

**КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

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

**МАТЕРИАЛЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

19 АПРЕЛЯ 2023 Г.

КАЗАНЬ 2023 г.

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

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

Международная научно-практическая конференция
(Казань, 19 апреля 2023 г.)

Материалы конференции

Казань 2023

УДК 621.31
ББК 31.2Ч54

Рецензент:

М. Ш. Гарифуллин

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

Редакционная коллегия:

В.В. Максимов (отв. редактор), О.В. Воркунов

Ч54 Международная научно-практическая конференция «Электрические сети: надежность, безопасность, энергосбережение и экономические аспекты»
матер. конф. (Казань 19 апреля 2023 г.) / редкол. В.В. Максимов (отв. редактор) и др.
Казань: Казан гос. энерг. ун-т, 2023. 290 с.

ISBN 978 – 5 – 89873 – 635 – 4

Электронный сборник материалов конференции

Опубликованы материалы III международной научно-практической on-line конференции «Электрические сети: Надежность, Безопасность, Энергосбережение и Экономические аспекты»:

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

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

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

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

УДК: 621.03.536.12

МАГНИТНЫЕ ЖИДКОСТИ НА ОСНОВЕ ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА

Вахобов О.И.

Худжандский политехнический институт Таджикского технического
университета им. академика М.С. Осими, г. Худжанд

В данной статье приведён краткий обзор свойств магнитных жидкостей и трансформаторного масла. Кроме этого, приведены основные области применения магнитных жидкостей на основе трансформаторного масла, а также преимущества использования магнитных жидкостей на основе трансформаторного масла взамен других масел.

Ключевые слова: теплопроводность, давление, плотность, температура, зависимость, трансформаторное масло, железо, магнитная жидкость, обработка.

MAGNETIC FLUIDS BASED ON TRANSFORMER OIL

Vakhobov O.I.

Khujand Polytechnic Institute of the Tajik Technical University named after
Academician M.S. Osimi, Khujand

In given article are brought synopsis about magnetic liquid and transformer butter. Are they Besides brought main areas using the magnetic liquids on base of the transformer butter, as well as advantage use the magnetic liquids on base of the transformer butter in lieu thereof other oils.

Keywords: thermal conductivity, pressure, density, temperature, dependence, transformer oil, iron, magnetic fluid, processing.

Во второй половине прошлого века были синтезированы коллоидные растворы магнитных материалов, которые впоследствии получили название «магнитные жидкости (Magnetic fluids)» [1]. Магнитные жидкости - это высокодисперсные суспензии (коллоидные растворы) ферромагнитных материалов в жидкости-носителе, причём размер частиц очень маленький: от 5 нанометров до 10 микрометров. Жидкость-носитель может быть абсолютно любой; вода, жидкие углеводороды, кремний - и

фторорганические жидкости, керосин а также растительное и трансформаторное масла. В качестве магнетика используется высокодисперсное железо, ферромагнитные окислы γ Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , ферриты никеля, кобальта. Магнитные жидкости сохраняют устойчивость в течение двух-пяти лет и обладают при этом хорошей текучестью в сочетании с высокой намагниченностью, в десятки тысяч раз большей, чем у обычных жидкостей.

Применение магнитных жидкостей в различных областях науки и техники предопределяют и разнообразие требований к их физико-химическим характеристикам с учётом конкретных условий их использования. В большинстве случаев, ряд свойств магнитных жидкостей однозначно определяет эффективность её работы независимо от сферы применения. Среди них можно назвать намагниченность насыщения и устойчивость к действию гравитационных сил и магнитных полей, – чем они выше, тем, как правило, достигаются более высокие выходные показатели магнитожидкостных устройств. О других свойствах магнитных жидкостей этого сказать нельзя, так как они дифференцированы в зависимости от условий применения. К таким характеристикам магнитных жидкостей можно отнести вязкость, испаряемость, токсичность, термостойкость и специальные требования по химической устойчивости к рабочим средам, что достаточно подробно было освещено в литературе [2– 4]. Например, при использовании в скоростных уплотнениях и подшипниковых узлах магнитные жидкости должны обладать низкой вязкостью и испаряемостью в сочетании с высокой термостойкостью; при использовании в качестве магнитных чернил – наоборот, высокой испаряемостью. При использовании магнитных жидкостей в биологии и медицине необходимо учитывать, что они должны обладать нетоксичностью и устойчивостью при контакте с живыми клетками и тканями организма.

Для ряда технических задач необходимы магнитные жидкости на основе масел – трансформаторного, конденсаторного и т.д. Получение жидкости с магнетитовыми частицами в этом случае почти не отличается от получения жидкостей на основе лёгких углеводородов (толуола, декана, керосина). Намагниченность насыщения таких жидкостей составляла 40 – 50 кА / м.

Одной из областей применения магнитных жидкостей на основе трансформаторного масла является их использование в качестве магнитных смазок. Магнитные жидкости на основе трансформаторного масла, по сравнению с другими маслами, снижает трение на 20 %

эффективнее. Трение минимально, поскольку основой магнитной жидкости является трансформаторное масло, а размер содержащихся в ней твердых частиц на несколько порядков меньше шероховатостей идеально отполированных трущихся деталей. Кроме того, эти магнитные жидкости нашли применение как герметизаторы для вращающихся валов, как демпфирующее устройство в радиотехнике, как хорошие смазочно-охлаждающие материалы и теплоносители, а также в аппаратах для очистки воды от нефтепродуктов.

Трансформаторное масло – очищенная фракция нефти, получаемая при перегонке, кипящая при температуре от 300 °С до 400 °С. В зависимости от происхождения нефти, оно обладает различными свойствами и эти отличительные свойства исходного сырья отражаются на свойствах масла. Оно имеет сложный углеводородный состав со средним весом молекул 220–340 а.е.

Основные компоненты трансформаторного масла приведены в таблице 1.

Таблица 1

Основные компоненты трансформаторного масла

1	Парафины	10-15%
2	Нафтены или циклопарафины	60-70%
3	Ароматические углеводороды	15-20%
4	Асфальто-смолистые вещества	1-2 %
5	Сернистые соединения	< 1%
6	Азотистые соединения	< 0.8%
7	Нафтенновые кислоты	<0.02%
8	Антиокислительная присадка (ионол)	0.2-0.5%

Дополнительным преимуществом использования магнитных жидкостей в качестве смазок заключается в том, что магнитные жидкости, удерживаемые магнитным полем, не будут вытекать из агрегата. Кроме того, магнитные жидкости будут препятствовать попаданию, например в подшипники, посторонних немагнитных частиц (магнитные жидкости под воздействием магнитного поля выталкивают немагнитные материалы).

Магнитная жидкость на основе трансформаторного масла обладает еще одним удивительным, поистине уникальным свойством. В ней, как и в любой жидкости, плавают тела менее плотные и тонут тела, более плотные, чем она сама. Но если приложить к ней магнитное поле, то утонувшие тела начинают всплывать. Причем, чем сильнее поле, тем более тяжелые тела поднимаются на поверхность. Прикладывая различное по напряженности магнитное поле, можно заставлять всплывать тела с какой-то заданной плотностью. Это свойство магнитной жидкости применяют

сейчас для обогащения руды. Ее топят в магнитной жидкости, а затем нарастающим магнитным полем заставляют всплывать сначала пустую породу, а затем уже и тяжелые куски руды.

Применяют эту магнитную жидкость и для сбора различных нефтепродуктов на поверхности морей, океанов, озер (например, при аварии танкера с нефтью, когда громадное пятно покрывает многие квадратные километры моря, загрязняя все вокруг). Очистка воды от таких загрязнений – дело очень трудное, долгое и не всегда выполнимое. Но и здесь помогает магнитная жидкость. На разлившееся пятно с вертолета разбрызгивают небольшое количество магнитной жидкости, которая быстро растворяется в нефтяном пятне, затем в воду погружают сильные магниты, и пятно начинает стягиваться в точку, здесь же его откачивают насосы [5-9].

Источники

1. Прохоров, А.М. Физическая энциклопедия/ А.М. Прохоров. – М.: Сов. энциклопедия. –1990. – Т.2. –С.673 – 675.

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

3. Фертман, В. Е. Магнитные жидкости/В. Е. Фертман. Минск: Высш. школа, 1988. 9 – 44, 104 – 162с.

4. Морозова, Т. Ф. Формирование структуры в магнитной жидкости при воздействии поляризующего напряжения: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук: 01.04.13 / Т. Ф. Морозова. – Ставрополь, 2002. –24 с.

5. Теплофизические и адсорбционные свойства медных катализаторов на основе пористого гранулированного оксида алюминия в среде воздух-пар воды. Мирзوماмадов А.Г., Сафаров М.М., Холиков М.М., Джураев Д.С. и др. В сборнике: Сушка, хранение и переработка продукции растениеводства. Сборник научных трудов Международного научно-технического семинара, посвящённого 175-летию со дня рождения К.А. Тимирязева. 2018. С. 250-255.

6. Адсорбционные, теплофизические, термодинамические свойства некоторых наночастиц и их влияние на поведение теплоносителей Сафаров М.М., Назаров Х.Х., Давлатов Н.Б., Джураев Д.С. и др. В книге: Проблемы теплообмена и гидродинамики в энергомашиностроении. Материалы X школы-семинара молодых ученых и специалистов академика РАН В.Е.Алемасова. 2016. С. 217-220.

7. Степень набухания, коэффициент термодиффузии и массоотдачи ультрадисперсных никелевых катализаторов на основе силикагеля в насыщенных конденсированных средах. Хушвактов А.А., Сангов Т.Ш., Джураев Д.С., Сафаров М.М. Вестник Таджикского национального университета. 2012. № 1-3. С. 160-165.

8. Влияние температуры, давления и магнитного поля на изменение теплофизических свойств магнитных жидкостей Джураев Д.С. автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Кыргызско-российский славянский университет им. Б.Н. Ельцина. Бишкек, 2012.

9. Температуропроводность коллоидного раствора наносеребра в зависимости от давления при комнатной температуре Тиллоева Т.Р., Тагоев С., Зоиров Х.А., Зарипова М.А., Джураев Д.С., Сафаров М.М. Измерительная техника. 2012. № 3. С. 51-53.

ВЛИЯНИЯ НАГРУЗКИ НА РАЗВИТИЕ РАЗРЯДОВ В ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ ИЗОЛЯЦИИ ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ

Зарипов Д. К.¹, Закиров Д. Ф.², Захаров А. В.³

^{1,2,3}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

¹dzaripov@list.ru, ²qwerty2014dinar@gmail.com, ³koktel42@mail.ru

Неравномерность загрязнения и увлажнения изоляторов воздушных линий электропередачи в процессе эксплуатации повышает вероятность их перекрытия электрической дугой. Значительные токи нагрузки, протекающие по несущим проводам, и, вызванный этим неравномерный нагрев изоляторов, могут также являться одной из причин внезапных коротких замыканий из-за перекрытия изоляционных конструкций в условиях тумана и выпадения росы. Лабораторные эксперименты продемонстрировали, что градиент температуры вдоль изоляции приводит к неравномерному смачиванию поверхности изолятора при увлажнении искусственным туманом и появлению стримеров.

Ключевые слова: изолятор воздушной линии, электрический разряд, перекрытие изоляции электрической дугой, неравномерный нагрев изоляции.

THE INFLUENCE OF THE LOAD ON THE DEVELOPMENT OF DISCHARGES IN THE HIGH-VOLTAGE INSULATION OF THE OVERHEAD LINE

Zaripov D. K.¹, Zakirov D. F.², Zakharov A. V.³

^{1,2,3}KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

¹dzaripov@list.ru, ²qwerty2014dinar@gmail.com, ³koktel42@mail.ru

Uneven contamination and wetting of overhead line insulators during operation increases the likelihood of overlapping arcing. Significant load currents flowing through the bearing wires of overhead lines and the resulting uneven heating of insulators may also be one of the causes of sudden short-circuits due to overlapping of insulating structures in fog and dewfall conditions. Laboratory experiments have demonstrated that the temperature gradient along the insulation leads to uneven wetting of the insulator surface when wetted by artificial fog and the appearance of streamers.

Keywords: overhead line insulator, electrical discharge, overlapping of insulation by electric arc, uneven insulation heating.

