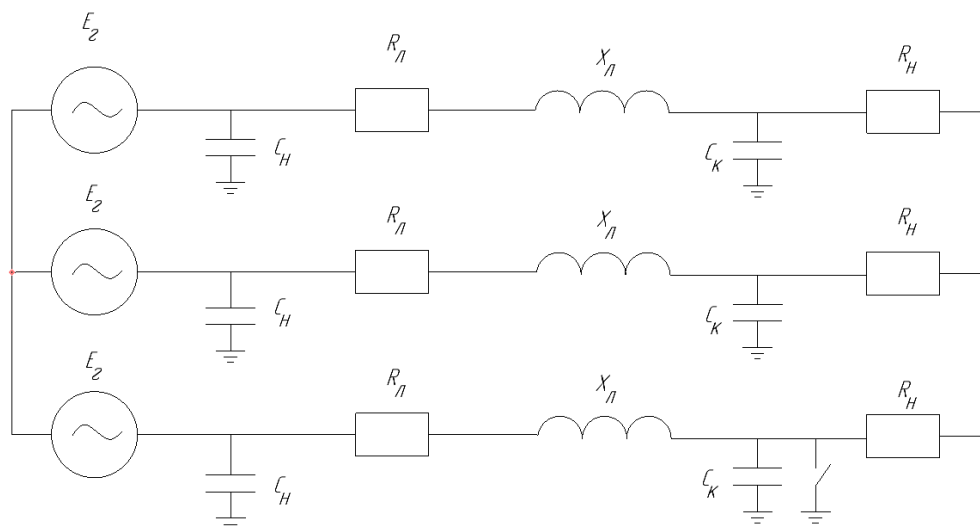


Рис. 1. Схема однофазного замыкания на землю в трехфазной сети

Однако использование такой схемы затрудняет расчет параметров однофазного замыкания на землю, так как она представляет собой систему из множества контуров. Поэтому, для упрощения расчетов, принимают некоторые допущения:

- 1) убираем из схемы нагрузку;
- 2) отбрасываем одну неповрежденную фазу;
- 3) отбрасываем емкость в конце линии у неповрежденной фазы и складываем параметры ЛЭП.

Финальным упрощением является схема (рис. 2).

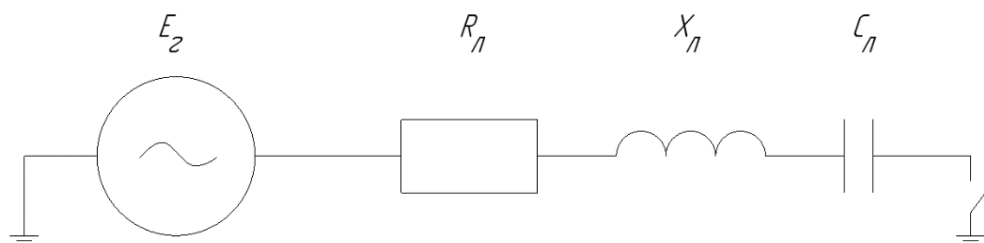


Рис. 2. Упрощенная схема однофазного замыкания на землю

С помощью программного комплекса PSCAD построим упрощенную схему однофазного замыкания на землю и получим осциллограмму тока в момент коммутации (рис. 3). В качестве ЛЭП рассмотрим провод АС-120-19 длиной 20 км с параметрами  $R = 5$  Ом;  $L = 0,03$  Гн;  $C = 0,16$  мкФ [2]. Индуктивность источника ЭДС  $L = 0,3$  Гн.

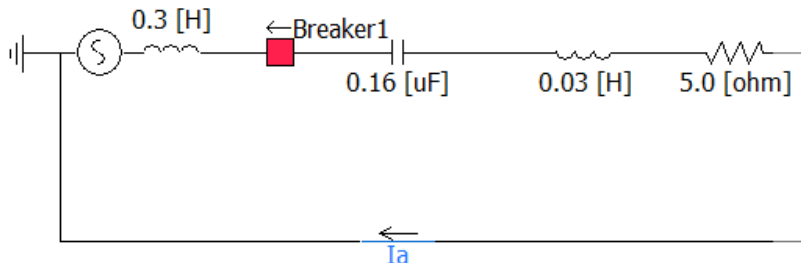


Рис. 3. Схема в PSCAD

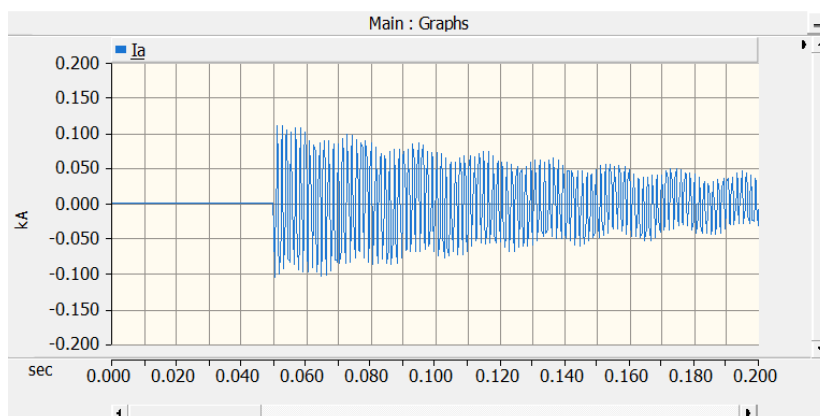


Рис. 4. Осциллограмма тока в момент коммутации



Максимальная сила тока составляет  $I_{\max} = 0,11$  кА, частота СПП (сигнала переходного процесса)  $f = 666,7$  Гц (рис. 4). Сравним полученное значение с аналитическим расчетом.

Поскольку коэффициент затухания меньше резонансной частоты  $\delta = \frac{R}{2L} = 7,58 \text{ с}^{-1}$ ;  $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} = 4351,94 \text{ с}^{-1}$ , то максимальное значение силы тока и частота определяются по формулам:

$$I_{\max} = \frac{E}{L \cdot \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}} = \frac{110}{0,33 \cdot \sqrt{4351,94^2 - 7,58^2}} \approx 0,1 \text{ кА};$$

$$f = \sqrt{\left(\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}\right)^2 - \left(\frac{R}{4\pi L}\right)^2} =$$

$$= \sqrt{\left(\frac{1}{2\pi\sqrt{0,33 \cdot 0,16 \cdot 10^{-6}}}\right)^2 - \left(\frac{5}{4\pi \cdot 0,33}\right)^2} = 692 \text{ Гц}.$$

Использование программного пакета PSCAD позволяет исследовать параметры режима однофазного замыкания на землю.

### Источники

1. Пономаренко В.К. Электротехника: учеб. пособие. СПб, 2011. 92 с.
2. Панова Е.А., Альбрехт А.Я. Уточненные удельные электрические параметры двухцепных ЛЭП 110 кВ для дистанционного определения места повреждения // Электротехнические системы и комплексы. 2016. № 4 (33). С. 35–40.

## АНАЛИЗ ОЦИФРОВАННЫХ СИГНАЛОВ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА

И.Р. Тухфатуллин  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
iskander.tukhfatullin@mail.ru

Рассматривается алгоритм анализа сигнала, полученного с помощью датчиков программно-аппаратного комплекса (ПАК), путем визуального представления данных в таблице Excel и определения описывающих сигнал параметров.

**Ключевые слова:** Excel, сигнал переходного процесса, полупериод, диагностические признаки, исходная осциллограмма, центрированная осциллограмма, комплекс волнового метода определения места повреждения.

Целью нашей работы является разработка ПАК волнового определения места повреждения на основе классификации диагностических признаков сигнала переходного процесса. ПАК волнового определения места повреждения состоит из аппаратной и программной частей. Программная часть ПАК является доминирующей по трудозатратам на ее реализацию. В свою очередь она состоит из программного обеспечения низкого уровня, реализованного в микроконтроллере датчика. Эта часть управляет процессом дискретизации входного сигнала, его анализом с целью выявления сигнала переходного процесса, управлением модулями GPS и GPRS, диагностикой цепей электропитания. Программная часть верхнего уровня реализована на удаленном сервере. Она управляет процессом сбора информации с датчиков комплекса, их перепрограммированием, синхронной обработкой поступающей информации, передачей информации о месте повреждения и о состоянии высоковольтной изоляции линии электропередач диспетчеру электросети. Все части алгоритма функционирования серверной части, в данном случае метода полупериодов, необходимо предварительно отработать и реализовать в виде проведения научно-исследовательской работы. Каждый из датчиков, синхронно с остальными, регистрирует сигнал переходного процесса (СПП) и отправляет осциллограмму на удаленный сервер по сотовым каналам связи. На сервере будет происходить обработка осциллограммы по предлагаемому алгоритму с целью уточнения начала СПП и причины его формирования. Алгоритм анализа СПП осуществляется путем визуального представления данных в таблице Excel. В таблицу заносятся мгновенные

амплитуды (МА) исходной осциллограммы, полученные датчиком на комплектной трансформаторной подстанции. Затем определяется среднее значение на интервале первых тысячи отсчетов исходной осциллограммы, которое вычитается из всех МА. Таким образом, получаем уже центрированную осциллограмму (ЦО). После определяются моменты времени, где значение этой осциллограммы меняет свой знак. Эти моменты времени считаются началами и концами полупериодов. Первый полупериод может начинаться необязательно в момент начала СПП, а, например, когда был последний всплеск шума перед сигналом переходного процесса. На полупериодах определяются диагностические признаки: время начала полупериода, максимальное значение ЦО на полупериоде, длительность полупериода.

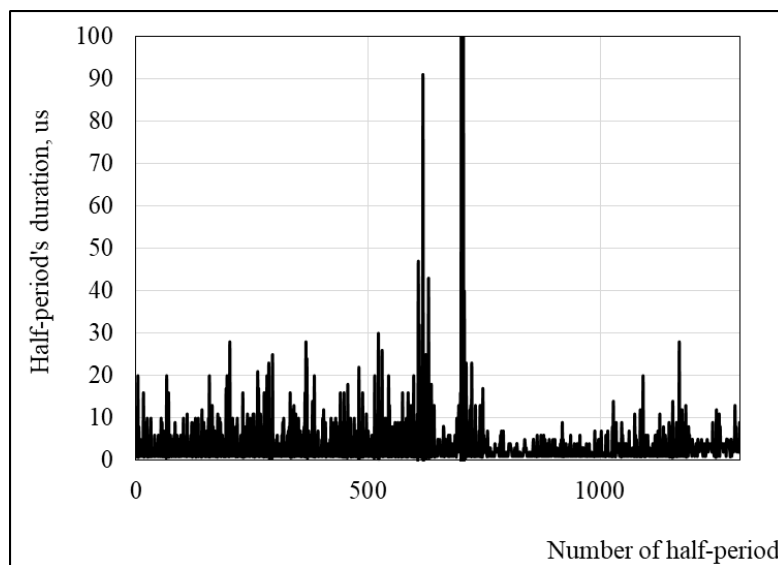


Рис. 1. Зависимость длительности полупериода от номера полупериода

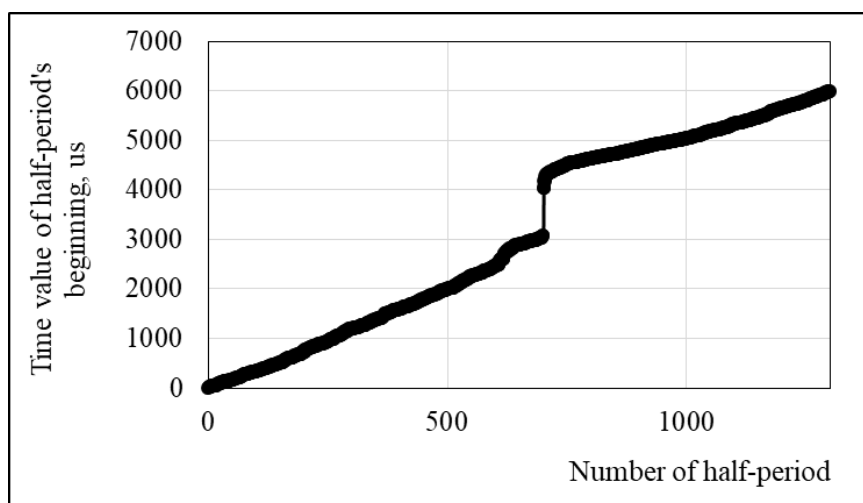


Рис. 2. Зависимость времени начала полупериода от номера полупериода

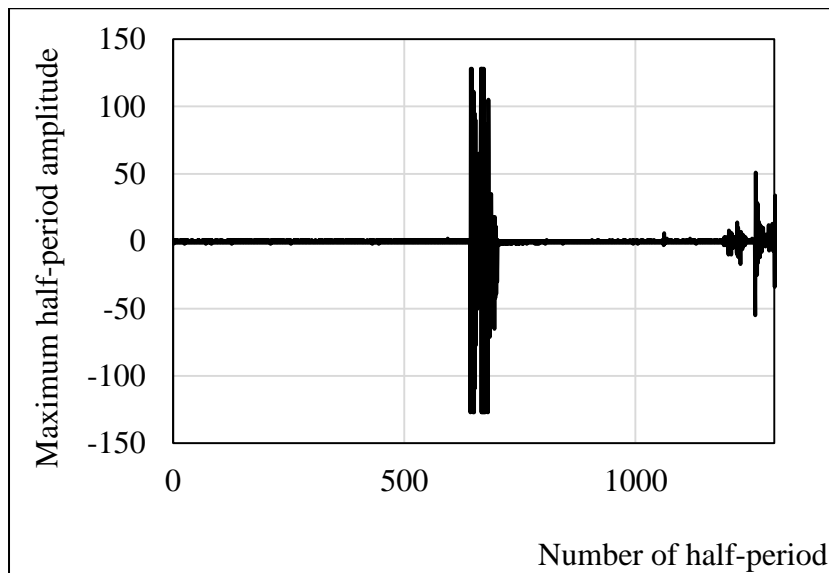


Рис. 3. Зависимость максимального значения центрированной осциллограммы на полупериоде от номера полупериода

Для характеристики зависимости длительности полупериодов от текущего времени использован метод наименьших квадратов в целях составления аппроксимирующей линии, по углу наклона которой определяется место расположения источника сигнала.

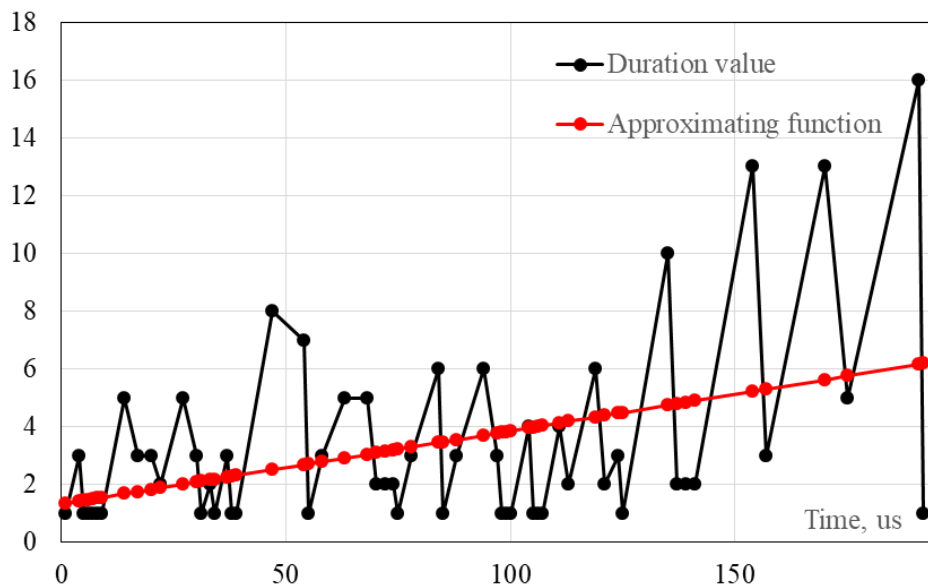


Рис. 4. Аппроксимирующая линия зависимости длительности полупериода от времени

Для начала СПП осуществляются перебор МА ЦО слева направо от начала отсчета и до максимального значения ЦО и перебор МА ЦО справа налево от начала СПП и максимального значения ЦО. В этих итераций

определяется значение, превышающее два порога: утроенное среднее квадратичное отклонение и максимальное отклонение шума. Самая поздняя точка отсчета будет началом СПП. Для конца СПП определяются два значения: осуществляется перебор усредненных по семи смежным значениям МА ЦО слева направо по оси времени от максимального значения МА ЦО и до последнего отсчета времени, где определяется момент, в котором значение измененной осциллограммы становится меньше десяти процентов от максимального значения. Второе значение определяется схожим образом, отличия в том, что перебор осуществляется уже справа налево и определяется момент, в котором значение измененной осциллограммы становится больше десяти процентов от максимального значения. Наиболее ранней точкой отсчета и является конец СПП.

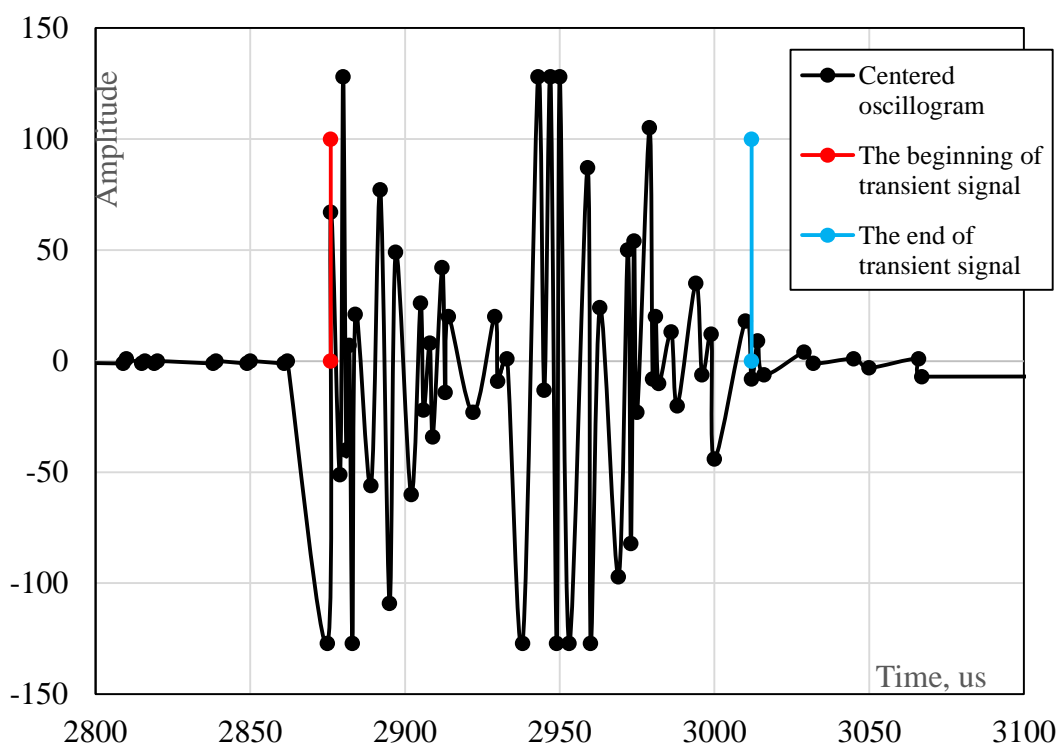


Рис. 5. Центрированная осциллограмма с обозначенными началом и концом сигнала переходного процесса

Полученные результаты будут внедрены в ПАК с целью его коммерциализации в электросетевом секторе энергетики. Разработанные принципы классификации сигналов будут продвигаться в смежных областях науки и техники.

## НЕСИММЕТРИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

В.Н. Уткина  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
2701064216@mail.ru

Одним из факторов, увеличивающих потери электроэнергии в электrorаспределительных сетях является несимметрия токов в ее элементах. В тезисе описаны причины появления несимметрии трехфазной системы напряжений в электрической сети, и проанализированы методы ее устранения.

**Ключевые слова:** асимметрия, потери электроэнергии, коэффициент несимметрии напряжения, качество электрической энергии, передача электроэнергии, мониторинг несимметрии нагрузок.

Увеличение мощности нагрузок на предприятиях, рост коммунально-бытовых нагрузок ведет за собой ухудшение качества электрической энергии в системах электроснабжения. Несимметрия нагрузок существенно увеличивает потери электроэнергии до 50–60 %. Кроме того, при асимметрии фазных нагрузок и обрыве нулевого провода существуют финансовые риски компенсации ущерба от выхода из строя электроприемников потребителей.

На данный момент качество электроэнергии нормируется стандартом ГОСТ 32144-13 [1]. Он устанавливает нормы качества электрической энергии в точках передачи ее потребителям на различных уровнях напряжения переменного тока

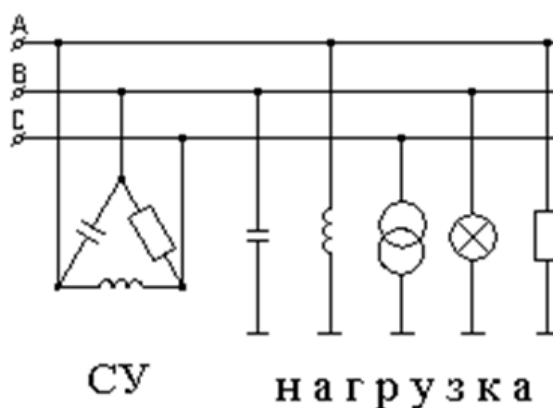
Асимметрия напряжений в электрической сети является одной из причин ухудшения качества электроэнергии [2].

Симметричная трехфазная система напряжений характеризуется одинаковыми по модулю и фазе напряжениями во всех трех фазах.

На рисунке ниже изображены несбалансированные режимы напряжения в электрических сетях. Возникают также в аварийных ситуациях – при обрыве фазы или несбалансированном коротком замыкании.

В соответствии с ГОСТ 13109-13, качество электрической энергии в электрических сетях оценивают по асимметрии напряжений.

Несимметрия напряжений в распределительных сетях приводит к изменению абсолютных значений межфазных и фазных напряжений, возникает из-за наложения систем прямой и обратной последовательностей напряжений.



Распределение нагрузки по фазам

Традиционным и наиболее эффективным способом устранения несимметрии трехфазной системы напряжений в электрической сети является правильное, равномерно распределение нагрузки по фазам. Вместе с тем, перераспределение нагрузок производить необходимо, так как установлено, что потери электрической энергии, обусловленные несимметрией напряжений и токов, могут быть снижены на 15–20 %. Так же для решения проблем, возникающих при несимметрии режимов, применяют следующие методы:

- 1) увеличение мощности трансформатора в системе;
- 2) использование межфазных переменных сопротивлений;
- 3) применение симметрирующего устройства.

Таким образом, на данный момент проблема несимметрии напряжений требует незамедлительного решения, так как при несимметричной нагрузке возрастают потери электроэнергии в линиях электропередач 0,4 кВ и в питающих трансформаторах 6–10/0,4 кВ, у удаленных потребителей может оказаться ниже стандарта ГОСТ 32144-13 и вызывает жалобы потребителей на качество электрической энергии [5].

### Источники

1. ГОСТ 32144-13. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М.: Стандартинформ, 2014. 16 с.

2. Руди Д.Ю., Ткачук Н.А. Негативное влияние несимметрии и методы их устранения в системе электроснабжения // Теория и практика современной науки: сб. науч. тр. XX Междунар. науч.-практ. конф. М., 2017. С. 87–91.

3. Дед А.В., Паршукова А.В., Халитов Н.А. Оценка дополнительных потерь мощности от несимметрии напряжений и токов в элементах систем электроснабжения // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 10-3. С. 421–425.

4. Антонов А.И., Зазуля Е.Ю., Руди Д.Ю. Исследование зависимости коэффициентов несимметрии напряжения по обратной последовательности от мощности силового трансформатора // World Science: Problems and Innovations: сб. ст. победителей VI Междунар. науч. - практ. конф. Пенза, 2016. Ч. 1. С. 80–85.

5. Мониторинг несимметрии нагрузок в электрических сетях 0,4 кВ / А.М. Маклецов [и др.] // Энергетик. 2019. № 5. С. 27–29.



## ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

К.Д. Фомин

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

kirill\_fomin\_99@inbox.ru

Рассмотрена цифровая технология «цифровой двойник», которая способствует увеличению надёжности и производительности в сфере энергетики.

**Ключевые слова:** цифровой двойник, ЛЭП, цифровизация, эффективность.

Развитие цифровых технологий связано с появлением доступных по цене сенсоров и датчиков, которые устанавливаются на оборудовании и позволяют отслеживать такие параметры, как температура, напряжение.

Проблемой математической модели является статичность, т. е. для каждого события нужно производить соответствующую корректировку математической модели. Современные цифровые технологии позволяют решить эту проблему путём создания цифрового двойника.

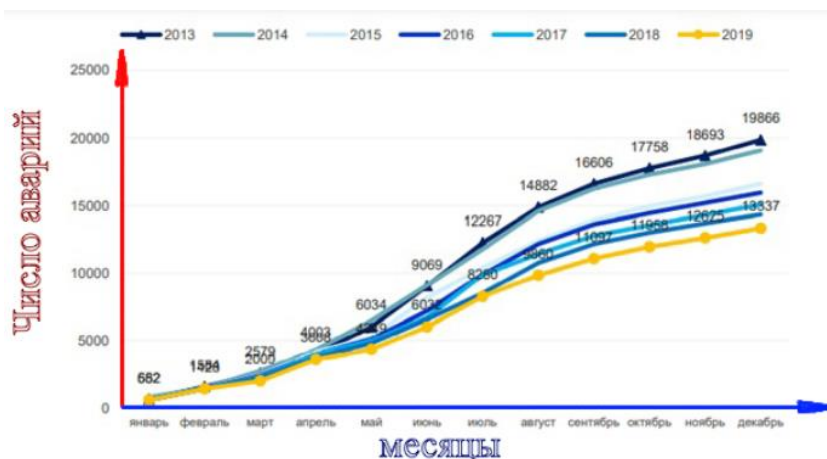
Цифровым двойником называют программный аналог физического устройства, группы изделий или процесса, моделирующий внутренние процессы, технические характеристики и поведение реального объекта, группы или процесса в условиях влияния помех и воздействия окружающей среды.

В настоящее время распространены три типа двойников: цифровые двойники – экземпляры (Digital Twin Instance, DTI), цифровые двойники – прототипы (Digital Twin Prototype, DTP) и агрегированные двойники (Digital Twin Aggregate, DTA) [1].

В компаниях, занимающихся эксплуатацией электрических сетей, наиболее актуален DTI.

Он основывается на математической модели сети. Особенность DTI – это хранение информации о технических параметрах используемого оборудования (трансформаторы, ЛЭП и т. д.), данные с измерительных приборов, его расположении и дате ввода в эксплуатацию. В настоящее время существует два наиболее перспективных направления применения цифровых двойников в энергетике – это магистральные и распределительные сети [2].

По данным исследований можно представить график аварий в электрических сетях 110 кВ и выше, в котором видно, что с каждым годом число аварий уменьшается (см. рисунок). Задачей является минимизировать количество аварий с помощью ввода цифровых технологий, а именно цифрового двойника [3].



### Аварии в электрических сетях 110 кВ и выше

Также из-за неисправностей в ЛЭП происходят возгорания в лесах, к примеру, 4 сентября 2020 г. в Ростовской области произошёл пожар, площадь возгорания которого составила 1300 га [4].

Современные цифровые технологии позволяют решить проблему аварийности и износа на ЛЭП путём внедрения цифрового двойника в магистральные и распределительные сети (см. таблицу).

### Реализация концепции «Цифрового двойника» для магистральных и распределительных сетей

| Фактор                      | Магистральные сети  | Распределительные сети  |
|-----------------------------|---|---|
| Сложность реализации        | При любых изменениях электрической сети нужно вводить коррективы в математической модели сети   | Большое количество элементов: из-за этого сложнее внедрять различные ИТ-решения и интегрировать их между собой                  |
| Создание цифрового двойника | С помощью CIM (Common Information Model) модели: описывает компоненты энергосистемы в форме нотаций UML – универсального языка семантического моделирования | Использование геоинформационной системы (ГИС) и расчетного комплекса, который содержит математическую модель электрической сети |
| Результат                   | С помощью цифрового двойника компания увеличила свою производительность, уменьшила затраты и повысила надёжность передачи электроэнергии                    | Цифровой двойник оказался более эффективным и простым в реализации, чем создание отдельных интерфейсов для всех ИТ-подсистем    |

Анализ показывает, что использование цифровых двойников позволяет увеличить эффективность работы электрических сетей, так как позволяет не только получать информацию о состоянии физических объектов, но и оптимизировать режимы работы оборудования, предотвращать поломки и аварии, что в итоге позволяет существенно повысить надёжность и эффективность эксплуатации электрических сетей. Для электрических сетей цифровой двойник – это база данных с информацией о сети, которая интегрирована с другими ИТ-системами энергокомпаний (SCADA, геоинформационная система, система управления активами и пр.). Задача цифрового двойника – получать и обрабатывать данные из разных источников таким образом, чтобы они соответствовали действительному состоянию электрической сети.

### **Источники**

1. Pettey C. Prepare for the impact of digital twins. Stamford [Электронный ресурс]. URL: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/prepare-for-the-impact-of-digital-twins> (дата обращения: 27.08.2021).

2. Боровков А.И., Марусева В.М., Рябов Ю.А. «Умные» цифровые двойники – основа новой парадигмы цифрового проектирования и моделирования глобально конкурентоспособной продукции нового поколения // Трамплин к успеху. 2018. № 13. С. 12–16.

3. Показатель технического состояния объектов электроэнергетики (физический износ) [Электронный ресурс]. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/17860> (дата обращения 22.09.2021).

4. Площадь действующих лесных пожаров в Якутии составляет около 100 тыс. га [Электронный ресурс]. URL: <https://tass.ru/proisshestviya/12304251> (дата обращения 22.09.2021).

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИМПУЛЬСНЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ ПРИ КОММУТАЦИЯХ ВАКУУМНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

К.Р. Хамидуллина, Д.И. Феоктистов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

karinamailfs@gmail.com

Рассмотрены недостатки вакуумных выключателей, физические закономерности появления коммутационных перенапряжений, а также современные методы защиты.

**Ключевые слова:** перенапряжения, электроэнергетика, вакуумный выключатель, коммутация, коммутационное оборудование.

В настоящее время вакуумные выключатели являются приоритетно рекомендуемым коммутационным оборудованием для использования в сетях средних и высоких классов напряжения. Их главные преимущества известны: это высокая эксплуатационная надежность (плотность отказов вакуумных выключателей ниже на порядок по сравнению с традиционными выключателями); автономность работы (вакуумная дугогасительная камера не нуждается в пополнении дугогасящей среды, что снижает, в том числе, расходы на эксплуатацию вакуумного выключателя); безопасность и удобство эксплуатации (при одинаковых номинальных параметрах коммутируемых токов и напряжений, масса вакуумного выключателя значительно ниже чем у других типов выключателей). Однако, несмотря на все положительные стороны данного коммутационного оборудования, вместе с положительными эксплуатационными свойствами наблюдаются и отрицательные, причем достаточно весомые: коммутируемое ими оборудование может выходить из строя, ввиду особенности конструкции – генерация повышенных перенапряжений при коммутациях индуктивно-емкостных элементов (трансформаторов, двигателей). Практически каждая коммутация линии сопровождается возникновением переходных процессов, которые могут привести к перенапряжениям.

Негативные процессы, сопровождающие коммутацией выключателей, активизируют повреждения как перенапряжения, вызванные токами среза, эскалация перенапряжений в цикле высокочастотных повторных пробоев; перенапряжения при включении в цикле ВЧ встречных пробоев, перенапряжения в результате виртуальных токов среза. Для витковой изоляции высоковольтного оборудования, большой риск играют высокие

частоты переходного процесса при коммутациях ВВ, это касается такого оборудования как проводных муфт и кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена. Для вакуумных выключателей свойственно очень быстрое возобновление гальванической прочности межконтактного промежутка, что ведёт к их высокой отключающей способности и к способности останавливать высокочастотные токи до сотен килогерц. Из-за увеличенных перенапряжений выключение малого индуктивного тока представляет из себя не безопасную коммутацию, соединённой с вакуумными выключателями. Дуга в вакуумных выключателях удерживается исключительно за счёт ионизированных паров металлов с испаряющихся контактов, последствием чего является ненадежность дуги малого тока и повышенная способность быстро прекращать подачу ток до его естественного перехода через нулевое значение, а не за счёт ионизированных газов дугогасящей среды как в выключателях других типов. Индуктивность нагрузки и напряжение источника питания абсолютно не воздействуют на свойство тока среза. Огромную значимость играет материя контактов и механизм выключателя.

Таким образом, основными причинами, приводящие к перенапряжениям являются:

- срез тока до его нулевого значения и освобождение энергии, запасённой в индуктивных элементах схемы;

- недостаточная диэлектрическая прочность межконтактного промежутка в начальный интервал времени после прерывания тока дуги, который не может выдержать переходного восстанавливающегося напряжения, что приводит к повторным зажиганиям и гашениям дуги;

- виртуальный срез тока, доходящий до сотен ампер, в соседних фазах, вызванный повторными зажиганиями дуги в первой отключаемой фазе.

Есть несколько путей решения данной проблемы. Наилучшим образом задача ограничения перенапряжений при включении линий решается путем комплексного использования в энергосистемах России комплекс защитных мероприятий: секционирование дальних линий на участки длиной 300 км, установка шунтирующих реакторов на линиях, а также подключение разрядников комбинированного типа, осуществляющих одновременно функции защиты от грозовых и от коммутационных перенапряжений. Опыт эксплуатации показывает, что такие меры обеспечивают достаточно эффективную защиту от коммутационных перенапряжений при плановых включениях линии. Например, зарубежная компания АВВ используют в своих высоковольтных выключателях

пульсирующие сигналов и конденсаторы для того, чтобы ограничивать перенапряжения, а компания General Electric company применяет собственную технологию литых полюсов в своей серии выключателей SecoVac, которые обеспечивают превосходные коммутационные характеристики.