Введение. Неравномерное смачивание, приводящее к появлению областей с сильно различающимся поверхностным сопротивлением по длине изолятора, может возникать в процессе эксплуатации множеством способов. На длинном полимерном изоляторе разряды могут начаться в относительно сухих областях под юбками. Локализованные разряды могут также возникать на концах изолятора из-за высокой напряженности электрического поля в этих областях. Известно, что концевая арматура изолятора может достигать температуры более 50°C из-за тока в несущем проводе [1]. Это вызывает повышение температуры поверхности части изолятора вблизи провода. Для предотвращения конденсации влаги при выпадении росы достаточно лишь небольшого изменения ($1-2^{\circ}\text{C}$) температуры поверхности по сравнению с окружающей средой [2].

Известный механизм отключений в ранние утренние часы заключается в неравномерном смачивании гирлянды изоляторов туманом или росой. При нагреве нижних частей изоляционной конструкции они могут оставаться сухими и потенциал земли передается вниз по смоченной части и становится приложенным в основном к части, контактирующей с проводником тока. Эта часть перекрывается стримерами и может инициировать мокрое включение оставшейся части изоляции и привести к перекрытию всей изоляционной конструкции [3].

Испытания на чистый туман вносят значительный вклад в представление о механизме перекрытия изоляторов в процессе эксплуатации. В частности, было доказано существование механизма заключающегося в стримерном разряде, который пересекает несколько юбок изолятора и приводит к перекрытию [3]. Наличие сухой зоны (области высокого сопротивления) создает крайне неоднородное распределение напряжения вдоль поверхности, инициировав тем самым стримеры. Было показано, что накопленная емкостная энергия играет существенную роль в возникновении такого рода разряда. Важное практическое значение перекрытия, инициированного стримерным разрядом, заключается в том, что характеристики перекрытия нелинейно связаны с длиной пути утечки.

В нормальных условиях эксплуатации изоляторы постоянно находятся под напряжением, и ожидается, что при значительных токах в проводах возникновение любого внезапного смачивания может запустить механизм дугового перекрытия изоляционной конструкции такого типа.

Исследования. Эксперименты с равномерно загрязненным полимерным изолятором в атмосфере чистого тумана проводилось с применением установки, схема которой представлена на рис. 1. Подогрев

нижней арматуры изолятора осуществлялся с помощью прикрепленных к нижнему оконцевателю изолятора двух самонагревающихся пакетиков Hand Warmer.

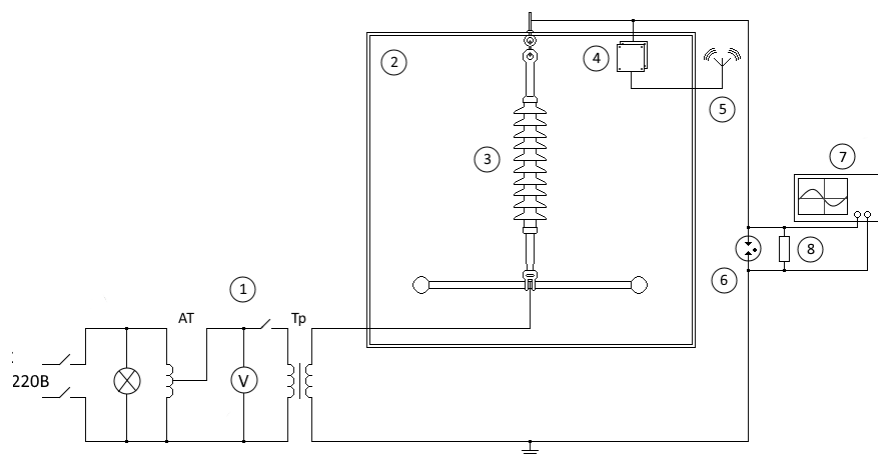


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

1 – испытательная установка 110 кВ; 2 – климатическая испытательная камера (камера тумана); 3 – полимерный изолятор ЛК 70/35; 4 – электрод емкостного датчика беспроводной системы контроля (СКИВЛ) [5,6]; 5 – передатчик СКИВЛ; 6 – разрядник; 7 – осциллограф; 8 – резистор (1000 Ом)

В эксперименте использован стандартный полимерный изолятор ЛК70/35. Загрязнение его проводилось в соответствии с методом предварительного загрязнения (ПЗ) [4]. Измеренная эквивалентная поверхностная плотность солевого загрязнения (ESDD) составила $0,06 \text{ мг/см}^2$.

Климатическая испытательная камера (рис. 1, 2) представляла собой куб со стенками, изготовленными из изоляционного материала с внутренним объемом 1 м^3 . В центре камеры устанавливался изолятор (рис. 3.1, 3), который подключался к испытательной установке (рис. 1, 1).

Туман, генерируемый пьезоэлектрическими элементами 2-х ультразвуковых увлажнителей, подавался внутрь камеры через два отверстия, находящиеся сверху и снизу задней стенки камеры. Скорость подачи пара для всех экспериментов – 300 мл/ч. Температура и относительная влажность воздуха внутри испытательной камеры контролировалась датчиками.

Изменения состояния изоляции гирлянды при воздействии тумана контролировалось измерением осциллографом тока утечки и регистрацией сигналов с емкостного датчика беспроводной системы контроля изоляции воздушных линий (СКИВЛ) [5,6]. Сигналы, фиксируемые датчиком, передавались через установленный снаружи камеры тумана беспроводной передатчик на персональный компьютер. Полученные данные

отображались на экране в виде данных высокочастотных и низкочастотных сигналов (ВЧС и НЧС), импульсов тока утечки (Имп).

К изолятору прикладывалось напряжение 30 кВ, с последующим непрерывным увлажнением его в климатической испытательной камере. Температура окружающего воздуха в помещении и в камере тумана при испытаниях была в пределах от 18°C до 25°C, относительная влажность воздуха в помещении составляла от 47 % до 64 %, в камере тумана до 99%. Всего было проведено несколько экспериментов. Продолжительность каждого эксперимента составляла около 1 часа.

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

Полученные результаты представлены на рисунках 2 и 3.

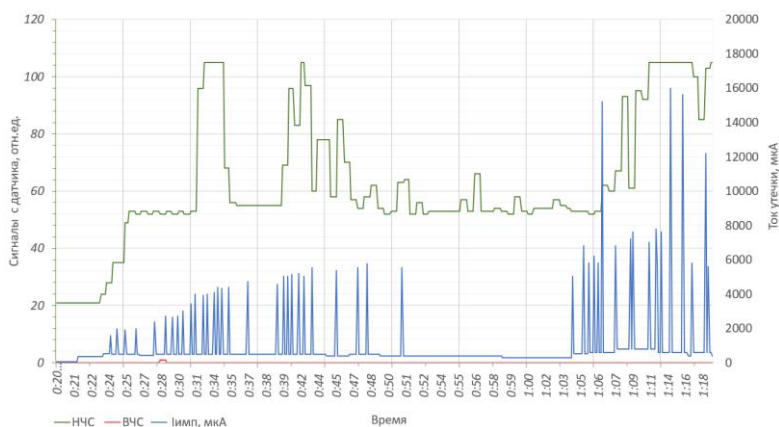


Рис. 2. Результаты измерений при равномерном загрязнении

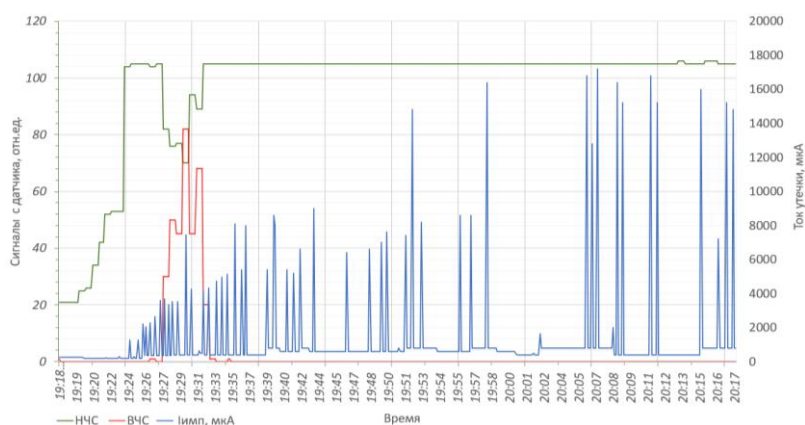


Рис. 3. Результаты измерений при равномерном загрязнении с подогревом нижнего оконцевателя изолятора

Анализ полученных результатов. Важным отличием графиков на рисунках 2 и 3 является появление высокочастотных сигналов, регистрируемых емкостным датчиком (ВЧС) на изоляторе с подогревом через несколько минут после подачи пара и насыщения слоя загрязнения. Это вызвано вероятно тем, что из-за подогрева (рис. 4а) к тому моменту нижняя часть изолятора еще не смочилась и образовался большой градиент напряжения над сухим участком, что обусловило появление стримеров. Частота следования стримеров на порядки выше частоты следования импульсов тока утечки, вызванных загрязнением [7]. Далее, по мере смачивания сухого участка, напряжение вдоль изолятора выровнялось и ВЧ разряды пропали. Характер разрядов в обоих случаях стал схожим и соответствующим частичным разрядам на загрязненной и увлажненной поверхности. Можно отметить также, что интенсивность импульсов, регистрируемых осциллографом в эксперименте с подогревом, была выше. Нагрев поверхности протекающими токами утечки тоже был выше, чем в ситуации без подогрева, что связано с большей неравномерностью распределения напряжения, сохраняющегося в ходе второго эксперимента (рис. 4).

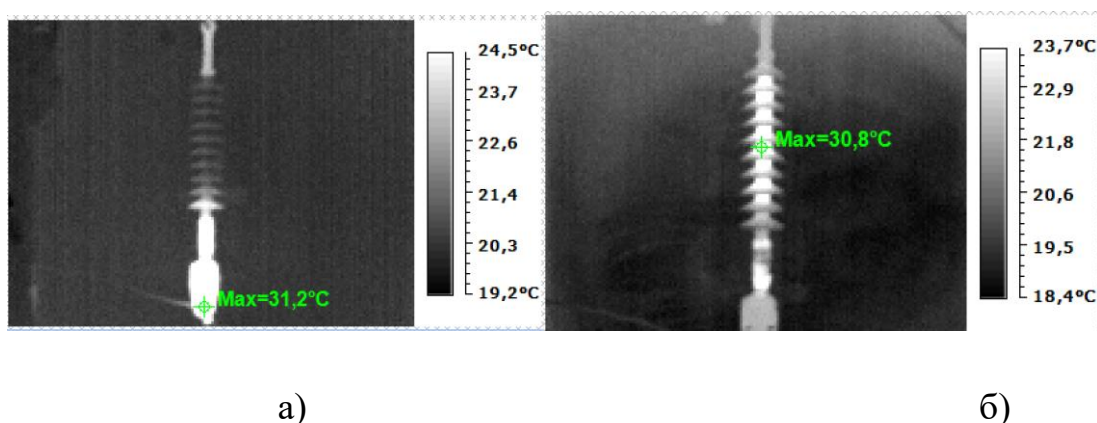


Рис. 4. Термограммы с установленными подогревателями до начала (а) и после окончания (б) эксперимента

Вывод. Проведенные исследования показали, что значительные токи, протекающие по несущим проводам воздушных линий и вызванный этим неравномерный нагрев изоляторов, может являться одной из причин внезапных коротких замыканий из-за перекрытия изоляционных конструкций в условиях тумана и выпадения росы.

Источники

1. L. a. Insulator, Minimum Test Requirements for Non-Ceramic Insulators, in IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-100, no. 2, pp. 882-890, Feb. 1981, doi: 10.1109/TPAS.1981.316947.
2. R. S. Gorur et al., Sudden flashover of nonceramic insulators in artificial contamination tests, in IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, vol. 4, no. 1, pp. 79-87, Feb. 1997, doi: 10.1109/94.590870.
3. F. A. M. Rizk and S. I. Kamel, Modelling of HVDC wall bushing flashover in nonuniform rain, in IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 6, no. 4, pp. 1650-1662, Oct. 1991, doi: 10.1109/61.97704.
4. ГОСТ 10390–2015. Электрооборудование на напряжение свыше 3 кВ. Методы испытаний внешней изоляции в загрязненном состоянии. М.: Стандартиформ, 2016. 16 с.
5. Патент № 2731169 С1 РФ, МПК G01R 31/08. Датчик для системы непрерывного контроля состояния изолирующих конструкций: № 2019145586: заявл. 30.12.2019: опубл. 31.08.2020 / Д. К. Зарипов, Р. А. Насибуллин, Р. Р. Ибрагимов, М. Ч. Игтисамов.
6. Устройство оптической индикации дефекта высоковольтной изолирующей конструкции / Р.Н. Балобанов, Д. К. Зарипов, Р. А. Насибуллин, С. М. Маргулис // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2017. Т. 19. № 3-4. С. 119-125.
7. В. Ф. Тарасенко, В. С. Кузнецов, В. А. Панарин, В. С. Скакун, Э. А. Соснин, Е. Х. Бакшт. «Роль стримеров в формировании коронного разряда при резко неоднородном электрическом поле», Письма в ЖЭТФ, 110:1 (2019), 72–77; JETP Letters, 110:1 (2019), 85–89

ДИАГНОСТИКА ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА

Иксанова Э. Р.¹, Валиуллина Д. М.², Козлов В. К.³
^{1,2,3} ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан
^{1,2,3} elviraiksanova@list.ru

Способность силового трансформатора нести нагрузку зависит от состояния отдельных узлов и отсутствия дефектов. В данной работе исследованы трансформаторные масла, установлены зависимости между тангенсом угла диэлектрических потерь и координатами цветности.

Ключевые слова: трансформаторное масло, потери, тангенс угла диэлектрических потерь, корреляция, координаты цветности.

DIAGNOSTICS OF TRANSFORMER OIL

Elvira R. I.¹, Valiullina D. M.², Kozlov V. K.³
^{1,2,3} KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan
^{1,2,3} elviraiksanova@list.ru

The ability of a power transformer to bear the load depends on the condition of the individual components and the absence of defects. In this paper, transformer oils have been studied, and relationships between the dielectric loss tangent and chromaticity coordinates have been established.

Key words: transformer oil, losses, dielectric loss tangent, correlation, color coordinates.

Маслонаполненные силовые трансформаторы представляют собой значительный актив для любого владельца, и последствия неожиданного сбоя или простоя в работе могут иметь огромные последствия. Это устройства, от которых в основном зависит экономичная подача электроэнергии.

Окончание срока службы трансформатора обычно определяется как потеря механической прочности твердой изоляции в обмотках. С достижениями в методах тестирования системы изоляции (масло и бумага), становится возможным продлить срок службы некоторых блоков путем непрерывного мониторинга в режиме реального времени [1–2].

Трансформаторные масла подвержены «старению», что выражается в изменении их химических и физических свойств [3–4]. Степень ухудшения масла можно определить по тангенсу угла диэлектрических потерь ($\text{tg}\delta$). Он чувствителен к наличию в масле различных загрязнений [5–7].

Был проведен эксперимент с некоторыми трансформаторными маслами для нахождения корреляции (R) между координатой цветности и тангенсом угла диэлектрических потерь. В работе использовались три источника света (белый, синий и зеленый) для того, чтобы получить

спектры пропускания масел. После были определены координаты цветности масел.

Корреляционная зависимость между координатами цветности и тангенсом угла диэлектрических потерь наиболее точно описывается координатой x , которая соответствует красному цвету (см. рис. 1, 2).

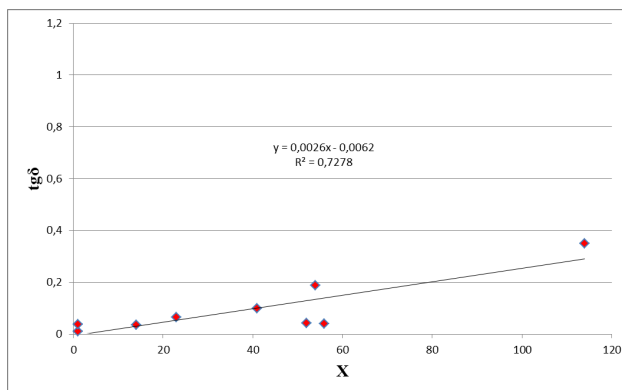


Рис. 1. Корреляционная зависимость тангенса угла диэлектрических потерь от координаты цветности при пропускании белого цвета для марки масла ГК ($R=0,8531$)

Обнаружено, что наибольшая корреляционная зависимость получается при одной марке масла. Если же рассмотрим все образцы масел, то заметим, что корреляция уменьшается, следовательно, необходимо строить данную зависимость для одной марки масел. В результате работы установлена возможность определения степени старения трансформаторного масла по координатам цветности масла.

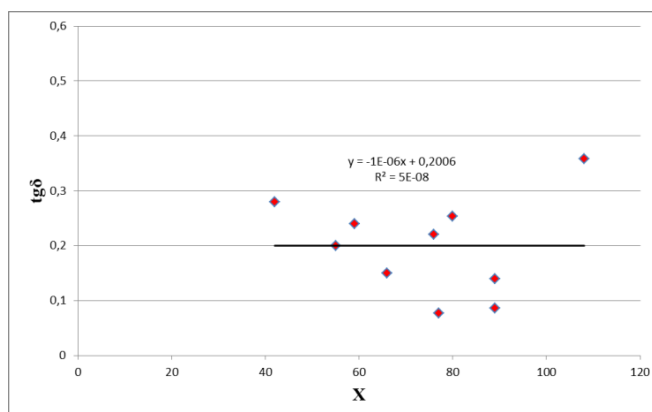


Рис. 2. Корреляционная зависимость тангенса угла диэлектрических потерь от координаты цветности при пропускании белого цвета для разных марок масел ($R=0,0023$)

Источники

1. Sparling, B., Transformer monitoring and diagnostics // IEEE Power Engineering Society. 1999.

2. Валиуллина Д.М., Ильясова Ю.К., Козлов В.К., Качественные методы спектрального анализа в диагностике трансформаторных масел // ИЗВУЗ. Проблемы энергетик. 2019. Т. 21. № 1-2. С. 87-92.
3. Липштейн Р.А., Шахнович М.И., Трансформаторное масло. М.: Энергоатомиздат, 1983. С. 296.
4. Karthik R., Sree Renga Raja T. Investigations of transformer oil characteristics. IEEJ Trans Elec Electron Eng, 2012 vol.7, pp. 369-374.
5. Валиуллина, Д.М., Ильясова Ю.К., Козлов В.К., Определение характеристик трансформаторного масла спектральным методом // Вестник КГЭУ. 2021. Т. 13. № 1(49). С. 66-74.
6. R. Siva Sai, J. Rafi, S. Farook, N.M.G. Kumar, M. Parthasarathy, R. Ashok Bakkiyaraj, Degradation studies of electrical, physical and chemical properties of aged transformer oil // Journal of Physics: Conference Series, 2020.
7. Hadjadj Y., Fofana I. and Jalbert J., Insulating oil decaying assessment by FTIR and UV-Vis spectrophotometry measurements // Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, 2013.

ОСОБЕННОСТИ ИНДУКЦИОННОЙ ЗАКАЛКИ РАБОЧИХ ВАЛКОВ ПРОКАТНЫХ СТАНОВ С УЧЕТОМ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ

Качанов А. Н.¹, Миронов Е. А.²

^{1,2} ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орёл, Россия

¹kan@ostu.ru, ²gen996@mail.ru

В статье приведен анализ особенностей индукционной закалки валков прокатных станов, рассмотрен ряд факторов, которые влияют на протекание термических процессов при индукционной закалке валков. Предложено использование автоматизированной установки индукционной закалки валков прокатных станов с использованием бегущего электромагнитного поля и учетом изменения электрофизических свойств материалов в процессе нагрева.

Ключевые слова: индукционная закалка, бегущее электромагнитное поле, рабочий валок прокатного стана, электрофизические свойства материалов, непрерывно-последовательный способ нагрева, термическая кривая.

FEATURES OF INDUCTION HARDENING OF ROLLING MILLS WORK ROLLS TAKING INTO ACCOUNT THE ELECTROPHYSICAL PROPERTIES OF MATERIALS

Kachanov A.N.¹, Mironov Y.A.²

^{1,2} FSBEI HE «OSU named after I.S. Turgenev», Oryol, Russia

¹kan@ostu.ru, ²gen996@mail.ru

The article analyzes the features of induction hardening of rolling mills rolls, considers a number of factors that affect the course of thermal processes during induction hardening of rolls. The use of an automated installation for induction hardening of rolling mills rolls using a traveling electromagnetic field and taking into account changes in the electrophysical properties of materials during heating is proposed.

Keywords: induction hardening, traveling electromagnetic field, rolling mill work roll, electrophysical properties of materials, scan heating method, thermal curve.

Индукционная закалка крупногабаритных изделий, таких как рабочие валки прокатных станов, является ответственным этапом их производства и связана с рядом особенностей, обусловленных

термическими процессами. Рабочие валки прокатных станов эксплуатируются в тяжелых условиях прокатного, а также кузнечно-штамповочного производства, и их рабочая часть испытывает повышенные нагрузки на истирание из-за непосредственного соприкосновения с обрабатываемым металлом, вследствие чего к ней предъявляются повышенные требования по критериям твердости, сопротивления износу, стойкости к образованию сколов и трещин.

Типовая конструкция рабочего валка прокатного стана состоит из следующих основных элементов [1]: бочки (рабочей части); шеек (опорных частей); приводных концов, которые служат для передачи вращения и соединения валка со шпинделем прокатного стана (см. рисунок 1).

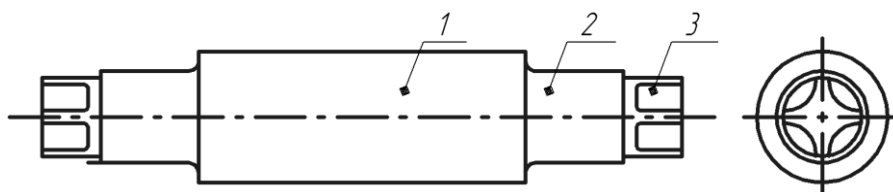


Рис. 1. Типовая конструкция рабочего валка прокатного стана:
1 – бочка; 2 – шейка; 3 – приводной конец (трефа)

Учитывая вышеперечисленные требования, для изготовления рабочих валков прокатных станов используются высокоуглеродистые легированные стали, а на заключительной стадии валки проходят сложную обработку согласно термической карте. От надлежащего соблюдения технологического процесса закалки валка зависит качество закалённого слоя, снижается вероятность возникновения остаточных термических напряжений и появления отслоений. Основным фактором, обуславливающим повышенную твердость и прочность после закалки, является уменьшение кристаллов мартенсита, как следствие измельчения зерна аустенита при нагреве стали под закалку. На кинетику роста зерна аустенита можно влиять путем изменения режима нагрева.

Помимо обеспечения требуемого распределения температуры по сечению валка для получения гомогенного аустенита, существуют факторы, которые влияют на особенности протекания термических процессов при индукционной закалке валков. Для оценки эффективности термообработки используют следующие термические параметры, которые характеризуют интенсивность фазовых превращений, происходящих в нагреваемых ферромагнитных материалах [2]:

- скорость нагрева в области фазовых превращений v_{ϕ} ;
- конечная температура нагрева t_k .

$$v_{\phi} = f(p_{\phi}); \quad (1)$$

$$t_k = f(\tau_{\phi}), \quad (2)$$

где v_{ϕ} – средняя скорость нагрева поверхности детали в области фазовых превращений;

t_k – конечная температура нагрева;

p_{ϕ} – мгновенное значение удельной мощности в рассматриваемом температурном диапазоне;

τ_{ϕ} – время нагрева поверхности детали в области фазовых превращений.

Следует отметить, что скорость нагрева – величина непостоянная, которая может отличаться в течение каждого временного интервала полного цикла закалки и зависит от требуемой глубины закалки. При индукционной закалке на большие глубины (свыше 5-8 мм) нагреве необходимо обеспечивать более низкую скорость нагрева и применять изотермическую выдержку для чего может выполняться программирование мощности.

Конечная температура нагрева выбирается в соответствии со скоростью нагрева и зависит от формы термической кривой. Для сдерживания кинетики роста и достижения наименьшего возможного размера зерна аустенита и обеспечения наиболее высоких прочностных характеристик, необходимо при заданной скорости нагрева и форме термической кривой выбирать минимальную температуру, которая обеспечивает полное завершение α - γ -превращения и гомогенизацию аустенита [3].

Помимо параметров, входящих в уравнения (1) и (2), на кинетику нагрева оказывают влияние ряд факторов, такие как частота тока источника питания закалочной установки (с ростом частоты уменьшается глубина проникновения тока в металл), а также электро- и теплофизические свойства закаливаемой стали с учетом нелинейного характера их изменения в процессе нагрева.