На данный момент не существует универсальной и абсолютной защиты от перенапряжений при коммутации оборудования вакуумными выключателями. Кроме того, условия и процессы при коммутации, способствующие развитию перенапряжений из-за многообразия процессов развития перенапряжений, зависят от параметров коммутируемых присоединений. Для каждого конкретного случая необходимо индивидуально определять возникающий уровень перенапряжений и способы расстановки средств защиты коммутируемого оборудования.

### **Источники**

1. Справочник по электрическим аппаратам высокого напряжения / под ред. В.В. Афанасьева. Л.: Энергоатомиздат, 1987. 544 с.

2. Базавлук А.А., Бакиров А.Р., Шкитов Д.А. Исследование перенапряжений при коммутации [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-perenapryazheniy-pri-kommutatsiyah-vakuumnyh-vyklyuchateley/viewer> (дата обращения: 15.09.2021).

3. Вакуумные коммутационные аппараты / Г.Н. Александров [и др.]. СПб., 1995. 62 с.

4. «Вакуумные выключатели и перенапряжение» // Новости энергетики [Электронный ресурс]. URL: <https://novostienergetiki.ru/vakuumnye-vyklyuchateli-i-perenapryazhenie/> (дата обращения: 18.09.2021).

5. «Новости электротехники» [Электронный ресурс]: информационно-справочное издание. 2012. № 6 (78). URL: <http://www.news.elteh.ru/arth/2012/78/04.php> (дата обращения: 19.09.2021).

## СИСТЕМА ТЕЛЕМЕТРИИ ДЛЯ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ УМНЫХ СЕТЕЙ

Л.А. Хафизов  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
linarlinar14@gmail.com

Рассматривается структура эффективной телеметрической системы, необходимый минимальный объем оборудования, и их восприимчивость к внешним воздействиям.

**Ключевые слова:** Энергетика, сети, телеметрия, телемеханика, система, информация, режимы, линии, управление, диспетчер.

Современная энергетика состоит из множества естественных и искусственных подсистем, которые служат для получения и концентрации электрических ресурсов, преобразование их во вторичную энергию и доставка до каждого потребителя. На сегодня она считается одной из самых важных отраслей для любой страны всего мира. Это связано с тем, что без ресурса, который производит данная отрасль, невозможно существование современного человека. Также можно сказать, что нынешняя энергетика не может эффективно функционировать без современных автоматизированных процессов.

Главным нововведением, которое существенно повлияло на усовершенствование информационных систем в энергетике, считается концепция Smart Grid. Идеи Smart Grid в первую очередь актуальны для Российской Федерации, так как инфраструктура энергетики давно не обновлялась, и заметно изношена. Такие умные сети состоят из технологий и устройств, способствующие управлению магистральными и распределительными сетями, благодаря использованию коммутационных и измерительных узлов, которые находятся в энергетической инфраструктуре.

Для полной автоматизации распределительных сетей, требуется подключение «умных» устройств, оборудованных защитной автоматикой и элементами телеметрии. Обеспечение большого количества функций, в том числе телеметрии, релейной защиты, оценки качества электроэнергии, оценки состояния предохранителей.

Телеметрия – это аппаратно-программная система, необходимая для получения, обработки и передачи данных о порядке работы основного и дополнительного оборудования. Телеметрические системы и цепи устройств присоединяются в комплекс промышленной диспетчеризации как условия для дистанционного сбора и передачи нужной информации.

Рассмотрим его функционирование. Имеется специальное оборудование (управляющее, измерительное), которое присоединяется к шкафу телемеханики. Затем осуществляется декодирование и передача полученного результата на пульт в диспетчерской. На основе такой системы, для получения единства целостности необходимо: установить на самой подстанции и в диспетчерском пункте серверную часть, также обеспечить возможность передачи информации из сигналов аналоговых устройств и наличие элементов, которые способны к кодированию и декодированию информации. Непосредственное обслуживание и наладка осуществляется такой службой, как «система диспетчерского и технологического управления».

Системы телемеханики и телеметрии используют в электроэнергетики в основном для взаимодействия с умными сетями, чтобы организовать целостность и обеспечить контроль различным оборудованьям, которые установлены вдали от центра контроля. В основном это значительно важно для таких производств, где продолжительное нахождение персонала или вовсе его пребывание строго не допускается. Системы телемеханики строятся так, чтобы предоставить большую скорость, надежность и точность при отправлении сигналов и информации оборудованьям управления.

Во время возникновения аварии при осуществлении оперативных переключений, диспетчер сможет вовремя увидеть текущую проблему и передать ее оперативному персоналу, и это действие может предотвратить различные крупные последствия. Рассмотрим пример, когда нам нужно вывести в ремонт силовой трансформатор, в таком случае оперативный персонал должен сделать все возможные операции для отключения этого элемента от сети, однако производство заземления этого оборудования случится только тогда, когда дежурный диспетчер непосредственно сам удостовериться в нормальной работе выполнения переключений и целесообразности выполнения следующих операций, а именно заземление трансформатора. От уровня сложности осуществляемых переключений данная проверка может выполняться пару раз.

Средства телемеханики обязаны гарантировать отправку информационных данных с минимальной допустимой задержкой, т. е. в настоящий момент времени. На данный момент остается довольно большой интерес относительно технологии для передачи информационных данных по силовой электрической сети. Сейчас во всем мире используется ряд коммуникационных систем для отправления информационных данных по электрическим сетям, и отличаются друг от друга своими алгоритмами работы, областью работы, рабочей частотой и модуляционным видом.



Модель формирования каналов отправления телеметрических данных просит, чтобы в местах, где между узлами связи в наличии были два канала, такие как основной канал и резервный, который образован по отличительным средам передачи данных. Обновление нынешних систем ВЧ связи благодаря оборудованьям Zelax – наиболее подходящий вариант для осуществления цифрового канала по линиям с высоким напряжением в плане экономичности и эффективности. Линии электропередач с высоким напряжением на протяжении десятков лет применяются в энергосистемах МРСК для высокочастотного отправления информации. Высокочастотная связь считается лучшей из разных видов связи, которые применяются для регулирования за элементами электроэнергетических систем. Высокочастотная связь считается наиболее экономически выгодной для отправки небольших объемов информации на довольно длинные расстояния. Также не самую малую роль играет тот факт, что высоковольтные линии электропередач и осуществляющие по ним каналы связи свойственны энергосистемам.

Существование аналогового режима обеспечивает поддержание голосовой связи, даже при серьезном ухудшении состояния погоды. К примеру, при обледенении линий электропередач. Также аналоговый режим работы нужен, когда имеющие системы высоких частот обработки не способствует отпращиванию информации (из-за несвоевременных ремонтных работ). Переподключение между цифровыми и аналоговыми режимами может без проблем осуществляться по мере нужды в меню переустановки.

Оборудование по типу К-ЛЭП дает доступ к снижению эксплуатационных расходов благодаря удаленной конфигурации и диагностики оборудования, это также дает нам возможность увеличить число необслуживаемых подстанций.

Актуальные на данный момент направления делают телемеханику и телеметрию в энергетике необходимым элементом, обеспечивающий довольно высокий результат в обслуживании, контроле, управлении и бесперебойной работе умных сетей.

## **Источники**

1. Шерешевский Л.А. Применение систем телемеханики Siemens в энергетике [Электронный ресурс]. URL: <https://sms-a.ru/about/publications/SiemensTelemetryInEnergyAutomation.pdf> (дата обращения: 21.08.2021).

2. «Российские сети» [Электронный ресурс]: корпоративная газета. 2018. № 5. URL: [https://www.rosseti.ru/press/gazeta/RosSeti\\_05\\_2018.pdf](https://www.rosseti.ru/press/gazeta/RosSeti_05_2018.pdf) (дата обращения: 22.08.2021).

3. Школа для электрика «Системы телемеханики в энергетике» [Электронный ресурс]. URL: <http://electricalschool.info/spravochnik/poleznoe> (дата обращения: 14.09.2021).

4. «Автоматика и телемеханика в энергетике» [Электронный ресурс]. URL: [elektro-expo.ru/ru/articles/2016/avtomatika-i-telemehanika-v-energetike/](http://elektro-expo.ru/ru/articles/2016/avtomatika-i-telemehanika-v-energetike/) (дата обращения: 15.09.2021).

5. «Телеметрия для контроля производственных процессов» [Электронный ресурс]. URL: <https://sauka.by/telemetriya> (дата обращения: 14.09.2021).

## СИСТЕМЫ ВИБРОКОНТРОЛЯ ЛОБОВЫХ ЧАСТЕЙ ОБМОТКИ СТАТОРА ГИДРОГЕНЕРАТОРА

Д.Л. Целовальникова  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
dl\_c@mail.ru

Рассмотрены три системы виброконтроля лобовых частей обмотки статора гидрогенератора: система компании Bently Nevada (США), состоящая из проксиметра 330446 и датчика 330447, описаны комплектующие и схема установки; система компании VibroSystM на основе датчика FOA 200, возможность применения данной системы на гидрогенераторах; переносная система виброконтроля лобовых частей на основе датчиков АС 102-1А Диамех. Приведены плюсы и минусы данных систем и возможность их установки на Чебоксарской ГЭС.

**Ключевые слова:** виброконтроль, гидрогенератор, Bently Nevada (США), датчик вибрации, обмотка статора, вибрация.

Основной причиной повышенной вибрации в нормальных и переходных режимах работы гидрогенератора является наличие слабо демпфированных резонансов лобовых частей обмотки статора вблизи частот возмущающих сил – 50,100,150 и 200 Гц. Указанные резонансы зависят от системы и качества крепления обмотки у выхода из паза и у головок, а также от плотности заклиновки [1]. Вибрация измеряется в радиальном и тангенциальном направлениях на головках верхних и нижних лобовых частей обмотки статора и вблизи выхода из паза.

Вибропреобразователи рекомендуется заключать в изоляционные обоймы, которые приклеиваются к лобовым частям обмотки эпоксидным клеем. Вибропреобразователи устанавливаются не менее чем на десяти стержнях обмотки [2].

1. Система вибрационного контроля лобовых частей компании Bently Nevada (США).

Компания Bently Nevada предлагает систему виброконтроля ЛЧ с двухосевым датчиком 330447, который подходит для условий гидрогенератора и также помехоустойчив к электромагнитным полям.

Установка датчика системы Bently Nevada заключается в закреплении монтажного основания на ЛЧ в нескольких местах по окружности генератора и далее подключается к проксиметру. Датчик размещается таким образом, что чувствительные оси X и Y, соответствуют радиальному и тангенциальному направлениям, как представлено на рис. 1.

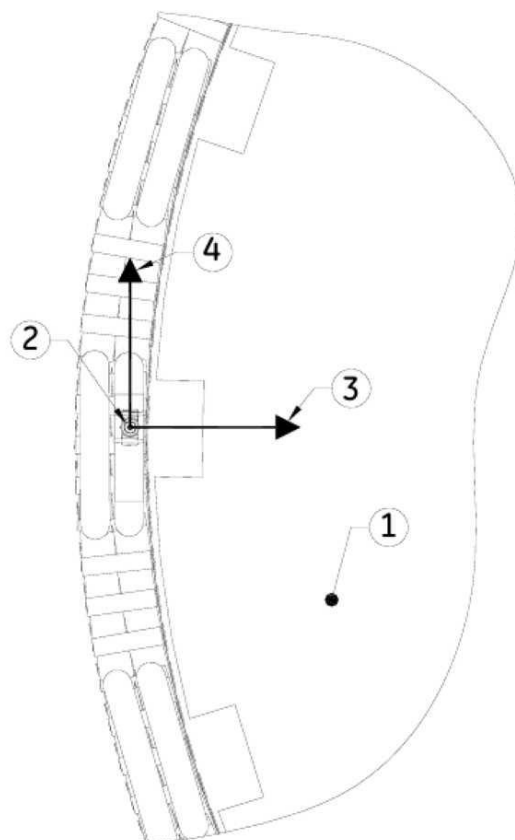


Рис. 1. Датчик, установленный на ЛЧ для измерения вибрации в радиальном и тангенциальном направлениях: 1 – ротор генератора; 2 – датчик, установленный на ЛЧ; 3 – радиальное направление; 4 – тангенциальное направление

После установки и заземления датчика и проксиметра, проксиметр подсоединяется к системе мониторинга.

Данная система имеет следующие плюсы: устойчивость к электромагнитным помехам, защищенность персонала, относительно низкая стоимость.

Минусы: невозможность закрепления датчика на выходе из паза, размер датчика [3].

2. Система вибрационного контроля лобовых частей компании VibroSystM (Канада).

Для контроля вибрации ЛЧ компания VibroSystM использует волоконно-оптический двухосевой датчик FOA- 200, предназначенный для использования в среде с высокими электрическими и магнитными помехами (рис. 2).

VibroSystM на турбогенераторах предлагает устанавливать по два датчика на стержень. Для гидрогенераторов будет достаточно одного датчика FOA 200 (так как стержни обмотки в аксиальном направлении закреплены достаточно хорошо).



Рис. 2. Волоконно-оптический датчик FOA 200

Данные датчики имеют следующие плюсы: устойчивость к электромагнитным помехам, защищенность персонала, удобство монтажа из-за небольших габаритов датчика, возможность установки датчика на выходе из паза.

Минусы: относительно высокая стоимость, минимальный радиус изгиба оптоволоконного кабеля 80 мм [4].

### 3. Переносная система вибродиагностики лобовых частей.

Предлагаемая переносная система для вибродиагностики лобовых частей состоит из датчика АС102-1А (Диамех) и анализатора вибрации ОНИКС (Диамех).

Активный виброизмерительный преобразователь АС102-1А предназначен для преобразования механических колебаний контролируемого объекта в электрический сигнал, пропорциональный виброускорению механической системы.

Конструктивно АС102-1А выполнен в виде двух цилиндрических секций, связанных между собой посредством сварного соединения. В нижней секции размещен чувствительный элемент, другая секция содержит плату усилителя заряда, герметизированную эпоксидным компаундом.



Рис. 3. Переносная система вибродиагностики: 1 – датчик; 2 – анализатор вибрации ОНИКС

Для данной системы понадобятся 60 датчиков АС102-1А, которые измеряют виброускорение в одном направлении. В связи с этим нужно устанавливать 20 датчиков на головки верхних лобовых частей

(10 на тангенциальном направлении и 10 в радиальном) и 20 датчиков на головки нижних лобовых частей. Также по 10 датчиков на верхних и нижних лобовых частях устанавливаются для измерения радиальных вибраций на выходе из паза. Подобные датчики успешно используются в переносной системе для измерения вибрации лобовых частей на Чебоксарской ГЭС. Анализатор вибрации ОНИКС необходим для обработки и анализа получаемого вибросигнала.

Плюсами данной системы являются: наличие комплектующих на Российском рынке, дешевизна, наличие программного обеспечения, который облегчает обработку и анализ данных.

Минусами данной системы являются: необходимость периодического разворачивания данного комплекса, большой объем работ и время на установку датчиков, необходимость установки датчиков на стержни с потенциалом наиболее близким к «нулю» на специальные изолирующие платформы для обеспечения электробезопасности [5].

### **Источники**

1. Русов В.А. Диагностика дефектов вращающегося оборудования по вибрационным сигналам [Электронный ресурс]: учеб. пособие. URL: <https://vibrocenter.ru/book8.htm> (дата обращения: 23.08.2021).

2. Зухрабов З.Г. Измерение вибрации лобовых частей обмоток статора гидрогенератора [Электронный ресурс]. URL: [http://elib.sfur.ru/bitstream/handle/2311/69249/zuhrabov\\_z.g.\\_dissertaciya\\_s\\_podpisyami.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://elib.sfur.ru/bitstream/handle/2311/69249/zuhrabov_z.g._dissertaciya_s_podpisyami.pdf?sequence=1&isAllowed=y) (дата обращения: 22.08.2021).

3. Система бесконтактных датчиков серии Bentley Nevada [Электронный ресурс]. URL: <https://dme.bz/products/monitoring-sostoyaniya-oborudovaniya-i-zashchita/datchiki3300> (дата обращения: 22.08.2021).

4. VibroSyst M. Волоконно-оптический акселерометр [Электронный ресурс]: каталог. URL: <https://library.vibrosystm.com/ru/Datasheets/9619-09D2R-103.pdf> (дата обращения: 22.08.2021).

5. Переносная система контроля вибрации на базе Windows [Электронный ресурс]: каталог. URL: [http://www.diamech.ru/vibration\\_analyzer\\_onyx.html](http://www.diamech.ru/vibration_analyzer_onyx.html) (дата обращения: 22.08.2021).

## РАЗРАБОТКА АЛЬТЕРНАТИВНОЙ СХЕМЫ ВЫДАЧИ МОЩНОСТИ ТЭЦ С УСТАНОВКАМИ ПГУ

В.С. Червяков  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
gsksti@mail.ru

Представлены основные принципы проектирования схем выдачи мощности ТЭЦ, рассмотрены их особенности и тенденции развития, в числе которых применение парогазовых и газотурбинных установок в качестве альтернативной схемы выдачи мощности ТЭЦ, что позволит повысить электрический КПД, снизить стоимость установленной мощности, снизить удельный расход воды и повысить экологические показатели работы источника.

**Ключевые слова:** схема выдачи мощности ТЭЦ, парогазовая установка, газотурбинная установка, электроэнергия, эффективность.

Схемы выдачи мощности ТЭЦ вблизи крупных потребителей, что предопределяло выдачу мощности на генераторном напряжении и на напряжении основной распределительной сети 110 кВ (рис. 1) [1].

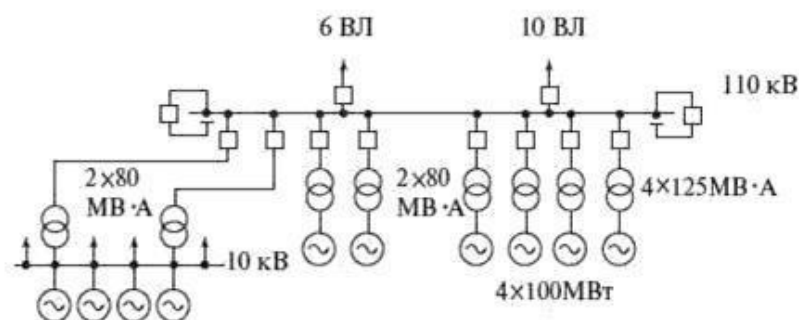


Рис. 1. Схема выдачи мощности ТЭЦ на напряжении 110 кВ

Однако увеличение мощности и применение дальней теплофикации стимулировали отказ от сооружения РУ генераторного напряжения и повышение напряжения сети, так на современных ТЭЦ блоки присоединяются к РУ 110–220 кВ (рис. 2) [1].

Для упрощения схемы выдачи мощности из них были исключены РУ, однако повышающие трансформаторы блоков присоединены отдельными линиями к сети 110 кВ (рис. 3) [1].

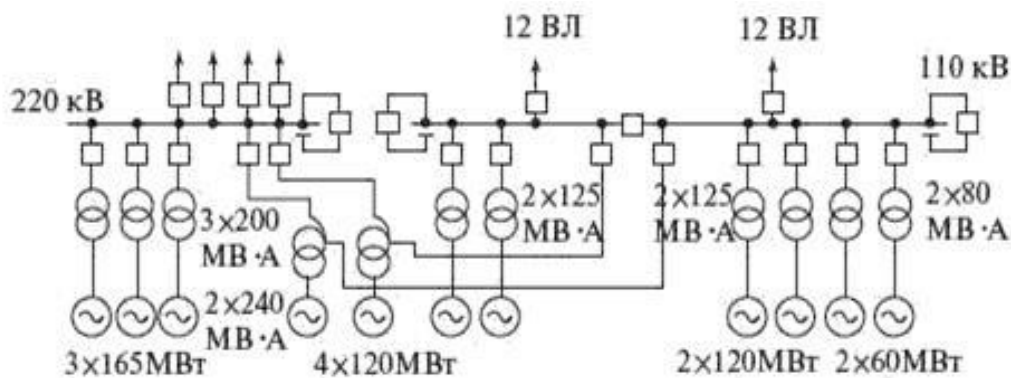


Рис. 2. Схема выдачи мощности ТЭЦ с РУ 110–220 кВ

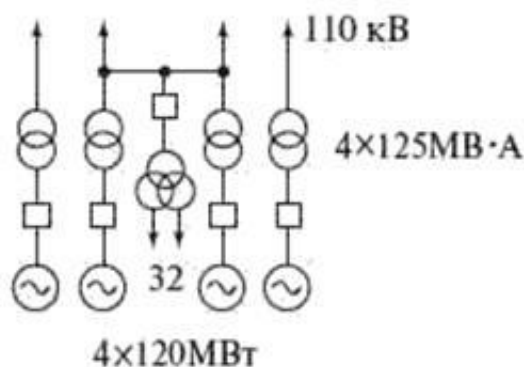


Рис. 3. Схема выдачи мощности ТЭЦ с отдельными линиями 110кВ

Использование таких схем рационально вблизи подстанций 220 (330)/110кВ, шины которых могут принять мощность ТЭЦ.

Тенденции последних лет показывают снижение мощности новых электростанций и энергоблоков, вместе с тем чаще используются парогазовые (ПГУ) и газотурбинные установки (ГТУ). ПГУ часто применяются при строительстве новых тепловых электростанций, а ГТУ – для электроснабжения и резервирования отдельных потребителей. ГТЭС зачастую являются многоагрегатными электростанциями с единственной секционной системой сборных шин, и выдача мощности выполняется на генераторном напряжении или по ВЛ 110 (220) кВ [2].

В виде самостоятельных присоединений подключаются блоки, которые работают по схеме ПГУ сбросного типа или с низконапорным парогенератором.

При использовании ПГУ с вытеснением регенерации и схемы присоединения генераторов к РУ повышенного напряжения необходимо обеспечивать независимость работы генераторов ГТУ от работы главного генератора энергоблока.



Для электростанций с ГТУ, которые работают в пиковом режиме, схема присоединения генераторов к РУ одного повышенного напряжения недопустимо одновременное погашение более 50 % мощности ГТУ, при этом их количество не должно превышать половины от общего числа, в случае повреждения или отказа в отключении выключателя или развилки шинных разъединителей.

Для ПГУ со сбросом отработавших газов ГТУ в паровой котел, которые в дальнейшем используются для теплофикации, разрешается каждый отдельный генератор подключать к РУ повышенного напряжения через собственный повышающий трансформатор, при условии того, что при отключении этих генераторов не требуется осуществлять останов парогазового энергоблока [3].

Данная схема относительно других имеет следующие преимущества:

1. Общий электрический КПД ПГУ, где турбины работают по конденсационному циклу, на сегодня составляет приблизительно 33–42 %.
2. Низкая стоимость установленной мощности.
3. Потребление меньшего объема воды на единицу выработки электроэнергии по сравнению с паросиловыми установками.
4. Более высокие экологические показатели в сравнении с паросиловыми установками 58–64 %. В паросиловых же установках при работе в конденсационном режиме этот КПД обычно изменяется в интервале.

Таким образом, разработка альтернативных схем выдачи мощности ТЭЦ с применением установок ПГУ является актуальным и перспективным направлением развития энергетики, которое позволит достичь повышения показательней экономичности и экологичности производства электроэнергии.

## Источники

1. Косоногов А.О. Разработка схемы выдачи мощности тепловой электростанции с блоками ПГУ [Электронный ресурс]: ВКР магистра. СПб., 2020. URL: <https://elib.spbstu.ru/dl/3/2020/vr/vr20-4947.pdf/en/info> (дата обращения: 23.08.2021).
2. Принципиальные схемы увеличения мощности и повышение экономичности ТЭС И ТЭЦ за счет газотурбинных и парогазовых установок / У.А. Ахмадалиев [и др.] // Точная наука. 2018. № 26. С. 71–73.
3. Жуков В.В., Магомедов М.У. Особенности электрической части электростанций с одновальными и многовальными парогазовыми установками // Энергетик. 2019. № 9. С. 47–53.

## СОЗДАНИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ПОИСКА ЭЛЕМЕНТОВ ЛЭП ПО ИЗОБРАЖЕНИЯМ

Ш.Р. Яхин, А.Х. Сабитов  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
reventon.201223@gmail.ru

Предложена обученная модель на базе нейронной сети, созданная для распознавания и маркировки элементов опоры линий электропередач по изображениям, разработанная на языке программирования Python с помощью среды разработки TensorFlow Object Detection API.

**Ключевые слова:** модель, опора, линии электропередач, воздушные линии, нейросеть, машинное обучение, элементы ЛЭП.

В Республике Татарстан передачу электроэнергии осуществляют десятки тысяч километров воздушных линий. Воздушные линии электропередачи должны осматриваться не менее одного раза в год. Периодические осмотры воздушных линий электропередач проводятся для своевременного выявления неисправностей и так называемых «слабых мест», которые могут быть причиной автоматического отключения линии электропередачи [1].

Зачастую, осмотрами пренебрегают, откладывая их на неопределенный срок из-за погодных условий, труднодоступности участка линий электропередач, а также из-за нехватки рабочей силы. Однако, с появлением технологий машинного обучения, которые могут работать с изображениями и более доступными беспилотными летательными аппаратами, можно заметно улучшить и удешевить технологию осмотра ВЛ. Для данного исследования была выбрана технология распознавания объектов по изображениям на базе нейронных сетей.

Обнаружение объектов относится к способности компьютерных и программных систем обнаруживать объекты на изображении или видео и идентифицировать каждый объект. Обнаружение объектов широко используется для обнаружения лиц, транспортных средств, подсчета пешеходов, веб-изображений, систем безопасности и автомобилей без водителя. Есть много способов использования обнаружения объектов во многих областях практики.

Ранние реализации обнаружения объектов включали использование классических алгоритмов, подобных тем, которые поддерживаются в OpenCV, популярной библиотеке компьютерного зрения. Однако эти классические алгоритмы не могли обеспечить достаточную производительность для работы в других условиях. Прорыв и быстрое внедрение глубокого обучения в 2012 году привели к появлению современных и высокоточных алгоритмов и методов обнаружения объектов, таких как R-CNN, Fast-RCNN, Faster-RCNN, RetinaNet и быстрых, но очень точных, таких как SSD и YOLO (рис. 1) [2].

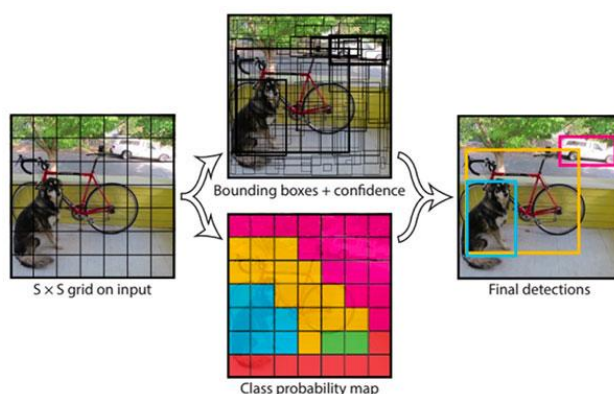


Рис. 1. Упрощенная иллюстрация технологии обнаружения объектов YOLO

Использование этих методов и алгоритмов, основанных на глубоком обучении, которое также основано на машинном обучении, требует большого понимания математических и глубоких структур обучения. Однако существует ряд решений, позволяющих использовать данную технологию, не углубляясь в работу нейронных сетей. В данном исследовании был использован TensorFlow Object Detection API [3].

TensorFlow нужны сотни изображений объекта, чтобы обучить модель. Чтобы это сделать, обучающие образы должны иметь случайные объекты на изображении вместе с желаемыми объектами, а также должны иметь различные фоны и условия освещения. Должны быть какие-то изображения, на которых желаемый объект частично затенен, перекрывается чем-то другим или частично не умещался на картинке.

Для нашего классификатора Transmission Lines Elements существует три различных объекта, которые мы хотим обнаружить (стеклянный изолятор, гаситель вибрации, ступенчатые болты, верхний и нижний рожек крепления). Для обучения было использовано 120 изображений воздушных линий (рис. 2), с указанными элементами и сделанных с разного ракурса и имеющих разный фон.

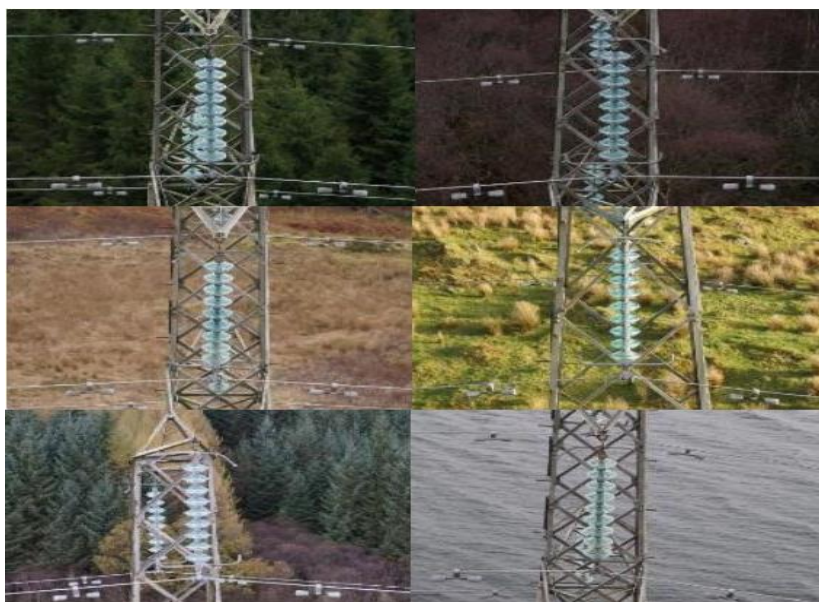


Рис. 2. Примеры изображений опор воздушных линий, использованных для тренировки модели

80 % изображений были использованы для тренировки модели, а 20 % использовано для тестирования. Для ручной маркировки элементов ВЛ была использована утилита LabelImg. Далее была создана карта меток и отредактирован файл конфигурации обучения. После этого модель была обучена и протестирована.

Рамками были промаркированы элементы опоры воздушной линии (рис. 3), а сверху подписана вероятность, что распознанный объект был правильно промаркирован.

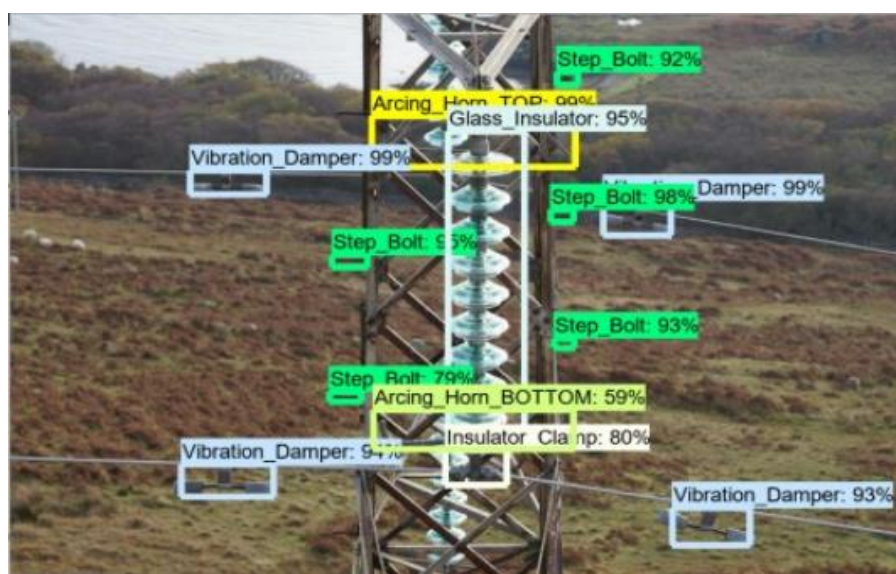


Рис. 3. Распознавание элементов опоры ЛЭП с помощью обученной модели

Как можно заметить, точность распознавания элементов ВЛ получилась довольно высокой, а значит работа выполнена успешно. Далее планируется продолжить работать над улучшением модели, получением собственных изображений с использованием БПЛА. А также создание модели для оценки состояния элементов опоры ЛЭП.

### **Источники**

1. Осмотры воздушных линий электропередач [Электронный ресурс]. URL: <http://electricalschool.info/main/vl/2263-osmotry-vozdushnyh-liniy-elektroperedach.html> (дата обращения: 19.09.2021).

2. YOLO object detection with OpenCV [Электронный ресурс]. URL: <https://www.pyimagesearch.com/2018/11/12/yolo-object-detection-with-opencv/> (дата обращения: 19.09.2021).

3. How To Train an Object Detection Classifier for Multiple Objects Using TensorFlow [Электронный ресурс]. <https://github.com/EdjeElectronics/TensorFlow-Object-Detection-API-Tutorial-Train-Multiple-Objects-Windows-10> (дата обращения: 19.09.2021).

УДК 330

## ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНЧЕСКОГО УЧЕТА КОРПОРАТИВНОЙ СОЦИАЛЬНОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ТЭК

А.Д. Галимова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

alinagalimova2014@gmail.com

Предметом исследования является реализация управленческого учета корпоративной социальной ответственности (КСО) на предприятиях топливно-энергетического комплекса (ТЭК). Целью данной работы является выделение особенностей развития управленческого учета КСО в крупных предпринимательских структурах энергетики. Как свидетельствует опыт, система управленческого учета, включая учет корпоративной социальной ответственности, охватывает практически все аспекты жизни предприятия и является эффективным механизмом генерации информации об экономической деятельности, применении новых методов управления, повышении ценности полученной информации и внедрении новой ориентации деятельности (КСО).

**Ключевые слова:** управление, корпоративная социальная ответственность, учет, энергетический.

Сегодня в условиях глобализации и постоянно развивающегося рынка многим организациям энергетического комплекса стоит задуматься о совершенствовании системы стратегического управления, о введении новых методов для снижения влияния негативных факторов и повышения общей эффективности деятельности. Эффективным инструментом решения данных проблем выступает КСО, как один из факторов устойчивого социально-экономического развития. В России управленческий учет корпоративной социальной ответственности только начинает развиваться. Учитывая международный опыт, российским компаниям следует совершенствовать систему учета управленческих аспектов ведения бизнеса и больше обращать внимание на реализацию социальных программ.

Целью исследования является выделение особенностей формирования системы управленческого учета корпоративной социальной ответственности на предприятиях энергетического комплекса.

Основным критерием (особенностью) действенности системы учета КСО является эффективное управление финансовыми, людскими ресурсами и производственными мощностями, контроль за социальной, в частности, экологической функцией предприятия. Именно поэтому управленческий учет социальной деятельности обеспечивает для этого необходимый механизм.

Можно сказать, что система управленческого учета, включая учет корпоративной социальной ответственности, как совокупность множества независимых процессов, охватывает практически все аспекты жизни предприятия: в ней показаны результаты финансового планирования, контроля затрат, прогнозирования доходов, инвестиций, планирование, внешнее финансирование, производительность, стандарты и эффективность различных подразделений компаний энергетического комплекса [1].

В рамках управленческого учета для реализации программ корпоративной социальной ответственности международные энергетические компании, а также крупные российские предприятия формируют социальные отчеты, отчеты об устойчивом развитии, представляющие интерес не только для внутреннего руководства, но и для внешних стейкхолдеров [2]. Для того чтобы заявить об устойчивости компании, устойчивости бизнеса, важно учитывать действия и финансы, потраченные на них. Эти отчеты представляют собой совокупность данных, отражающих социальную работу, проделанную компанией за предыдущий период (например, за год). Корпоративный социальный отчет содержит информацию не только о мерах по охране труда и технике безопасности на предприятии, благотворительных и грантовых программах, но и о любом другом социально значимом аспекте его деятельности. Все это может создать или поддержать положительный имидж компании на рынке, сделать ее более привлекательной для потребителей, повысить прозрачность и, в конечном счете, повысить прибыльность, рентабельность.

Управленческий учет является более либеральным видом бухгалтерского учета, чем бухгалтерско-финансовый, его эффективность во многом зависит от серьезности отношения компании к этому процессу. Поэтому, даже принимая во внимание, что управленческий учет (особенно учет КСО) не имеет каких-либо внешних нормативных или регламентирующих требований, в нём необходимо использовать, по крайней мере, проверенные финансовые показатели и методы для обеспечения производительности систем управленческого учета на всем предприятии [3].

В процессе хозяйственной деятельности руководству предприятий необходимо решать множество проблем и принимать управленческие решения, требующие достоверной информации. Создание систем генерации информации об экономической деятельности, применение новых методов управления, повышение ценности полученной информации и внедрение новой ориентации деятельности (КСО) определяют актуальность и необходимость использования внутренних управленческих отчетов.

Таким образом, на предприятиях ТЭК один из факторов успеха деятельности, выраженный в показателях прибыли и прироста капитала, зависит от качества экономической информации и грамотного учета во всех областях, включая социальные мероприятия. Для принятия инвестиционных решений и выбора клиентов, поставщиков и других деловых партнеров необходима целостность и достоверность информации, предоставляемой во внутренних отчетах руководству, что и обеспечивает система управленческого учета.

### **Источники**

1. Положение по бухгалтерскому учету «Доходы организации» ПБУ 9/99 [Электронный ресурс]: утв. Приказом Минфина Рос. Федерации от 6 мая 1999 г. № 32н (с изм. от 27 ноября 2020 г.). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс» (дата обращения: 25.09.2021).

2. Строева О.А., Мироненко Н.В., Иванов Х.М. Корпоративная социальная ответственность: российские и зарубежные стандарты // Среднерусский вестник общественных наук. 2018. Т. 11, № 1. С. 120–131.

3. Ахметова И.Г., Кулькова В.Ю. Формирование социальной сферы крупных предпринимательских структур в энергетике Республики Татарстан // Экономика в промышленности. 2020. № 13 (1). С. 108–114.



## РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРОЦЕССА ВНЕДРЕНИЯ НОВЫХ СЕПАРАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ

А.Р. Галимова  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
galimovaar00@mail.ru,

Произведен расчет экономической целесообразности процесса внедрения новых сепарационных устройств на промышленном предприятии для увеличения эксплуатационного срока службы фильтров тонкой очистки. Методика расчета основных экономических показателей, анализ факторов, влияющих на эффективность внедрения устройства, позволяют адекватно оценить результативность реализации инвестиционного проекта. Выявлено, что при разных значениях экономической эффективности от внедрения сепарационных устройств изменяется чистый дисконтированный доход инвестиционного проекта по годам.

**Ключевые слова:** расчет, экономическая целесообразность, внедрение технологии, эффективность, сепарационное устройство, пылеуловитель.

На сегодняшний день промышленные предприятия устанавливают пылеуловители для очистки воздуха от частиц пыли, возникающие в ходе производственного процесса. Внедрение сепарационного устройства в качестве предварительного фильтра перед фильтрами тонкой очистки позволит увеличить их эксплуатационный срок службы, что обеспечит снижение финансовых затрат предприятия [1, 2]. Актуальность данной темы является важной и заключается в том, что расчет экономической целесообразности процесса внедрения новых сепарационных устройств на предприятии позволяет предотвратить излишние финансовые затраты предприятия и обеспечить его устойчивое развитие в целом [3]. Целью работы является обоснование экономической выгоды новых сепарационных устройств на предприятии.

Основополагающим фактором практики реализации инновационной технологии является инвестиционный бюджет, который финансируется предприятием конкретно на эти цели. Для расчета всех необходимых инвестиционных издержек на внедрение устройства нужно знать общую смету затрат для анализа эффективности вложенных финансовых средств. Сумма затрат, включающая в себя материальные затраты, амортизационные отчисления, накладные и прочие расходы для четырех новых сепарационных устройств составила около 94 000 руб.

К основным важным параметрам экономического расчета нового оборудования относят следующие показатели: капитальные вложения, чистый дисконтированный доход, срок окупаемости проекта, срок полезного использования устройства и индекс доходности (рентабельности). Сравнительный расчет фильтров тонкой очистки и фильтров тонкой очистки с применением сепарационных устройств показал, что общий расход, требуемый на замену фильтров в период полезного использования устройства – 10 лет, составляет разницу в 240000 руб. Экономическая эффективность сепарационного устройства составила 25 %. Стоит отметить, что немаловажную роль имеют факторы и риски, которые могут также повлиять на результативность внедрения сепарационного устройства (рис. 1).



Рис. 1. Факторы, оказывающие влияния на эффективность внедрения сепарационного устройства

В ходе работы была исследована зависимость чистого дисконтированного дохода от экономической эффективности реализации инвестиционного проекта по внедрению новых сепарационных устройств по годам. Выявлено, что при разных значениях экономической эффективности от внедрения сепарационных устройств изменяется чистый дисконтированный доход инвестиционного проекта по годам. Следует следующая зависимость – чем ниже экономическая эффективность внедрения новых устройств, тем ниже рентабельность и срок окупаемости проекта (рис. 2).

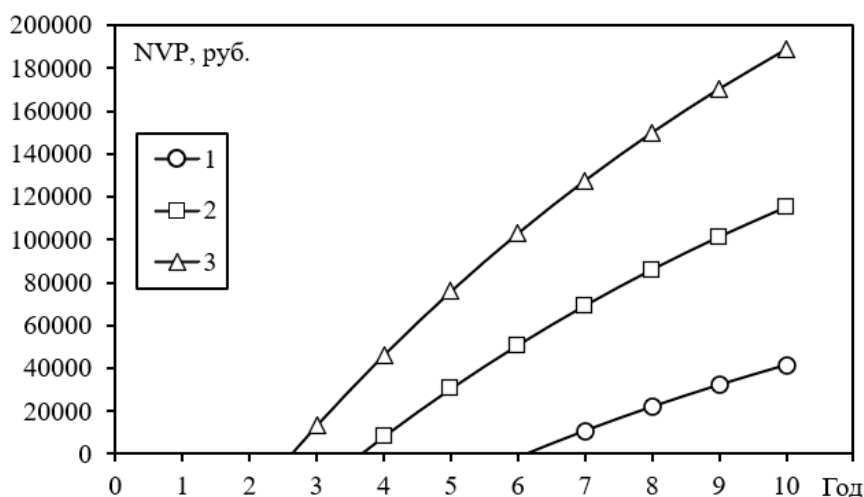


Рис. 2. Изменение чистого дисконтированного дохода (ЧДД) от экономической эффективности реализации инвестиционного проекта годам при уменьшении количества замены фильтров тонкой очистки в год: 1 – на 25 % (текущее значение); 2 – на 37,5 %, 3 – на 50 %

Значимость экономического расчета связана прежде всего с тем, что даже самые прогрессивные технические решения могут оказаться невыгодными для предприятия с учетом его определенных условий функционирования, и, следовательно, проверка экономической целесообразности внедрения того или иного оборудования является важным составляющим процессом.

### Источники

1. Оценка времени работы пылеуловителя со скругленными сепарационными элементами / В.Э. Зинуров [и др.] // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2020. Т. 24, № 3. С. 606–615.

2. Зинуров В.Э., Галимова А.Р. Оценка экономической эффективности внедрения сепарационных устройств на предприятиях с покрасочными камерами // Вестник Самарского государственного экономического университета. 2020. № 12 (194). С. 50–59.

3. Оценка энергетических затрат на улавливание мелкодисперсных частиц в сепараторе с дугообразными элементами / В.Э. Зинуров [и др.] // Вестник технологического университета. 2020. Т. 23, № 2. С. 82–85.

## СТРАТЕГИЧЕСКОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ КАК МЕХАНИЗМ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

А.Р. Галимова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

galimovaar00@mail.ru

Рассмотрены теоретические и методические подходы стратегического планирования для эффективной деятельности предприятия в условиях рыночной конкуренции. Источниками основных методик и подходов последовали труды следующих ученых: Е.А. Рисин, Б.С. Жихаревич, Е.А. Илинбаева. Выявлено, что проведенный анализ разработанных данных методик позволяет правильно оценить влияние качества стратегического планирования на деятельность предприятия в целом.

**Ключевые слова:** стратегическое планирование, эффективность, предприятие, управление, анализ.

В современной экономической среде стратегическое планирование является актуальным направлением для эффективной деятельности и дальнейшего развития предприятия в условиях рыночной конкуренции. Стратегия определяет основные приоритетные направления развития предприятия, а также позволяет учитывать основные возможности и угрозы, связанные с внешними факторами и внутренними процессами управления. Стратегическое планирование также способствует формированию конкурентоспособности и финансовой устойчивости предприятия. В этой связи целью данной работы является исследование взаимосвязанных внутренних и внешних факторов для проведения сравнительного анализа теоретических и методических подходов эффективного стратегического планирования развития предприятия [1].

Стратегический анализ выступает в качестве механизма стратегического управления, который способствует оценке деятельности предприятия с целью выявления наиболее приоритетных направлений вложения денежных средств для дальнейшего развития предприятия. Это оптимальное распределение ресурсов для достижения поставленных целей, процесс, связанный с постановкой целей и задач, определение комплекса мероприятий для их реализации. Осуществление стратегического

планирования требует соблюдения определенных принципов, к наиболее важным следует отнести: комплексность, последовательность реализации, измеримость целей, реалистичность и результативность. На сегодняшний день существуют методические подходы к оценке результатов реализации стратегических планов предприятий. Анализ существующих методик позволил систематизировать наиболее распространенные подходы, основанные на изучении официальных документов организаций (цели, задачи, мероприятия, механизмы реализации), анализе взаимодействия органов местной власти с заинтересованными сторонами (с местным населением и др.), анализе экспертных оценок и опросов, а также на сравнительном анализе фактически достигнутых значений с плановыми [2, 3].

Углубленное изучение, посвященное анализу результатов эффективности стратегического планирования, также провел Б.С. Жихаревич. В своем подходе он изучал следующие внутренние факторы: размер и статус города (района), органы власти, активность общества (местного населения), квалификационный уровень специалистов, работников предприятий и заводов города (района), стратегическое планирование со стороны региональных властей, наличие схем софинансирования и другие.

Среди существующих исследовательских работ следует также отметить научную работу Е.А. Илинбаева. В работе предлагается оценивание результативности стратегий регионов на основе экспертных оценок по качественным критериям, а именно из них выделяют наиболее распространенные: институционализация условий планирования, характеристика стратегических направлений, описание механизмов реализации стратегии, уровень достижения стратегических целей, доступность и полнота информации о стратегии [4, 5].

Проанализировав вышеперечисленные методики и подходы ученых, к преимуществам данных методик следует отнести оценку качественных характеристик стратегического планирования предприятия, практическую направленность, комплексный охват процесса разработки и реализации стратегии, а к недостаткам следует отнести – субъективность и высокие затраты организации экспертных оценок [6].

Таким образом, обобщая проведенный анализ методических подходов для стратегического планирования эффективности деятельности и оценки экономического развития и результатов реализации стратегических планов предприятий, можно сделать вывод о том, что разработки данных методик позволяют правильно оценить влияние качества стратегического планирования на деятельность предприятия в целом.

## Источники

1. Цветкова А.А., Арзамасова А.Г. Применение глобальной концепции «Менеджмент 2.0» // Инновационная траектория развития современной науки: становление, развитие, прогнозы: сб. ст. VI Междунар. науч.-практ. конф. Петрозаводск, 2021. С. 225–231.
2. Алексеева И.В. Стратегический учет и планирование – основа эффективного функционирования предприятия // Учет и статистика. 2011. № 1 (11). С. 24–33.
3. Зинуров В.Э., Галимова А.Р. Оценка экономической эффективности внедрения сепарационных устройств на предприятиях с покрасочными камерами // Вестник Самарского государственного экономического университета. 2020. № 12 (194). С. 50–59.
4. Илинбаева Е.А. Оценка результативности стратегий развития субъектов РФ на основе учета экологического компонента: автореф. дис. ... канд. экон. наук. Екатеринбург, 2016. 24 с.
5. Богомоллов В.А., Дальниченко Ю.В. Факторы оценки относительного потенциала предприятия при стратегическом планировании деятельности предприятий ркп россии на международном рынке // Решетневские чтения. 2013. Т. 2. С. 339–340.
6. Самарин И.В., Орлов А.И. Стратегическое планирование на предприятии: основные закономерности среднесрочных бюджетных планов деятельности предприятия // Естественные и технические науки. 2014. № 5 (73). С. 125–133.

## АНАЛИЗ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ САЯНО-ШУШЕНСКОЙ ГЭС

Л.В. Голубева<sup>1</sup>, И.С. Егорова<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «ИГЭУ», г. Иваново

<sup>1,2</sup>Irina13072000egorova@yandex.ru

Предложен краткий анализ целесообразности восстановления Саяно-Шушенской ГЭС после аварии в 2009 г. Представлены суммы затрат на восстановление из опубликованных официальных смет.

**Ключевые слова:** авария, этапы восстановления, смета, сравнение

17 августа 2009 г. на Саяно-Шушенской ГЭС произошла авария. Одна из турбин не выдержала вибрации. В результате мощнейшего гидроудара конструкцию весом в 1500 т буквально выбросило из гнезда. Водой был залит машинный зал. Это повлекло за собой ряд последствий: было повреждено оборудование и обрушены строительные конструкции машинного зала. Все десять гидроагрегатов вышли из строя. На восстановление Саяно-Шушенской ГЭС ушло более восьми лет и приблизительно 40 млрд руб. Напомним, что Саяно-Шушенская ГЭС являлась до этого события самой мощной электростанцией России и шестой по мощности гидроэлектростанцией в мире. На первый план, конечно же, вышла задача восстановления Саяно-Шушенской ГЭС, а также повышения уровня надежности эксплуатации объектов станции. Восстановление ГЭС происходило в 3 основных этапа.

В данный момент на Саяно-Шушенской ГЭС установлено новое современное оборудование, которое в свою очередь обладает улучшенными характеристиками. На станции были заменены все десять гидроагрегатов. Производительность станции вышла на проектный уровень – 6400 Мвт. Если говорить проще - этого хватит, чтобы зажечь сразу 64 млн лампочек. Также оборудование соответствует требованиям надежности и безопасности. Срок службы нового оборудования достигает примерно 40 лет непрерывной эксплуатации. КПД гидротурбины составляет 96,6 %. На изготовление нового оборудования, которое потребовалось для восстановления Саяно-Шушенской ГЭС, был заключён контракт на сумму 11,7 млрд руб. между ОАО «Силловые машины» и ОАО «РусГидро». По перечню этого договора ОАО «Силловые машины» изготовили 10 гидротурбин и 9 гидрогенераторов.

Вместе с восстановлением оборудования в машинном зале на Саяно-Шушенской ГЭС возобновилось строительство берегового водосброса. Он предназначен для пропуска экстремальных паводков, пропуск расходов до 4000 м<sup>3</sup>/с. Приблизительная стоимость строительства – около 7 млрд руб.

Смета по восстановлению Саяно-Шушенской ГЭС составляла суммарно 39 млрд руб. ОАО «РусГидро» оценивало затраты на восстановление станции в 40 млрд руб., но в ходе переговоров с ОАО «Силовые машины» об оптимизации цены на оборудование, сумма была снижена до 39 млрд руб. Саяно-Шушенской ГЭС достигла проектной установленной мощности в 2014 г., все работы по комплексному восстановлению станции были завершены в 2017 г. С вводом в эксплуатацию последнего гидроагрегата Саяно-Шушенская ГЭС снова крупнейшая в России. Восстановленная ГЭС стала одной из самых современных и безопасных гидроэлектростанций России. Средний годовой объем выработки составляет около 25 млрд кВт/ч.

Если говорить о целесообразности восстановления Саяно-Шушенской ГЭС, то согласно документам, в ближайшие 15 лет приоритет отдается строительству ТЭС и АЭС. А вот возведение новых ГЭС перенесено ближе к 2030 г. Период до 2030 г. знаменуют гидроэнергетической паузой. Увеличение объема гидроэнергетического строительства за последние 5 лет происходит за счет как раз-таки восстановления мощностей на Саяно-Шушенской ГЭС. На сегодняшний день гидроэнергия занимает 17 % в объеме вырабатываемой электроэнергии. К 2030 г. этот показатель по прогнозам упадет до 13 %.

На территории нашей страны сосредоточено около 9 % мировых запасов гидроэнергии. За счет энергии российских рек возможно ежегодное производство 852 млрд кВт · ч. Но экономика голосует «против» ГЭС. Удельный показатель стоимости одного кВт мощности на ГЭС в 1,5–2 раза выше, чем на ТЭС, но срок окупаемости больше.

Методика сравнения ТЭС, АЭС и ГЭС основана на довольно коротком сроке их эксплуатации, так как если взять период эксплуатации, к примеру, 100 лет, то экономика покажет абсолютно другие показатели. Если взять за основу сравнения удельный вес оборудования и строительной части, то на ТЭС имеется соотношение приблизительно 70 % и 30 %. Для ГЭС же наоборот: 10 % – 30 % стоимости приходится на оборудование и 90 % – 70 % на стоимость основных сооружений. Следовательно, гидротехнические сооружения могут эксплуатироваться несколько сотен лет. Также в поддержку гидроэнергетики стоит сказать,



что она не имеет расходов на рекультивацию нефтяных отходов, захоронение ядерных отходов и многое другое, что требуется на ТЭС и АЭС. Также можно отметить, что ГЭС является надежной защитой от наводнений, и при определении эффективности ГЭС, в этом случае, учитываются стоимости противопаводковых мероприятий. Гидростанции получаются экономически более выгодными, чем ТЭС и АЭС. Почти 3/4 российских ТЭС в качестве топлива используют природный газ. Потребление газа составляет около 30 % от всего объема его добычи и около 40 % от внутреннего потребления страны. По прогнозам, природного газа хватит примерно на 70 лет, это значит, что, скорее всего, придется переходить на уголь, запасов которого хватит на 300 лет. Но переход с газа на уголь потребует больших финансов, а также времени: другое оборудование, другие транспортные потоки и многое другое. А вот вода – это ресурс, который является возобновляемым. Поэтому выгоднее строить ГЭС как можно больше.

Целесообразным ли было восстановление Саяно-Шушенской ГЭС? С точки зрения окупаемости должно пройти более 10 лет, прежде чем затраты на восстановление станции окупятся. Это произойдет лишь после 2030 г. Но очевидно, что восстановление станции было необходимой мерой, так как она является флагманом в гидроэнергетике России.

В нынешнее время Саяно-Шушенская ГЭС производит около 11 % общей генерации Объединенной энергосистемы Сибири, а выработанная за весь период эксплуатации электроэнергия – приблизительно 750 млрд кВт·ч – смогла сэкономить 160 млрд кубометров газа, или 330 млн т угля, или 190 млн т мазута, необходимых для работы теплоэлектростанций. Также, как было сказано ранее, Саяно-Шушенская ГЭС имеет противопаводковое значение, что существенно снижает расходы на противопаводковые мероприятия.

### Источники

1. Разрушение гидроагрегата № 2 Саяно-Шушенской ГЭС: причины и уроки // Сб. матер. НП «Гидроэнергетика России». 2013. 3 т.
2. «Авария на Саяно-Шушенской ГЭС в августе 2009 г.» [Электронный ресурс]. URL: <https://ria.ru/20190817/1557524053.html> (дата обращения: 17.09.2021).
3. «Восстановление Саяно-Шушенской ГЭС» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ruscable.ru/story/sayano-shushenskaya-ges> (дата обращения: 17.09.2021).

## ИНВЕСТИЦИИ В ЧЕЛОВЕЧЕСКИЙ КАПИТАЛ В ГОСКОРПОРАЦИИ РОСАТОМ

Л.В. Голубева<sup>1</sup>, Н.В. Зубов<sup>2</sup>  
<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «ИГЭУ» г. Иваново  
<sup>1,2</sup>nikitazubov2000@yandex.ru

Анализируется корпоративное обучение в госкорпорации «Росатом». С позиций теории человеческого капитала анализируются инвестиции госкорпорации в человеческий капитал. С помощью модели Минцера получена упрощенная аналитическая модель отдачи от инвестиций.

**Ключевые слова:** Госкорпорация «Росатом», человеческий капитал, инвестиции в человеческий капитал, деловая стратегия, корпоративное обучение.

Госкорпорация «Росатом» является лидером рынка атомной энергетики. Его руководитель Алексей Лихачев, утверждает, что «Росатом» не имеет прямых конкурентов. Из года в год «Росатом» становится лучшим работодателем России. Но все же компания не мыслима без людей, которые в ней работают.

Концепция человеческого капитала была предложена нобелевскими лауреатами Гэри Беккером и Теодором Шульцем. Под человеческим капиталом они понимали совокупность, обыденных и профессиональных навыков, накопленных человеком в процессе образования и работы.

Модель Джейкоба Минцера предлагает, что объем человеческого капитала напрямую зависит от инвестиций, чем они выше, тем выше человеческий капитал и отдача в виде доходов. Но поскольку одни и те же инвестиции в человеческий капитал могут давать не одинаковый прирост у разных людей, что говорит о том, что можно измерить только отдачу от инвестиций [1, с. 101].

Стратегия госкорпорации – усиление геополитического влияния России за счёт развития «Росатома» на мировых высокотехнологических рынках [2, с. 2]. Деловая стратегия содержит следующие элементы: оценка ситуации, целевые установки, оценка наличных и потенциальных ресурсов, определение круга партнеров [3, с. 104]. Для закрепления ведущей позиции на рынке ядерной энергетики, госкорпорация «Росатом» в своей стратегии отводит большую роль Корпоративной Академии. Ее роль – формировать преемственность кадров, способствовать раскрытию потенциала сотрудников. Самые приоритетные направления работы Корпоративной Академии – программы изучения английского языка, программы формирования управленческого кадрового резерва.

В среднем изучение английского в Корпоративной Академии занимает два года. Те сотрудники, что свободно владеет в среднем получают зарплату больше на 13 % (инженеры) или на 22 % (руководители среднего и высшего звена) [4, с. 1].

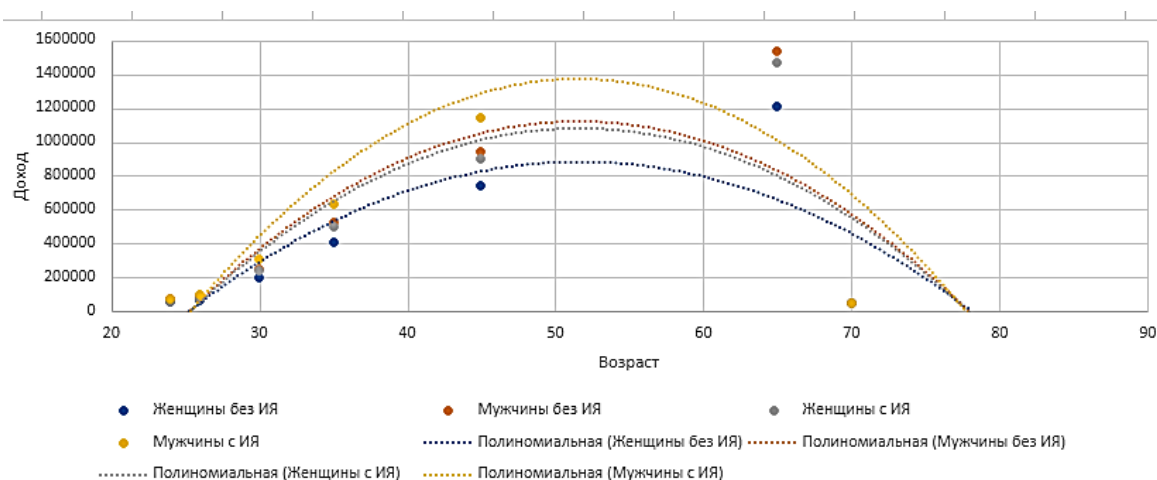
Каждый сотрудник, что отработал на предприятиях отрасли более двух лет, может быть включен в кадровый резерв. Участники кадрового резерва проходят обучение профессиональным навыкам руководителя. В последующем, все участники кадрового резерва имеют высокие шансы попасть на руководящую должность. Так в 2012 г. в компании АО «ТВЭЛ» 84 % менеджеров среднего и высшего звена были отобраны из кадрового резерва.

В нашей модели в несколько упрощенном виде использовалось уравнение Минцера:

$$\ln Z = b_0 + b_1x_1 + b_1x_1^2 + b_2x_2 + b_3x_3,$$

где  $b_0, b_1, b_2, b_3$  – коэффициенты уравнения регрессии;  $x_1$  – специфический стаж работы в госкорпорации (учитывает ежегодное индексирование зарплаты);  $x_2$  – пол (учитывает гендерные особенности в оплате труда);  $x_3$  – дополнительное образование (учитывает обучение по программам технического английского языка, управленческом кадровом резерве).

Для упрощения модели анализировали лишь возможных выпускников двух программ дополнительного образования (английский и кадровый резерв) как по отдельности, так и совместно. Также предполагалось, что все выпускники программы кадрового резерва становились менеджерами, трудились в госкорпорации до пенсии.



Зависимость дохода от возраста, пола, прохождения дополнительного образования (кадрового резерва – по умолчанию): ИЯ – программа изучения иностранного языка

Несмотря на свою простоту, модель неплохо описывает возможный уровень дохода работников, прошедших корпоративное обучение. Начальный доход в 58118 руб. после обучения увеличивался в 1,22 раза к 26 годам, в 3,36 раза к 30 годам, в 6,72 раз к 35 годам, в 11,088 раза к 45 годам, в 15,52 к 65 годам.

### **Источники**

1. Рощина Я.М. Основы моделирования экономического поведения домохозяйств на базе данных RLMS-HSE: лекции для социологов. М.: ИД Высшей школы экономики, 2015. 351 с.

2. «Стратегия деятельности Госкорпорации «Росатом» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.innov-rosatom.ru/upload/medialibrary> (дата обращения: 14.08.2021).

3. Радаев В.В. Социология рынков: к формированию нового направления. М.: ГУ ВШЭ, 2003. 328 с.

4. Как знание иностранного языка влияет на зарплату [Электронный ресурс]. URL: <https://iq.hse.ru/news/266876813.html> (дата обращения: 14.08.2021).

## КЭШБЭК КАК ЧАСТЬ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЖИЗНИ СОВРЕМЕННОГО ОБЩЕСТВА

К.Д. Ибрагимова  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
kdibragimova15@gmail.com

Актуальность выбранной темы обусловлена популярным использованием нового, для нашего государства, варианта привлечения клиентов в современном обществе.

**Ключевые слова:** кэшбэк, возврат денег, банковская карта, бонусы с покупок.

Термин Кэшбэк в переводе с английского языка означает «возврат денег» (cashback). Используется в сферах интернет-торговли (отсроченная скидка, которая возвращается клиенту по истечении периода, отведённого на обмен или возврат), банковского дела (программа лояльности, которая стимулирует клиента совершать покупки через пластиковую карту) и игорного бизнеса в качестве обозначения разновидности бонусной программы для привлечения клиентов и повышения их лояльности.

В Россию термин пришёл из Великобритании и США. Написание термина в русском языке ещё не формализовано.

Разберем суть понятия кэшбэк в банковской сфере.

Кэшбэк в банковской сфере может иметь разные формы и начисляется как деньгами, так и бонусами. К тому же банки могут возвращать наличные, пополняя счет мобильного телефона.

Банк может выпустить как кредитную, так и дебетовую карту с функцией кэшбэка. При этом, чем выше будет статус банковской карты, тем больший возврат по ней можно ожидать пользователям.

Уровень ставки и лимиты дохода по кэшбэку могут различаться также в зависимости от категории покупки. Категории покупки устанавливаются по коду торговой точки, который должен соответствовать ее основному виду деятельности.

Также банки стимулируют покупателей осуществлять безналичный расчет. Средства, привлеченные от дополнительных операций и открытия новых счетов, оборачиваются банком. Банки стимулируют покупательский спрос на товары и услуги, продающиеся в конкретных заведениях. И самая интересная – кэшбэк собирает всю информацию о покупках пользователей. Данное условие является стандартным пунктом договора, который клиент заключает с банком при регистрации.

Опираясь на данные официального сайта кэшбэка, авторами был проделан анализ предлагаемого процента наиболее популярных магазинов. Результаты показаны в таблице.

#### Предлагаемый процент кэшбэка популярных магазинов

| Название магазина | Описание   | Кэшбэк    |
|-------------------|--|-----------|
| Ситилинк          | Торговая интернет-площадка в ассортименте которой представлено более 50 000 наименований бытовой техники, цифровой электроники и других товарных категорий от ведущих мировых производителей | До 0,25 % |
| Aviasales.ru      | Поиск билетов на самолет по 728 авиакомпаниям, включая лоукостеры  | До 1,3 %  |
| Эльдорадо         | Широкий ассортимент качественных товаров бытовой и электронной техники ведущих мировых брендов, который насчитывает свыше 20 000 наименований в 110 товарных группах                         | До 2 %    |
| Lamoda            | Интернет-магазин модной одежды, обуви и аксессуаров  | До 3 %    |
| Ebay              | Американская компания, предоставляющая услуги в областях интернет-аукционов) и интернет-магазинов. Поиск по брендам, ценам, стране производителя, видам доставки (ускоренной или бесплатной) | До 3,5 %  |
| М.Видео           | Лидер по продаже электроники и бытовой техники среди розничных сетей России.   | До 4 %    |
| Спортмастер       | Тренажеры, спортивная одежда и обувь на любой сезон, товары для детей  | До 5 %    |
| МТС               | Интернет-магазин цифровой техники и аксессуаров, а также тарифов оператора связи МТС   | До 6,5 %  |
| Юлмарт            | Более 75 000 наименований товаров: от суперсовременных ультрабуков, смартфонов и бытовой техники до автомобильных шин, моторных масел, детских товаров и товаров для дома                    | До 7 %    |
| AliExpress        | Продажа мобильных телефонов, компьютеров, электроники, одежды, товаров для дома, отдыха и спорта   | До 10 %   |

В результате проведения анализа выяснилось, что самая высокая ставка кэшбэка 10 % – у онлайн-магазина «AliExpress», а самая низкая ставка 0,25 % – у магазина Ситилинк. Для своей раскрутки и привлечения внимания, они готовы предоставлять немалый кэшбэк. Неизвестно, делятся ли они с банком прибылью, но, являясь его партнерами, они получают дополнительную рекламу и возможность привлечь поток новых клиентов. Почему именно AliExpress? Потому что это самый крупный интернет-магазин в мире по количеству товаров и числу покупок. В Рунете он также является лидером, и наши соотечественники уже довольно давно наострились возвращать часть денег с AliExpress, используя кэшбэк.

### **Источники**

1. Cashback.ru! [Электронный ресурс]: офиц. сайт. URL: <https://cashback.ru/> (дата обращения: 14.09.2021).
2. Информация о кэшбэке [Электронный ресурс]. URL: <https://cashbacks-info.ru> (дата обращения: 17.09.2021).
3. «О выгодах» [Электронный ресурс]. URL: <https://allcashes.ru/samaya-vygodnaya-karta-s-kehshbehkom/> (дата обращения: 20.09.2021)

## ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Е.А. Лаптева  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
elezaveta.lapteva@yandex.ru

Рассмотрены проблемы электроэнергетического комплекса, определяющие необходимость внедрения системы интеллектуального управления. Для более подробной и точной оценки экономической эффективности приведены пилотные проекты, реализованные в России. На основе исследований РАН представлены экономические эффекты развития интеллектуальной энергетики.

**Ключевые слова:** экономическая эффективность, цифровые технологии, интеллектуальная энергетическая система.

Электроэнергетика как часть энергетического комплекса, нуждается в модернизации сетевого механизма, а также в повышении эффективности использования ресурсов. Высокий износ энергетического оборудования электростанций – 80 %, низкая инвестиционная активность предприятий, высокая зависимость предприятий топливно-энергетического комплекса от импортных энергетических технологий и оборудования, низкая экономическая эффективность отрасли, а именно низкий КПД, высокие потери в электрических сетях, наличие неиспользованных мощностей препятствуют реформированию энергетической отрасли [1]. Развитие цифровой энергетики и внедрение инновационных технологий составляют основу для преобразования энергетической системы.

Системой, внедряющей цифровые технологии в энергетику, является концепция Smart Grid, в которой все элементы приобретают интеллектуальный блок и информационные каналы связи. Создание интеллектуальной энергетической системы (ИЭС) позволит снизить капитальные затраты на строительство новых генерирующих мощностей, исходя из сниженной потребности в мощности; капитальные затраты на строительство электросетевых объектов, исходя из увеличения пропускной способности сети и сниженной пиковой мощности; эксплуатационные затраты в генерации и сетях, прежде всего топливные затраты, за счет изменения объемов ввода и режимов загрузки ТЭС [1]. Для этого необходим анализ ожидаемых эффектов и оценка затрат на внедрение новых технических средств и систем управления.