Успешным решением задачи, направленной на получение изделия с требуемой твердостью и прочностью закаленной поверхности, может стать применение автоматизированной установки индукционной закалки валков прокатных станов с использованием бегущего электромагнитного поля (БЭМП) промышленной частоты, что позволит учитывать изменение вышеперечисленных факторов в процессе нагрева и вносить необходимые корректировки за счет наличия обратной связи [4] (см. рисунок 2).

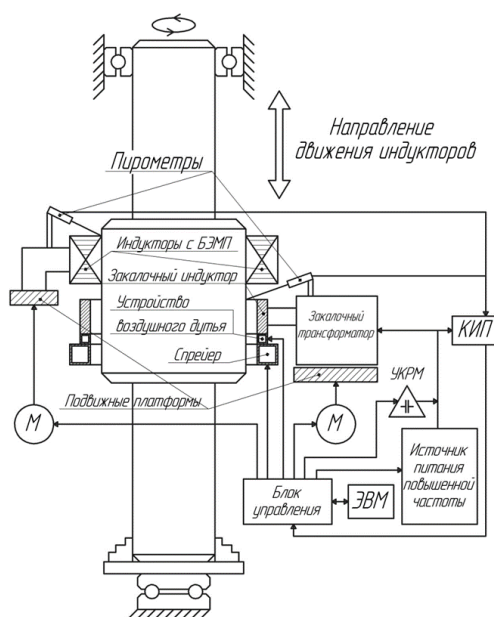


Рис. 2. Схема автоматизированной установки индукционной закалки валков прокатных станков

Автоматизированная установка индукционной закалки валков состоит следующих основных частей:

- закалочный индуктор, питаемый током повышенной частоты;
- индуктор с БЭМП, питаемый током промышленной частоты;
- спрейер и устройство воздушного дутья;
- контрольно-измерительные приборы (КИП) и блок управления;
- электронно-вычислительная машина (ЭВМ).

Данная установка реализует непрерывно-последовательный способ закалки с двухчастотным нагревом и применением индуктора с БЭМП, который обеспечивает, не только нагрев валка, но и возникновение в нём электродинамических сил, обеспечивающие его вращение, и, как следствие, получение более равномерного распределения источников теплоты в закаливаемом слое. ЭВМ ведет расчет параметров процесса нагрева [5] согласно заложенному алгоритму и в текущем режиме сравнивает их с информацией, поступающей от КИП и блока управления, что позволяет вносить необходимые корректировки по температуре и скорости нагрева, удельной мощности, изменению коэффициента мощности $\cos\varphi$ [6, 7] на различных стадиях нагрева.

Однако, необходимо проведение дополнительных теоретических и экспериментальных исследований, направленных на дальнейшее развитие современных программных методов расчета электромагнитных процессов с учетом нелинейного характера изменения электрофизических свойств материалов. Последнее позволит усовершенствовать алгоритмы работы

автоматизированной установки индукционной закалки валков прокатных станов.

Источники

1. Качанов, А.Н. Исследование индукционных устройств с бегущим электромагнитным полем для термообработки рабочих валков прокатных станов [Текст] / А.Н. Качанов, Ю.Н. Юрьев, Е.А. Миронов. // – Энерго- и ресурсосбережение – XXI век: материалы XX международной научно-практической конференции / Под. ред. докт. техн. наук, проф. А.Н. Качанова, докт. техн. наук, проф. Ю.С. Степанова. - Орел: ОГУ имени И.С. Тургенева), 2022. – С. 23-28.

2. Качанов, Н.Н. Прокаливаемость стали [Текст] / Н.Н. Качанов. - М., Metallurgy, 1978. – 192 с.

3. Шепеляковский, К.З. Упрочнение деталей машин поверхностной закалкой при индукционном нагреве [Текст] / К.З. Шепеляковский. // - М., Машиностроение, 1972. – 288 с.

4. Качанов, А. Н. Автоматизированная система управления процессом индукционной закалки валков прокатных станов [Текст] / А.Н. Качанов, Е.А. Миронов. // – Энерго- и ресурсосбережение – XXI век: материалы XVII международной научно-практической конференции / Под. ред. докт. техн. наук, проф. О.В. Пилипенко, докт. техн. наук, проф. А.Н. Качанова, докт. техн. наук, проф. Ю.С. Степанова. - Орел: ОГУ имени И.С. Тургенева), 2019. – С. 129-133.

5. Видин Ю.В., Казаков Р.В., Злобин В.С. Процесс переноса тепла в двухслойном цилиндрическом теле // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2018. Т.20, №11-12. С. 93-98.

6. Егоров Д.Э., Довгун В.П., Боярская Н.П., Ян А.В., Слюсарев А.С. Коррекция коэффициента мощности в системах электроснабжения с многофазными нелинейными нагрузками // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2020. Т.22, №6. С. 3-15.

7. Валеев И.М., Альзаккар А.М-Н. Гармоники и их влияние при определении метода компенсации реактивной мощности в электрических сетях // Вестник Казанского государственного энергетического университета, 2020. Т.12, №1(45). С. 24-39.

АВТОМАТИЧЕСКИЙ ПЕРЕВОД ДВОЙНЫХ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ В ОДНОФАЗНЫЕ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЕТЕЙ 6-10 кВ

Качанов А.Н.¹, Чернышов В.А.², Королева Т.Г.³

^{1,2,3} Россия, г. Орел, ФГБОУ ВО "ОГУ им. И.С. Тургенева"

kan@ostu.ru¹, blackseam78@mail.ru², tgkoroleva@mail.ru³

В статье рассматриваются предпосылки появления воздушных электрических сетей 6-10 кВ с изолированной нейтралью и специфика их функционирования. Представлен критический анализ современных способов отыскания однофазных замыканий на землю, обуславливающих высокую вероятность возникновения двойных замыканий на землю и нарушения надежности электроснабжения потребителей. Рассматривается новое схмотехническое решение по повышению надежности функционирования электрической сети 6-10 кВ с изолированной нейтралью, основанное на автоматическом переводе развивающегося или устойчивого двойного замыкания на землю в однофазное замыкание на землю.

Ключевые слова: воздушная электрическая сеть 6-10 кВ с изолированной нейтралью; однофазное замыкание на землю; двойное замыкание на землю; перенапряжение; шаговое напряжение; оперативно-выездная бригада; надежность электроснабжения потребителей, порядок чередования фаз.

AUTOMATIC CONVERSION OF DOUBLE EARTH FAULT INTO SINGLE-PHASE AS A WAY TO INCREASE THE EFFICIENCY OF THE FUNCTIONING OF 6-10 kV NETWORKS

Kachanov A.N.¹, Chernyshov V.A.², Koroleva T.G.³

^{1,2,3} Russia, Orel, FGBOU VO "OGU named after I.S. Turgenev"

kan@ostu.ru¹, blackseam78@mail.ru², tgkoroleva@mail.ru³

The article discusses the prerequisites for the emergence of overhead electrical networks 6-10 kV with an isolated neutral and the specifics of their functioning. A critical analysis of modern methods for finding single-phase earth faults, which cause a high probability of occurrence of double earth faults and a violation of the reliability of consumer power supply, is presented. A new circuit solution is considered to improve the reliability of the operation of a 6-10 kV electrical network with an isolated neutral, based on the automatic transfer of a developing or stable double ground fault into a single-phase ground fault.

Keywords: overhead electrical network 6-10 kV with isolated neutral; single-phase earth fault; double short to ground; overvoltage; step voltage; operational team; reliability of power supply to consumers, the order of phase sequence.

Решение об использовании режима изолированной нейтрали для воздушных электрических сетей 6-10 кВ было принято более века назад на заре электрификации бескрайних просторов Советской России [1]. Данное техническое решение было принято не случайно, а с целью обеспечения бесперебойного электроснабжения удаленных сельскохозяйственных потребителей, при возникновении в питающих их сетях однофазных замыканий на землю (ОЗНЗ). Суть в том, что при возникновении ОЗНЗ, в сетях данного класса напряжения, линейное напряжение между вводами фаз первичных обмоток понизительных подстанций 10(6)/0,4 кВ оставалось неизменным, а следовательно, оставалось неизменным и вторичное фазное напряжение, подаваемое на ввода сельскохозяйственных приемников (молотильных станков, водокачек, крупорушек, пилорам и др.), что позволяло работать им в штатном режиме.

Необходимо отметить, что несмотря на отмеченную положительную сторону изолированного режима нейтрали, у него имелся и негативный побочный эффект. Данный эффект заключался в формировании потенциально опасного шагового напряжения с радиусом действия до 8-10 метров, а также в повышении напряжения между землей и неповрежденными фазами электрической сети 6-10 кВ в $\sqrt{3}$ раз [2].

Из вышеизложенного следует, что чем выше продолжительность времени существования ОЗНЗ, тем выше вероятность возникновения электропоражений людей и животных в зоне действия шагового напряжения, а также возникновения двойных замыканий на землю (ДЗНЗ), вызывающих аварийное отключение линий.

Однако, небольшие протяженность и разветвленность воздушных линий электропередачи (ВЛЭП) 6-10 кВ, в то время, позволяли энергоснабжающим организациям поддерживать их техническое состояние на высоком уровне, а в случае возникновения ОЗНЗ быстро отыскивать и устранять его, в большинстве случаев, еще до наступления вышерассмотренных негативных последствий.

На сегодняшний день ситуация кардинально изменилась, казалось бы, все хорошо, и научно-технический прогресс щедро одарил отечественную электроэнергетику разными инновационными технологиями и прогрессивными инженерно-техническими решениями. Чего только стоит тепловизорный мониторинг ВЛЭП, осуществляемый

при помощи беспилотных летательных аппаратов [3], не говоря уже о возможностях интеллектуальных систем управления и контроля, выполненных на базе цифровых технологий [4, 5, 6].

Однако статистика аварийности и электротравматизма в современных распределительных сетях 6-10 кВ печально свидетельствует о том, что их работу вряд ли можно считать эффективной и этому есть соответствующие причины [7, 8, 9].

Для качественной и своевременной реализации необходимого объема ремонтно-восстановительных работ в воздушных электрических сетях 6-10 кВ, имеющих общую протяженность более одного миллиона километров, даже в рамках текущей эксплуатации, ежегодно требуются колоссальные материальные и трудовые ресурсы, не говоря уже о ресурсах, требующихся для проведения их модернизации или реконструкции [10].

Раньше, благодаря государственной политике планирования народного хозяйства, финансирование мероприятий, направленных на развитие воздушных электрических распределительных сетей 6-10 кВ было своевременным и достаточным.

В настоящее время, из-за недостаточного финансирования и нехватки трудовых ресурсов, ОЗНЗ все чаще и чаще приводят к отключениям ВЛЭП релейной защитой, в связи с возникновением на них ДЗНЗ. В частности, это происходит тогда, когда на подстанции срабатывает устройство неселективной сигнализации и ее дежурный персонал, или прибывший в ее расположение персонал оперативно-выездной бригады (ОВБ), по заданию диспетчера, реализует проверенный временем метод поиска, производя поочередное кратковременное выключение и включение отходящих ВЛЭП 6-10 кВ. В своей работе они руководствуются тем, что при отключении ВЛЭП с ОЗНЗ, устройство неселективной сигнализации перестает действовать на сигнал. Согласно действующим правилам организации технического обслуживания и ремонта объектов электроэнергетики [11], процесс отыскания места повреждения изоляции на ВЛЭП 6-10 кВ проводится исключительно при снятом напряжении. До недавнего времени персоналу ОВБ разрешалось производить поиск ОЗНЗ на ВЛЭП 6-10 кВ под напряжением, при помощи переносных приборов: «Поиск», «Волна», «Зонд» и др., при неукоснительном соблюдении правил техники безопасности [12].

Необходимо отметить, что отыскание места возникновения ОЗНЗ на отключенной ВЛЭП 6-10 кВ хотя и обеспечивает безопасность персонала ОВБ и исключает воздействие перенапряжения на линейную изоляцию,

однако данный способ поиска является весьма сложным и специфичным видом работ, т.к. он может быть растянут на весьма продолжительный период времени. При этом продолжительность времени поиска зависит от многочисленных факторов, таких как: время суток, время года, погодные условия, рельеф местности, протяженность ВЛЭП, уровень подготовки и оснащения персонала ОВБ.