Важное значение при анализе имеет реализация пилотных проектов, позволяющая оценить экономические показатели внедрения и использования цифровых решений, целесообразность и масштабы их дальнейшего применения [2]. В распределительных сетях были выполнены следующие проекты: создание инфраструктуры для использования электротранспорта на территории города Москва, внедрение реклоузеров, развитие систем «умного учёта» во многих городах России (установлено примерно 1,2 млн счётчиков), создание комплексного проекта «умных сетей».

Количественная оценка затрат и экономических эффектов для энергетических компаний в процессе цифровой трансформации, выполняется на основе разности основных производственных и экономических показателей, которые прогнозируются для двух вариантов ее развития: «консервативного» и «инновационного». Инструментом такой оценки может быть финансово-экономический прогноз компании, который разрабатывается для каждого из вариантов и показывает динамику денежных потоков (в виде разности доходов и расходов) от операционной, инвестиционной и финансовой деятельности, рассчитанных с учетом таких показателей, как выручка, себестоимость, коммерческие и управленческие расходы, капиталовложения.

Необходимыми условиями при формировании такого финансово-экономического прогноза являются: баланс потребности в капиталовложениях и располагаемых инвестиционных ресурсов, формируемых за счет собственных и внешних источников; баланс внеоборотных активов и долгосрочных пассивов (с учетом оценки чистого оборотного капитала); задаваемые минимальные значения показателей финансовой устойчивости (рентабельности, доходности активов и собственного капитала, соотношения собственных и заемных средств и т. д.) [2].

Экономические эффекты могут иметь локальный и системный характер. Примером первого является уменьшение эксплуатационных расходов за счет сокращения численности персонала, второго – снижение капиталовложений в результате сокращения вводов новых электростанций и связанных с ними сетевых объектов для выдачи мощности.

Для потребителей экономическая эффективность достигается снижением ущербов от ограничений или низкого качества поставок электроэнергии при повышении надежности энергоснабжения за счет интеллектуальной энергетики [3].

Интегральный макроэкономический эффект обозначает вклад в рост ВВП за счет дополнительной добавленной стоимости и обеспечивает экономию капитальных и эксплуатационных затрат за счет более интенсивного использования активов, а также дополнительный рост выручки при увеличении производства.

Положительными экономическими эффектами в результате внедрения ИЭС являются - снижение экономического ущерба из-за нарушений в режимах и качестве поставки энергоресурсов, сокращение транзакционных издержек, снижение стоимости энергоснабжения, уменьшение размера инвестиций в строительство и модернизацию генерирующих мощностей, изменение постоянных и переменных эксплуатационных затрат, дополнительная выручка от продажи энергетической продукции при росте объемов ее производства, снижение коммерческих и управленческих расходов [3].

Согласно исследованиям ИНЭИ РАН, суммарный экономический эффект при развитии интеллектуальной энергетики в ЕЭС России к 2030 г. может составить 2,7 трлн руб. При этом наиболее значимым эффектом будет экономия капиталовложений в 1,3 трлн руб. (см. таблицу). Экономические выгоды от внедрения системы интеллектуального управления в масштабе единой электроэнергетической системы к 2030 г. окажутся сопоставимыми с необходимыми капиталовложениями [1].

#### Итоговые экономические эффекты при развитии Smart Grid в России

| №   | Показатель   | 2021–2025 гг. | 2026–2030 гг. |
|-----|--|---------------|---------------|
| 1   | Экономические эффекты, млрд. руб., всего:  | 1172          | 1560          |
| 2   | Экономия капиталовложений в отрасли за счет масштабов необходимого прироста мощностей, млрд руб., в т. ч.: | 744           | 527           |
| 2.1 | Электростанции   | 671           | 451           |
| 2.2 | Сетевая инфраструктура для выдачи мощностей и усиления межсистемных связей                                 | 73            | 76            |
| 3   | Снижение условно-постоянных затрат   | 19            | 353           |
| 4   | Снижение топливных затрат  | 192           | 552           |
| 5   | Экономия платы за эмиссию парниковых газов   | 46            | 128           |

Таким образом, Smart Grid, как совокупность инновационных технологий, способна обеспечить получение положительных результатов для энергоснабжения экономики страны за счет организации экономически эффективной распределительной генерации.

### **Источники**

1. Гомонов К.Г. Перспективы и экономическая эффективность внедрения интеллектуальных систем в России и в мире // Вестник РУДН. Сер.: Экономика. 2015. № 2. С. 25–35.

2. Алтынбаева Э.Р., Дараган А.В., Николаева А.Б. Интеллектуальная модель бизнеса как основа конкурентного преимущества современных компаний // Научное обозрение: теория и практика. 2019. Т. 9, вып. 2. С. 201–207.

3. Измерение и оценка результатов и эффектов цифровой трансформации топливно-энергетического комплекса [Электронный ресурс]. URL: <https://in.minenergo.gov.ru/upload/iblock/29a/29a0484ea0e4bd272252a486a80f2c32.pdf> (дата обращения: 27.09.2021).

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ИННОВАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ НА МЕЗОУРОВНЕ (НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН)

Д.К. Селезнев<sup>1</sup>, О.В. Пелевин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань

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

<sup>1</sup>bigbossutrinis229@gmail.com, <sup>2</sup>Oleg.Pelevin@tatar.ru

Развитие мезосистем в современных условиях, характеризующихся высокой степенью неопределенности макроэкономических параметров, и, как следствие, нестабильностью тенденций поступательной динамики их трендов, что требует реализации стратегического подхода к управлению системами данных типов. Это обстоятельство нашло отражение в существующей нормативной правовой базе, включающей Федеральный закон от 28 июня 2014 г. № 172-ФЗ «О стратегическом планировании в Российской Федерации», а также Закон Республики Татарстан от 16 марта 2015 г. № 12-ЗРТ «О стратегическом планировании в Республике Татарстан» и Закона Республики Татарстан от 15 марта 2015 г. № 40-ЗРТ «Об утверждении Стратегии социально-экономического развития Республики Татарстан до 2030 года». В рамках указанных документов определена необходимость реализации стратегического подхода к управлению мезосистемами, потребность в формировании долгосрочных планов развития, основанных на формировании положительного эффекта синергии при взаимодействии субъектов хозяйствования, в том числе инновационно-активного бизнеса. Увязка данных планов, программ и стратегий в целях инновационного развития мезосистем требует комплексной оценки ключевых составляющих инновационной деятельности, центральное место в которой занимает инновационная инфраструктура, как необходимое условия реализации инновационного потенциала мезосистемы. Данное обстоятельство положило начало дискуссиям по теории и практике оценки направлений развития инновационной инфраструктуры мезоэкономических систем [1–4].

**Ключевые слова:** инновации, инновационная инфраструктура, инструменты территориального развития, Республика Татарстан,

Анализ мирового опыта формирования трендов инновационной инфраструктуры показывает, что рациональное управление данным процессом позволяет не только избежать излишней концентрации ресурсов в региональных и национальных центрах при их непропорциональном

сокращении в периферийных территориях, но и сформировать основу для появления положительного эффекта синергии не только в центрах инновационного развития, но и в рамках поясов их влияния, что позволяет сохранить положительную поступательную динамику мезоэкономической системы даже в условиях ухудшения макроэкономической конъюнктуры. Данное обстоятельство, а также сложившийся высокий уровень поляризации российского экономического пространства, диктует необходимость всестороннего исследования вопросов оценки перспективных направлений развития инновационной инфраструктуры мезосистем, с выделением ключевых ограничений, продиктованных различным уровнем развития институциональной среды и дифференциацией качества регионального управления в российских условиях.

Инновационное развитие региона непосредственно связано с работой по формированию инновационной инфраструктуры, направленной на создание благоприятных условий для обеспечения непрерывного воспроизводственного процесса с положительной динамикой развития. Инновационная инфраструктура региона должна способствовать взаимодействию предпринимательских и научно-инновационных структур, формированию инновационных мотиваций хозяйственной деятельности, установлению государственных ориентиров и стимулов к инновационной модели развития [6–9].

В Республике Татарстан инновационная политика связана с улучшением инвестиционного климата, что позволило создать на конкретной территории комфортные условия для запуска и расширения новых производств, в том числе промышленных парков и промышленных площадок. В 2006 г. принято решение о создании инновационной инфраструктуры поддержки бизнеса. Следующим шагом стала инициатива Республики Татарстан по возможности поддержки на федеральном уровне не только крупных промышленных парков, но и промышленных площадок муниципального уровня, создание которых позволяет развивать небольшие территории. Реализация подобных проектов дает возможность системно решать вопросы, связанные с отраслевой структурой малого и среднего предпринимательства, повышает деловую активность, а также обеспечивает своевременное решение проблем социального характера посредством создания новых рабочих мест

В Республике Татарстан созданы и функционируют практически все инфраструктурные элементы хозяйственной и научной деятельности – объекты инновационной инфраструктуры, которые отличаются по видам деятельности, характеру и объему выполняемых функций, оказываемых

услуг и способов поддержки инновационной деятельности, деятельность которых носит диверсифицированный характер от предоставления производственных площадей и исследовательской лабораторной базы до оказания технологических услуг для субъектов инновационной деятельности, что позволяет комплексно охватить все стадии жизненного цикла инновационной продукции (см. таблицу).

**Объекты инновационной инфраструктуры Республики Татарстан  
(обобщено автором)**

| Тип объекта                            | Основное назначение объекта | Основные виды деятельности  | Примеры объектов  |
|--|-----------------------------|---|---|
| Инновационный территориальный кластер  | Размещение организаций      | Автомобилестроение, нефтепереработка и нефтехимия и др.                         | Камский ИТПК  |
| ОЭЗ промышленно-производственного типа |                             | Производство автомобилей и автокомпонентов, фармацевтическое производство и др. | АО «ОЭЗ ППТ «Алабуга»   |
| ОЭЗ технико-внедренческого типа        |                             | Информационно-коммуникационные технологии                                       | АО «ОЭЗ «Иннополис»   |
| Технополис                             |                             | Нанотехнологии, ресурсосбережение и энергоэффективность и др.                   | Технополис «Химград»  |
| Технопарк                              |                             | Авиастроение, робототехника, ИКТ, машиностроение и др.                          | ГАУ «ИТ-парк», АО «КНИАТ» и др.   |
| Промышленный (индустриальный) парк     |                             | Машиностроение, производство автокомпонентов и др.                              | АО «КИП «Мастер»  |
| Инжиниринговый центр                   |                             | Предоставление технологических услуг  | Новые лазерные технологии, технологический и управленческий аудит и др. |

| Тип объекта                                   | Основное назначение объекта | Основные виды деятельности                                     | Примеры объектов  |
|---|-----------------------------|--|---|
| Центр прототипирования                        |                             | Прототипирование, разработка роботизированных комплексов и др. | АО «Центр прототипирования и внедрения отечественной робототехники» |
| Центр трансфера (коммерциализации) технологий |                             | Фармацевтика, композитные материалы, энергоэффективность и др. |   |

На сегодняшний день в республике действует 20 промышленных парков и 80 промышленных площадок, объединяющих на своей территории объекты инфраструктуры, которые позволяют размещать и предоставлять условия для эффективной работы малых и средних производств. Отличаются они лишь размером занимаемой территории – объект именуется парком, если его площадь составляет не менее 8 га, площадкой – не менее 2 га.

По данным Ассоциации индустриальных парков России (АИП) в республике сосредоточены:

- 10 % всех промышленных парков России;
- зарегистрировано более 30 % резидентов Российской Федерации [5].

По мнению авторов, развитие инновационной инфраструктуры позволяет обеспечить ускоренные темпы роста инновационной экономики мезосистем вследствие эффективной реализации основанных на рациональном взаимодействии субъектов инновационной деятельности эффектов синергии.

### Источники

1. Айзипова И.М., Пациорковский В.В. Непроизводственная инфраструктура регионального центра // Социологические исследования. 2009. № 3. С. 75–81.

2. Амосенок Э.П., Бажанов В.А. Интегральная оценка инновационного потенциала регионов России // Регион: экономика и социология. 2006. № 2. С. 134–145.

3. Андреева Е.С., Султанова Д.Ш. Матричный подход к анализу эффективности инновационной инфраструктуры, создаваемой на условиях государственно-частного партнерства (на примере Республики Татарстан) // Управление устойчивым развитием. 2017. № 2 (09). С. 30–36.

4. Артоболевский С.С. Региональная политика, направленная на снижение территориальных, экономических и социальных диспропорций в Российской Федерации: проект концепции // Регион: экономика и социология. 2001. № 1. С. 4–34.

5. Ассоциация индустриальных парков России [Электронный ресурс]. URL: <https://indparks.ru> (дата обращения: 11.09.2021).

6. Ахтариева Л.Г. Организационно-институциональное развитие системы стратегического управления экономикой региона в условиях модернизации: моногр. М.: МАКС-Пресс, 2009. 396 с.

7. Барбаков О.М. Региональное управление: реалии и перспективы. СПб.: Лань, 2000. 288 с.

8. Белоусов В.М., Губнелова Н.З. Бренд региона как аспект его экономической идентичности // Крымский научный вестник. 2016. № 6 (12). С. 50–64.

9. Бесчастнова О.В., Райская М.В. Управление инновационной инфраструктурой в рамках действия сетевого механизма «тройной спирали» на мезо- и макроуровне // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15, № 18. С. 252–257.



## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ ПУТЕМ ЦИФРОВИЗАЦИИ

Р.Р. Сафиуллин  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
rant99@mail.ru

Предложены основные цели и задачи цифровизации электроэнергетики, предложена современная трактовка технологического разделения труда, выделены технологические факторы повышения эффективности производства, объединенные в триады взаимоинтегрированных технологий.

**Ключевые слова:** цифровизация, производительность, экономика, электроэнергетика, эффект, эффективность, трансформация.

Современная революция в сфере производственных сил заставила по-иному расставить приоритеты при оценке производительности труда – это в первую очередь связано с появлением новых технических решений, производственных технологий, модернизацией организационных и управленческих структур, т. е. совершенствованием системы управления (менеджмента). С внедрением в экономику цифровизации этот процесс приобрел революционный характер – появились новые цифровые технологии производства: искусственный интеллект, автоматизированные системы управления, роботизация, умные дома, сети, города, т. е. по иному оценивается участие человека в производстве [1].

Данный процесс все более интегрирован в отрасль электроэнергетики и в энергетику в целом. Основной целью создания цифровой энергетики – создание условий для цифровой трансформации ТЭК России, внедрение цифровых технологий и платформенных решений.

Для решения данной цели в области электроэнергетики могут быть предложены следующие важные задачи:

- 1) внедрение риск-ориентированного управления ЕЭС;
- 2) обеспечение сбора отраслевой отчетности на основе цифровых технологий данных;
- 3) создание и внедрение единой доверенной отраслевой цифровой платформы, используемой субъекта электроэнергетики для передачи технологических данных в реальном режиме времени;
- 4) повышения уровня надежности энергоснабжения потребителя;
- 5) внедрение электронного получения услуг по технологическому присоединению к электрическим сетям.

В двадцать первом веке такое развитие получило название как «Индустрия 4.0», «Общество 5.0», основанные на принципиально новых платформенных системах. Это, по сути, новый этап технологического разделения труда, позволяющий исключить непосредственное участие человека в производстве [2].

Одним из прототипом данного факта является система под названием «Цифровой сотрудник», принцип действия которого основан на полной интеграции ручной цифровой части процессов, оснащение сотрудников мобильными устройствами, носимыми устройствами, датчиками и другим оборудованием для повышения уровня отслеживаемости персонала.

Принципиально важно, что современное технологическое разделение труда переходит на совершенно новый этап, когда осуществляется замена в производстве не каких-то элементов технологии в виде отдельных блоков, узлов, деталей, а замена самих устаревших (морально, физически) технологий на новые современные, удовлетворяющие определенным требованиям, инновационные, созревшие, пригодные к интегрированию с другими – автоматизированными, роботизированными, умными, управленческими (в том числе SMART) технологиями [3]. Появилось понимание того, что на современном этапе технологического разделения труда, за счет искусственного интеллекта возникла возможность производства без участия человека (автоматизированные, умные ГЭС, мини-ТЭС, котельные, умные сети, дома и т. д.). Характер таких изменений представлен С.Ю. Глазьевым как смена 4, 5 технологического уклада (ТУ) технологиями 6,7 ТУ. Наше видение процесса – не смена одного ТУ другим – 6,7 и т. д., ведь не все технологии ТУ одновременно созревают, становятся «закрывающимися», а потому не одномоментная смена ТУ, а постепенная, последовательная трансформация за счет уже «созревших» технологий.

Ключевым элементом этого подхода является целостная концепция инновационного преобразования электроэнергетического комплекса, в котором техническим и технологическим, новым технологиям, устройствам, приборам, автоматизации отводится решающая роль. В этой концепции Smart Grid, Smart metering, Smart City – умные сети, умный учет, умные города, новые смарт технологии (центры управления) рассматриваются как частный случай Интернета вещей (IoT) цифровой экономики [4].

Ключевыми эффектами от цифровизации ТЭК является:

- снижение продолжительности перерывов электроснабжения и средней частоты технологических нарушений (SAIDI / SAIFI) на 5 % к 2024 г.;
- повышение уровня технического состояния производственных фондов электроэнергетики для объектов на 5 % к 2024 г. без повышения затрат на поддержание технического состояния;

– снижение на 20 % аварийности на объектах электроэнергетики, связанной с техническим состоянием производственных фондов.

Подводя итоги, можно сказать, что цифровая трансформация дает возможности увеличения нетарифной выручки и предоставления на рынке новых услуг, что влечет за собой рост выручки, и, как правило, рост капитализации компании, установление более тесной связи с клиентами, широкий спектр возможностей для перекрестных продаж и снижения оттока потребителей.

### **Источники**

1. Институциональное взаимодействие экономики и энергетики: теоретические и методологические аспекты / Р.А. Бурганов [и др.] // Энергетика Татарстана. 2015. № 4. С. 23–28.
2. «Зеленая экономика» как глобальная стратегия развития в посткризисном мире: сб. обзоров / отв. ред.: И.Г. Животовская, Т.В. Черноморова. М., 2016. 188 с.
3. The basis for the creation of the energy theory of the firm / R.A. Burganov [et al.] // Ponte. 2018. Vol. 74, Is. 2. Pp. 130–136.
4. Квасов И.А. Применение SMART технологий при решении экономических задач в рамках «тройной спирали» // Экономика и предпринимательство. 2016. № 4. С. 676–681.

## РОЛЬ ВНЕДРЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ИННОВАЦИОННОМ РАЗВИТИИ ПРЕДПРИЯТИЙ

Д.К. Селезнев<sup>1</sup>, И.В. Юсупова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань

<sup>2</sup>Министерство экономики Республики Татарстан, г. Казань

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «КНИТУ-КАИ», г. Казань

<sup>1</sup>selez2009.li@yandex.ru, <sup>2</sup>bigbossutrinis229@gmail.com

Проблемы инновационного развития промышленных предприятий при переходе к цифровизации экономики, с одной стороны, связаны с необходимостью формирования единого информационного пространства, интеграционных механизмов на различных уровнях взаимодействия экономических субъектов, обеспечения качества данных и экономической безопасности их использования, а с другой стороны, определяются нехваткой финансовых ресурсов и квалифицированных кадров для цифровой экономики. По мнению многих экспертов ядром цифровой экономики призваны стать сектор информационно-коммуникационных технологий и сектор контента и средств массовой информации. действительно роль и значение данных секторов в качестве ядра формирования инновационной экономики значительны, но сбалансированное развитие экономике призваны обеспечить промышленные предприятия, инновационная деятельность которых формирует, с одной стороны, спрос на цифровые технологии, а с другой стороны, создает необходимые инновации для формирования и развития цифровой экономики (например, промышленные роботы, инновационное оборудование в форме чипов и датчиков и т. д.).

**Ключевые слова:** инновации, инновационное развитие, цифровизация экономики, цифровая экономика, информационные технологии.

Сегодня позволить себе переход к цифровым технологиям способны крупные корпорации, обладающие достаточным объемом финансовых ресурсов. К сожалению, цифровые технологии и оборудование для их разработки, внедрения и использования являются дорогостоящими, что во многом сдерживает быстрое распространение цифровых технологий и делает их недоступными для большинства малых и средних предприятий. Крупные промышленные компании «Газпром нефть», «Сибур», «Аэрофлот», государственные корпорации «Росатом», «Роскосмос», «Ростех», «Объединенная авиастроительная корпорация», «Объединенная судостроительная

корпорация» самостоятельно разрабатывают направления и этапы цифровизации своей инновационной деятельности, внедряют в свои производственные процессы сквозные цифровые технологии. Создание информационной инфраструктуры и специальных условий для развития инновационной деятельности промышленных предприятий в условиях цифровизации экономики позволит сформировать новую архитектуру экономических отношений, складывающихся в условиях реализации модели открытых инноваций между всеми участниками цифровой экономики.

Модель открытых инноваций предполагает активный поиск перспективных идей во внешней среде, осуществление совместных исследований и создание инноваций с другими партнерами, а также стратегическое использование прав на интеллектуальную собственность, что позволит создать условия для открытости инновационных компаний в плане взаимодействия с другими предприятиями и потребителями в сфере НИОКР. Модель открытых инноваций построена на основе оптимизации обмена знаниями каждым участником инновационной деятельности таким образом, чтобы максимально эффективно использовать и реализовать каждую инновационную идею, разработанную внутри компании или привнесенную из внешней среды (полученную от других компаний).

Данная модель позволит оптимизировать инновационную деятельность промышленных предприятий по созданию и использованию цифровых технологий за счет совместного участия в реализации инновационных проектов и совместного использования объектов инновационной и цифровой инфраструктуры. При этом основными формами взаимного сотрудничества крупных промышленных предприятий с малыми и средними предприятиями, а также с другими участниками цифровой экономики призваны стать стратегические альянсы, сети, кластеры.

Для того чтобы предприятие имело возможность постоянного роста инновационного развития в условиях цифровизации экономики, есть существенная необходимость разработки комплексных решений по организации и управлению инновационными процессами, а также по оценке их эффективности.

На уровне промышленного предприятия с целью эффективной реализации инновационных решений, следования принципам эффективного инновационного развития формируется так называемая корпоративная инновационная система [6]. Каждое предприятие самостоятельно формирует элементы системы, определяет функциональные характеристики и участников данной системы. На основе этой инновационной системы, которая выступает площадкой для поиска, отбора, разработки, внедрения

инноваций, ведется работа по организации и управления инновационными процессами с целью повышения уровня инновационного развития предприятия в целом.

Цифровая трансформация сопровождается рядом проблем, которые препятствуют успешной реализации преобразований. Среди них выделяют недостаток квалифицированных кадров, отсутствие стратегии развития, боязнь неудачи реализации проектов цифровизации, вопросы обеспечения безопасности и неготовность компаний к изменениям [1–3]. При этом в качестве направлений стимулирования успеха при осуществлении цифровизации предлагают развитие персонала с целью обеспечения необходимых компетенций, формирование необходимой нормативной базы для регулирования процессов и развитие информационных технологий и инфраструктуры.

Проблемы инновационного развития регионов особенно актуальны в эпоху цифровизации всех сфер жизнедеятельности человека, а значит и предприятий как социально-экономических систем современной экономики. Стратегические ориентиры, которые задают национальные и региональные уровни становятся базовыми для выбора направлений инновационного развития любого успешного предприятия.

Обзор научной литературы и анализ мировых рейтингов инновационной и деловой активности, позволяет выделить следующие барьеры инновационной деятельности предприятий, ограничивающие возможности модернизации экономики [4, 5]:

- недостаточный уровень финансирования, обеспечивающего возможности заниматься инновационной деятельностью в нужном (оптимальном) для получения заложенного эффекта ритме;
- неэффективность налоговой политики, сдерживающей рост инновационной активности предприятий;
- несовершенство законодательной базы и нормативно-правового регулирования, тормозящий процесс внедрения лучших зарубежных практик инновационного развития на российских территориях;
- трудности с получением госзаказа, что заметно снижает инновационную активность предприятий, так как данный процесс не обладает достаточной прозрачностью и простотой применения;
- низкий уровень квалификации выпускников учебных заведений по «новым» востребованным профессиям в трендах научно-технического прогресса;
- недостаточный уровень развития инновационной инфраструктуры, призванной всячески поддерживать инновационный процесс на всех трех уровнях: государственном, региональном, субъектном;

– сложный процесс взаимодействия объектов инновационно- инвестиционной инфраструктуры, а также путанное распределение функций между ними, что снижает его эффективность.

Если исследовать научную литературу по вопросам инновационного развития территорий, то можно отметить популярность использования подхода, предусматривающего изучение инновационной деятельности предприятий через призму регионального развития и совершенствования государственной политики поддержки инноваций. В рамках данного подхода уделяется серьезное внимание следующим факторам [4, 5]:

– пространственная близость регионов, создающая реальные возможности для их взаимодействия; - локальные условия, позволяющие гибко поддерживать инновационную активность хозяйствующих субъектов в регионе;

– специфика человеческого капитала, дающая возможности или накладывающая определенные ограничения в контексте диффузии инноваций;

– межрегиональное сотрудничество, как важная составляющая инновационного проектного взаимодействия, поскольку инновационный процесс не происходит в одиночку, а только через партнерство участников;

– концепция умных городов и умной специализации регионов, используемые в ЕС, как реальные примеры эффективных рабочих инновационных инструментов;

– долгосрочное видение технологического развития страны, отраженное в Стратегии научно-технологического развития РФ;

– роль человеческого капитала и университетов в инновационной деятельности российского предпринимательства через механизмы взаимодействия для формирования грамотного сотрудничества между наукой, бизнесом и образованием;

– прямые иностранные инвестиции, как фактор инновационного развития, осуществляющий приток необходимых средств из-за рубежа для стимулирования общего экономического роста, в частности инновации за счет эффектов перетока и усиления конкуренции на рынке.

В современных условиях говорить об эффективном решении проблем инновационного развития можно только с позиции политики сплочения и акцента на региональное развитие через стимулирование инновационной деятельности на местном уровне. Только так можно

способствовать росту региональной и национальной экономики. В этой связи стоит отдельно отметить европейскую концепцию «умной специализации», которую считаем полезной для развития любых городов (областей) – как отстающих, так и передовых.

В основе сложного процесса взаимодействия участников инновационного процесса лежит стимулирование создания и распространения инноваций как план пространственного развития, нацеленный на интеграцию сетей и торговли для ускорения темпов экономического роста. Сформированные в результате тесного взаимодействия участников инициативы в сфере науки, технологий и инноваций будут способствовать стимулированию спроса и развитию цепочек поставок для расширения потенциала территорий к внедрению новых технологий в рамках стратегии научно-технологического развития страны. Именно поэтому политику сплочения как инновационных механизмов можно считать политикой распределенного экономического роста и расширения доступа регионов к глобальным инновациям.

Таким образом, по мнению авторов, цифровизация является ядром инновационного развития промышленных предприятий, однако внедрение цифровых решений сопровождается рядом проблем, среди которых можно выделить недостаток квалифицированных кадров, отсутствие стратегии развития, боязнь неудачи реализации проектов цифровизации, вопросы обеспечения безопасности и неготовность компаний к изменениям.

### **Источники**

1. О стратегическом планировании в Российской Федерации [Электронный ресурс]: федер. закон Рос. Федерации от 28 июня 2014 г. № 172-ФЗ (с изм. от 31 июля 2020 г. № 264-ФЗ). Доступ из справ.-правовой системы «Гарант» (дата обращения: 17.09.2021).

2. Паспорт национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» [Электронный ресурс]: утв. президиумом Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам 24 декабря 2018 г. № 16. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант» (дата обращения: 17.09.2021).

3. Об утверждении программы «Цифровая экономика Российской Федерации» [Электронный ресурс]: распоряжение Правительства РФ от 28 июля 2017 г. № 1632-р. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант» (дата обращения: 17.09.2021).



4. Паспорт федерального проекта «Цифровое государственное управление» [Электронный ресурс]: утв. президиумом Правительственной комиссии по цифровому развитию, использованию информационных технологий для улучшения качества жизни и условий ведения предпринимательской деятельности (протокол от 28 мая 2019 г. № 9). Доступ из справ.-правовой системы «Гарант» (дата обращения: 17.09.2021).

5. Об утверждении Стратегии социально-экономического развития Республики Татарстан до 2030 года [Электронный ресурс]: закон Республики Татарстан от 17 июня 2015 г. № 40-ЗРТ (с изм. от 25 декабря 2019 г. № 112-ЗРТ). Доступ из справ.-правовой системы «Гарант» (дата обращения: 17.09.2021).

6. Барсегян Н.В., Шинкевич А.И., Абуталипова Ю.А. Развитие цифровой промышленности в Республике Татарстан // Цифровая трансформация промышленности: тенденции, управление, стратегии: матер. I Междунар. науч.-практ. конф. / отв. ред. В.В. Акбердина. Казань, 2019. С. 57–66.

## ВЛИЯНИЕ ПАНДЕМИИ НА РОССИЙСКИЙ МАЛЫЙ И СРЕДНИЙ БИЗНЕС

Г.Г. Сунгатуллина  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
sungatullina2000@mail.ru

Актуальность выбранной темы обусловлена вспышкой пандемии коронавируса во всем мире, в том числе и в России, и закрытием многих предприятий на карантин, перевод на удаленную форму работы.

**Ключевые слова:** пандемия, коронавирус, влияние на экономику, карантин.

Пандемия с греческого языка переводится как «весь народ» и означает сильную эпидемию, которая распространяется на территории всех стран и континентов. Под пандемией подразумевают болезнь с массовым характером, которая поражает все население [1].

В 2020 г. вирус был зафиксирован и в нашей стране. По словам Главы Федерального медико-биологического агентства В. Скворцовой, первые случаи появились в стране в конце февраля: «... можно говорить о запуске процесса относительно интенсивном с 1 марта, где-то до начала июня при благоприятном течении событий мы должны потихоньку начать уходить от этой ситуации» [2].

Согласно сайту стопкоронавирус.рф, государство разработало следующие меры поддержки малого и среднего предприятия в период пандемии [3]:

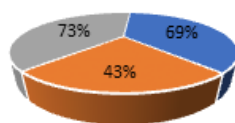
– мораторий на банкротство: приостанавливается прием заявлений о банкротстве должника со стороны кредиторов; суды приостанавливают и производства по принятым делам, по которым процедура банкротства еще не начата; с должника снимается обязанность обращаться в суд при наличии признаков банкротства, но сохраняется право это сделать;

– мораторий на проверки бизнеса: приостанавливается проведение выездных проверок малого и среднего предприятия. Автоматически на полгода продлеваются все лицензии и разрешения;

– кредитные каникулы: предприниматели могут получить отсрочку по кредиту на 6 месяцев и рассчитывать на уменьшение суммы отсроченной задолженности за счёт федеральных субсидий для банков;

– беспроцентные кредиты на зарплату: бизнес, а также индивидуальные предприниматели из наиболее пострадавших отраслей в праве получить в банке беспроцентный кредит на шесть месяцев для выплаты зарплаты сотрудникам.

Согласно источникам, Аналитический центр НАФИ провел исследование о влиянии пандемии коронавируса на российский бизнес и опубликовал следующие результаты [4]:



- предпринимателей считают, что влияние пандемии коронавируса на российскую экономику будет максимально негативным
- уверены, что ситуация нормализуется через год
- отметили, что остро нуждаются в господдержке

По словам предпринимателей, в первую очередь серьёзно пострадают сферы общественного питания и туризма, на втором месте – сферы торговли и услуг. Также под угрозой финансовой опасности будут рынки транспорта и развлечений. Следовательно, основные отрасли экономики терпят огромные убытки [5].

Таким образом, выяснилось, что большинство малых и средних предприятий сильно нуждаются в господдержке, в связи с пандемией предприятия несут достаточные убытки, но государство разработало надежные меры поддержки организаций, которые помогут уменьшить влияние пандемии на малый и средний бизнес.

### Источники

1. Пандемия. [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Пандемия> (дата обращения: 15.09.2021).
2. «Скворцова спрогнозировала пик эпидемии коронавируса в России» [Электронный ресурс]. URL: <https://ria.ru/20200408/1569750656.html> (дата обращения: 17.09.2021).
3. «Меры поддержки малых и средних предприятий» [Электронный ресурс]. URL: <https://стопкоронавирус.рф/what-to-do/business/> (дата обращения: 18.09.2021).
4. «Влияние эпидемии коронавируса на бизнес и потребность в господдержке» [Электронный ресурс]. URL: <https://nafir.ru/projects/predprinimatelstvo/> (дата обращения: 20.09.2021).
5. Филина О.В., Сорокина К.В. Государственное влияние на инвестиционную активность российских предприятий в условиях пандемии // Горизонты экономики. 2020. № 6 (59). С. 64–69.
6. «В Китае распространяется неизвестная пневмония» [Электронный ресурс]. URL: <https://ria.ru/20191231/1563037442.html> (дата обращения: 15.09.2021).

## МОДЕЛЬ CAPM ПРИ РАСЧЕТЕ СТАВКИ ДИСКОНТИРОВАНИЯ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ИНВЕСТИЦИОННОГО ПРОЕКТА АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

О.П. Ущёкин<sup>1</sup>, М.А. Васильченко<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>АО «Объединенная энергетическая компания», г. Москва

<sup>1</sup>UschyokinOP@uneco.ru, <sup>2</sup>VasilchenkoMA@uneco.ru

Рассмотрены основные приемы при анализе риска инвестиционного проекта, которые используются в теории оценки. Стоит отметить, что существует множество факторов, по которым реальные доходы могут отличаться от тех, которые ожидает инвесторов в перспективе, поэтому, в статье рассмотрен подход CAPM модели, затрагивающий деятельность как частного инвестирования, так и рынок в целом. И хотя метод оценки чистых дисконтированных денежных потоков – это лишь один из трех основных подходов к оценке инвестиций, используемых в реальном секторе экономики, данный пример расчета служит фундаментом для построения всех остальных подходов.

**Ключевые слова:** Альтернативная энергетика, инвестиционный анализ, оценка бизнеса, премия за риск, ставка дисконтирования.

При построении оценки фирм, а также отдельных активов инвестору необходимо рассчитывать дисконтные ставки, отражающие основные риски планируемых к получению денежных потоков. Например, в стоимости чистого долга должен учитываться разрыв дефолта (*default spread*), а при оценке стоимости собственного капитала должен быть проведен анализ премии за риск изменения курса акций, а следовательно – рыночной стоимости фирмы.

В финансовой сфере чаще всего термин «риск» трактуется, как вероятность того, что объем дохода в будущем может отличаться от того дохода, который ожидает инвестор в базовом временном отрезке. Таким образом, можно сформулировать финансовый риск инвестиционного проекта, как изменение объема денежного потока не только ниже ожиданий, но и выше того, что планирует получить инвестор в будущем (доходы выше ожиданий). На практике же принято учитывать оба этих риска, так как первый риск можно назвать «риск снижения», а второй – «риск повышения», характеризующие выбор, стоящий перед инвестором.

Все модели риска доходности инвесторов инвестиционных проектов исходят из определенной процентной ставки, доступной инвесторам, а также от премии за риск, которую инвесторы часто требуют, инвестируя свои активы. К примеру, в распространённой CAPM модели, где имеется лишь один источник риска, такой премией, покрывающей риск, является некий процент, который инвестор должен запросить перед финансовыми вложениями в какой-либо актив. В многоуровневых моделях принято разделять множество компенсаций за риск, каждая из которых выражена в проценте денежных средств, но мы рассмотрим лишь оптимальный метод расчёта безрисковой ставки и оценки компенсации, использованной в моделях.

Безрисковый актив – это объём денежных средств, которые с максимальной уверенностью получит инвестор в будущем. Таким доходом может являться объём купона облигаций федерального займа. Следовательно, безрисковой актив должен выполнять два условия: исключать риск дефолта и процесс реинвестирования. Безрисковые ставки принято измерять в соответствии тому, как измеряются денежные потоки. Таким образом, если свободные денежные потоки рассчитываются в российских рублях, то и итоговая безрисковая ставка должна быть равна ставке по правительственным ценным бумагам. В развитых странах, где государственные бумаги могут считаться максимально безрисковыми, частные инвесторы часто используют этот механизм, так как исход событий прозрачен и понятен. К примеру, ставка по облигациям федерального займа в Российской Федерации на текущий момент равна 7,5 %.

В своей работе мы рассмотрели стандартную модель, позволяющую определить риск по рынку в финансовой сфере при построении инвестиционного проекта создания электростанции, работающей на альтернативных источниках энергии, а именно: модель оценки капитальных активов (*capital asset pricing model* – CAPM). Традиционная однофакторная модель характеризует модель риска и доходности, имеющую привязку финансовых активов с уровнем приемлемого систематического риска для инвестора. Данная модель позволяет учитывать такой параметр, как – систематический риск. Компенсация для инвесторов за данный риск, которому они подвергаются, используется в CAPM модели в прямой зависимости от корреляции доходности актива с получением определённой доходности национального рыночного портфеля. Фактор, который учитывается в модели, является рыночным риском актива, который невозможно исключить подходом диверсификации. В модели CAPM в качестве оценки данного риска инвестиционного актива принято

рассматривать бета-коэффициент. Бета-коэффициент – это определенный показатель эластичности получения доходности по активу к доходности рыночного портфеля, характеризующим последовательный риск государственной рыночной среды. Формула, по которой принято рассчитывать уровень систематического риска и предполагающую доходность в рамках CAPM, приведена ниже:

$$E(k_i) = k_f + \left( E(k_m - k_f) \right) \frac{a_{im}}{a_m^2}. \quad (1)$$

Также, на сайте А. Дамодарана можно в открытом доступе найти значения бета-коэффициента, которые были подсчитаны из базы данных Bloomberg и Value Line по числу компаний в развитых и быстро развивающихся странах со стабильным рынком капитала. Например, компания Value Line использует в своей деятельности показатель «сырого» бета-коэффициента, а компания Bloomberg использует скорректированный бета-коэффициент, который принято для всех компаний вычислять следующим образом:

$$\beta_{adj} = 0,67\beta + 0,33 \cdot 1. \quad (2)$$

Стоит отметить, что модель CAPM ранее использовалась в основном для подсчета общей стоимости собственного капитала, но затем получила широкое распространение для определения ставок дисконтирования в крупных корпорациях.

Значение ставки дисконтирования определяет и показывает ценность денежных средств для инвестора во временной перспективе. Теория инвестиционного анализа утверждает, что стоимостное значение денежных средств сегодня больше, чем точно такое же значение через какой-то промежуток времени, ведь рационально инвестированный актив сегодня, сможет принести доход инвестору завтра. Ошибка в расчетах ставки дисконтирования может негативно повлиять на значения ключевых показателей инвестиционного проекта (NPV, IRR, MIRR, срок окупаемости), поэтому при выборе модели необходим детальный анализ каждого инвестиционного проекта.

Проанализировав метод CAPM для расчета ставки дисконтирования можно сделать следующий вывод. Использование данной модели рентабельно в условиях стабильной или развивающейся экономике при наличии множества данных по текущему состоянию компании и отрасли в целом. После расчета полученное значение необходимо

сравнить со значением WACC (Waged Average Cost of Capital) для нахождения оптимальной ставки дисконтирования с учетом всех рисков и требуемого уровня доходности. В нормативных значениях значение CAPM с расчетами рисков и премий за риск должно быть меньше средневзвешенной стоимости капитала. Если в качестве расчета ставки дисконтирования мы используем CAPM, так как он меньше WACC, то нам необходимо сравнить IRR с WACC, для того, чтобы мы могли удостовериться, что проект генерит достаточно денежных средств для покрытия обязательств перед кредиторами, инвесторами и акционерами. В заключении следует добавить, что при выборе проекта необходимо обращать внимание на специфические особенности проекта и требования к рискам.

### **Источники**

1. Теплова Т.В. Инвестиции: учебник и практикум для академического бакалавриата: в 2 ч. М., 2017. 524 с.
2. Дамодаран Асват. Инвестиционная оценка. М., 2014. 1342 с.

## **ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН В КОНТЕКСТЕ РЕАЛИЗАЦИИ СТРАТЕГИЧЕСКИХ И ПРОГРАММНЫХ ДОКУМЕНТОВ РАЗВИТИЯ ОТРАСЛИ**

Юсупова И.В.<sup>1</sup>, Селезнев Д.К.<sup>2</sup>, Арзамасова А.Г.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Министерство экономики Республики Татарстан, г. Казань

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ» г. Казань

bigbossutrinos229@gmail.com, asaraf@mail.ru

Согласно Стратегии-2030 Республики Татарстан энергетический комплекс – один из 6 базовых, ключевых экономических комплексов республики. Целевое видение кластеров современной экономики и «умной» экономики – «сбалансированное развитие энергетического комплекса как одного из ключевых элементов экономики Республики Татарстан посредством обеспечения конкурентоспособности региональной экономики в целом, энергетической независимости и безопасности республики за счет производства необходимого количества энергии на источниках генерации энергосистемы Республики Татарстан по конкурентным ценам на основе применения новых технологий, высокого качества и высокого уровня надежности энергоснабжения». Приоритетными задачами отрасли является обеспечение бесперебойного электроснабжения потребителей, проведение работ по повышению надежности электроснабжения и перевод основного оборудования и распределительных сетей на новые современные технологии.

**Ключевые слова:** энергетика, энергетический комплекс, государственная программа, Стратегия-2030, Республика Татарстан.

Стратегией-2030 Республики Татарстан для достижения цели развития энергетического комплекса предусмотрены:

1) его сбалансированное развитие, а также обеспечение энергетической независимости и безопасности республики за счет производства необходимого количества энергии на источниках генерации энергосистемы Республики Татарстан по конкурентным ценам на основе применения новых технологий, высокого качества и высокого уровня надежности энергоснабжения;



2) развитие инновационного кластера «Устойчивая энергетика», в который входит АО «Татэнерго», ОАО «ТГК-16», ООО «Нижекамская ТЭЦ», ОАО «Сетевая компания» и гарантирующий поставщик Республики Татарстан – АО «Татэнергосбыт».

Эти направления синхронизированы с целями и задачами государственной программы «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности в Республике Татарстан» (далее – Программа) по развитию энергетической отрасли, которая реализуется с 2008 года и имеет своей целью «формирование эффективной системы управления энергосбережением и повышение энергетической эффективности в Республике Татарстан при неуклонном повышении качества жизни, конкурентоспособности выпускаемой продукции». Государственный заказчик Программы – Министерство промышленности и торговли Республики Татарстан.

Согласно п. 7.5.1 Порядка ежегодно Министерством экономики Республики Татарстан (далее – Министерство) проводится оценка эффективности реализации государственных программ Республики Татарстан, результаты которой (табл. 1) направляются в Кабинет Министров Республики Татарстан, а также в Счетную палату Республики Татарстан.

Невысокий процент освоения средств по направлению «Проведение международного симпозиума и специализированной выставки в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности» связан с тем, что ввиду пандемии мероприятие было проведено в режиме ВКС.

Согласно данным Минпромторга РТ по итогам 2020 г. энергоемкость ВРП республики снизилась на 5 % к уровню 2019 г. Снижение относительно базового 2007 года составило 28%, при целевом ориентире 24,8 % к 2024 г. Резкое снижение энергоемкости ВРП республики обусловлено, прежде всего, значительным уменьшением потребления энергоресурсов в период пандемии. По итогам 2020 года потребление ТЭР снизилось на 7,7 % или 1,6 млн т условного топлива.

С учетом стабилизации ситуации и ростом производства уровень энергоемкости ВРП будет выше. Тем не менее, по мнению авторов, республике необходимо пересмотреть целевые ориентиры, в том числе с учетом задач, поставленных на федеральном уровне.

С учетом стабилизации ситуации и ростом производства электроэнергии уровень энергоемкости ВРП будет выше. Как отмечено в Государственном докладе о состоянии энергоэффективности в России (далее – Госдоклад), впервые за 5 лет произошло снижение энергоемкости валового внутреннего продукта по сравнению с уровнем 2015 г. (снижение на 1,6 % в ценах 2016 г.).

Таблица 1

Результаты реализации государственной программы «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности в Республике Татарстан» за 2020 год

| № п/п     | Наименование подпрограммы (раздела, мероприятия)  | Источник финансирования (в т. ч. бюджет Российской Федерации, бюджет Республики Татарстан, местный бюджет, внебюджетные источники) | Плановые объемы финансирования на отчетный год <*>, тыс. руб. | Объемы финансирования на отчетный год, в соответствии с лимитами бюджетных обязательств и средствами из внебюджетных источников <*>, тыс. руб. | Исполнено с начала года <***>, тыс. руб./ | Процент исполнения |
|-----------|---|--|---|--|---|--------------------|
| 1         | 2   | 3  | 4   | 5  | 6   | 7                  |
| 1         | Цель государственной программы – формирование эффективной системы управления энергосбережением и повышение энергетической эффективности в Республике Татарстан при неуклонном повышении качества жизни, конкурентоспособности выпускаемой продукции |  |   |  |   |                    |
| 1.1       | Задача государственной программы – повышение энергетической эффективности и конкурентоспособности за счет технической и технологической модернизации  |  |   |  |   |                    |
| 1.1.0.0.1 | Проведение мероприятий по энергосбережению на объектах жилищного фонда и социальной сферы   |  |   |  |   |                    |
| 1.1.0.0.2 | Модернизация систем наружного освещения   |  |   |  |   |                    |
| 1.1.0.0.3 | Модернизации оборудования, используемого для выработки (передачи) тепловой и электрической энергии  | Всего  | 0,00  | 0,00   | 0,00                                      | 0%                 |

Продолжение табл. 1

| 1           | 2  | 3                      | 4            | 5            | 6      | 7    |
|-------------|--|------------------------|--------------|--------------|--------|------|
| 1.2         | Задача государственной программы – создание благоприятных условий для реализации проектов в области энергосбережения и энергоэффективности                     |                        |              |              |        |      |
| 1.2.0.0.0.1 | Проведение энергетических обследований   |                        |              |              |        |      |
| 1.2.0.0.0.2 | Проведение научно-исследовательских работ в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности  |                        |              |              |        |      |
| 1.3         | Задача государственной программы – энергосбережение и повышение энергетической эффективности в государственном секторе   |                        |              |              |        |      |
| 1.4         | Задача государственной программы – внедрение научных разработок и инновационных технологий в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности |                        |              |              |        |      |
| 1.4.0.0.0.1 | Мероприятия, осуществляемые в рамках инвестиционной (производственной), программы энергосбережения и повышения энергетической эффективности                    | Внебюджетные источники | 1 791 700,20 | 1 791 700,20 | 100,00 | 100% |
|             |  | Всего                  | 1 791 700,20 | 1 791 700,20 | 100,00 | 100% |
| 1.5         | Задача государственной программы – развитие информационного обеспечения мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности               |                        |              |              |        |      |
| 1.5.0.0.0.1 | Проведение мероприятий по обучению в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности   |                        |              |              |        |      |

Окончание табл. 1

| 1   | 2  | 3                           | 4            | 5            | 6        | 7      |
|---|--|-----------------------------|--------------|--------------|----------|--------|
| 1.5.0.0.0.2   | Проведение международного симпозиума и специализированной выставки в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности           | Бюджет Республики Татарстан | 8 388,00     | 8 388,00     | 3 196,60 | 38,11% |
|   |  | Всего                       | 8 388,00     | 8 388,00     | 3 196,60 | 38,11% |
| 1.5.0.0.0.3   | Организация работы по предоставлению энергетических деклараций в специальном модуле государственной информационной системы «Энергоэффективность» | Всего                       | 0,00         | 0,00         | 0,00     | 0%     |
| 1.5.0.0.0.4   | Информационная поддержка и пропаганда энергосбережения и повышения энергетической эффективности  | Всего                       | 0,00         | 0,00         | 0,00     | 0%     |
|   |  | Бюджет Республики Татарстан | 8 388,00     | 8 388,00     | 3 196,60 | 38,11% |
|   | Итого по программе «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности в Республике Татарстан»  | Внебюджетные источники      | 1 791 700,20 | 1 791 700,20 | 100,00   | 100%   |
|   |  | Всего                       | 1 800 088,20 | 1 800 088,20 | 3 196,60 | 0,18%  |
| Примечание – фактические значения индикаторов будут сформированы в марте текущего года. |  |                             |              |              |          |        |

Следует отметить, что в соответствии с Госдокладом Минэкономразвития РФ планирует снизить энергоёмкость ВВП на 30 % к 2030 г. относительно уровня 2016 г., при этом для регионов целевые ориентиры не установлены (табл. 2).

Таблица 2

Расчет энергоёмкости ВРП на 2019–2020 гг.

| Наименование        | Ед. измерения | 2019 г. | 2020 г. | Динамика, % |
|---------------------|---------------|---------|---------|-------------|
| Потребление ТЭР     | млн т.у.т.    | 21,32   | 19,68   | -7,7 %      |
| ВРП в ценах 2007 г. | млрд руб.     | 1032,03 | 1002,1  | -2,9 %      |

По мнению авторов, на уровень энергоэффективности наибольшее влияние оказывает основной потребитель первичных топливно-энергетических ресурсов – энергетика (70,7 %), далее следуют обрабатывающие производства и добыча полезных ископаемых (20 %), сельское и лесное хозяйство (1,6 %), строительство и ЖКХ (1,4 %), прочие (6,3 %, в т. ч. бюджетная сфера, транспорт, связь и т. п.).

Согласно данным Минпромторга РТ за 2020 г. потребление по Республике Татарстан составило 29,1 млрд кВт · ч, что ниже показателя 2019 г. (снижение на 4,9 % к уровню 2019 г.). Пандемия коронавируса COVID-19 и решение ОПЕК по сокращению нефтедобычи привели к снижению потребления электроэнергии, и, соответственно, снижению объемов выработки электроэнергии как в Республике Татарстан, так и в Российской Федерации: производство электроэнергии в республике снизилось на 17,7 % к аналогичному периоду прошлого года, составив 23,8 млрд кВт · ч (по данным РДУ Татарстана с учетом объектов распределенной генерации. Справочно: по ЕЭС России потребление в 2020 г. снизилось на 2,4 %, выработка на 3,1 %.

Таблица 3

Динамика удельных расходов за 2020 г. (г/ кВт · ч)

|                          |       | Электро |        | Тепло  |
|--------------------------|-------|---------|--------|--------|
|                          |       |         |        |        |
| ПТК-2 (ООО «НКТЭЦ»)      | 383,1 | 404,9   | +5,7 % | -1,6 % |
| ЗайГРЭС (АО «Татэнерго») | 362,9 | 378,3   | +4,2 % | -1,4 % |
| НЧТЭЦ (АО «Татэнерго»)   | 304,4 | 299,9   | -1,5 % | -1 %   |
| КТЭЦ-1 (АО «Татэнерго»)  | 235,9 | 229,1   | -2,9 % | -0,3 % |
| КТЭЦ-2 (АО «Татэнерго»)  | 231,7 | 225,9   | -2,5 % | +1,5 % |
| КТЭЦ-3 (АО «ТГК-16»)     | 219,3 | 212,0   | -3,4 % | +1,1 % |
| ПТК-1 (АО «ТГК-16»)      | 255,1 | 256,1   | +0,4 % | +2,3 % |

Следует отметить, что по итогам 1 квартала 2021 г. в республике отмечен рост объемов энергопотребления и выработки электрической и тепловой энергии (январь-март – рост на 5,8% по выработке, на 2,5 % – по потреблению).

Удельный расход топлива на отпуск электроэнергии по итогам 2020 г. снизился на 3,7 % и составляет 277,8 г условного топлива на кВт · ч (целевой ориентир, определенный в Энергетической стратегии России (распоряжение Правительства РФ от 09.06.2020 № 1523-р), составляет 285,4 г у.т./кВт · ч к 2024 г.).

Снижение удельного расхода топлива на отпуск электроэнергии отмечено по всем производящим станциям, кроме Заинской ГРЭС (+4,2 %) и Нижнекамской ТЭЦ (ПТК-2) (+5,7 %), небольшой рост отмечен по Нижнекамской ТЭЦ (ПТК-1) (+0,4 %). Причины роста – в низкой энергоэффективности генерирующего оборудования на Заинской ГРЭС – 378 г условного топлива на кВт · ч, и спад производства в условиях пандемии.

На Нижнекамской ТЭЦ (ПТК-2) увеличена доля используемого мазута и выработки в конденсационном режиме. Для повышения уровня энергоэффективности энергосистемы республики, по мнению авторов, необходимо продолжить работу по обновлению генерирующих мощностей, и увеличивать выработку в комбинированном режиме.

Предстоит решить важнейшую задачу- обеспечение модернизации Заинской ГРЭС, после чего объем выработки составит 6,3 млрд кВт · ч при удельном расходе топлива менее 200 г у.т./кВт · ч.

Анализ показателей динамики удельных расходов электро- и теплоэнергии за 2020 г. в разрезе производящих станций продемонстрировал следующее:

– Заинская ГРЭС (+4,2 %). Спад промышленного производства в период пандемии привел к изменению количественного состава генерирующего оборудования и снижению электрической нагрузки на 10,5 МВт. Количество работающих блоков сократилось с 5,1 до 2,7.

– Нижнекамская ТЭЦ (ПТК-2) (+5,7 %) перешла на менее энергоэффективные виды топлива. Ввиду проведения ремонтных работ на газопроводе увеличился объем сжигания мазута на 7,2 %. Также компания по причине ремонтных работ была вынуждена перейти на использование аналога мазута – топливо технологическое экспортное (ТТЭ) производства

АО «ТАНЕКО», но при этом имеющее более низкую стоимость. Отмечено увеличение конденсационной выработки на турбоагрегатах и количества пусков конденсационных блоков турбоагрегатов ТГ4-7.

Нижнекамская ТЭЦ (ПТК-1) (+0,4 %). Отмечено снижение отпуска тепловой энергии на 13,2 % и выработки электроэнергии на 12,9 %, что обусловлено сокращением потребления тепловой энергии теплоснабжающими организациями, в том числе, перераспределением тепловых нагрузок при актуализации схемы теплоснабжения г. Нижнекамска, промышленными потребителями (в паре на 14,3 %), а также общим снижением электропотребления в условиях пандемии.

Низкая энергоэффективность станций, и, соответственно, их низкая конкурентоспособность на оптовом рынке электроэнергии и мощности привели к увеличению перетоков электроэнергии в республику с 1,7 до 5,3 млрд кВт·ч – это прирост порядка 310 %, что, в свою очередь, ведет к увеличению платежей в Федеральную сетевую компанию, и соответственно, росту тарифов для потребителей.

Необходимо стремиться к минимизации и исключению перетоков электрической энергии в республику. Для этого всем производящим станциям нужно стать конкурентоспособным на рынке производства энергии, что возможно только путем обновления и модернизации генерирующего оборудования.

На сегодня модернизировано 4 энергетических станций, что позволило увеличить мощность энергосистемы на 1,2 Гигаватта (Казанская ТЭЦ-2 (АО «Татэнерго») в 2014 г., ООО «Нижнекамская ТЭЦ» в 2015 г.; Казанская ТЭЦ-3 (АО «ТГК-16») в 2017 г.; Казанская ТЭЦ-1 (АО «Татэнерго») в 2018 г.).

Следует отметить, что по состоянию на 1 января 2021 г. установленные электрическая мощность энергосистемы с учетом объектов малой генерации составляет 8089,4 МВт.

Модернизация станций продолжится в рамках федеральной программы по обновлению генерирующих мощностей: Заинская ГРЭС (строительство ПГУ 850 МВт к 2025 г.), Казанская ТЭЦ-2 (модернизации энергетич. парового котла на 65 МВт к 2024 г.), Нижнекамская ТЭЦ (ПТК-2) (строительство ГТУ 155 МВт к 2025 г.), Казанская ТЭЦ-3 (модернизация паровых турбин мощностью 50 МВт) и Нижнекамская ТЭЦ (ПТК-1) (модернизация паровых турбин суммарной мощностью 267 МВт).

Однако не все станции попали в программу модернизации производящих станций, например, Набережночелнинская ТЭЦ – крупнейшая электростанция Нижнекамского энергорайона, где, растущие потребности в электроэнергии покрываются за счет крайне неэффективной конденсационной выработки.

Необходимо отметить, что в республике модернизация генерирующего оборудования осуществляется также и собственными силами компаний. Так, успешно реализован инвестиционный проект на Казанской ТЭЦ-3 по строительству газотурбинной установки. В 2021 г. завершается строительство и планируется ввод в эксплуатацию парогазовой установки мощностью 495 МВт на «Нижнекамскнефтехим».

В Татарстане функционирует 2262 источника теплоснабжения, отпускающих тепловую энергию населению и бюджетным организациям, суммарной мощностью 21 тыс. Гкал/ч (по данным Татарстанстата на 1 января 2020 г.).

В 2020 г. отпущено потребителям республики 36,3 млн Гкал, из них в режиме комбинированной выработки 29,7 млн Гкал (29 748,5 тыс. Гкал, что на 7,2 % ниже показателя прошлого периода (2019 г. – 32050,2 млн Гкал).

Потери тепловой энергии выросли к уровню 2019 г. на 5 % и составили 2,6 млн Гкал или 6,3 %. Доля сетей, нуждающаяся в замене – 37 %. За 2020 г. заменено 76,3 км сетей, из них 52,2 км – ветхие. Справочно: Протяженность тепловых сетей, нуждающихся в замене, составила 1 134,4 км или 37,1 %, из них 764,8 км – ветхие сети (протяженность паровых и тепловых сетей в двухтрубном исполнении составила 3 055 км).

При этом довольно остро стоит вопрос со схемами теплоснабжения муниципальных образований республики. Ввиду нехватки финансовых ресурсов муниципалитетами не проводится своевременная актуализация схем теплоснабжения, что, в свою очередь, отражается и на тарифах теплоснабжения.

В этом году ИКМО г. Казани ведется работа по актуализации схемы теплоснабжения. Необходимо при разработке документа в соответствии с федеральным законодательством предусмотреть максимальное приоритетное использование комбинированной выработки электрической и тепловой энергии, являющейся наиболее экономически эффективной (ст. 3 Федерального закона от 27 июля 2010 г. № 190-ФЗ «О теплоснабжении»).



В соответствии поручением Президента Республики Татарстан Р.Н. Минниханова совместно с Министерством строительства и ЖКХ, крупными поставщиками тепла, Казанским энергоуниверситетом прорабатывается создание в республике Ситуационно-аналитического центра по развитию теплоснабжения (САЦ), нацеленного на решение вопросов в этой области. Минпромторгом РТ и Минстроем РТ разработана и согласована дорожная карта по созданию САЦ на базе Центра энергосберегающих технологий РТ при КМ РТ, который позволит своевременно разрабатывать и актуализировать схемы теплоснабжения городов и поселений Республики Татарстан, включая защиту при утверждении в Минэнерго России, содействовать в разработке инвестиционных программ предприятий, оказывать постоянную консультативную поддержку в режиме онлайн.

В электросетевом хозяйстве республики доля потерь электроэнергии в сетях составила по итогам 2020 г. 6,8 %. При этом мы наблюдаем рост показателя к уровню 2019 г. на 3,6 %.

Справочно: Следует отметить, что достигнутые показатели опережают уровень потерь электроэнергии, определенный Энергетической стратегией России до 2035 г. (утв. распоряжением Правительства РФ от 9 июня 2020 г. № 1523-р). Плановые значения к 2024 г. – 9,8 %, к 2035 г. – 7,3 %.

Развитие энергетического комплекса осуществляется в соответствии со Схемой и программой развития электро-энергетики, так называемого СИПР, который ежегодно утверждается на пятилетний период до 1 мая текущего года (ППРФ 17 октября 2009 г. № 823).

СИПР в свою очередь является основой для разработки инвестиционных программ сетевых компаний (согласно п. 5 ППРФ № 977 инвестиционные проекты, предусматривающие новое строительство или реконструкцию с увеличением мощности или пропускной способности линий электропередачи более чем на 10 %, номинального класса напряжения 220 кВ и выше должны быть включены в СИПР ЕЭС РФ, номинального класса 110–220 кВ должны быть включены в СИПР РТ).

На период 2020–2024 гг. утверждено 6 инвестиционных программ субъектов электроэнергетики на общую сумму 50 млрд 167 млн руб. (табл. 4), в том числе крупных энергетических компаний республики – «Сетевой компании» и «Татэнергосбыта», а также смежных сетевых организаций.

## Объемы финансирования инвестиционных программ на 2020–2024 гг.

| Наименование          | Период        | Всего,<br>млн руб. | 2021 г.,<br>млн руб. | Доля, % |
|-----------------------|---------------|--------------------|----------------------|---------|
| АО «Сетевая компания» | 2020–2024 гг. | 48 141,2           | 9 489,4              | 95,96 % |
| АО «Татэнергообит»    | 2021–2023 гг. | 1 479,5            | 241,0                | 2,95 %  |
| ООО «КАМАЗ-Энерго»    | 2020–2024 гг. | 227,63             | 95,34                | 0,45 %  |
| Горьковская дирекция  | 2020–2024 гг. | 229,07             | 77,0                 | 0,46 %  |
| Куйбышевская дирекция | 2020–2024 гг. | 72,4               | 10,05                | 0,14 %  |
| ООО «Оборонэнерго»    | 2020–2024 гг. | 17,46              | 3,52                 | 0,03 %  |
| <b>ВСЕГО</b>          |               | <b>50 167,26</b>   | <b>9 916,32</b>      |         |

По мнению авторов, важно обеспечить своевременное утверждение СИПР, согласование его со всеми заинтересованными сторонами и синхронизацию с утверждаемыми инвестиционными программами, а также его дальнейшее исполнение (необходимо с учетом конкурсных процедур по определению разработчика документа заблаговременное выделение финансирования из бюджета республики для обеспечения разработки СИПР).

УДК 621.311.1

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

М.Ф. Агзамов<sup>1</sup>, Э.Ф. Хакимзянов<sup>2</sup>, А.М. Мусина<sup>3</sup>

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

<sup>2</sup>ООО ИЦ «ЭнергоРазвитие», г. Казань

agzamovmf@energo-razvitie.ru

Используемые на сегодняшний день методы для улучшения состояния сетей не имеют возможности формировать технически обоснованные энергоэффективные инвестиционные программы развития и модернизации электрической сети. Показана возможность моделирования систем электроснабжения и предложены варианты модернизации в сетях 0,4 кВ, которые позволяют повысить надёжность электроснабжения потребителей, показатели качества поставляемой электроэнергии, оптимизировать режимы работы электрической сети, повысить пропускную способность и уменьшить пиковую нагрузку сети.

**Ключевые слова:** моделирование систем электроснабжения, цифровой двойник, показатели качества электрической энергии, модернизация электрических сетей, программный комплекс PSS Sincal, система накопления электрической энергии.

Одним из ключевых вопросов эффективного развития и функционирования энергосистемы, с учетом развития секторов промышленности и социальных объектов, является вопрос совершенствования электрических сетей, а также разработка перспективных моделей их развития. Одновременно повышаются и требования к пропускной способности, надёжности электроснабжения и качеству полученной электрической энергии. Всё перечисленное приведет к использованию цифрового двойника электрических сетей систем электроснабжения. Цифровой двойник электрических сетей – это реализованная в специальном программном обеспечении математическая модель электрических сетей, позволяющая выявлять уязвимые места в энергосистеме при проектировании, в процессе эксплуатации, а также при разработке сценариев развития сети.

В качестве инструмента для проведения моделирования и анализа текущего состояния электрической сети возможно применение программного комплекса PSS®SINCAL. Для определения объема и целесообразности модернизации низковольтных сетей напряжением 0,4 кВ выбрана электрическая сеть, прилегающая к комплектной трансформаторной подстанции (КТП), в которой, по результатам замеров параметров режима отклонение уровня напряжения превышает регламентируемого значения [1].

В результате произведенного расчета установившегося режима с учётом профиля нагрузок работы сети получили максимальное отклонение напряжения от номинального свыше 10 % (см. рисунок). Также в программном комплексе PSS Sincal проведены суммарные расчетные потери электроэнергии в пике нагрузок, которые составили 15 %. Таким образом, данная схема не позволяет обеспечить потребителя электроэнергией требуемого качества, что предполагает необходимость модернизации электрической сети.



Поопорная схема электроснабжения электрической сети  
с результатом расчета в ПК

В связи с этим были приняты к рассмотрению варианты повышения качества электроснабжения потребителей участка с дальнейшим изменением математической модели сети: Результаты расчетов, а также ориентировочная стоимость каждого из вариантов модернизации [2] показаны в таблице. Исходя из полученных результатов, сведенных в таблице, а также

анализа преимуществ и недостатков рассматриваемых вариантов систем электроснабжения, наименьшее отклонение напряжения от номинального на наиболее удаленном участке электрической сети имеет решение с применением системы накопления электрической энергии, которая позволяет более гибко реагировать на изменение режимов работы электрической сети.

В настоящее время системы накопления электрической энергии широко применяются для решения различных задач по всему миру. В последнее десятилетие интенсивное развитие технологий преобразования энергии и снижение стоимости аккумуляторных батарей привели к созданию СНЭЭ с такими характеристиками, которые уже сейчас позволяют реализовывать проекты, эффективные с технической точки зрения и целесообразные – с экономической, в Единой энергетической системе России и, особенно, в автономных энергосистемах.

Результаты расчетов ориентировочная стоимость оборудования  
модернизации электрической сети

| Вариант модернизации                             | Отклонение напряжения от номинального, $\Delta U$ , % | Расчетные технические потери, % | Ориентировочная стоимость решения, тыс. руб., без НДС |
|--|---|---------------------------------|---|
| Реконструкция объектов электросетевого хозяйства | 1,75  | 3,00                            | 8 500,00  |
| Применение индивидуальных столбовых ТП           | 1,00  | 1,00                            | 10 000,00   |
| Модернизация сети с применением ВДТ              | 2,15  | 5,00                            | 3 500,00  |
| Модернизация сети с применением СНЭ              | 1,5   | 2,50                            | 3 500,00  |
| Использование СЭС совместно с СНЭ                | 1,25  | 3,50                            | 6 500,00  |

Система накопления электрической энергии предназначена для накопления, хранения электрической энергии и отдачи её в сеть или нагрузку с целью поддержания функционирования энергосистемы, повышения эффективности её работы и обеспечения требуемого качества электрической энергии. Также, СНЭЭ обеспечивает эффективную интеграцию установок на основе ВИЭ в энергосистему с повышением экономических и технических показателей.

## **Источники**

1. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М.: Стандартинформ, 2014. 7 с.

2. Об утверждении укрупненных нормативов цены типовых технологических решений капитального строительства объектов электроэнергетики в части объектов электросетевого хозяйства [Электронный ресурс]: приказ Министерства энергетики РФ от 17 декабря 2019 г. № 10. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс» (дата обращения: 12.09.2021).

3. Правила устройства электроустановок. 7-е изд. М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004. 520 с.

## РАЗРАБОТКА УЧЕБНОГО СТЕНДА «ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПОВ ПРОГРАММИРОВАНИЯ НА БАЗЕ ONIPLR-S-CPU-1410»

С.А. Богданович<sup>1</sup>, В.А. Емельянов<sup>2</sup>, М.М. Лыгин<sup>3</sup>

ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск

<sup>1</sup>sofa.bogdanovich1601@mail.ru, <sup>2</sup>vova\_emelyanov\_2018@mail.ru, <sup>3</sup>eligin@ya.ru

В данной работе была представлена разработка учебного стенда для программирования на программируемом логическом реле ONI PLR-S-CPU-1410, отечественной разработке, а также представлены возможные сферы применения в области промышленного и гражданского строительства. Данный проект предназначен для обучения студентов электротехнических специальностей среднего звена, для проведения процедуры демонстрационного экзамена по международным стандартам WorldSkills по компетенции 18 Электромонтаж, а также для подготовки к всевозможным олимпиадам.