В целях оптимизации процесса отыскания ОЗНЗ, персонал ОВБ практикует способ, позволяющий сузить зону поиска, чтобы более оперативно установить участок ВЛЭП 6-10 кВ с ОЗНЗ. Для этого по согласованию с диспетчером, он разделяет ВЛЭП с ОЗНЗ на две части, и связавшись по радиосвязи с дежурным подстанции или оставшимся на подстанции членом ОВБ, просит кратковременно подать напряжение на ВЛЭП с ОЗНЗ. В случае, если устройство контроля изоляции по-прежнему формирует сигнал, делается вывод о том, что ОЗНЗ находится на участке ВЛЭП до места разделения, соответственно если сигнала нет, то ОЗНЗ находится на участке ВЛЭП после места разделения. Несмотря на то, что рассмотренный способ существенно ускоряет процесс отыскания ОЗНЗ на ВЛЭП 6-10 кВ, он весьма негативно влияет на питающихся от этой линии потребителей, которые в ожидании возобновления электроснабжения испытывают дополнительные социальные потрясения, кроме того он может вывести из строя имеющееся у них электрооборудование.

Рассмотренные выше сложности, характеризующие процесс отыскания ОЗНЗ в современных системах электроснабжения 6-10 кВ, позволяют констатировать тот факт, что главное достоинство режима изолированной нейтрали, заложенное родоначальниками отечественной энергетики в настоящее время практически полностью утрачено [13].

В этой связи, разработка новых способов, позволяющих повышать эффективность функционирования современных воздушных электрических сетей 6-10 кВ в условиях возникновения ОЗНЗ является крайне важной задачей.

На сегодняшний день, коллектив кафедры электрооборудования и энергосбережения, проводя научно-исследовательские работы в рамках инициативной НИР [14], разработал ряд радикальных схмотехнических решений, специфика функционирования, одного из которых рассматривается в данной статье.

На рисунке 1 представлена принципиальная электрическая схема повышения эффективности функционирования воздушной электрической сети 6-10 кВ с изолированной нейтралью, основанная на переводе развивающегося или устойчивого ДЗНЗ в ОЗНЗ [15].

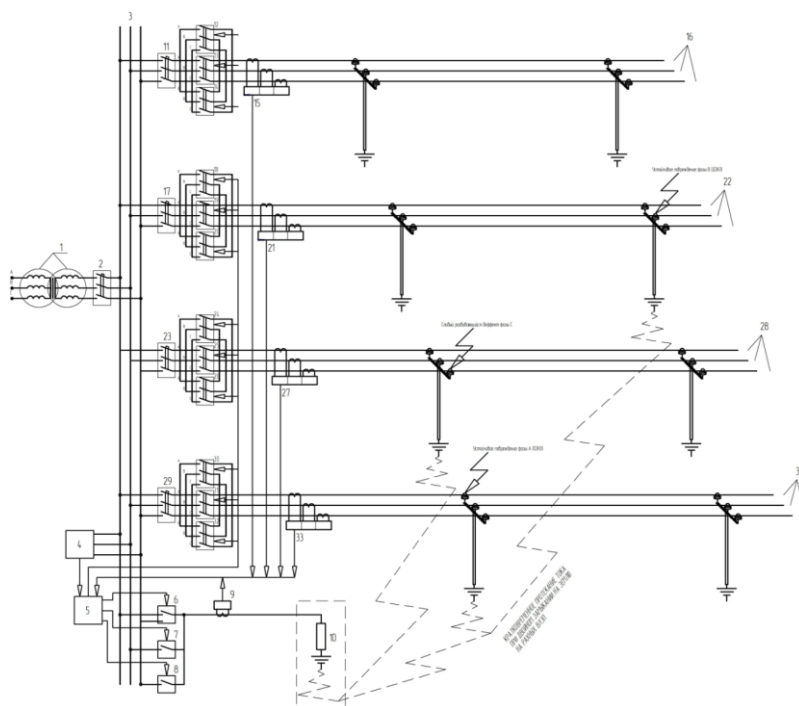


Рис.1. Принципиальная электрическая схема повышения эффективности функционирования воздушной электрической сети 6-10 кВ с изолированной нейтралью

Схема (см. рис.1) содержит: силовой трансформатор 1; аппарат автоматической защиты 2, 11, 17, 23, 29; шины низковольтного напряжения 3; устройство неселективного контроля изоляции 4; блок автоматического управления 5; однофазный выключатель 6, 7, 8; датчик тока 9, 15, 21, 27, 33; низкоомный заземляющий резистор 10; дистанционно управляемый коммутационный аппарат 12, 13, 14, 18, 19, 20, 24, 25, 26, 30, 31, 32; отходящие ВЛЭП 16, 22, 28, 34.

Предлагаемый способ работает следующим образом:

При возникновении устойчивого ОЗНЗ любой из фаз на одной из ВЛЭП электрической сети с изолированной нейтралью, например фазе А линии 34, а также слабого, развивающегося дефекта изоляции одной из фаз, разноименных с фазой А на любой другой ВЛЭП, например фазе С линии 28, устройство неселективного контроля изоляции 4, подключенное к шинам низковольтного напряжения 3, регистрирует появление напряжения нулевой последовательности и формирует сигнал. Сигнал поступает на блок автоматического управления 5, который поочередно выдает команду однофазным выключателям 6, 7, 8 на поочередное кратковременное включение на землю фаз шин низковольтного напряжения 3 через низкоомный заземляющий резистор 10.

При этом в отходящей от источника питания ВЛЭП 34 включенной через коммутационный аппарат 31 и имеющей устойчивое ОЗНЗ фазы А,

будет фиксироваться датчиком тока 33 наибольшее увеличение тока в фазе А в момент поочередного кратковременного включения одной из фаз (В или С) шин низковольтного напряжения 3 на землю через низкоомный заземляющий резистор 10. При этом в отходящей от источника питания ВЛЭП 28, включенной через коммутационный аппарат 25 и имеющей слабый развивающийся дефект изоляции фазы С будет фиксироваться датчиком 27 тока среднее или незначительное увеличение тока в фазе С в момент поочередного кратковременного включения одной из фаз (А или В) шин низковольтного напряжения 3 на землю через низкоомный заземляющий резистор 10.

При одновременном поступлении информации с датчиков тока 27 и 33 на блок автоматического управления 5 последний оперативно формирует сигнал коммутационному аппарату 31 оставаться во включенном положении, сохраняя при этом порядок чередования фаз ВЛЭП 34, а коммутационному аппарату 25 отключиться и включиться вместо него коммутационному аппарату 26, изменяющему порядок чередования всех трех фаз на ВЛЭП 28, таким образом что на ее проводник с незначительным увеличением тока, будет подключена фаза А с устойчивым ОЗНЗ.

Не получив сигнала с датчика тока 15 об увеличении тока в одной из фаз ВЛЭП 16 не имеющей устойчивых повреждений и развивающихся дефектов изоляции блок управления 5 формирует сигнал коммутационному аппарату 13 оставаться во включенном положении.

При возникновении устойчивого ДЗНЗ на одной из ВЛЭП с повреждением изоляции ее фаз С или В, например на ВЛЭП 22 в фазе В, датчиком тока 21, 27 и 33 будет зафиксировано увеличение тока, весьма большое в фазе В ВЛЭП 22, а также в фазе А ВЛЭП 34 и менее высокое в фазе А ВЛЭП 28 электрически связанной сети.

Получив сигнал с датчиков тока 21, 27 и 33 блок автоматического управления 5 форсированно формирует сигнал коммутационному аппарату 19 отключиться и включиться вместо него коммутационному аппарату 18, изменяющему порядок чередования всех трех фаз на ВЛЭП 22, таким образом что на ее проводник с весьма большим увеличением тока была подключена фаза А с устойчивым ОЗНЗ.

Для успешной реализации данного способа необходимо чтобы аппараты автоматической защиты 11, 17, 23, 29 ВЛЭП 16, 22, 28, 34 были отстроены по времени срабатывания таким образом, что бы за время изменения порядка чередования всех трех фаз на ВЛЭП с развивающимся

или устойчивым ДЗНЗ не происходило преждевременного их срабатывания.

Предлагаемый способ повышает надежность функционирования электрической сети с изолированной нейтралью находящейся в режиме ОЗНЗ, т.к. ограничивает развитие ДЗНЗ, а при его возникновении позволяет не отключать ВЛЭП 6-10 кВ с ДЗНЗ, а переводит ее в режим ОЗНЗ, что обеспечивает бесперебойное электроснабжение, запитанных от нее потребителей.

Источники

1. Грудинский, П.Г. 100-летие правил устройства электротехнических установок / П.Г. Грудинский, А.Л. Фаерман // Электричество, №12. – 1983. – С. 64-67

2. Барг, И.Г. Воздушные линии электропередачи: Вопросы эксплуатации и надежности/ И.Г, Барг, В.И. Эдельман. – М.: Энергоатомиздат, 1985.–258 с.

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

4. Цифровая энергетика: новая парадигма функционирования и развития / под ред. Н.Д. Рогалева. – М.: Издательство МЭИ, 2019. – 300 с.

5. Лизунов, И.Н. Технологии передачи данных в современных системах релейной защиты и автоматики и их показатели качества / И.Н. Лизунов, А.Н. Васев, Р.Ш. Мисбахов, В.В. Федотов, Э.А. Хузиахметова // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2017. Т.19.№ (1-2). С 52-63. doi.org/10.30724/1998-9903-2017-19-1-2-52-63.

6. Голенищев-Кутузов, А.В. Дистанционный контроль технического состояния фарфоровых высоковольтных изоляторов / А.В. Голенищев-Кутузов, В.А. Голенищев-Кутузов, Д.А. Иванов, Г.Д. Марданов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2018. Т.20. № (3-4). С 99-107. doi.org/10.30724/1998-9903-2018-20-3-4-99-107

7. Качанов А.Н., Повышение надежности, безопасности и эффективности функционирования воздушных электрических сетей 10 кВ при возникновении однофазных замыканий на землю / А.Н. Качанов, Б.Н. Мешков Б.Н., А.Е. Печагин, М.Ш. Гарифуллин // Международная научно-практическая конференция «Электрические сети: надежность, безопасность, энергосбережение и экономические аспекты». – 2021. – С. 23-28

8. Хамидуллин, И.Н. Повышение работоспособности распределительных электрических сетей / И.Н. Хамидуллин, А.В. Шагидуллин, В.К. Ильин // Вестник КГЭУ Т.10 №3 (39) 2018. – С. 72-79
9. Суслов, К. В. Повышение точности определения места повреждения в линиях электропередачи / К. В. Суслов, Н. Н. Солонина, З. В. Солонина, А. Р. Ахметшин // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2020. Т. 12. № 3(47). – С. 3-13
10. Мешков, Б.Н. Анализ влияния инвестиций в техническое обслуживание на частоту аварийных отказов ВЛ 6-10 кВ / Б.Н. Мешков, В.А. Чернышов // Агротехника и энергообеспечение, № 3 (3). – 2014. – С. 54-63
11. Правила организации технического обслуживания и ремонта объектов электроэнергетики. Последняя редакция. – М.: ЦЕНТРМАГ, 2022. – 388 с.
12. Арцишевский, Я.Л. Определение мест повреждения линий электропередачи в сетях с изолированной нейтралью / Я. Л. Арцишевский // М: Высш. шк., 1988. – 94 с.
13. Секретарев, Ю. А. Оценка влияния на надежность системы электроснабжения различного рода дефектов ее основных элементов / Ю. А. Секретарев, В. М. Левин // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2019.Т. 11. № 4(44). – С. 55-63
14. Инициативная НИР. Оптимизация процессов построения и функционирования электротехнических комплексов и систем электроснабжения потребителей". - утверждена приказом ректора ФГБОУ ВО "ОГУ им. И.С. Тургенева" № 1409 от 01.12.2022.
15. Заявка на изобретение № 2022133610 от 20.12.2022. Способ перевода разнесенного двойного замыкания на землю в однофазное в сетях с изолированной нейтралью / Качанов А.Н., Чернышов В.А., Лукьянов Г.В., Даровых А. С.; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "ОГУ имени И.С. Тургенева".

ИНТЕГРАЛЬНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ СИСТЕМ С ИСТОЧНИКАМИ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ

Рахимов О.С.¹, Тошходжаева М.И.²

^{1,2} Политехнический институт Таджикского Технического Университета
им. академика М.С. Осими, г. Худжанд, Республика Таджикистан
^{1,2}shukrona14_01_2011@mail.ru

В статье рассмотрены проблема введения интегрального показателя для систем электроснабжения с источниками распределенной генерации, приведены и обоснованы факторы которые входят в состав интегрального показателя: эксплуатационные критерии, критерии надежности и экономические критерии с учетом специфики региона.