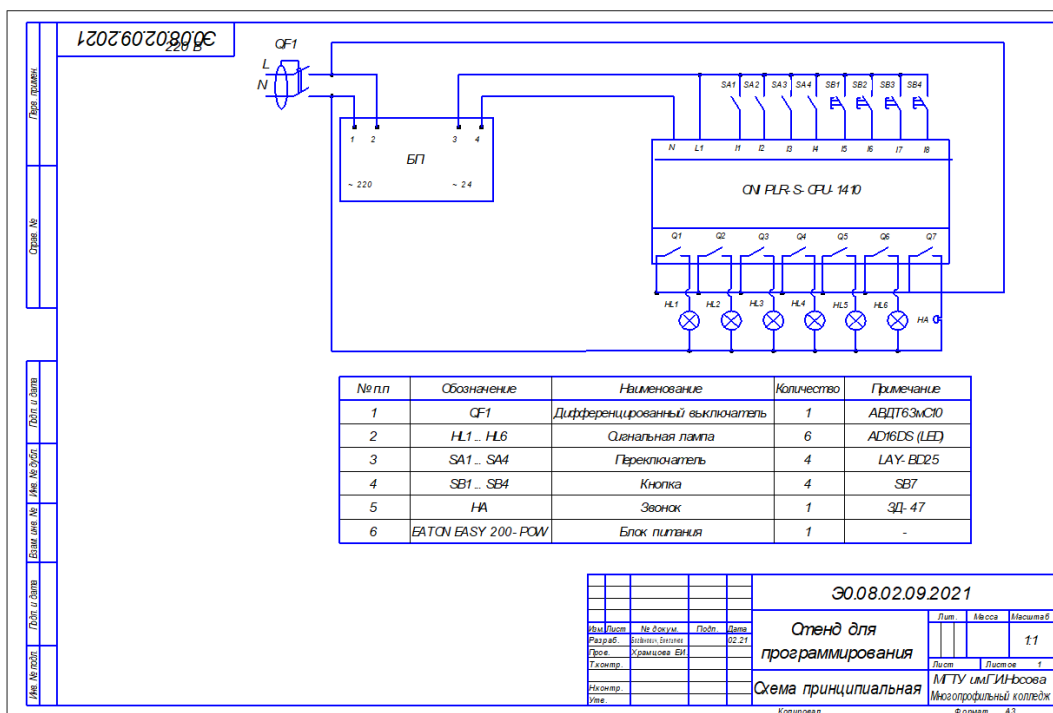
**Ключевые слова:** учебный стенд, программируемое логическое реле, World Skills, «Умный дом».

Данный проект находит свое применение при обучении студентов групп подготовки специальности 13.02.08 Техническая эксплуатация электрического и электромеханического оборудования и 08.02.09 Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования промышленных и гражданских зданий [1].

В период вынужденной изоляции весной и летом 2020 г., перед миром встал новый вызов – всеобщая изоляция и максимальный переход на дистанционные формы обучения. Пандемия скорректировала подход к образованию студентов колледжа. В крайне сжатых сроках потребовалось проведение корректировки проведения не только теоретического обучения, но и кардинальное изменение подхода к учебным практикам по профессиональным модулям.

В связи с этим, был своевременно спроектирован и изготовлен учебный стенд «Изучение принципов программирования на базе ONIPLR-S-CPU-1410». Принципиальная электрическая схема учебного оборудования, представлена на рисунке.

Результатом проделанной работы стал стенд для подготовки учащихся Многопрофильного колледжа к региональному этапу всероссийской олимпиады по направлению 13.00.00. Электро- и Теплоэнергетика, одним из модулей которой является программирование на базе программируемого логического реле ONI PLR-S-CPU-1410 [2].



Принципиальная электрическая схема учебного стенда

Программируемые логические реле ONI PLR-S поддерживают стандартный протокол Modbus RTU как в режиме Master (Ведущий), так и в режиме Slave (Ведомый). Modbus – один из самых распространенных и популярных промышленных протоколов. Он открытый, простой, универсальный и легкий в применении.

Все ONI PLR-S поставляются с интегрированным RS232 интерфейсом. Он используется для загрузки пользовательских программ, настройки оборудования при помощи бесплатного свободно распространяемого пакета ONI PLR Studio, а также для подключения смежного оборудования по протоколу Modbus RTU/ASCII. Это могут быть, например, различные ПЛК, панели оператора, SCADA системы, преобразователи частоты, сканеры штрихкодов.

Еще одной средой реализации проекта может стать, повсеместно распространяющаяся система «Умный дом», когда при помощи ПЛК можно управлять абсолютно любыми устройствами, находящимися в доме и подключенными к контроллеру. Если мы говорим об умном доме на промышленном контроллере, то основная идея – централизация управления. «Подключить к умному дому» подразумевает подключение к ПЛК. Удобством системы на ПЛК является тот факт, что мы можем подключать любые устройства, какие захотим, напрямую к контроллеру. Иначе говоря, можем решить почти любую задачу в пределах поддерживаемых типов сигналов входа-выхода контроллера.



Таким образом, учебный стенд – «Изучение принципов программирования на базе ONIPLR-S-CPU-1410», представляет собой готовое изделие, предназначенное для реализации обучения по специальности 08.02.09 «Монтаж и наладка электрооборудования промышленных и гражданских зданий» специальности, 13.02.11 «Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и электромеханического оборудования» подготовки к демонстрационному экзамену студентов специальностей электротехнического цикла и слушателей дополнительных образовательных курсов, заинтересованных в переподготовке и повышению квалификации по направлению «Управление электрооборудованием с помощью ПЛК», для проведения конкурсов и чемпионатов с учетом стандарта Ворлдскиллс Россия по компетенции «Электромонтаж» [3, 4].

### **Источники**

1. Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования по специальности 08.02.09 Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования промышленных и гражданских зданий [Электронный ресурс]: приказ Министерства образования и науки РФ от 23 января 2018 г. № 44. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант» (дата обращения: 15.09.2021).

2. Методические материалы производителя оборудования ONI: офиц. сайт. М., 2015. URL: <https://oni-system.com/press-centr/programmiruemye-kontrollery-oni-intellektualnaya-novinka-dlya-promyshlennosti-i-energetiki/> (дата обращения: 15.09.2021).

3. Методические материалы по профессии «Электромонтажник» с учетом стандарта Ворлдскиллс Россия по компетенции «Электромонтаж» [Электронный ресурс]: учеб. пособие. URL: <http://nmt54.ru/> (дата обращения: 15.09.2021).

4. Демонстрационный экзамен 2020 [Электронный ресурс]: офиц. сайт. URL: <https://worldskills.ru/nashi-proektyi/demonstracziornyij-ekzamen/demonstracziornyij-ekzamen-2020/demonstracziornyij-ekzamen-2020/> (дата обращения: 15.09.2021).

## ОБЗОР АКТУАЛЬНЫХ ОТРАСЛЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Н.Р. Галимуллин<sup>1</sup>, Л.В. Ахметвалеева<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>niaz-galimullin@mail.ru, <sup>2</sup>alvkgeu@mail.ru

Современные тенденции и стремительное развитие научно-технического прогресса требуют глобальных изменений и совершенствований готовых производственных систем. В первую очередь новейшие технологии должны не только ускорить процесс развития, но и минимизировать нагрузку на человека. Мир постепенно приближается к той стадии, когда роботы начинают играть главенствующую роль в жизнедеятельности людей.

**Ключевые слова:** роботы, роботизированные системы, аппаратный комплекс, микропроцессорные системы.

Робототехника представляет собой область науки и техники, основная задача которой заключается в создании и разработке роботов и робототехнических систем, предназначенных для автоматизации сложных конструкторских технологических процессов, чтобы заменить и облегчить ресурсы человеческих усилий.

Среди роботов и робототехнических систем можно выделить несколько следующих категорий: студенческие роботы, телеуправляемые роботы, промышленные роботы, разумные роботы, военные роботы. Рассмотрим каждую из категорий более подробно [1].

Студенческие роботизированные системы являются переходной базой между несерьезными разработками и настоящими научными изобретениями. Они способны на выполнение задач в разных внешних игровых условиях. Как правило, такие системы представляют собой уже готовые корпусные изделия, к которым необходимо прикрепить соответствующий датчик, сообщающий ему информацию о внешней среде, память бортового компьютера набивается всевозможными правилами поведения в тех или иных условиях, и робот выходит в «свободное плавание», а задача человека состоит лишь в том, чтобы написать программу и контролировать её выполнение. На сегодняшний день, программисты добились весьма интересных поведенческих ситуаций, где задание жестких правил поведения есть не что иное, как наличие инстинктов.

Телеуправляемые роботы находят свою популярность в отраслях, куда человек не способен добраться самостоятельно. Такие системы широко применяют в медицине, судостроении, космических исследованиях. Рассмотрим их конструкцию: интеллектуальная часть отсутствует или сведена к двум-трем инстинктам, которые не позволят оператору совершить критическую ошибку; по сути дела это лишь мобильная РТС, плюс аппаратура приема и передачи радио или видеосигнала и управляющие команды.

Промышленные роботы представляют собой аппаратные комплексы, которые полностью лишены разума. Цель данных роботизированных систем сводится к замене человека на всех трудных и монотонных типах физических работ. Эти роботы выполняют свои команды на основании жестко написанных программ. Основные плюсы промышленных роботов заключаются в скорости, в непрерывной работе и отсутствии заработной платы.

Следующий тип роботов относится к классу разумных. Данный тип находится лишь на стадии формирования и развития. Ученые пытаются достигнуть и сформировать в работе человеческий интеллект и разумное мышление. Конкретных моделей, которые могли бы заменить человеческий разум пока не придумано [2].

Тип, который мы рассмотрим далее, имеет название военные роботы. Данный тип робототехнических систем используются исключительно для военно-разведывательных действий и доставки военно-транспортного груза. Одними из новейших устройств среди данной отрасли являются летательные, ракетно-пускательные беспилотные комплексы, способные автоматически определять цель поражения, даже если она находится в движении. Огромным плюсом подобных комплексов служит то, что при уничтожении данного робота не затрагивается человеческая жизнь.

В век современных технологий развитие робототехники идет в очень высоком темпе, нет ни одной из областей науки и жизнедеятельности человека, где роботы не находят свое применение. И важной задачей при достижении такого прогресса является грамотное обучение и подготовка соответствующих специалистов, которые позволят осуществлять четкое управление роботизированными системами.

Основной акцент при подготовке специалистов в области робототехники необходимо делать на построение микропроцессорных систем и на общее изучение электротехнических устройств. Помимо этого, важнейшую роль играют дисциплины, направленные на проектирование и конструирование программных систем, на разработку и отладку программного обеспечения.

## Источники

1. Ахметвалеева Л.В., Галимуллин Н.Р., Обзор отрасли робототехнических систем // Динамика нелинейных дискретных электротехнических и электронных систем: тр. XIV Всерос. науч.-техн. конф. Чебоксары, 2021. С. 233–234.
2. Мехатроника: компоненты, методы, примеры / Б. Хайман [и др.]. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2017. 602 с.
3. Дистанционная диагностика дефектов в высоковольтных изоляторах / А.В. Голенищев-Кутузов [и др.] // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2020. Т. 22, № 2. С. 117–127.
4. Занимательная робототехника [Электронный ресурс]. URL: <http://edurobots.ru/> (дата обращения: 11.09.2021).
5. Myrobot.ru [Электронный ресурс]: сайт URL: <http://myrobot.ru/articles/> (дата обращения: 11.09.2021).

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ СЛУЖБЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ В ИТ- КОМПАНИИ

Л.А. Давлетшина

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

liana.davletshina@mail.ru

Рассматриваются инструменты методологии диаграммы потоков для анализа бизнес процессов при моделировании информационных потоков. Инструменты методологии диаграммы потоков данных позволяют отображать источники и адресаты данных, идентифицировать процессы и группы данных деятельности ИТ отдела.

**Ключевые слова:** процессы, декомпозиция, нотация DFD, процессный подход, мониторинг, диспетчерская служба.

В данной работе на основе результатов аналитического исследования статистических данных работы службы технической поддержки при АО «ICL – КПО ВС» [1] рассматриваются инструменты позволяющие управлять качеством сетевого обслуживания диспетчерской службы предоставления ИТ-услуг.

Возникновение и развитие информационных технологий потребовало не только технических стандартов, но и разработки правил эффективного использования информационных технологий. Служба технической поддержки консультирует пользователей и технических специалистов, предотвращает и решает проблемы с программным обеспечением и оборудованием. Правильно организованная техническая поддержка (Service Desk) всегда начинается с регистрации всех обращений конечных пользователей, служит единой точкой для общения пользователя с ИТ-службой.

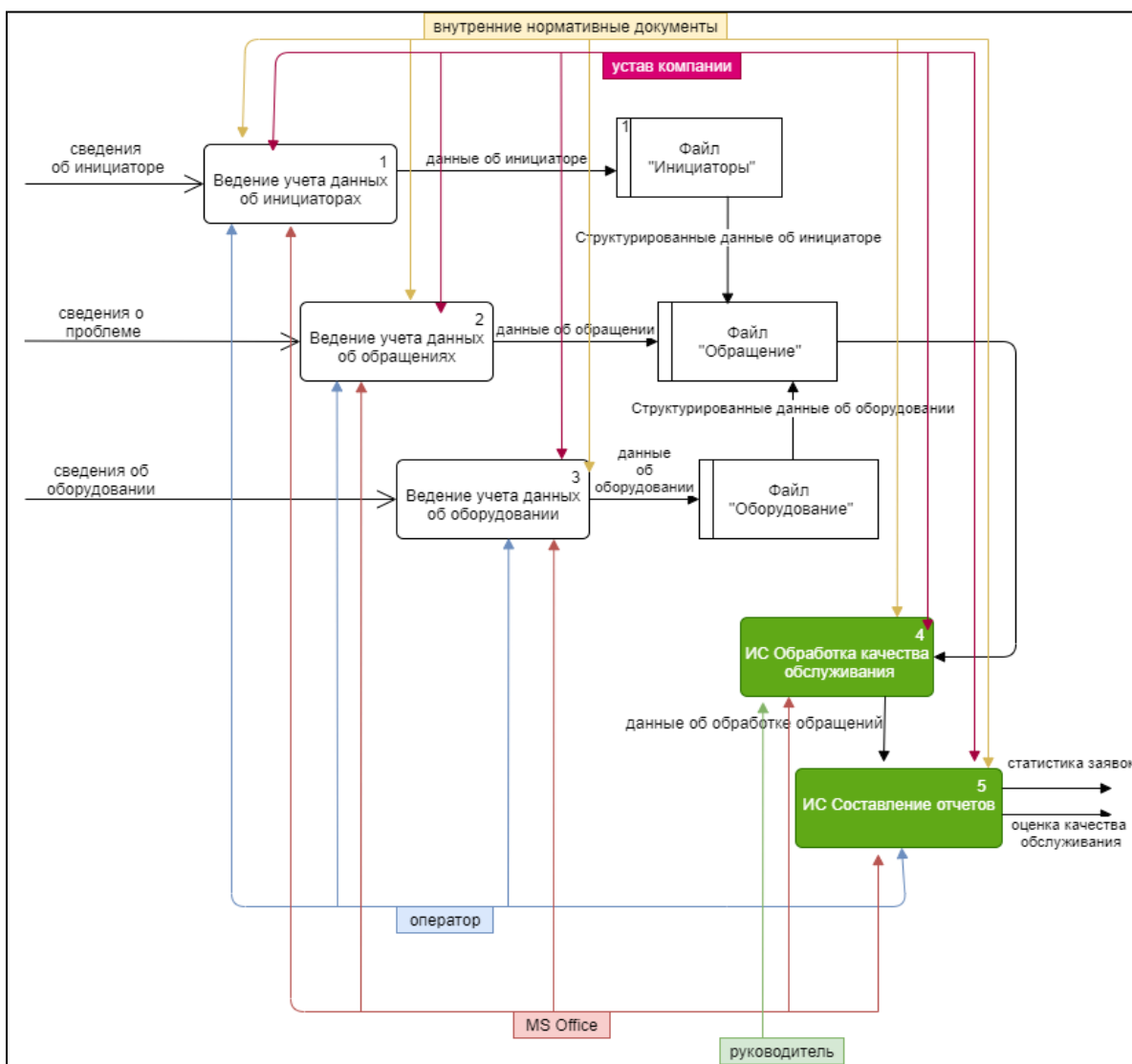
Единой точкой может быть первая линия технической поддержки или диспетчерская служба, которая обрабатывает заявки, поступающие по всевозможным каналам, от живого чата на сайте до телефона или с клиентского портала [2]. Служба Service Desk отвечает за мониторинг процесса устранения всех зарегистрированных инцидентов на линии технической поддержки. Для совершенствования качества в ИТ компании, регулярно проводятся работы для улучшения системных функций [3, 4].

В данной работе рассматривается методология нотации IDEF0, которая позволяет моделировать системные функции (работы, действия, операции, процессы), функциональные связи и данные (информацию и объекты), а также обеспечивает интеграцию системных комплексов.

К входным информационным потокам, которые поступают в процессе деятельности службы технической поддержки, можно отнести данные об инициаторе запроса, данные о проблеме (с которой инициатор запроса обращается) и данные об оборудовании (т. е. с каким оборудованием произошла проблема).

К основным недостаткам существующей организации процесса обслуживания клиентов относится отсутствие возможности (см. рисунок):

- получения обратной связи о работе оператора, специалиста по запросу;
- формирования отчета о работе оператора и специалиста;
- проведения аналитики и подведения результатов по работе специалиста.



DFD-декомпозиция процесса деятельности IT-отдела (1-й уровень)

Инструменты методологии DFD позволяют отображать источники и адресаты данных, идентифицировать процессы и группы данных, связывающие в потоки одну функцию с другой, и эффективно используются для описания процессов, так как позволяют максимально снизить субъективность описания процессов.

Таким образом, для моделирования информационных потоков службы технической поддержки, была выбрана DFD-композиция процесса деятельности IT-отдела, которая позволит улучшить работоспособность отдела, благодаря внедрению дополнительных модулей: модуля по Обработке качества обслуживания и модулю Составления отчетов, что благоприятно скажется на работе отдела в целом и мониторинге качества оказываемых услуг.

Качество обслуживания – это интегральный показатель, охватывающий совокупность параметров (количество выполненных запросов, длительность цикла обслуживания, время ожидания ответа и другие).

Для оптимизации состава профильных специалистов по оказанию специальных сервисных услуг разработана программа для автоматизации процесса анкетирования сотрудников IT компании [5].

Постоянное и непрерывное улучшение качества становится долгосрочной стратегией развития организаций в целях достижения ими долгосрочного успеха.

### **Источники**

1. Официальный сайт компании ICL [Электронный ресурс]. URL: <https://www.icl.ru/company/> (дата обращения: 10.09.2021).
2. ICL Services [Электронный ресурс]: сайт. URL: <https://icl-services.com/> (дата обращения: 10.09.2021).
3. Давлетшина Л.А., Будникова И.К. Задачи сетевого обслуживания службы предоставления IT-услуг // Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. 2020. № 1 (19). С. 76–78.
4. Давлетшина Л.А., Будникова И.К. Совершенствование качества обслуживания клиентов IT-сервиса // Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. 2020. № 3 (21). С. 71–74.
5. Автоматизация процесса анкетирования сотрудников IT компании: ПрЭВМ 2020666568 Рос. Федерация № 2020666020; заявл. 08.12.2020; опубл. 11.12.2020.

## ОПЫТ ПОСТРОЕНИЯ СОВРЕМЕННОЙ ПониЗИТЕЛЬНОЙ ПОДСТАНЦИИ В РАМКАХ РЕАЛИЗАЦИИ КОНЦЕПЦИИ «ИНДУСТРИЯ 4.0» В ПАО «ММК»

В.Э. Завалишин<sup>1</sup>, И.Д. Карнаухов<sup>2</sup>, Т.Б. Шакшакпаев<sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup>ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г. И. Носова», г. Магнитогорск  
<sup>1,2,3</sup>ПАО «ММК», г. Магнитогорск  
zero777\_11@mail.ru,

Рассмотрены основные особенности и этапы построения «цифровых подстанций» на базе стандартов серии МЭК 61850. Изложен опыт ПАО «ММК» по реализации концепции «Индустрия 4.0» при автоматизации внутривозводских систем электроснабжения и высоковольтных понизительных подстанций.

**Ключевые слова:** цифровая подстанция, МЭК 61850, индустрия 4.0, уровень подстанции.

Одним из перспективных направлений развития современной электроэнергетики является применение цифровых устройств релейной защиты, противоаварийной автоматики и телемеханики, систем коммерческого учета и контроля качества электроэнергии, которые интегрируются в единую автоматизированную систему управления электроснабжением (АСУЭ). Повсеместно начинается массовое внедрение решений класса «цифровая подстанция», основанных на стандартах серии МЭК 61850 и реализуются технологии управления «интеллектуальными» электрическими сетями.

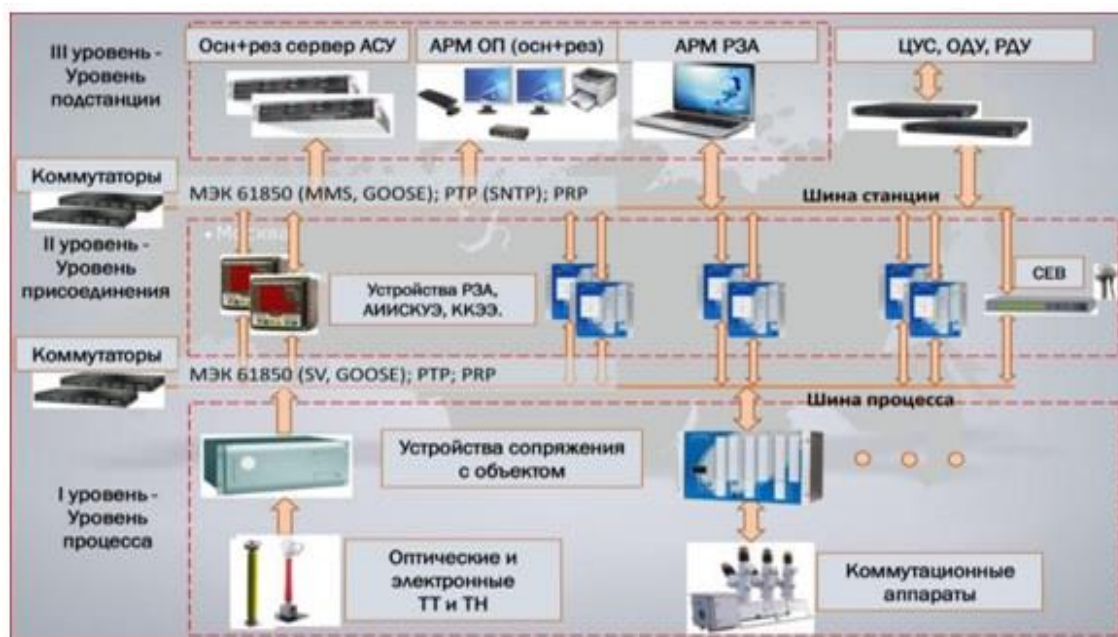
Потенциальные инвесторы смогут получать прибыль после внедрения таких технологий за счет сокращения числа аварий на подстанциях, оптимизации эксплуатационных затрат на оборудование и его обслуживание, а также экономии электроэнергии при оптимизации процессов электроснабжения.

Цифровой подстанцией (ЦПС) принято называть электроустановку, где все информационные связи между блоками подстанции являются цифровыми, а получение информации ведется при помощи волоконно-оптических приборов – оптических измерительных трансформаторов тока (напряжения) (см. рисунок).

В ПАО «ММК» в настоящее время активно идет процесс внедрения концепции «Индустрия 4.0», что отражается на структуре новых объектов электроснабжения, возводимых на предприятии. Одним из характерных



примером является подстанция №54, на которой присутствуют элементы цифровой подстанции. Однако уровень процесса остался традиционным, с установкой классических трансформаторов тока и напряжения, тогда как на уровне присоединения и уровне подстанции произошел переход от каналов передачи данных стандарта *RS-485* с протоколами *ModBus*, *SPABus* и т.п. к среде *Ethernet* и универсальному протоколу МЭК-61850.



Структура цифровой подстанции

На присоединениях подстанции установлены терминалы *SEPAМ*, интегрирующие в себе всю информацию по присоединению и реализующие функции релейной защиты и телемеханики. Контроллер подстанции получает текущие данные с терминалов по протоколу МЭК-61850, обрабатывает их в соответствии с логикой технологического процесса, выполняет функцию хранения архивных данных по всем объектам, событиям и измерениям подстанции. Также контроллер предоставляет графический интерфейс для станций *HMI* в формате «тонкого клиента» и реализует ряд дополнительных функций.

Таким образом, для полного перехода к формату цифровой подстанции остается изменить уровень процесса в соответствии со стандартом «Индустрии 4.0». Опыт наладки, взятия в работу и дальнейшей эксплуатации подстанции №54 показал преимущества использования «цифровизированных» элементов по сравнению с используемыми до сих пор типовыми решениями стандартов предыдущего поколения.

Применение новых технологий и специализированного ПО при построении новых подстанций «с нуля» позволит сократить затраты на проектирование в среднем на 10–15 %, на пуско-наладку 3–5 %, на монтаж 30–50 %, а стоимость эксплуатации – на 15–20 %. Таким образом, курс на цифровизацию подстанций можно считать экономически оправданным и перспективным.

### **Источники**

1. Современные проблемы и перспективы формирования модели управления энергохозяйством на предприятиях горно-металлургического комплекса / А.Н. Шеметов [и др.] // Электротехнические системы и комплексы. 2016. № 4 (33). С. 41–48.

2. Аношин А.О., Головин А.В. Протоколы связи в электроэнергетике и предпосылки для разработки МЭК-61850 // Новости Электротехники. 2012. № 3 (75). С. 20–23.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ЛИСТОВОГО МЕТАЛЛА В ПРОГРАММЕ AUTODESK INVENTOR PROFESSIONAL

Зиангиров А.Ф., Фархутдинов М.М.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия  
zinaydar@mail.ru, mansur.f@mail.ru  
Науч. рук. доц. Хамитова Д.В.

Рассмотрен процесс проектирования изделий из листового металла в программе Autodesk Inventor Professional, а также представлен результат работы над студенческим проектом по моделированию выдувной машины для экюваты.

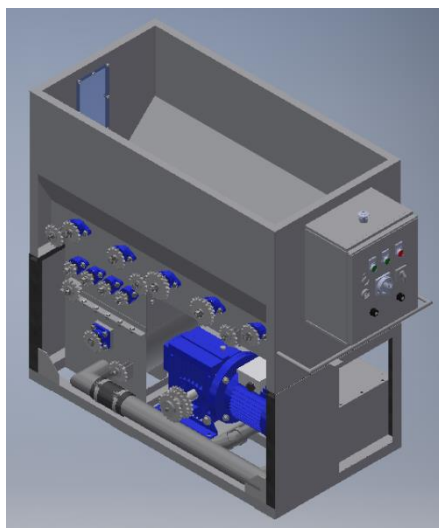
**Ключевые слова:** листовой металл, гибка, однопользовательский проект.

Конструкции из листового металла используются во многих областях (в автомобильной промышленности, приборостроении, конструировании корпусов машины). И все эти области постоянно нуждаются в высококачественных металлических листовых изделиях, которые в свою очередь должны соответствовать всем современным требованиям. Изготовлением изделий из листового металла по чертежам занимаются предприятия по металлообработке.

Варианты оформления изделия из металлического листа очень много. Но несмотря на это нельзя в проектировании опираться на одно только визуальное предпочтение. Существенное ограничение в выборе дизайна вносит такое понятие как технологичность и этим критерием нельзя пренебрегать. Грамотный и опытный дизайнер должен выбрать наиболее оптимальный вариант и создать спецификацию для любого типа листового металла. Для создания чертежей таких изделий применима программа проектирования Autodesk Inventor Professional.

Проектирование детали из листового металла начинается с создания нового однопользовательского проекта под названием «Листовой металл». Для этого используем кнопку «Создать» и в диалоговом окне выбираем «ЛистMat.ipt». Откроется среда для 3D моделирования, но в ленте будет доступна дополнительная вкладка «Листовой металл» [1]. Перед тем как создать листовой материал необходимо создать 2D эскиз, далее по нему «выдавливается» лист при помощи инструмента «Грань». Затем можно приступить к процессу гибки. В ленте «Листовой металл» выбираем инструмент «Сгиб» и откроется диалоговое окно, где можно указать ребро, подвергаемое процессу гибки, его радиус и угол, а также направление сгиба. После введения всех необходимых данных нажимаем кнопку «ОК».

Проектирование листового металла довольно сложный процесс. Необходимо знать характеристику материала, чтобы он мог в дальнейшем выполнять свои заданные функции. Также необходимо произвести различные расчеты (расчет прочности и силовых нагрузок) [2]. Все эти шаги были проделаны при работе над студенческим проектом по моделированию выдувной машины для экваты (см. рисунок), где большая часть корпуса сделана из листового металла с применением сгиба.



Выдувная машина для экваты

Главным преимуществом работы в среде «Листовой металл» является то, что после моделирования листового металла со сгибами возможна его обратная развертка для последующего создания чертежа, где необходимо указать его габаритные размеры до процесса его деформирования. Это удобно для тех, кто будет сгибать данный листовый материал на станках по данному чертежу, где будут указаны расстояния и размеры линий сгиба.

### Источники

1. Алиева Н.П., Журбенко П.А., Сенченкова Л.С. Построение моделей и создание чертежей деталей в системе Autodesk Inventor. М.: ДМК Пресс, 2011. 112 с.

2. Проектирование деталей из листовых металлов в Autodesk Inventor [Электронный ресурс]. URL: <https://autocad-lessons.ru/proektirovanie-detalej-iz-listovykh-metallov-v-autodesk-inventor/> (дата обращения: 14.09.2021).

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ В СФЕРЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Т.А. Кудрявцев  
ФГБОУ ВО «СамГТУ»  
kudryavtsev.t.a@mail.ru

Многие с VR-технологиями уже знакомы давно, их применение можно наблюдать в различных сферах, в том числе и в развлекательно-игровой индустрии. Но то, что система виртуальной реальности является серьёзным инструментом и может эффективно применяться в довольно крупных отраслях, например в электроэнергетике, известно немногим. При помощи данной технологии можно отработать систему безопасности и воспроизвести любые штатные и нештатные процессы для обучения и тренировки сотрудников.

**Ключевые слова:** электроэнергетика, обучение персонала, VR-технологии, виртуальная реальность, иммерсивное обучение, VR-тренажер, иммерсивные технологии, перспективы виртуальной реальности, инновации, моделирование

Цена малейшей ошибки в энергетической отрасли может быть невероятно велика. Для минимизации рисков, следует особое внимание уделять подготовке кадров для работы в заданной отрасли. Теоретические знания важны, но без хорошей практики они не представляют особой ценности.

Способствовать решению данной проблемы могут технологии виртуальной реальности (VR-технологии). С помощью этой системы можно создать надежный и эффективный тренажер, при помощи которого можно легко спроецировать любую ситуацию и отработать порядок действий для решения всех возможных проблем [1].

Технологии виртуальной реальности относятся к иммерсивному обучению, т. е. обучению, создающему «эффект присутствия» с использованием технических устройств. Спектр применения VR-технологий очень широк, так как данные технологии могут применяться для обучения всех возрастных групп [2].

Такие технологии обладают рядом существенных преимуществ, но и не лишены недостатков, которые ограничивают широкое распространение.

Среди преимуществ можно выделить: полное погружение в процесс обучения, «эффект присутствия»; наглядность и яркость ощущений; интерактивность; облегчение понимания и упрощение восприятий; использование зрительных и слуховых каналов восприятия; использования

вестибулярного аппарата; возможность упрощенного восприятия сложных объектов; возможность масштабировать, вращать, собирать и разбирать на составные элементы сложные объекты; возможность проводить групповую работу и взаимодействие; возможность многократного повтора информации и тренировки навыков для полного усвоения.

Среди недостатков можно отметить такие факторы как: дороговизна создания контента; затраты на использование лицензионного ПО; относительно высокая цена шлемов виртуальной реальности; нагрузка на глаза и вестибулярный аппарат [3].

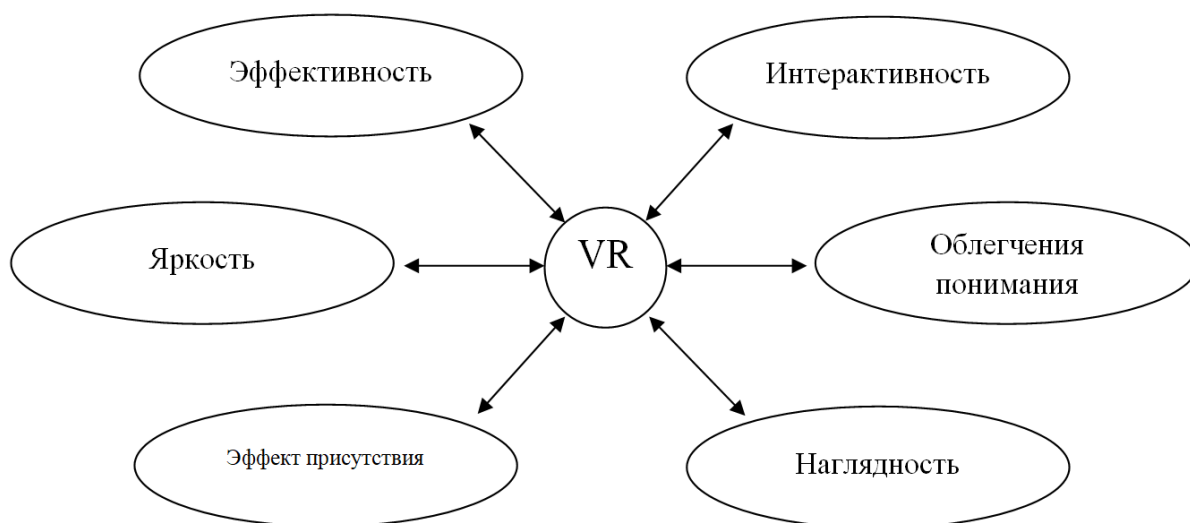


Схема преимущества технологий виртуальной реальности

Одним из востребованных направлений для крупных промышленных предприятий является охрана труда и промышленная безопасность, поведение сотрудников при чрезвычайных ситуациях для их предотвращения в реальной жизни, уменьшение количества производственных травм и числа пострадавших на производстве. Погружение в реальную рабочую среду конкретного предприятия, ознакомления с факторами риска, моделирование чрезвычайных ситуаций позволяют работнику лучше понять всю степень угрозы с помощью VR-технологий и определить правильные алгоритмы поведения, риски воздействия и их последствия [4].