Ключевые слова: интегральный показатель, критерии, системы с источниками распределенной генерации, ресурсы.

INTEGRAL INDICATOR OF SYSTEMS WITH SOURCES OF DISTRIBUTED GENERATION

O.S. Rakhimov O.S.¹, Toshkhodzhaeva M.I.²

^{1,2} Polytechnic Institute of the Tajik Technical University
them. Academician M.S. Osimi, Khujand, Republic of Tajikistan
^{1,2}shukrona14_01_2011@mail.ru

The article considers the problem of introducing an integral indicator for power supply systems with distributed generation sources, lists and substantiates the factors that are part of the integral indicator: operational criteria, reliability criteria and economic criteria, taking into account the specifics of the region.

Keywords: integral indicator, criteria, systems with distributed generation sources, resources.

Современная система электроснабжения при введении источников распределенной генерации должна основываться на интегральных, комплексных показателях, тем самым возникает необходимость в формировании совокупности наиболее значимых показателей, которые интегрируются в единое целое [1,2].

Потребность в проведении интегральной оценки возникает в связи с тем, что отдельные показатели не позволяют получить комплексные представления об системы электроснабжения. Необходимо отметить, что основной особенностью всех интегральных показателей является их субъективность. Следовательно, никакую интегральную оценку нельзя принимать как абсолютную истину. При отборе факторных показателей необходимо учитывать следующие: показатель должен полностью отражать рассматриваемый показатель; быть доступным в статистике и иметь числовые значения и возможность сравнения; учитывать особенности систем электроснабжения; возможность построения и интерпретации показателей и достижения поставленной цели [3].

Строительства и размещение в распределительных сетях вблизи потребителя электроэнергии источники малой генерации, способствуют снижению потерь электроэнергии в сети и поддержать уровень напряжения в пределах заданных параметров, однако проблема оптимального выбора зависит от ряда факторов: эксплуатационных, экономических критерий надежности и качества электроэнергии [3].

Эксплуатационные факторы включают следующие показатели, при транспортировке электроэнергии потери напряжения, активной и реактивной мощности, и токовая нагрузка должны быть минимальными. При этом коэффициент надежности имеет максимальное значение в период эксплуатации электроэнергетической системы [4,5]:

$$k_{ПГЭК} = f(\Delta U_{\min}; \Delta P_{\min}; \Delta Q_{\min}; k_{n\max}; I_{ст\max}) \quad (1)$$

где: ΔU_{\min} – минимальные потери напряжения в системе, кВ;

ΔP_{\min} – минимальные потери активной мощности в электроэнергетической системе, кВт;

ΔQ_{\min} – минимальные потери реактивной мощности в энергосистеме, кВАр;

$I_{ст\max}$ – минимальные токовые нагрузки в максимальном и минимальном режиме, кА;

$k_{n\max}$ – коэффициент надежности энергосистемы.

Критерий надежности является комплексным показателем, объединяющим надежность системы электроснабжения при проектировании и эксплуатации при внедрении систем распределенной генерации:

$$k_{n\max} = f(g_1 = P_{\text{проект}}; g_2 = P_{\text{эспл}}) \quad (2)$$

Экономические обхватывают следующие показатели как, минимум затрат на строительство, ремонт и обслуживание объектов РГ, минимальную стоимость выработанной электроэнергии и минимальный ущерб от недоотпуска электроэнергии в случае отказа источников РГ:

$$k_{РГЭКОН} = f(Z_{рем\ min}; Z_{обслуж\ min}; Ц_{экс\ min}; Э_{экс\ min} Y_{ЭЭ\ min}) \quad (3)$$

где: $Z_{рем\ min}; Z_{обслуж\ min}$ -минимальные затраты на ремонт и обслуживание объектов РГ, тыс.руб.

$Ц_{экс\ min}$ -минимальная стоимость отпускаемой электрической энергии, тыс.руб. кВт*час;

$Э_{экс\ min}$ -минимальная эксплуатационная стоимость электрооборудования, тыс.руб /год;

$Y_{ЭЭ\ min}$ -минимальный ущерб от недоотпуска электроэнергии, тыс.руб.

При введении в эксплуатации источников РГ показатели качества электроэнергии должны находится в пределах регламентированных норм, в соответствии с действующими нормативно-правовыми документами .

Поскольку все выше приведенные факторы являются не однородными, целесообразно ввести единый интегральный показатель, который учитывает все показатели включённую в модель:

$$П_{И} = f(k_{РГ\ экс}, k_{н}, k_{РГ\ экон}) \quad (3)$$

При неоднородности показателей частных критериев они сводятся к однородным показателям, при этом учитывается физическая размерность и важность показателя. Главная трудность возникает в случае применения и формировании критериев заключается в выявления весовых коэффициентов, которые отражают степень важности критериев, его размерности. Для выбора оптимального варианта методом аддитивной свертки принимается понятие суперкритерий:

$$k_c = \delta_i \frac{f_1(x)}{f_{1\max}} + \dots + \delta_\omega \frac{f_m(x)}{f_{m\max}} = \sum_{i=1}^m \delta_i f_j(x), \quad (4)$$

где δ_i и δ_ω – весовые коэффициенты, которые учитывают важность каждого параметра;

$f_j(x)$ – нормированный критерий эффективности.

При минимизации одного из критериев в выше приведенной формуле ставится знак «←».

Оптимальным вариантом при принятии решений является вариант с наибольшим:

$$x^n = \arg \max K_0 = \arg \max \{K_1, K_2, K_3, \dots, K_n\} \quad (5)$$

Основным недостатком данного метода является введение весовых коэффициентов, так как от их величины зависит принятие решений. Весовых коэффициентов следует принимать с учетом природных особенностей региона, графиков электрических нагрузок системы электроснабжения и характера нагрузок и т.д.

Таким образом, при выборе источника РГ следует учитывать географическое расположение района, особенности систем электроснабжения, природные и климатические характеристики (наличие рек и ручьев с достаточным напором, скорости ветра, солнечной инсоляции, геотермальных вод и т.д.) района, наличие природных месторождений (уголь, газ, торф и т.п.).

Целью дальнейшего исследования будет разработка методик расчета интегрального показателя оптимального выбора источников РГ, следовательно, выбор подходящих методик будет зависеть от специфики объекта исследования и требований к систем электроснабжений региона.

Источники

1. Toshkhodzhaeva, M., Gracheva, E., Rahimov, O., Dadabaev, S. Problems of Electric Power System Management taking into account Sources Distributed Generation/ E3S Web of Conferences, 2020, 220, 01034
2. Куликов А. Л., Осокин В. Л., Папков Б. В. Проблемы и особенности распределённой электроэнергетики //Вестник НГИЭИ. – 2018. – №. 11 (90). С.123–136.
3. Косарев Б. А. и др. Оптимизация функционирования электротехнической системы с распределенной генерацией //Актуальные вопросы энергетики. – 2019. – №. 1. – С. 99-103.
4. Варганова А. В. О методах оптимизации режимов работы электроэнергетических систем и сетей //Вестник Южно-уральского государственного университета. Серия: энергетика. – 2017. – Т. 17. – №3.
5. Тошходжаева, М. И. Ходжиев А.А. Математическая модель влияния природных и эксплуатационных факторов на надёжность влэп-110 кв в условиях резко континентального климата // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2020. Т. 12. № 1 (45). С. 71-81.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ

Хузяшев Р. Г.¹, Тухватуллин И. Р.², Смирнов Д. А.³
^{1,2,3} ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия
^{1,2,3} 1432892@mail.ru

В работе сделан обзор методов определения места повреждения (ОМП) и их применимости в распределительных электрических сетях. Показана перспективность внедрения волнового ОМП (ВОМП). На примере простейшей сети иллюстрируется механизм возникновения переходного процесса временные параметры которого используются в ВОМП.

Ключевые слова: переходной процесс, распределительная сеть, бегущая волна

FAULT LOCATION IN MEDIUM VOLTAGE ELECTRIC DISTRIBUTION NETWORKS

Khuziashev R..G.¹, Tukhvatullin I. R.², Smirnov D. A.³
^{1,2,3} KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan
^{1,2,3} 1432892@mail.ru

The paper provides an overview of traveling wave fault location methods (TWFL) and their applicability in electrical distribution networks. The prospects for the introduction of TWFL are shown. On the example of the simplest network, the mechanism of the occurrence of the transient process is illustrated, the time parameters of which are used in the TWFL.

Keywords: transient process, distribution network, traveling wave

Проблема. Задача определения места повреждения (ОМП) в электрических сетях является и не перестает быть актуальной, по причине постоянного развития вычислительных средств и техники связи, что позволяет разрабатывать и внедрять все более совершенные алгоритмы обработки регистрируемой информации.

Методы ОМП подразделяются на виды в зависимости от числа мест на линии, в которых происходит измерение режимных параметров. Дистанционные методы измеряют режимные параметры по концам линии. Топографические методы измеряют режимные параметры в произвольных

точках электрической сети на том или ином расстоянии от ее проводов. Алгоритмы ОМП подразделяются на виды в зависимости от интервала времени, когда измеряются режимные параметры: переходной режим, который следует сразу за моментом аварии, и установившийся аварийный режим до момента отключения линии. По установившемуся аварийному режиму работают методы ОМП по параметрам аварийного режима. По переходному режиму работают волновые методы, фиксирующие время прихода бегущей волны или начала сигнала переходного процесса в единой шкале времени в разных концах линии. Алгоритмы ОМП подразделяются на виды в зависимости от количества мест на концах линии, где происходит измерение параметров режима (односторонние, двусторонние, многосторонние).

Обзор текущего уровня исследования. Распределительные электрические сети среднего класса напряжения 6-35 кВ имеют особенности которые затрудняют развитие методов ОМП. К этим особенностям относятся их разветвленная древовидная структура и режим изолированной нейтрали.

Наиболее частый вид повреждения в виде однофазного замыкания на землю (ОЗЗ) порождает малые величины, что делает невозможным применение ОМП по параметрам аварийного режима. Измерение фазы и амплитуды токов и напряжений нулевой последовательности при однофазном замыкании на землю трансформаторами тока и напряжения нулевой последовательности позволило реализовать микропроцессорные шкафы определения поврежденного фидера (ОПФ), устанавливаемые на подстанции [1].

Алгоритмы ОПФ распространили для определения зоны повреждения, устанавливая индикаторы на провода линии через определенный интервал [2] и дополнили режимом кратковременного замыкания нейтрали [3].

Волновые комплексы ОМП реализуют измерение времени начала сигнала переходного процесса (НСПП и СПП). Измерение начала сигнала переходного процесса происходит с погрешностью не более 1 мкс в единой спутниковой шкале времени. В однородных сетях высокого класса напряжений они определяют место повреждения в линиях длиной несколько сот километров [4]. Для неоднородных сетей среднего класса напряжений определение места повреждения ограничено длинами линий несколько десятков километров [5].

По параметрам переходного процесса предлагается определять связь величины периода свободных колебаний и расстояния до места повреждения в работах [6, 7].

Исследования. Волновой метод определения места повреждения (ВОМП) доказал свою работоспособность как в сетях высокого напряжения, так и в распределительных электрических сетях среднего напряжения. Важной характеристикой этого метода является стоимость его аппаратных комплектов, которая за последние десятилетия существенно уменьшилась. При внедрении комплекса ВОМП в распределительных сетях важно повышать информационную ценность регистрируемых сигналов и понижать стоимость его разработки, доминирующей составной частью которого является их программное обеспечение. Программное обеспечение комплексов ВОМП определяет место возникновения сигнала переходного процесса (СПП). Структура многомодальных колебаний СПП несет информацию как о месте их возникновения, так и об их причине. Без моделирования этих процессов невозможно разобраться в механизмах формирования СПП. Рассмотрим результаты моделирования СПП в пакете PsCad для простейших моделей электрической сети.

Однопроводная электрическая сеть. На рис.1 изображена модель однопроводной линии с обратным земляным проводом, с источником переменного ЭДС промышленной частоты в начале и замыкающим ключом, имитирующим короткое замыкание, в конце линии. Источник ЭДС с фазным напряжением 10 кВ обладает нулевым сопротивлением. Линия, длиной 5 км, изображена 4-мя одинаковыми сегментами с распределенными параметрами длиной 1,25 км. Удельные параметры линии $L=2,54$ мГн/км, $C=7,07$ нФ/км, $R=0,69$ Ом/км. Волновое сопротивление линии равно 600 Ом. В узловых точках линии между сегментами расположены вольтметры и амперметры.

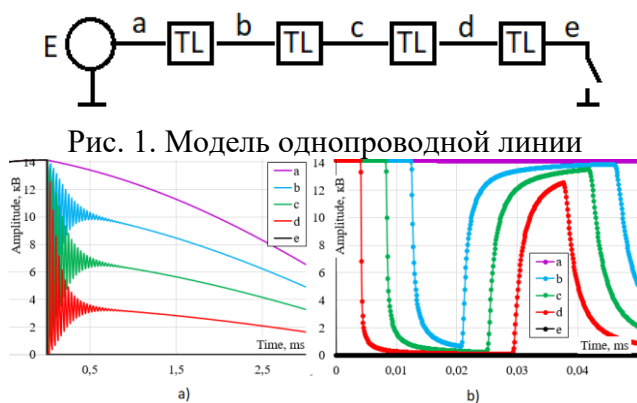


Рис. 2. Сигнал напряжения переходного процесса с большим (а) и малым временными масштабами (б)

На рис.2 изображен СПП напряжения, зарегистрированный в разных частях линии с временным интервалом дискретизации 0,1 мкс. В месте коммутации генерируется бегущая волна в форме ступени напряжения, которая распространяется к началу линии. В начале и в конце линии бегущая волна ступени напряжения отражается с коэффициентом отражения -1, что соответствует крайевым условиям равенства нулю суммарной амплитуды, падающей и отраженной волн. Интерференция множества переотраженных бегущих волн формирует стоячую волну напряжения с узлами по концам линии. Размах амплитуды колебаний в начале СПП равен фазному напряжению. С уменьшением амплитуды колебаний напряжение стремится к установившемуся аварийному значению. Постоянная спада амплитуды колебаний напряжения составляет 0,3 мс. Форма переднего фронта бегущей волны напряжения иллюстрирует увеличение его длительности примерно на 1 мкс на каждый пройденный километр в соответствии с механизмом дисперсии. Период колебаний величиной 36,2 мкс соответствует пробегу удвоенной длины линии со скоростью 276 м/мкс. Эта скорость соответствует земляной моде распространения сигнала.

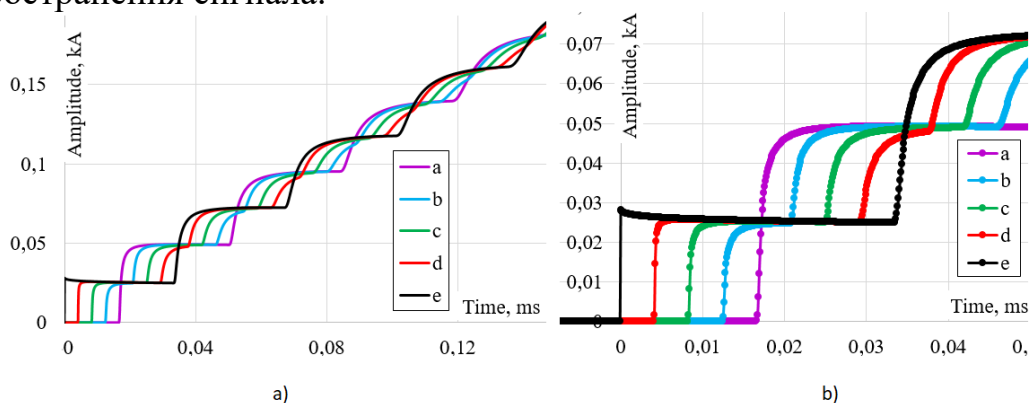


Рис. 3. Сигнал тока переходного процесса с большим (а) и малым временными масштабами (b)

На рис.3 изображен аналогичный СПП тока. В месте коммутации генерируется бегущая волна в форме ступени тока, которая распространяется к началу линии. В начале и в конце линии бегущая волна ступени тока отражается с коэффициентом отражения +1, что соответствует крайевым условиям отличия от нуля суммарной амплитуды, падающей и отраженной волн. Интерференция множества переотраженных бегущих волн формирует ступенчато нарастающую волну тока. Размах ступени амплитуды колебаний тока в начале СПП равен отношению фазного напряжения к величине волнового сопротивления и численно равен величине 25 А. Именно по первой ступени бегущей волны тока

происходит определение его временного начала. Сопоставление с первой ступенью напряжения (рис.2) указывает на преимущество сигналов напряжения относительно токовых сигналов при простейших пороговых алгоритмах определения начала СПП. Это связано с существенно большим размахом амплитуды переднего фронта сигнала напряжения по сравнению с сигналом тока.

Большую роль в распространении бегущей волны играют неоднородности линии распределительной сети. Кроме уже отмеченных концов линии к ним относятся места ответвлений, кабельные вставки, и даже опорные изоляторы.

Выводы: Большинство комплексов ВОМП регистрируют сигналы переходного процесса с помощью штатных трансформаторов тока и напряжения. Отдают предпочтение трансформаторам тока, имеющим более широкополосный коэффициент передачи. На примере простейшей электрической цепи показано, что регистрация сигналов напряжения позволяет уменьшить погрешность комплексов ВОМП.

Источники

1. Каталог продукции НПП Бреслер: [https:// https://www.bresler.ru](https://www.bresler.ru) (дата обращения: 04.04.2023).
2. Каталог продукции МНПП Антракс: [https:// https://www.Antraks.ru](https://www.Antraks.ru) (дата обращения: 04.04.2023).
3. Лопатин В.В. Система определения места повреждения воздушных линий электропередачи 6-35 кВ. // Релейная защита и автоматизация. 2021. № 3. С.94-99.
4. Львов А, Пинчуков П. Оптимизация поиска мест повреждения воздушных линий электропередачи 220 кВ, расположенных на территории Республики Саха (Якутия) с применением волновых ОМП. // Электроэнергия. Передача и распределение, №S1(28), 2023, С.44-48.
5. Феоктистов А.В. Технические решения для определения мест повреждения в распределительных сетях 6-35 кВ. // Электроэнергия. Передача и распределение, №6(69), 2021, С.94-95.
6. Качесов В.Е. Метод определения зоны однофазного замыкания в распределительных сетях под рабочим напряжением // Электричество. 2005. № 6. С. 9–18.
7. Информационные параметры электрических величин переходного процесса для определения места замыкания на землю в распределительных сетях кабельных сетях напряжением 6-10 кВ. // Вестник ИГЭУ. 2017. Вып.2. С. 34-42.

ПЕРСПЕКТИВЫ РЕАЛИЗАЦИИ ЦИФРОВОГО ОТОПЛЕНИЯ

Юровская В.Д.¹, Кижин В.В.²

^{1,2} ФГБОУ ВО «БрГУ», г. Братск, Россия

¹valeriya.yurovskaya@mail.ru, ²vadim-hero4ever@yandex.ru

В данной статье проведено исследование теплового потока, выделяемого при работе майнингового оборудования, на основе которого был выполнен анализ перспектив использования теплового потенциала дата-центров. Также был определён коэффициент полезного действия (КПД) оборудования и представлено сравнение объемов тепловой энергии, выделяемой от дата-центров.

Ключевые слова: майнинг, ASIC, тепловой поток, электрический котел, дата-центр.

PROSPECTS FOR THE IMPLEMENTATION OF DIGITAL HEATING

Yurovskaya V.D.¹, Kizhin V.V.²

^{1,2} Bratsk State University, Bratsk, Russia

¹valeriya.yurovskaya@mail.ru, ²vadim-hero4ever@yandex.ru

In this article, a study of the heat flow released during the operation of mining equipment was carried out, on the basis of which an analysis of the prospects for using the thermal potential of data centers was performed. The efficiency of the equipment was also determined and a comparison of the volumes of thermal energy released from data centers was presented.

Keywords: mining, ASIC, heat flow, electric boiler, data center.

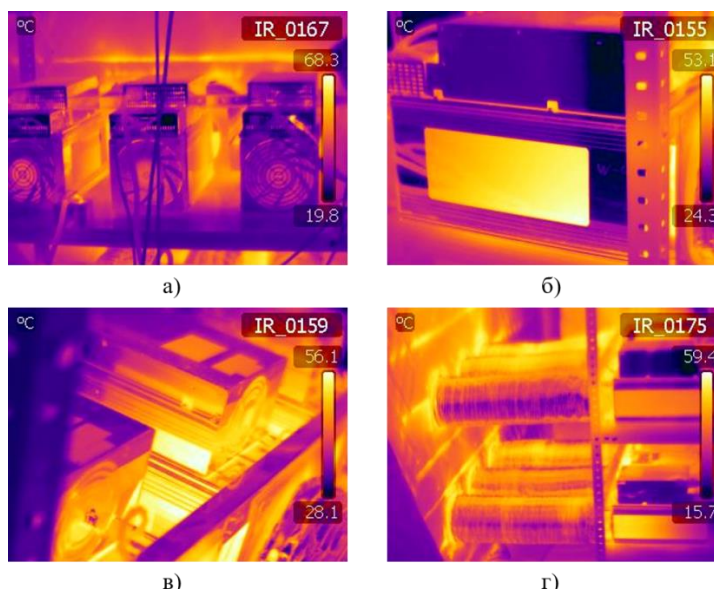
В настоящее время неотъемлемыми условиями успешного развития современного общества являются рациональный расход энергии и снижение её удельных затрат во всех сферах человеческой деятельности. Развитие данного направления стало основой для появления комплексных мер, направленных на эффективное использование топливно-энергетических ресурсов, на вовлечение в хозяйственный оборот возобновляемых источников энергии и на повышение энергоэффективности всех отраслей. С появлением крупных майнинговых ферм и популяризации частного майнинга в России, как и в мире, резко

возросла доля потребления электроэнергии, приходящаяся на добычу криптовалюты [1-3].

Основным оборудованием для добычи криптовалюты является ASIC (application specific integrated circuit). В процессе её добычи происходит нагрев оборудования — хешплат, на которых и расположены процессоры, выполняющие вычислительные функции и работающие по заданным алгоритмам майнинга. Температурные пределы при работе одних из самых популярных ASIC составляют от 90 °С до 135 °С [4]. Одним из важнейших условий для стабильной работы и для предотвращения выхода из строя элементов ASIC является постоянный отвод тепла. На сегодняшний день получаемое от майнингового оборудования тепло, имеющее высокий тепловой потенциал, сбрасывается в атмосферу, теряя перспективу к дальнейшей реализации.

В данной статье проведено исследование теплового потока, выделяемого при работе майнингового оборудования, на основе которого был выполнен анализ перспектив использования теплового потенциала дата-центров.

Для оценки действительного количества теплового потока были определены необходимые параметры оборудования. Температуры плат и характеристики ASIC Whatsminer M21S были взяты из личного кабинета оборудования, внешние температурные параметры были определены в ходе тепловизионной съемки (см. рисунок).



Термограмма исследуемого оборудования

а – фронтальная часть ASIC; б – вид справа; в – вид сзади; г – гофры, отводящие тепло с ASIC в виде воздушного потока в соседнее помещение

На основе полученных результатов по уравнению теплового баланса было рассчитано количество тепла, выделяемое ASIC, кВт·ч:

$$Q = G \cdot c \cdot (t_{\text{вых}} - t_{\text{вх}}),$$

где G — массовый расход воздуха вентилятором, равный 0,05234 кг/с; c — удельная теплоемкость воздуха, принимаемая 1,005 кДж/(кг·°C); $t_{\text{вых}}$ — температура воздуха на выходе из ASIC, принимаемая равной 85 °C; $t_{\text{вх}}$ — средняя температура воздуха, подаваемая на вход ASIC и равная 20 °C.

$$Q = 0,05234 \cdot 1,005 \cdot (85 - 20) = 3,419 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Далее был рассчитан коэффициент полезного действия (КПД) ASIC, %:

$$\eta = \frac{Q}{P} \cdot 100,$$

где P — электрическая мощность, потребляемая оборудованием и равная 3,438 кВт·ч.

$$\eta = \frac{3,419}{3,438} \cdot 100 = 99,46 \text{ \%}.$$

Рассматривая майнинговое оборудование со стороны энергетики и опираясь на рассчитанный КПД, можно сделать вывод что ASIC по принципу своей работы является электродвигательным агрегатом, при этом количество вырабатываемой тепловой энергии численно равно количеству потребляемой оборудованием электрической энергии.