Проанализировав мировой опыт использования систем виртуальной реальности, можно отметить, что серьезные энергетические компании стран Европы, Азии давно оценили пользу применения VR-технологий. Они успешно используют системы виртуальной реальности для подготовки кадров и создания выставочных комплексов. Один из примеров – в шотландском округе Файф начала работу лаборатория по подготовке кадров для ветроэнергетики. Там была сделана виртуальная проекция реальных

установок. Студенты и сотрудники, проходящие стажировку, могут проводить осмотр турбин, используя симуляцию. В таких условиях снижаются риски, и появляется возможность отработки навыков и знаний. При этом, нельзя не сказать о значительной экономии средств при использовании виртуальных тренажеров, вместо обучения на действующем оборудовании [1].

Рассмотрим перспективы внедрения технологии виртуальной реальности в процесс обучения центров по подготовке персонала ПАО «Транснефть». На данный момент, в учебном центре имеется единственный тренажер ЗРУ 6 10кВ для отработки навыков оперативных переключений в электроустановках. По данной программе обучается персонал с разных нефтеперекачивающих станций, соответственно, с опытом эксплуатации электроустановок разных типов, конструкций и производителей. Это и является основной сложностью в процессе обучения. Также, нет полноценной возможности отработки внештатных аварийных ситуаций. А период пандемии показал неготовность качественно проводить практическое обучение в дистанционном формате. Решением таких проблем могут стать технологии виртуальной реальности, которые позволят моделировать различные объекты и ситуации, исходя из нюансов обучения. А также, смогут улучшить практические занятия при дистанционном обучении.

### **Источники**

1. Как VR-технологии используют в электроэнергетике [Электронный ресурс]. URL: <http://digitalrus.online/2019/04/01/как-vr-технологии-используют-в-энергети/> (дата обращения: 19.09.2021).
2. Степанов В. Главное в VR/AR сегодня: новые тенденции и иной взгляд на устоявшиеся тренды [Электронный ресурс]. URL: <http://ict.moscow/news/vr-ar-trends/> (дата обращения: 19.09.2021).
3. Степанов В. Примеры использования VR [Электронный ресурс]. URL: <https://varwin.com/ru/cases/> (дата обращения: 19.09.2021).
4. Бурлецкий А. Виртуальная реальность и цифровая трансформация. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.transneft.ru/pressReleases/view/id/13201/> (дата обращения: 19.09.2021).

## ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ 0,4–20 кВ

В.А. Листюхин<sup>1</sup>, Е.А. Печерская<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВПО «ПГУ», г. Пенза

Vladyan4iklir@yandex.ru,

Описывается информационно-измерительная система контроля параметров воздушных линий электропередачи распределительных электрических сетей 0,4–20 кВ (ИИС). Проведён анализ показателей аварийности и надёжности распределительных электрических сетей. Обоснована актуальность внедрения ИИС на объекты электросетевого хозяйства. Описана структура и функционал, предъявляемый к разрабатываемой ИИС.

**Ключевые слова:** воздушные линии электропередачи, электрические сети, цифровизация, информационно-измерительные системы, диагностика оборудования

На сегодняшний день в Российской Федерации эксплуатируются распределительные воздушные линии электропередачи (ВЛ) номинальным напряжением 0,4–20 кВ общая протяженность которых варьируется от 800 тыс. км до 1 млн км [3]. Основными задачами функционирования ВЛ 0,4–20 кВ являются [2]:

1. Обеспечение установленных уровней качества оказываемых услуг (SAIDI и SAIFI) и качества электрической энергии, поставляемой потребителям.

2. Сокращение потерь электрической энергии в распределительных электрических сетях.

3. Развитие наблюдаемости распределительной электрической сети обслуживающим персоналом.

4. Обеспечение качественного автоматического регулирования напряжения, в том числе применение на участках максимально удалённых от центров питания, за счёт применения накопителей энергии.

5. Развитие интеллектуальных систем учёта электрической энергии в распределительных сетях 6–20 кВ.

На рис. 1 представлен анализ показателей аварийности воздушных линий электропередачи распределительных сетей 0,4–20 кВ.

На рис. 2 представлен анализ причин аварий на воздушных линиях электропередачи распределительных сетей 0,4–20 кВ.



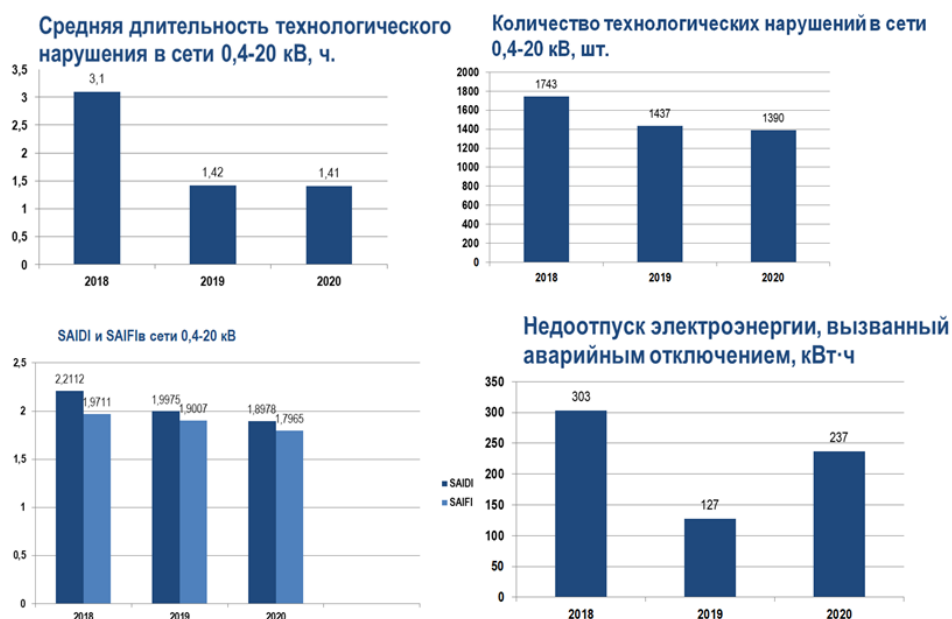


Рис. 1. Анализ показателей аварийности воздушных линий электропередачи распределительных сетей 0,4–20 кВ

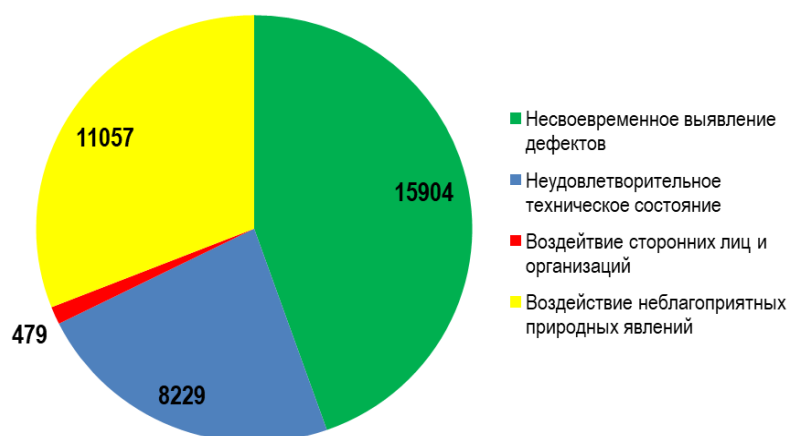


Рис. 2. Анализ причин аварий на воздушных линиях электропередачи распределительных сетей 0,4–20 кВ

Основываясь на статистических данных, представленных на рис. 1 и 2, в целях снижения высокого уровня аварийности в распределительных электрических сетях предлагается разработать информационно-измерительную систему контроля параметров ВЛ. В процессе эксплуатации ВЛ ИИС будет производить контроль следующих параметров:

- отклонение стрелы провеса провода;
- значение температуры окружающего воздуха и скорости воздушных потоков;
- индикация места короткого замыкания (КЗ) в сети (для всех видов КЗ).

Конструктивно устройство представляет датчик, в который интегрированы: лазерный дальномер, термоанемометр, индикатор КЗ (ИКЗ) и GSM модуль.

Принцип работы данного устройства реализуется на измерении расстояния от провода до земли лазерным датчиком расстояния (дальномером). Параллельно производится измерение скорости ветра и температуры окружающего воздуха, а также контроль направления токов КЗ в сети. Результаты измерений в режиме реального времени через встроенный в измерительное устройство GSM модуль передаются на диспетчерский пункт, где производится обработка данных в нейро-нечётком контроллере. На основе входных значений в нейро-нечётком контроллере производится анализ данных и оповещение оперативного персонала о режиме работы контролируемого объекта [1].

Установка устройства производится непосредственно на токоведущих частях (проводах) ВЛ, в месте наименьшего провеса провода (центр пролёта опор).

Основным требованием, предъявляемым к разрабатываемому устройству, является бесконтактный способ питания устройства – питание «паразитным» методом (питание от электромагнитного поля провода).

Внедрение данной ИИС на электросетевые объекты позволит решить ряд эксплуатационных задач [2]:

- минимизация времени перерыва электроснабжения потребителей;
- минимизация времени поиска места повреждения;
- сокращение аварийных коммутаций выключателями, разъединителями и другими коммутационными аппаратами;
- определение объёма ремонтов за счёт выявления дефектов на ранних стадиях его образования;
- повысить уровень оперативно-технологического управления распределительными электрическими сетями;
- снижение показателей аварийности на воздушных линиях электропередачи распределительных сетей энергосистемы Пензенской области.

### **Источники**

1. Власенко С.А., Тряпкин Е.Ю. Элементы автоматизированных устройств: учеб. пособие. Хабаровск: Изд-во. ДВГУПС, 2015. 89 с.
2. Концепция «Цифровая трансформация 2030». М.: ПАО «Россети», 2018. 31 с.
3. Савоськин Н.Е. Надежность электрических систем: учеб. пособие. Пенза: Пенз. гос. ун-т, 2004. 102 с.

## **ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ В ПРОЦЕСС ПОДГОТОВКИ ОПЕРАТИВНОГО ПЕРСОНАЛА ПРЕДПРИЯТИЙ ЭЛЕКТРОСЕТЕВОГО ХОЗЯЙСТВА**

Е.А. Маслов

ФГБОУ ВО «СамГТУ», г. Самара

Самарское ПО филиала ПАО «МРСК Волги» – «Самарские РС», г. Самара

egor-maslov-1997@mail.ru

Подход к подготовке оперативного персонала морально устарел и строится, преимущественно, на теоретической подготовке по правилам охраны труда, правилам устройства электроустановок и правилам технической эксплуатации. Время подготовки оперативного персонала занимает необоснованно длительное время, которое возможно сократить применением технологий виртуальной реальности.

**Ключевые слова:** виртуальная реальность, оперативный персонал, оперативные переключения, программа подготовки.

Подготовка оперативного персонала для работы в действующих электроустановках является неотъемлемой частью трудового процесса электромонтеров и инженеров в любой организации, эксплуатирующей распределительное электрооборудование. Однако, применяемые в данное время методы и средства постепенно устаревают в условиях быстрого развития науки и техники. Помимо теоретических знаний, получаемых персоналом, проходящим подготовку на рабочем месте в виде стажировки, требуется получение практических навыков. Их возможно получить лишь непосредственно на объекте электроэнергетики. В условиях постоянной работы оборудования, это является весьма проблематичной задачей. Ввиду наличия опасных производственных факторов на станциях, подстанциях и распределительных пунктах, получение практических навыков оперативным персоналом, не допущенным к производству оперативных переключений, возможно только на отключенном электрооборудовании или на имеющихся на предприятии тренировочных стендах [1], однако, хоть подобный опыт и является полезным, он не может полностью компенсировать опыт, получаемый при производстве реальных переключений. Таким образом, получение реальных практических навыков оперативным персоналом может затягиваться на весьма длительный и неопределенный срок. Причем, это время определяется, преимущественно, особенностями эксплуатируемой электроустановки.

Но данная удручающая картина может значительно преобразиться при внедрении технологий виртуальной реальности в процесс подготовки оперативного персонала. Работники смогут получать практический опыт работы в электроустановке еще до того, как получат группу допуска по электробезопасности. Таким образом, процесс получения практических и теоретических знаний становится взаимно независимым, а время подготовки оперативного персонала должно значительно сократиться ввиду реалистичной симуляции производственной деятельности [2]. Персонал сможет взаимодействовать с опасными производственными факторами, находясь в полной безопасности за пределами электроустановок. Плюсы внедрения данной технологии очевидны:

- получение практического опыта в полной безопасности, независимо от теоретических знаний;
- проведение противоаварийных тренировок в окружении, максимально приближенном к реальному;
- возможность воздействия на органы управления электрооборудованием без риска для жизни и здоровья людей и повреждения электроустановок;
- возможность полного и досконального контроля подготовки персонала ответственными работниками предприятия.

Однако, важно уделить пристальное внимание и минусу данной технологии. Обучение персонала с помощью виртуальной реальности значительно ускорит притупление чувства опасности ввиду того, что обучение переходит в игровую форму, а даже у самых критичных ошибок не будет реальных последствий.

Стоит отметить, что уже есть предприятия, где данная технология уже внедрена и проявляет себя только с лучших сторон. Так, например, АО «ОХК «УРАЛХИМ» внедрило систему виртуальной реальности в программу подготовки оперативного персонала еще в 2020 г.

### **Источники**

1. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок [Электронный ресурс]. URL: <https://tk-expert.ru/uploads/files/ntd/ntd-848-20210304-113101.pdf> (дата обращения: 11.09.2021).

2. Crosincor. VR-тренажер для обучения электромонтёров в Пермском «УРАЛХИМ» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.uralchem.ru/> (дата обращения: 11.09.2021).

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КАНАЛОВ GSM В КАЧЕСТВЕ РЕЗЕРВНЫХ КАНАЛОВ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ДЛЯ ОПЕРАТИВНО-ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ**

Л.И. Махмутова

Филиал АО «СО ЕЭС» Башкирское РДУ, г. Уфа

Makhmutova-li@rb.so-ups.ru

Наличие канала передачи данных между подстанцией и диспетчерским центром критически важно. В основном, персонал на подстанциях отсутствует, поэтому управление энергообъектом осуществляется дистанционно, а при неисправности основного оборудования своевременная достоверная информация позволяет максимально быстро установить причину и принять меры. В качестве основного и резервного каналов телемеханики используются проводные каналы связи, которые при физическом отказе требуют много времени для восстановления. Возникает вопрос использования в качестве резервного канала беспроводной технологии передачи данных, которая обеспечивала бы такую же надежную связь. Рассматривается технология GSM в качестве резервного канала связи. Произведена оценка зоны покрытия GSM, возможность обеспечения бесперебойной работы канала связи, анализ потенциального увеличения надежности в будущем.

**Ключевые слова:** канал передачи данных, телемеханика, GSM, беспроводная связь, сотовая связь.

Одним из основных факторов, обеспечивающих функционирование современной энергосистемы, является построение надежной сети связи.

Для организации каналов передачи данных в электроэнергетике используются ВЧ-каналы, ВОЛС, спутниковая связь, РРЛ, Wi-Fi и т. п.

В основном для организации каналов передачи данных и голоса используется ВЧ-канал связи. Приемопередатчики ВЧ-канала связи обычно устанавливаются по концам линий электропередач на территории подстанций и это очень удобно и выгодно организации, так как в качестве среды передачи используется провода и кабели высоковольтных линий электропередачи, которые уже есть в наличии, а значит требуется меньше финансовых затрат, чем при использовании ВОЛС. Однако, при аварийных ситуациях, связанных с неисправностью линий электропередач и на самих подстанциях, данный вид связи может отсутствовать. Появляется необходимость наличия альтернативного канала связи, который менее подвержен физическим влияниям.

К беспроводным каналам связи относятся: инфракрасный канал, спутниковая связь, Wi-Fi и GSM.

Инфракрасный канал передачи данных нечувствителен к различным видам помех, в том числе к электромагнитным помехам. Поэтому данный канал используется в производственной среде. Из недостатков инфракрасного канала можно выделить высокую стоимость приемо-передающего оборудования, а также низкие скорости передачи. Как известно, все инфракрасные каналы связи используют инфракрасные лучи для передачи данных. В данной системе есть необходимость генерации очень сильного сигнала, так как на него оказывают влияние другие источники, например, окна, так же возникают трудности при передаче сигналов на расстояние более 30 м.

Спутниковая связь имеет низкую помехоустойчивость и подвергается воздействию атмосферы, а на её качество сильно влияют эффекты в тропосфере и ионосфере, что вызывает эффекты поглощения и затухания сигнала.

Таким образом, в условиях городской среды инфракрасный и спутниковый каналы связи не подходят для организации каналов передачи данных. Далее рассмотрим Wi-Fi и GSM. Имеет ли одна из них какие-либо весомые преимущества перед другой?

На самом деле, у каждой из этих технологий есть свои преимущества и свои ограничения. Сетям Wi-Fi посвящена группа стандартов IEEE 802.11. Самый современный из них – стандарт IEEE 802.11ax – позволяет обеспечить скорость передачи данных до 11 Гбит/с. Сотовая связь использует те же способы увеличения пропускной способности. Однако, при организации радиомоста по Wi-Fi потребуются два блока (цена удваивается), а при организации моста по 2G – один блок, второй уже есть у провайдера сотовой связи. Отсутствует необходимость использования 3G и 4G, так как скорость 256 кбит/с, которую предоставляет 2G, является достаточной для передачи данных с подстанций.

Возникают вопросы, связанные с надежностью и качеством такого канала связи.

Качество связи – это величина комплексная, зависящая от многих составляющих. Все эти составляющие характеризуются своими показателями. Показатели вводятся регулятором связи (Минсвязи РФ) в виде Руководящих Документов или в виде Приказов, и все операторы связи должны постоянно контролировать эти показатели и не допускать их ухудшения.

Зона обслуживания представляет собой всю географическую область, в которой абонент может получить доступ к сети. Известно, что GSM обеспечивает наилучшую зону покрытия по сравнению сетями 3G.

Существуют «проблемные» географические зоны, которые можно выявить путем замеров, не перекрываемые сетями операторов связи. Имея карту «проблемных» зон города, в целом можно организовать переключение потока данных между сетями операторов связи, основываясь на уровне сигнала от базовой станции и времени суток, увеличив тем самым надежность канала связи и целостность информации, передаваемой в распределенной телекоммуникационной среде.

Если даже подстанция находится не в «проблемной» зоне, может возникнуть проблема, которая связана с неисправностью на базовой станции (БС) оператора, к примеру, она обесточена. Если даже оператор, в основном, предоставляет качественную сотовую связь, то данный случай не будет зависеть от оператора, как и действие возможных стихийных бедствий.

Наличие канала передачи данных между подстанцией и диспетчерским центром критически важно. В основном, персонал на подстанциях отсутствует, поэтому управление объектом осуществляется дистанционно, а при неисправности основного оборудования своевременная достоверная информация позволяет максимально быстро установить причину и принять меры.

Для решения данной проблемы можно использовать 2 SIM-карты разных операторов для передачи данных и автоматическое переключение между ними при отсутствии связи по одному из каналов. Сетевое оборудование должно автоматически определять потерю соединения на одном операторе и переключаться на резервную. Для этого маршрутизатор может периодически при помощи команды ping проверять на наличие соединения заданные хосты.

По данным операторов сервисы 2G в нашей стране будут поддерживаться еще много лет, поскольку до сих пор активно используется в части передачи голоса и имеет наибольшее покрытие по всей стране. Качество сотовой связи с каждым годом растет, строятся новые базовые станции, находятся новые решения по обеспечению бесперебойной связи.

При исследовании качества канала связи используются новейшие методики оценки, что позволяет построить карту проблемных зон покрытия, которая в будущем позволяет избежать проблем по потере связи.

Таким образом, использование GSM, в качестве канала передачи данных, облегчает задачу обслуживания, организации данного канала. При неисправности достаточно будет передать проблему оператору сотовой связи и проверить свое абонентское оборудование. Так же легко производить любые настройки канала, следить за балансом, просмотреть статистику использованного трафика и в дальнейшем выбрать подходящий тариф через личный кабинет абонента.

### **Источники**

1. Бернгард Скляр. Цифровая связь: Теоретические основы и практическое применение. 2-е изд. М.: Вильямс, 2016. 1099 с.
2. Самовозбуждение и самораскачивание в электрических системах: учеб. пособие / В.А. Веников [и др.]. – М.: Высшая школа, 1964. 198 с.
3. Бабков В.Ю., Вознюк М.А., Михайлов П.А. Сети мобильной связи. Частотно-территориальное планирование: учеб. пособие для вузов. 2-е изд., испр. М.: Горячая линия-Телеком, 2018. 224 с.
4. Волков А.Н., Рыжков А.Е., Сиверс М.А. UMTS. Стандарт сотовой связи третьего поколения. СПб: Изд-во «Линк», 2008. 222 с.



## РАЗРАБОТКА ВОПРОСНО-ОТВЕТНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ BERT-МОДЕЛИ С ПРИМЕНЕНИЕМ NLP-ТЕХНОЛОГИЙ

К.И. Миргаязов

ФГБОУ ВО «КНИТУ», г. Казань

mirgayazow2014@yandex.ru

Предложена вопросно-ответная система с поддержкой двуязычности на базе BERT-модели, использующая NLP-технологии. Система представляет собой программное обеспечение, построенное на основе клиент-серверной архитектуры, которое способно отвечать на вопросы по имеющейся базе знаний на естественном языке, с помощью машинного обучения. Представлены результаты взаимодействия с системой на русском языке.

**Ключевые слова:** BERT, NLP, машинное обучение, вопросно-ответная система, клиент-серверная архитектура.

Искусственный интеллект (ИИ) меняет мир вокруг нас. Этот термин трудно определить даже экспертам из-за его междисциплинарного характера и развивающихся способностей. В контексте этой статьи мы определяем ИИ как компьютерную систему, которая может решать конкретную задачу с помощью определенных способностей (например, понимание естественного языка). Усиление цифровой трансформации меняет наш образ жизни в мире. С такими изменениями навыки людей должны соответствовать потребностям рынка, и в этом контексте Всемирный экономический форум определил шестнадцать навыков, называемых навыками двадцать первого века, необходимыми для будущих кадров. Сюда входят такие навыки, как технологическая грамотность, общение, лидерство, любопытность, адаптивность и другие.

ИИ играет очень важную роль в том, как мы обучаем и осваиваем эти новые навыки [1]. С одной стороны, ИИ в образовании может значительно автоматизировать и помочь отслеживать прогресс учащегося во всех этих навыках и определять, где больше всего требуется помощь учителя-человека. Для учителей ИИ в образовании потенциально может быть использован для определения наиболее эффективных методов обучения, основанных на условиях и образовательном опыте учащихся. Он может автоматизировать монотонные рабочие задачи, генерировать оценки и автоматизировать выставление оценок. ИИ влияет не только на то, что студенты изучают с помощью рекомендаций, но и на то, как они учатся, какие пробелы присутствуют в их обучении, какие педагогические методы более эффективны и как удерживать внимание учащихся.

Крайне важно, что достижения ИИ в образовании полностью зависят от качества доступных данных об учащих, что было давней проблемой для компаний в сфере образовательных технологий, по крайней мере, до пандемии. Появление и распространение Covid в 2019 году по всему миру подтолкнуло образовательные учреждения к онлайн обучению. Этот сдвиг начал генерировать огромные объемы данных для компаний в сфере образовательных технологий, на основе которых они могут создавать системы искусственного интеллекта.

Одним из направлений использования искусственного интеллекта в образовании является разработка вопросно-ответных систем (QA-систем). Несмотря на то, что ни одна QA-система не может по-настоящему заменить преподавателя, инструменты искусственного интеллекта могут помочь учащимся отточить свои навыки и устранить слабые места за пределами ВУЗа.

Вопросно-ответные системы основаны на технологии обработки естественных языков (NLP), поэтому запросы становятся нечеткими и возрастает число их вариаций для одного ответа [2]. Становится понятно, что QAS должна хорошо понимать естественный язык, то есть учитывать его контекст. В последние годы прорыв в этом направлении сделала модель машинного обучения разработанная «Google research» под названием BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers) [3]. Если перевести название этой модели на русский язык, то получим следующее: «Двунаправленная нейронная сеть кодировщик». Идея данной формы нейронной сети заключается в том, чтобы создать универсальную модель «понимания языка», которая будет обучена на большом текстовом материале, а затем использована для последующих задач обработки текстов на естественном языке [4].

В качестве примера применения BERT-модели разработана вопросно-ответная система по дисциплине «Базы данных». Для решения поставленной задачи выбрана клиент-серверная архитектура (рис. 1): на сервере описана логика для получения ответа на вопрос с помощью BERT-модели, а клиент предоставляет интерфейс для взаимодействия с ассистентом. Важной частью системы является хорошо подобранная база знаний по дисциплине, которая позволяет виртуальному ассистенту выдавать наиболее исчерпывающие ответы. Обучение BERT-модели осуществляли на специальном наборе обучающих данных (SQuAD) – Стэнфордский набор данных с ответами на вопросы, который содержит сто тысяч вопросов с ответами и пятьдесят тысяч вопросов без ответов.

Разработанная вопросно-ответная система позволяет задавать вопросы на русском и английском языках (рис. 2). Для решения этой проблемы задействована платформа Google Cloud [5]. Если пользователь выбрал русский язык, то система будет отлавливать введенные сообщения

и перед тем, как передавать на обработку модели, отправит эти данные сначала в облако для перевода. Так как BERT выдает ответы на английском языке, то клиентское приложение получив результаты аналогично отправит их в облако, только уже для перевода с английского на русский язык, поэтому количество обращений к «Google Cloud» равно двум за одну операцию, а к серверу – одно. В случае с английским языком прослойка в виде «Google Cloud» не требуется.

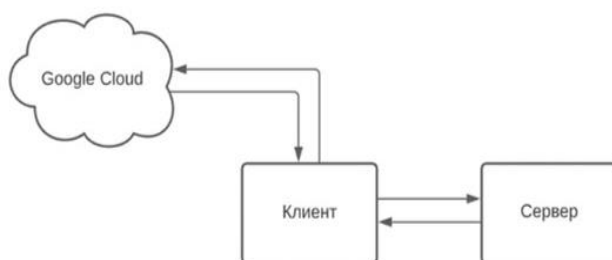


Рис. 1. Архитектура приложения

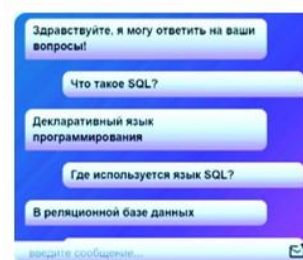


Рис. 2. Интерфейс приложения

В результате тестирования разработанной QA-системы выявлено, что: система способна обрабатывать вопросы, основанные на имеющейся базе знаний; ответы, прогнозируемые системой, чаще всего, являются короткими и реже представляют собой распространенное предложение; версия системы на английском языке отвечает немного быстрее русифицированной версии; достоверность русифицированной версии немного меньше из-за возникающих погрешностей в переводе.

### Источники

1. Применение искусственного интеллекта в высшем образовании: большие перспективы и неоднозначные последствия [Электронный ресурс]. URL: [http:// libinform.ru/ read/articles/Primenenie-iskusstvennogo-intellekta-v-vysshem-obrazovanii/](http://libinform.ru/read/articles/Primenenie-iskusstvennogo-intellekta-v-vysshem-obrazovanii/) (дата обращения: 11.09.2021).
2. Белнап Н., Стил Т. Логика вопросов и ответов. М.: Прогресс, 1981. 290 с.
3. Репозиторий моделей с официальной документацией «Google research» на «GitHub» [Электронный ресурс]. URL: <https://github.com/google-research/bert> (дата обращения: 11.09.2021).
4. Как понимать поисковые запросы еще лучше [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://blog.google/products/search/search-language-understanding-bert/>, свободный. (дата обращения: 14.09.2021).
5. Документация по API машинного перевода «Google Cloud» [Электронный ресурс]. URL: <https://cloud.google.com/translate> (дата обращения: 14.09.2021).

## ТЕХНОЛОГИИ ВИРТУАЛЬНОЙ И ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ: ВОЗМОЖНОСТИ И ПРЕПЯТСТВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ

Е.А. Сазонов

Sazonov\_egor47@mail.ru

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Сейчас проводится активное использование виртуальной и дополненной реальности в различных областях применения, выполнена оценка возможностей и препятствий применения виртуальной и дополненной реальности.

**Ключевые слова:** VR, AR, программное обеспечение, industry 4.0.

В настоящий момент виртуальная и дополненная реальность применяются в следующих сферах жизни: образование, медицина, проектирование, развлечения, маркетинг и др.

Virtual Reality (VR) – среда с заменой физического мира цифровыми данными. Взаимодействие с имитируемой реальностью происходит посредством таких интерактивных устройств как шлем и очки (Head Mounted Display, HMD) [1]. Технологии виртуальной реальности имеют потенциал в сфере образования. VR в этой сфере имеет следующие достоинства:

- практический опыт обучающихся;
- повышение уровня восприятия;
- снижение отвлекающих факторов при обучении;
- безопасность получения практических навыков работы с потенциально опасной деятельностью [2].

Также виртуальная реальность отлично показывает себя в проектировании помещений, маркетинге, искусстве. Она может показать потенциальному покупателю большинство преимуществ товара, его габариты, возможности и недостатки, которые помогут принять решение о покупке без необходимости реального осмотра продукта.

Двигателем индустрии виртуальной реальности являются массовые пользователи и конкуренция производителей за них. Для массового пользователя VR – средство развлечения. Виртуальная реальность по-новому открывает массам такие типичные развлечения как компьютерные игры и просмотр фильмов за счет эффекта полного погружения.

Производители в свою очередь благодаря конкуренции за потребителей развивают индустрию виртуальной реальности на пути к industry 4.0 за счет улучшения программного обеспечения и средств воспроизведения.

Augmented Reality (AR) – это среда с дополнением физического мира цифровыми данными, которые воспринимаются как реальные элементы жизни, она представляется как новая интерактивная технология, которая позволяет накладывать компьютерную графику или текстовую информацию на объекты реального времени. Дополненная реальность является промежуточным звеном между реальной жизнью и полной виртуальной реальностью.

AR хорошо применима для проектирования помещений благодаря наглядному представлению готового результата на имеющейся территории. С её помощью возможно точное измерение размеров объектов. Это может сильно облегчить процесс выбора и покупки стандартных бытовых предметов для дома, если будет возможность сразу увидеть, как они будут вписываться в размеры помещения. Эта технология уже используется компанией IKEA [3].

Несмотря на все возможности применения и преимущества, есть недостатки:

- недостаток качественного контента;
- несовершенство самого оборудования;
- высокая цена устройств;
- юридические проблемы [4].

С развитием и распространением технологий виртуальной и дополненной реальности данные недостатки пропадут ввиду повышения качества оборудования, его распространённости, улучшения программного обеспечения и снижение цены как следствие обогащения рынка данной продукцией [5].

Данные технологии помогают пользователю взаимодействовать с объектами исключая физический контакт.

## **Источники**

1. Пырнова О.А., Зарипова Р.С. Технологии виртуальной реальности в образовании // Приоритетные направления развития спорта, туризма, образования и науки: матер. Междунар. науч.-практ. конф. Нижний Новгород, 2021. С. 694–696.

2. Никитина У.О., Зарипова Р.С. Проблемы и перспективы применения технологий виртуальной реальности // Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. 2020. № 2 (20). С. 81–83.

3. Никитина У.О., Зарипова Р.С. Влияние виртуальной реальности на формирование личности // Социальная онтология России: сб. науч. ст. по докл. XIV Всерос. Копыловских чтений. Новосибирск, 2020. С. 468–470.

4. Иванова А.В. Технологии виртуальной и дополненной реальности: возможности и препятствия применения [Электронный ресурс]. URL: file:///D:/tehnologii-virtualnoy-i-dopolnennoy-realnosti-vozmozhnosti-i-prepyatstviya-primeneniya.pdf (дата обращения: 05.04.2021).

5. Ханбиков Ф.Р., Грачева Е.К. Потенциал Vr-реальности в маркетинге» [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/potentsial-ar-realnosti-v-marketinge/viewer> (дата обращения: 09.04.2021).

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СФЕРЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Н.Н. Фаизов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

naris.faizov@yandex.ru

Автоматизация обеспечивает надежную и устойчивую деятельность предприятий электроэнергетики, позволяет улучшить и ускорить технический процесс, благодаря наличию полной информации об оборудовании. Поэтому все больше организаций стараются автоматизировать работу энергосистемы, внедряя передовые и современные модели диспетчерского управления, что влечет за собой повышение эффективности и работоспособности предприятий и организаций.

**Ключевые слова:** системы, автоматизация, управление, АСДУ, АСУЭ.

Электроэнергетика играет важную роль в жизни людей. Обеспечивает население необходимыми ресурсами. Кроме этого электроэнергетика является крупно-отраслевой частью страны, она играет немаловажную роль в экономике. Предприятия все больше стараются автоматизировать свой рабочий процесс, пытаются внедрить современные технологии, это происходит ввиду низкого уровня надежности имеющихся устройств, незначительного КПД и больших потерь ресурсов.

Целью тезиса является рассмотрение и оценка внедрения различных автоматизированных технологий в сферу электроэнергетики.

Рассмотрим оборудование автоматизации. Автоматизированную систему делят на три уровня, взаимодействующих между собой. Первый (нижний) из них представляет собой сбор информации и управление, например, датчики, приборы, второй передает информацию на подсистемы, шкафы, счетчики, третий – своего рода программное обеспечение, установленное на серверах управления [1].

Одним из главных элементов в системе работы и управления является переключение в электрических сетях, осуществляемое диспетчером. Для надежности и своевременного принятия решений применяются современные автоматизированные системы диспетчерского управления (АСДУ). Они характеризуются своей надежностью и эффективной эксплуатацией.

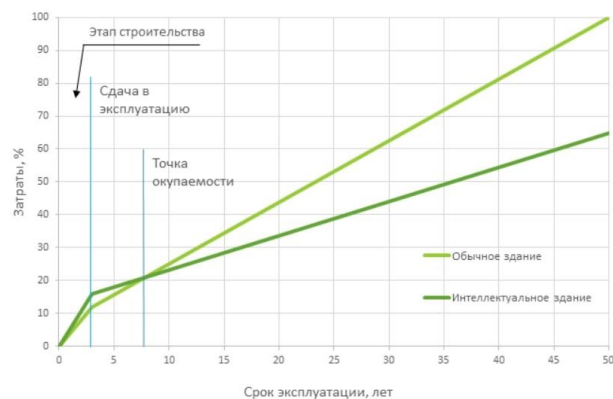


Рис. 1. Диаграмма, позволяющая убедиться в окупаемости после внедрения системы АСДУ

АСДУ позволяет реализовывать множество задач, среди которых важными являются: ведение базы данных, формирование отчетов, хранение и отображение информации с комплекса, дистанционное управление системами объекта, регистрирование аварийных сообщений [2, 3].

Существует широкий спектр приборов диспетчерского управления, например, многофункциональный электроизмерительный прибор, предназначенный для исследования в трехфазных и однофазных цепях переменного тока, частоты, активной и реактивной мощности.

Помимо этого, существуют и другие системы автоматизации, например, автоматизированная система управления электроснабжением (АСУЭ), благодаря которой предприятие способно уменьшить расходы электроэнергии при ее передаче.

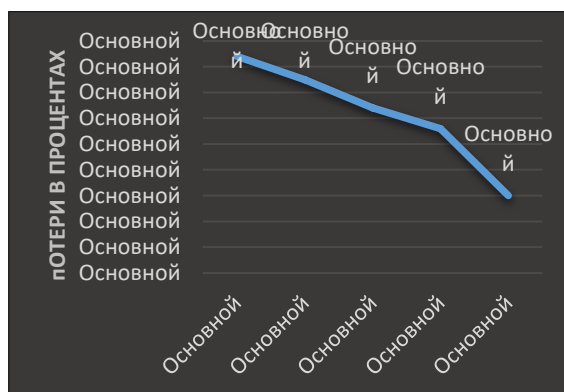


Рис. 2. Диаграмма программы перспективного развития АСУЭ российской компанией «Холдинг», показывающее уменьшение потерь электроэнергии

Внедрение и реализация данной системы управления, значительно повлияет на экономику – снизятся эксплуатационные затраты. Система поможет четко осуществлять управление нагрузкой потребителей,



обрабатывать информацию о состоянии оборудования, предупреждать о сбоях и технических авариях, круглосуточно следить за состоянием электросети [4].

Внедрение развитых автоматизированных систем и технологий значительно увеличит эффективность предприятий электроэнергетики, а также положительно отразится на экономике.

### **Источники**

1. Автоматизированная система контроля режимов электроснабжения // Надежность и качество: тр. Междунар. симпозиума. Пенза, 2007. Т. 2. С. 101–104.

2. Золоторев С.В., Кудрявцева М.Е. ISaGRAF и некоторые современные подходы к реализации функционально безопасных систем // Журнал «ИСУП». 2012. № 2 (38). С. 6–12.

3. Головкин В., Турпищев Ш.А., Рогов А.В. Автоматизированное рабочее место диспетчера электрических цепей // Вестник Астраханского государственного технического университета. 2019. № 1 (67). С. 23–29.

4. Автоматизация систем электроснабжения, электроосвещения и электрообогрева [Электронный ресурс]. URL: <http://rina.pro/npravleniya-deyatelnosti/sistemy-avtomatizacii/avtomatizaciya-elektrosnabzheniya> (дата обращения: 07.09.2021).

## СИСТЕМА СМАРТ-КОНТРАКТОВ БЛОКЧЕЙН В ОБЛАСТИ ЭНЕРГЕТИКИ

Д.И. Феоктистов  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
Feoktistov.dima@list.ru

Рассматривается возможное расширение прав и возможностей рынка энергетики в дальнейшем будущем, путём интеграции или создания блокчейн среды для использования смарт-контрактов.

**Ключевые слова:** блокчейн, электроэнергетика, смарт-контракт, цифровизация, цифровая информация.

Впервые термин смарт-контракт был введён в 1993–1996 г. Суть смарт-контракта заключается в том, что стороны прописывают в нём условия сделки и санкции за их невыполнение, ставят цифровые подписи. Умный контракт самостоятельно определяет, все ли исполнено, и принимает решение: завершить сделку и выдать требуемое (деньги, акции, недвижимость), наложить на одну из сторон штраф и закрыть доступ к активам. Самым простым примером является вендинговый автомат: выбираешь товар, опускаешь валюту, подтверждаешь и получаешь товар. Только в отличие от вендинговых аппаратов смарт-контракты в блокчейне полностью цифровые и написаны языком программирования. Средой для таких смарт-контрактов является блокчейн, который содержит в себе информацию о всех транзакциях, которые произведены в системе её участниками. В наше время понятие смарт-контракт немного видоизменилось и трактуется как компьютерный алгоритм, предназначенный для заключения и поддержания самоисполняемых контрактов, выполняемых в блокчейн-среде. С развитием цифровых технологий, смарт-контракты в блокчейне стали применяться в различных областях, таких как банковские системы, сферы страхования и государственных услуг.

В энергетике развитие технологии блокчейн началось в 2018 г. В рамках цифровизации закупочной деятельности, эта технология была использована «Газпром-Нефтью» в качестве управления цепочками поставки. Для этого были использованы специальные датчики и радиочастотные метки, которые подсоединялись к грузам. Их скорее можно сравнить с NFC-метками, которые в последнее время реализовали в некоторых смартфонах. То есть, по прохождению определённого этапа

поставки(транспортировки), смарт-контрактом фиксировалась информация (т. е. заданные условия, по их исполнению) и отражалась в блокчейне. В дальнейшем информация о складских и транспортных операциях – оприходование продукции на склад, перемещение на причал для погрузки, доставка на пункт назначения передавалась аналогичной схеме. Блокчейн обеспечил неразрывную связь физической поставки, всех сопровождающих процессов и документооборота, а также позволил всем участникам процесса получить доступ к достоверной информации в зашифрованном виде. Успешная реализация данного пилотного проекта позволила сделать выводы, что данную технологию можно использовать уже на данный момент в управлении цепочками поставок. 20 мая 2019 г. вышла в свет децентрализованная анонимная одноранговая платформа Enerchain для торговли энергоресурсами для внебиржевого оптового рынка электроэнергии без использования посредников. Разработкой занималась немецкая компания Ponton GmbH. Создатели были нацелены перевести на блокчейн весь цикл сделок и позволить всей экосистеме поставщиков услуг подключаться к платформе. Сегодня его уже поддерживают более 30 ведущих европейских энергетических торговых компаний, среди которых Enel и RWE. На данном этапе интеграция в блокчейн платформе Enerchain может собирать показания со счётчиков потребителей в онлайн режиме, таким образом, показания потребления, записанные один раз невозможно изменить или удалить. Все это полностью исключает возможность фальсификации данных компаниями-потребителями и по нашим оценкам может существенно увеличить прибыль энергосбытовых компаний. Благодаря надежной фиксации данных потребления в блокчейне, потребители, наряду с энергосбытовыми компаниями, также получают преимущества. Система автоматически анализирует и предлагает наиболее экономный тариф, данную возможность уже оценили клиенты компании. В будущем также рассматривается возможность дополнить продукт смарт-контрактами, которые позволят производить оплату электроэнергии в автоматическом режиме, без необходимости человеческого участия. Все, что нужно, это вовремя пополнять баланс.

Достоинствами системы смарт-контрактов в блокчейне являются:

- автоматизированный процесс обработки информации без личного участия с высокой скоростью обработки;
- исключено вмешательство третьих сторон в процесс сделки, данные записанные в блокчейн не могут быть изменены;
- в случае невыполнения одного из условий сделки одной из сторон, другая сторона будет защищена условиями интеллектуального договора;
- высокая точность выполнения контрактов;

Вроде бы всё на первый взгляд прекрасно, но ничто не идеально, и потому, даже у такой системы есть недостатки:

- отсутствие регулирования. В международно-правовой области отсутствуют концепции «blockchain», «умный контракт» и «криптовалюты»;

- сложность реализации. Интеграция интеллектуальных контрактов с элементами реального мира часто занимает много времени, денег, и усилия;

- невозможность изменения интеллектуального контракта. Если стороны достигают более выгодного соглашения или возникают новые факторы, они не смогут изменить контракт. По этой причине варианты дополнительных соглашений должны быть реализованы по мере разработки новых blockchain платформ.

Если же посмотреть немного в будущее, и учесть то, как развиваются технологии, то такие технологии, как мне кажется, будут использоваться в качестве основы для энергетического рынка. Потребители будут способны приобретать электроэнергию без участия третьей стороны, то есть напрямую от генерирующей компании. А в блокчейн среде будут записываться данные о совершении транзакции, происхождении электроэнергии, её количестве, или, возможно, срока, на который её покупает потребитель. За счёт этого снижаются транзакционные издержки, а неизменность и прозрачность информации смарт-контрактов обеспечат снижение ручной проверки информации о количестве потреблённой электроэнергии. Правда, тогда придётся избавиться от посредника в виде сбытовой компании, но в наших реалиях по законодательству такого не может быть, чтобы генерирующая компания заключала сделки напрямую с потребителями, за исключением прямых потребителей.

### **Источники**

1. Блокчейн в электроэнергетике: ландшафт проекторов и инвесторов / Р. Юнусов [и др.]. Сколково, 2019. С. 10–40.

2. Рябцевич П. Автономность и безопасность. Как работают смарт-контракты [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rbc.ru/crypto/news/600bd6409a79473b23abd3c4> (дата обращения: 15.09.2021).

3. «Что такое смарт-контракты?» [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/post/448056/> (дата обращения: 15.09.2021).

4. «Торговая площадка на основе блокчейна» [Электронный ресурс]. URL: <https://erachain.org/ru/industries-energy> (дата обращения: 15.09.2021).
5. «В «Газпром нефти» испытали блокчейн и интернет вещей в логистике» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.gazprom-neft.ru/press-center/news/v-gazprom-nefti-ispytali-blokcheyn-i-internet-veshchey-v-logistike/> (дата обращения: 15.09.2021).
6. «Лучшие идеи блокчейна» [Электронный ресурс]. URL: <https://101blockchains.com/ru/история-технологии-блокчейн/i> (дата обращения: 15.09.2021).
7. «Смарт-контракты: как они работают и зачем нужны» [Электронный ресурс]. URL: <https://pravo.ru/story/205151/> (дата обращения: 15.09.2021).
8. «Известия вузов. Проблемы энергетики» [Электронный ресурс]: офиц. сайт. URL: <https://www.energyret.ru/> (дата обращения: 15.09.2021).

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Э.А. Хасанов

Филиал АО «СО ЕЭС» Башкирское РДУ, г. Уфа

khasanov42@yandex.ru

Представлена математическая модель прогнозирования потребления активной мощности по Республике Башкортостан в виде обученной нейронной сети созданной в интегрированной среде разработки Microsoft Visual Basic. Представлены результаты тестирования работы нейронной сети при прогнозировании потребления активной мощности.

**Ключевые слова:** нейронная сеть, прогнозирование потребления, активная мощность, точность прогнозирования.

При прогнозировании электропотребления чаще всего применяются два подхода: временные ряды электропотребления за предыдущий период для выявления трендов и циклических составляющих; регрессионная модель, связывающая величину электропотребления с внешними факторами. Внешними факторами являются: метеорологические условия, временной фактор (форма суточного графика отличается в различные дни недели, время года, праздничные и выходные дни), случайные и условно детерминированные воздействия (отключения электросетевого оборудования, аварии на производствах). Нейронная сеть позволяет объединить эти два подхода.

В данной работе использован классический персептрон – это одна из самых распространённых моделей нейронной сети благодаря способности отражать сложные нелинейные отношения между входными и выходными параметрами [1]. Каждый нейрон сети имеет нелинейную функцию активации, называемую сигмойдом:

$$F_{\text{вых}} = f(s) = \frac{1}{1 + \exp(-s)},$$

где  $s = \sum_{k=1}^L x_k \omega_k$ ;  $x_k$  – выходы нейрона;  $\omega_k$  – синаптические веса входов;

$L$  – количество входов нейрона.

Для обучения нейронной сети применяется метод обратного распространения ошибки. Суть данного метода заключается в использовании градиентного спуска для итерационного уменьшения ошибки при работе нейронной сети путем коррекции весов для каждого отдельного нейрона [3].

Цель создания математической модели заключается в получении прогноза потребления с определенной точностью в оперативном контуре, тем самым решается задача подготовки исходных данных для расчёта плана балансирующего рынка. Таким образом, нейронная сеть будет выполнять ежечасную коррекцию прогноза, выполненного в предыдущий день, основываясь на актуальных метеорологических данных и величине потребления за предыдущие часы. В качестве входных параметров используются нормализованные значения за зимние месяцы 2017–2019 гг., содержащие следующие данные: величина прогноза (в мегаваттах) выполненного на каждый час текущих суток в предыдущие сутки ( $x - 1$ ); отличие прогнозных данных температуры окружающего воздуха (в градусах), использованных для осуществления прогноза ( $x - 1$ ) от актуальных данных; отличие прогнозных данных (в баллах) об осадках и облачности использованных для осуществления прогноза ( $x - 1$ ) от актуальных данных; величина текущего отклонения фактического потребления от прогнозного на конец получасового интервала (в мегаваттах). На рис. 1 представлена архитектура нейронной сети.

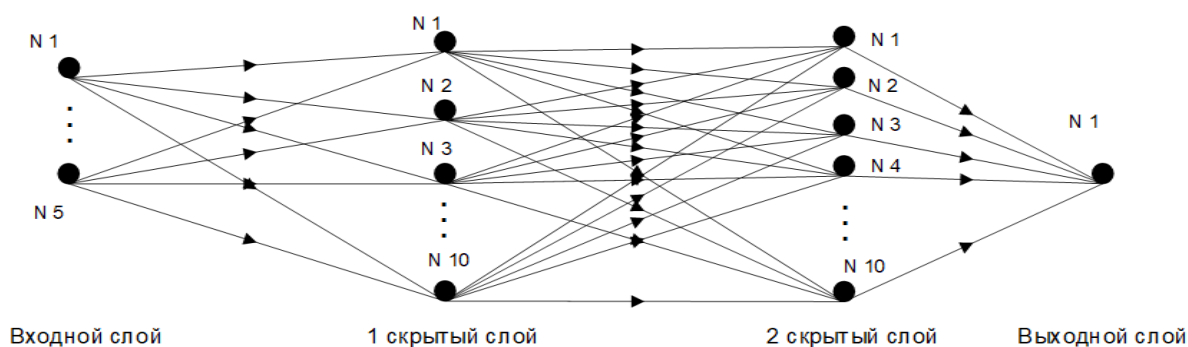


Рис. 1. Архитектура нейронной сети

Для обучения нейронной сети применялись тестовые выборки содержащие обучающие примеры в качестве которых выступает матрица нормализованных значений входных параметров нейронной сети за зимние месяцы 2017–2019 гг. последним столбцом которой является целевая функция.

Так как для обучающей выборки применялись данные зимних месяцев 2017–2019 г. корректным прогноз будет только при прогнозировании потребления в зимние месяцы, для прогнозирования в другие периоды года необходимо составить соответствующую обучающую выборку. Результаты работы нейронной сети представлены на рис. 2.

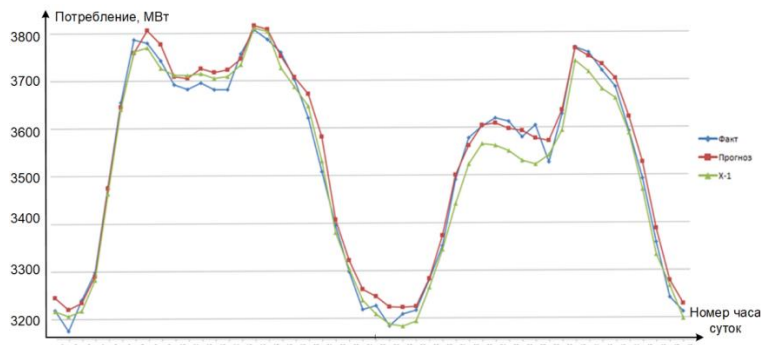


Рис. 2. Результаты работы нейронной сети

В результате проведенного исследования удалось добиться среднего отклонения прогнозного графика от фактического в 2,3 % в тестовой выборке, что соответствует требованиям к методикам при составлении прогноза потребления по региональной энергосистеме (среднее отклонение менее 5 %) [2]. Точность прогноза с использованием нейронной сети ниже, чем при использовании экспертных методов и ПАК «Иерархическая система прогнозирования» среднее отклонение в которых составило 0,9 и 1,2 % соответственно. Тем не менее, результаты говорят о том что технология нейронных сетей в перспективе применима для прогнозирования потребления активной мощности для целей балансирующего рынка. Реализованная математическая модель на данном этапе не может полностью заменить работу специалиста занимающегося прогнозированием, но может использоваться как дополнение к существующим методикам прогнозирования.

### Источники

1. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. М.: Вильямс, 2006. 1104 с.
2. Приложение № 9 к договору о присоединении к торговой системе оптового рынка: утв. решением Наблюдательного совета НП «АТС» (протокол заседания Наблюдательного совета НП «АТС» № 96 от 14 июля 2006 г.). 32 с.
3. Калацкая Л.В., Новиков В.А., Садов В.С. Организация и обучение искусственных нейронных сетей: экспериментальное учеб. пособие. Минск: Изд-во БГУ, 2003. 72 с.



## СОДЕРЖАНИЕ

### ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ

|   |    |
|---|----|
| <b>Баширов А.А., Казмирук Л.О., Сандаков В.Д.</b> Методика проведения исследования влияния параметров светодиодных излучателей на растения .....                                    | 4  |
| <b>Белкова Д.Н.</b> Подход к разработке активного фильтра субгармоник тока для эффективного подавления субсинхронного резонанса .....   | 8  |
| <b>Варганова А.В.</b> Оптимизационная модель внешнего источника электрической энергии в условиях систем электроснабжения с распределенной генерацией.....                           | 11 |
| <b>Вахитов Х.Ф.</b> Комплекс вычислительных алгоритмов вибрационной диагностики .....   | 14 |
| <b>Гиниятуллина И.Н.</b> Внедрение автоматизированной системы управления комплексом автономного энергосбережения .....  | 17 |
| <b>Гиниятуллина И.Н.</b> Нечеткое управление солнечной батареей .....   | 20 |
| <b>Гурлихина Ю.С., Денисова А.Р., Иванова В.Р.</b> Расчет и выбор элементов гибридной системы питания жилого дома .....   | 22 |
| <b>Денисова А.Р., Аманова Г.А., Мухаметшина Е.С.</b> Исследование влияния качества электрической энергии на функционирование станков с ЧПУ .....                                    | 28 |
| <b>Денисова А.Р., Исаева О.В., Залилова Р.А.</b> Энергосберегающие технологии в системах офисного освещения .....   | 32 |
| <b>Денисова А.Р., Савин Н.А., Афолина Н.К.</b> Разработка автоматизированной системы управления освещением с использованием языков стандарта МЭК 61131-3.....                       | 36 |
| <b>Загидуллин А.М., Шарипов И.М.</b> Филаментные светодиодные лампы. Их преимущества и недостатки.....  | 42 |
| <b>Иванова В.Р., Третьяков Н.А., Гусамов Д.И.</b> Разработка автоматизированной системы управления ветрогенераторной установкой с использованием языков стандарта МЭК 61131-3 ..... | 45 |
| <b>Кадырмятов Ю.Р. Денисова Н.В.</b> Цифровые решения в электроснабжении .....  | 48 |
| <b>Касимов В.А., Лазарева А.В., Петрова Е.А.</b> Влияние температуры проводов воздушных линий электропередачи на затухание локационных сигналов.....                                | 51 |
| <b>Лямзина Д.Ю., Сафин А.Р.</b> Перспективы применения бесконтактной индуктивной передачи электроэнергии для зарядки электромобилей.....  | 54 |
| <b>Маркелова О.В., Сандаков В.Д.</b> Разработка автоматизированной системы управления вентиляционной установкой.....  | 57 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Маслахова М.Н., Роженцова Н.В.</b> Систем автоматического управления работой основных физических параметров теплицы .....   | 60  |
| <b>Маслов Е.А.</b> Оптимизация организации ремонтов оборудования.....  | 63  |
| <b>Местников Н.П., Альзаккар А.М.</b> Разработка способа повышения энергоэффективности фотоэлектрической солнечной установки в условиях севера.....                                      | 67  |
| <b>Музюкова Д.С.</b> Оценка потенциала вторичной энергии промышленных систем на примере целлюлозно-бумажного производства .....  | 70  |
| <b>Назипов Р. Р., Ситников С.Ю.</b> Измерения true rms значений переменного тока с помощью микроконтроллера .....  | 73  |
| <b>Немцева М.А.</b> Принцип частотно-параметрического регулирования скорости вращения асинхронного привода насосов канализационной насосной станции .....                                | 78  |
| <b>Немцева М.А.</b> разработка автоматизированной системы управления насосной станцией с двумя насосами с использованием языка непрерывных функциональных схем СФС .....                 | 81  |
| <b>Петров А.Р., Петрова Р.М.</b> Разработка математической модели линейного генератора .....   | 84  |
| <b>Петрова Р.М., Петров А.Р.</b> Дистанционный мониторинг силовых трансформаторов .....  | 87  |
| <b>Роженцова Н.В., Афонина Н.К., Савин Н.А.</b> Разработка автоматизированной системы управления электроприводом пассажирского лифта с использованием языков стандарта МЭК 61131-3 ..... | 90  |
| <b>Рудаков А.И., Гиниятуллина И.Н.</b> Согласование работы источников солнечной и ветровой энергии при получении электрической .....   | 93  |
| <b>Семенова О.Д., Тукшаитов Р.Х.</b> О некоторых терминологических недостатках ГОСТ 32144-2013.....  | 96  |
| <b>Сидоров А.Е.</b> Характеристика проблемы статистических и имитационных подходов к оптимизации развития энергосистемы.....   | 99  |
| <b>Татур И.Э.</b> Анализ эффективности использования установленной мощности в электрической сети .....   | 103 |
| <b>Филимонов С.С., Николаев К.В., Исрафилов Ш.Д.</b> Измерение глубины залегания кабельных линий индукционным методом .....  | 105 |
| <b>Хусаинова А.Ф.</b> Пути повышения качества электроэнергии в электрических сетях по напряжению .....   | 108 |

## **РЗА, ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ И ПОДСТАНЦИИ**

|  |     |
|--|-----|
| <b>Альзаккар А.М., Местников Н.П. Алхадж Хассан Ф.</b> Влияние электрических соединений на поддержание устойчивости (частота – угол ротора) в нормальных и аварийных ситуациях на уровне напряжения (230–400) кВ ..... | 111 |
|--|-----|

|   |     |
|---|-----|
| <b>Ахуньянов В.Ф., Седов П.А.</b> Эффективность применения накопителей электроэнергии для потребителей, участвующих в механизме управления спросом на электроэнергию .....              | 114 |
| <b>Бочкарев Г.Д.</b> Способ определения баланса активной и реактивной мощности на участке цепи электроэнергетической системы.....   | 118 |
| <b>Ветчинкина А.В.</b> Тепловизионный контроль подвесной изоляции с помощью беспилотных летательных средств .....   | 121 |
| <b>Гайнутдинов А.А.</b> Сравнение интерфейсов RS-485, RS-422, RS-232 для электроэнергетических систем .....   | 124 |
| <b>Гарафутдинов Р.Р.</b> Технология виртуального синхронного генератора как средство повышения устойчивости энергосистемы.....  | 126 |
| <b>Гервасьева Ю.Р., Максимов В.В.</b> моделирование электрических токов с помощью программного комплекса COMSOL MULTIPHYSICS ....   | 129 |
| <b>Гизатуллин А.Р., Долманюк Л.В.</b> Анализ метода спектроскопии для определения влияния ароматических углеводородов на качество трансформаторного масла в процессе эксплуатации ..... | 132 |
| <b>Гильфанова А.Э.</b> Разработка программы автоматизированного проектирования кабельной линии электропередачи .....  | 135 |
| <b>Гиниятуллина Р.Р.</b> Математическое моделирование режима напряжения и электропотребления в распределительной сети.....  | 137 |
| <b>Захаров А.В.</b> Стандартные процедуры регенерации трансформаторного масла .....   | 140 |
| <b>Зуев А.И.</b> Метод превентивного управления нагрузкой в электрических сетях 0,4 кВ для предотвращения возникновения аварий.....   | 142 |
| <b>Иванова Е.В.</b> Особенности мониторинга цифровой подстанции в условиях цифровизации технологий.....   | 145 |
| <b>Иманаева А.Р., Хайруллина К.С., Пушкарева А.З.</b> Анализ влияния изменения режима заземления грозотросов ВЛ 110 кВ и выше на токи короткого замыкания .....                         | 147 |
| <b>Исламов И.И.</b> Направления совершенствования методов определения места повреждений линий электропередач по параметрам аварийного режима.....                                       | 150 |
| <b>Николаев К.В., Филимонов С.С., Исрафилов Ш.Д.</b> Определение границ различных способов прокладки кабельной линии в грунте .....   | 153 |
| <b>Камалиева Л.И.</b> анализ индикаторов короткого замыкания в сетях 6–35 кВ .....  | 156 |
| <b>Латыпова А.А.</b> Отключающая способность выключателей с изоляцией на основе CO <sub>2</sub> .....   | 159 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Мавляветдинов А.А., Валиуллина Д.М.</b> Снижение потерь электроэнергии в распределительных сетях.....   | 162 |
| <b>Максакова Е.Д.</b> Защита ближнего резервирования автотрансформатора .....  | 165 |
| <b>Малькова Я.Ю., Уфа Р.А.</b> Анализ низкочастотных колебаний в современных энергосистемах .....  | 168 |
| <b>Минаев И.А., Минегалиев И.М.</b> Исследование коммутационных сигналов в модели линии электропередач.....  | 171 |
| <b>Минегалиев И.М., Куракина О.Е.</b> Преимущества использования спектроскопии для определения влагосодержания трансформаторных масел .....                                  | 174 |
| <b>Мусаев Т.А., Хабибуллин М.Н., Валеев И.М.</b> Исследование корреляционно-регрессионной зависимости между показателями баланса электрической энергии .....                 | 177 |
| <b>Мустафин Р.Г., Стоцкий К.С.</b> Использование системы накопителей электроэнергии, как средство повышения максимально допустимого перетока в контролируемых сечениях ..... | 180 |
| <b>Назаров А.А.</b> Методика комплексной оценки надёжности линий электропередачи при оперативно-диспетчерском управлении .....   | 183 |
| <b>Нигматуллина Г.Ф., Саляхутдинов Р.А.</b> Определение влагосодержания бумажной изоляции .....  | 186 |
| <b>Оборина Е.В.</b> Подходы к реконструкции распределительных устройств... ..  | 189 |
| <b>Петрова А.С.</b> Определение длительности перерывов электроснабжения потребителей в сельской местности .....  | 191 |
| <b>Петропавловский В.Е.</b> Внедрение интеллектуальных адаптивных сетей.....   | 194 |
| <b>Рахимов О.С., Тошходжаева М.И.</b> Анализ устойчивости энергетической системы с распределенной генерацией методом имитационного моделирования в среде Matlab .....        | 197 |
| <b>Садыков В.О., Рахманкулов Ш.Ф., Максимов В.В.</b> Комплексная система EOCORTEX для сбора и обработки видеоинформации на основе сетевых видеокамер.....                    | 202 |
| <b>Салахутдинов Б.М.</b> О повышении эффективности мобильных солнечных электростанций .....  | 205 |
| <b>Самарханова Р.И., Валиуллина Д.М.</b> Методы диагностики мест повреждения кабельных линий.....  | 207 |
| <b>Сапцына Е.Ю., Абеуов Р.Б.</b> Алгоритм синхронизации энергорайона с сетью энергосистемы .....   | 209 |
| <b>Сахабутдинов А.А.</b> Специальные меры по ограничению пускового тока, необходимые для переключения конденсаторных батарей среднего напряжения .....                       | 212 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Седюк Я.Н., Федоров А.А.</b> Оптимизация затрат времени диспетчерского персонала путем внедрения искусственного интеллекта с голосовым управлением .....           | 215 |
| <b>Семенов М.Н., Иванов К.В.</b> Определение замера первой ступени дистанционной защиты от всех видов КЗ при замыкании на землю с учетом влияния взаимоиндукции ..... | 218 |
| <b>Смирнов Д.А., Хузяшев Р.Г.</b> Моделирование в пакете PSCAD режима однофазного замыкания на землю.....   | 223 |
| <b>Тухфатуллин И.Р.</b> Анализ оцифрованных сигналов переходного процесса.....  | 226 |
| <b>Уткина В.Н.</b> Несимметрия напряжений в распределительных сетях .....   | 230 |
| <b>Фомин К.Д.</b> Цифровой двойник в электрических сетях .....  | 233 |
| <b>Хамидуллина К.Р., Феоктистов Д.И.</b> Исследование импульсных перенапряжений при коммутациях вакуумных выключателей .....  | 236 |
| <b>Хафизов Л.А.</b> Система телеметрии для бесперебойного функционирования умных сетей.....   | 239 |
| <b>Целовальникова Д.Л.</b> Системы виброконтроля лобовых частей обмотки статора гидрогенератора .....   | 243 |
| <b>Червяков В.С.</b> разработка альтернативной схемы выдачи мощности ТЭЦ с установками ПГУ .....  | 247 |
| <b>Яхин Ш.Р., Сабитов А.Х.</b> Создание модели для поиска элементов лэп по изображениям.....  | 250 |

## УПРАВЛЕНИЕ И ЭКОНОМИКА ЭНЕРГОСИСТЕМ

|  |     |
|--|-----|
| <b>Галимова А.Д.</b> Особенности управленческого учета корпоративной социальной ответственности на предприятиях ТЭК.....                     | 254 |
| <b>Галимова А.Р.</b> Расчет экономической целесообразности процесса внедрения новых сепарационных устройств на промышленном предприятии..... | 257 |
| <b>Галимова А.Р.</b> Стратегическое планирование как механизм сравнительного анализа эффективности деятельности предприятия .....            | 260 |
| <b>Голубева Л.В., Егорова И.С.</b> Анализ целесообразности восстановления Саяно-Шушенской ГЭС.....   | 263 |
| <b>Голубева Л.В., Зубов Н.В.</b> Инвестиции в человеческий капитал в госкорпорации РосАтом .....   | 266 |
| <b>Ибрагимова К.Д.</b> Кэшбэк как часть экономической жизни современного общества.....   | 269 |
| <b>Лаптева Е.А.</b> Экономическая эффективность внедрения системы интеллектуального управления в энергетике.....                             | 272 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Селезнев Д.К., Пелевин О.В.</b> Перспективные направления развития инновационной инфраструктуры на мезоуровне (на примере республики татарстан) .....   | 276 |
| <b>Сафиуллин Р.Р.</b> Повышение эффективности электроэнергетики путем цифровизации .....   | 281 |
| <b>Селезнев Д.К., Юсупова И.В.</b> Роль внедрения цифровых технологий в инновационном развитии предприятий .....   | 284 |
| <b>Сунгатуллина Г.Г.</b> Влияние пандемии на российский малый и средний бизнес .....   | 290 |
| <b>Ущёкин О.П., Васильченко М.А.</b> Модель сарт при расчете ставки дисконтирования для реализации инвестиционного проекта альтернативной энергетики .....   | 292 |
| <b>Юсупова И.В., Селезнев Д.К., Арзамасова А.Г.</b> Основные направления развития энергетики Республики Татарстан в контексте реализации стратегических и программных документов развития отрасли..... | 296 |

## **ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

|   |     |
|---|-----|
| <b>Агзамов М.Ф., Хакимзянов Э.Ф., Мусина А.М.</b> Моделирование систем электроснабжения низкого напряжения для улучшения качества электроэнергии .....                      | 307 |
| <b>Богданович С.А, Емельянов В.А., Лыгин М.М.</b> Разработка учебного стенда «Изучение принципов программирования на базе ONIPLR-S-CPU-1410».....                           | 311 |
| <b>Галимуллин Н.Р., Ахметвалеева Л.В.</b> Обзор актуальных отраслей применения робототехнических систем .....   | 314 |
| <b>Давлетшина Л.А.</b> Моделирование информационных потоков службы технической поддержки в IT-компаниях.....  | 317 |
| <b>Завалишин В.Э., Карнаухов И.Д., Шакшакпаев Т.Б.</b> Опыт построения современной понизительной подстанции в рамках реализации концепции «индустрия 4.0» в ПАО «ММК» ..... | 320 |
| <b>Зиангиров А.Ф., Фархутдинов М.М.</b> Проектирование изделий из листового металла в программе Autodesk Inventor Professional .....  | 323 |
| <b>Кудрявцев Т.А.</b> Перспективы применения технологии виртуальной реальности в сфере электроэнергетики.....   | 325 |
| <b>Листюхин В.А., Печерская Е.А.</b> Информационно-измерительная система контроля параметров воздушных линий электропередачи распределительных сетей 0,4–20 кВ .....        | 328 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Маслов Е.А.</b> Внедрение технологии виртуальной реальности в процесс подготовки оперативного персонала предприятий электросетевого хозяйства ..... | 331 |
| <b>Махмутова Л.И.</b> Использование каналов GSM в качестве резервных каналов передачи данных для оперативно-диспетчерского управления .....            | 333 |
| <b>Миргаязов К.И.</b> Разработка вопросно-ответных систем на основе BERT-модели с применением NLP-технологий .....                                     | 337 |
| <b>Сазонов Е.А.</b> Технологии виртуальной и дополненной реальности: возможности и препятствия применения .....  | 340 |
| <b>Фаизов Н.Н.</b> Эффективность внедрения автоматизированных технологий в сфере электроэнергетики.....  | 343 |
| <b>Феоктистов Д.И.</b> Система смарт-контрактов блокчейн в области энергетики.....   | 346 |
| <b>Хасанов Э.А.</b> Применение технологии нейронных сетей для прогнозирования потребления активной мощности .....                                      | 350 |

*Научное издание*

ХVI ВСЕРОССИЙСКАЯ ОТКРЫТАЯ МОЛОДЕЖНАЯ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
«ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ  
В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ»

21–22 октября 2021 г.

Материалы конференции

Подписано в печать 01.03.2022.

Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 20,92. Уч.-изд. л. 14,67.

Тираж 30 экз. Заказ № 5247.

Центр публикационной активности КГЭУ  
420066, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51

Отпечатано с готового оригинал-макета в ООО «ИПФ «Бриг»  
420097, г. Казань, ул. Академическая, д. 2