Анализируя возможности теплового потока, выделяемого ASIC во время его работы, можно сделать выводы о различных вариантах применения полученного низкопотенциального тепла [5], наиболее перспективными являются:

1. Использование данного тепла для теплоснабжений зданий.
2. Восстановление и преобразование тепла в электрическую энергию с помощью термоэлектрических генераторов [6], которые затем могут быть использованы для питания сторонних устройств.
3. Передача полученного тепла для дальнейшей реализации объектом энергетической инфраструктуры.

Опираясь на вышесказанное, был проведён анализ теплового потенциала майнингового оборудования крупнейшего дата-центра России «BitRiver», расположенного в городе Братске Иркутской области.

Основываясь на информации, расположенной на официальном сайте дата-центра [7], было установлено, что на данный момент на площадке предприятия работает около 75 тысяч устройств.

Проведя расчет, был определён тепловой потенциал дата-центра, который составил 256,43 МВт или 220,49 Гкал/ч низкопотенциальной тепловой энергии, что составляет 13 % от установленной тепловой мощности теплоэлектростанции (ТЭЦ), расположенной в городе Братске.

Внедрение тепла, выделяемого майнинговым оборудованием, в процесс работы ТЭЦ, может быть осуществлено несколькими способами:

1. Установка майнингового оборудования непосредственно на самой ТЭЦ, что позволит использовать полученное тепло для нагрева воды или пара в котельных установках. Данный метод требует значительных затрат на оборудование и модернизацию ТЭЦ.

2. В случае наличия майнингового оборудования в непосредственной близости от ТЭЦ, выделяемое тепло может быть транспортировано и использовано в цикле станции. Реализация этого метода требует дополнительных инвестиций в инфраструктуру для транспортировки тепла.

3. Использование полученного тепла для нагрева воды и пара, которые в дальнейшем могут быть использованы в других производственных процессах или для обогрева жилых домов. Метод может снизить затраты на энергию, но требует установки дополнительного оборудования для использования тепла.

4. Продажа генерируемого тепла другим компаниям или частным лицам, что принесёт дополнительный доход, но требует поиска партнеров и заключения договоров.

С точки зрения экономической и экологической эффективности имеет практический интерес внедрение температурного потенциала дата-центра в тепловой цикл ТЭЦ, расположенной в непосредственной близости от объекта исследования (менее 1 км). В целом, внедрение тепла, генерируемого майнинговым оборудованием, в процесс работы ТЭЦ может снизить затраты на энергию и создать дополнительные источники дохода. Однако, это требует значительных инвестиций и модернизации инфраструктуры.

Резюмируя вышесказанное, стоит отметить, что тепло, выделяемое ASIC, можно создает новые возможности для энергосбережения и

снижения затрат компании. Учитывая имеющийся успешный опыт реализации теплового потока от майнингового оборудования, можно сделать вывод, что данная тема актуальна и представляет интерес для дальнейшего её изучения и последующего внедрения.

Источники

1. Соломенников П.В., Починкина А.М., Кортенко Л.В. Технология майнинга с точки зрения экологии и энергозатрат // Наукосфера. 2021. № 3-2. С. 226-230.

2. Самохин В.И., Самохин Д.В., Бабкин Е.Е., Петров И.М. Актуальность вопросов энергосбережения на майнинг-фермах // Силовое и энергетическое оборудование. Автономные системы. 2019. Т. 2, № 2. С. 102-110.

3. Сазонова Т. Энергетики vs майнеры: конфликт интересов или взаимная выгода? // Региональная энергетика и энергосбережение. 2018. № 3. С. 84-85.

4. Нормальные рабочие температуры майнера [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://support.bitmain.com/hc/ru/articles/360005088914> (дата обращения: 01.03.2023).

5. Юровская В.Д., Латушкина С.В. Проект использования низкопотенциальных источников энергии на Братской ГЭС // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24, № 5. С. 13-22.

6. Дмитриев А.В., Валиев И.И., Дмитриева О.С. Исследование работы термоэлектрического преобразователя в системе охлаждения энергетического оборудования. // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2015. № 11-12. С. 60-63.

7. BitRiver. Крупнейший блокчейн дата-центр в СНГ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://bitriver.com/ru/why> (дата обращения: 01.03.2023).

СЕКЦИОННЫЕ ДОКЛАДЫ МАТЕРИАЛОВ КОНФЕРЕНЦИИ

УДК 621.311.243

РАСЧЁТ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЧАСТНОГО ДОМА В УСЛОВИЯХ ТАТАРСТАНА ОТ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ

Абдреев К. А.

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

abdreev.kirill@mail.ru

Возобновляемая энергетика с каждым годом увеличивает свои объёмы. Способствуют этому, как намерения использовать более экологичные источники энергии, так и развитие технологий ВИЭ удешевляющие процессы производства электроэнергии. В связи с этим в статье была рассмотрена эффективность применения солнечных батарей для электроснабжения частного дома на территории Татарстана.

Ключевые слова: Солнечные батареи, аккумуляторы, окупаемость солнечных батарей, энергопотребление, затраты оборудования солнечных панелей

CALCULATION OF POWER SUPPLY OF A PRIVATE HOUSE IN TATARSTAN FROM SOLAR PANELS

Abdreev K. A

FGBOU VO «KGEU», Kazan, Republic of Tatarstan

abdreev.kirill@mail.ru

Renewable energy increases its volume every year. This is facilitated by both intentions to use more environmentally friendly energy sources, and the development of renewable energy technologies that reduce the cost of electricity production processes. In this regard, the article considered the effectiveness of the use of solar panels for the power supply of a private house on the territory of Tatarstan.

Keywords: Solar panels, accumulators, payback of solar panels, energy consumption, equipment costs of solar panels

Отличительной чертой возобновляемой энергетике основанной на солнечной энергии является их стоимость. В отличии от традиционных источников они не требуют постоянных затрат на топливо, однако имеют существенные затраты в моменте строительства. Использование солнечной

энергии может позволить снизить затраты на электроэнергию, повысить экологичность, а так же обеспечить резервируемость системы. В связи с этим в работе будет произведён расчёт стоимости солнечных батарей в условиях Татарстана.

Возьмём потребление домом равным 170 кВт × ч (если в нём проживает один человек), так как это число, близко к нормированному максимуму электроэнергии расходуемое одним человеком в Казани. В нашем доме будет проживать три человека. Второй сожитель будет увеличивать потребление на 50% от потребления одного человека, а третий ещё дополнительные 25% от потребления одного человека. [1] Тогда:

$$P_{\text{потр.в месяц}} = 1,75P_{\text{потр.одним человеком}} = 1,75 \times 170 = 297,5 \text{ кВт} \times \text{ч/месяц}$$

Инвертор и аккумуляторы имеют свои КПД, они будут равны 90%, тогда необходимая для производства нагрузка будет равна:

$$P_{\text{необход.}} = \frac{P_{\text{потр.в месяц}}}{0,9 \times 0,9} = 367 \text{ кВт} \times \text{ч/месяц}$$

Или 12,2 кВт × ч /день.

Выберем солнечные батареи HVL-385/НТ. Их максимальные ток и напряжение будут равны 8,76А и 44,71В соответственно. Мощность 390 Вт [2]. Необходимое нам количество батарей можно вычислить по формуле

$$N_{\text{батарей}} = \frac{P_{\text{необход.}}}{P_{\text{одной батар.}} \times n_{\text{часов солн.}}}$$

В Казани день длится в среднем около 12 часов. Около двух часов будет занимать ранний рассвет и закат со слабой отдачей света. Поэтому возьмём это число равным 10. Тогда:

$$N_{\text{батарей}} = \frac{12,2}{0,390 \times 10} = 3,13 \text{ шт}$$

Округлим в большую сторону, тогда количество таких батарей равно 4. Контроллер должен будет выдерживать ток в 35А(всех батарей) и мощность 1560 Вт. Помимо этого, наши батареи имеют нестандартные напряжения и рассчитаны на контроллер с функцией MPPT. Поэтому мы выбираем контроллер Morningstar TriStar MPPT 60А. Он выдерживает ток в 60А, напряжение до 150В и мощность до 3,2 кВт при напряжении 48В. [3]

Аккумулятор может заряжаться напряжением не более 10% от его ёмкости. Ток нашей цепи может достигать 35А. В таком случае выберем аккумулятор Trojan J185PG-AC (12V /168Ah). Его ёмкость равна 205 А*ч, напряжение 12В. Тогда энергия, хранимая в нём может достигать 2,46 кВт*ч [4]. Так как ёмкость аккумулятора 205 А*ч, тогда нам необходимо

минимум 2 таких аккумулятора, для зарядки их током до 35А. При определении числа аккумуляторов необходимо учесть наибольший период времени без солнца в Татарстане. В Казани это значение может достигать 7 дней. Тогда количество аккумуляторов необходимых для резервирования такого объёма энергии равно:

$$N_{\text{аккумулятор}} = \frac{P_{\text{необход.}} \times N_{\text{дней без света}}}{P_{\text{одного аккумуля.}}} = \frac{12,2 \times 7}{2,46} = 35 \text{ шт}$$

Инвертор необходим на напряжения 12-220 В, при максимальной мощности 1,56 кВт. Выберем инвертор МАП SIN PRO 2КВТ 12В. Его максимальная мощность 2 кВт [5, 6]. Общие затраты на оборудование будут равны:

$$C_{\text{общие}} = n_{\text{батареи}} C_{\text{батареи}} + C_{\text{контрол.}} + n_{\text{аккумулятор}} C_{\text{аккумулятор}} + C_{\text{инвертора}} = \\ = 4 \times 26790 + 79800 + 35 \times 38642 + 57500 = 1,6 \text{ млн. руб.}$$

Затраты за год на электроэнергию будут составлять:

$C_{\text{элек.энер.}} = P_{\text{потр.вдень}} \times C_{\text{эл.энер.}} \times 365$, при расчёте 2-х лет, уже будет учитываться инфляция:

$C_{\text{элек.энер.}} = P_{\text{потр.вдень}} \times C_{\text{эл.энер.}} \times 365 + P_{\text{потр.вдень}} \times C_{\text{эл.энер.}} (1 + \text{инфл.}) \times 365 = P_{\text{потр.вдень}} \times C_{\text{эл.энер.}} \times 365 \times (1 + (1 + \text{инф}))$, Тогда для большего числа лет формула будет следующая:

$$C_{\text{элек.энер.}} = P_{\text{потр.вдень}} \times C_{\text{эл.энер.}} \times 365 \times (1 + (1 + \text{инф}) \\ + (1 + \text{инф})^2 + \dots) = (\text{геометрическая прогрессия}) \\ = P_{\text{потр.вдень}} \times C_{\text{эл.энер.}} \times 365 \times \frac{(1 + \text{инф})^{n_{\text{лет}}} - 1}{(1 + \text{инф}) - 1}$$

За 22 года затраты на электроэнергию составят 1,53млн, а за 23 года 1,7. Значит, оборудование окупит себя за 23 года.

Такой большой период окупаемости солнечных батарей, говорит о малой эффективности использования таковых на территории Татарстана в условиях использования единой энергосистемы. Более обоснованным может являться использование батарей для энергообеспечения изолированного потребителя, присоединение которого к сети является затруднительным и дорогостоящим.

Источники

1. Нормы расхода электроэнергии в 2020 году на 1 человека в месяц – URL: <https://pouchetu.ru/interesnoe/normy-rashoda-elektroenergii-na-cheloveka?ysclid=lg241l1dd5838003848> (дата обращения 05.04.2023).

2. Хевел, группа компаний, Солнечный модуль HVL-385/HJT – URL: <https://www.hevelsolar.com/catalog/solnechnye-moduli/modul-fotoelektricheskii-hvl-385hjt/> (дата обращения 05.04.2023).

3. Morningstar TriStar MPPT 60A Контроллер заряда – URL: http://www.invertor.ru/zzz/item/tristar_mppt_60a?ysclid=lg3gawkkkg0594321248 (дата обращения 05.04.2023).

4. Аккумулятор тяговый Trojan J185PG-AC (12V /168Ah) – URL: <https://www.ups-mag.ru/catalog/tyagovye-akkumulyatory/trojan/trojan-j185pg-ac> (дата обращения 05.04.2023).

5. Источник бесперебойного питания map sin pro 2квт 12в – URL: <https://microart.ru/product/map-212/> (дата обращения 05.04.2023).

6. Бородина Д. П. Выбор солнечной электростанции для электроснабжения частного дома / Бородина Д. П., Галстян Р. А. // Молодежь и системная модернизация страны/ Юго-Западный государственный университет – Курск, 2020. – том 6 - С. 40– 45.

7. Патент на полезную модель № 209293 U1 Российская Федерация, МПК H02J 7/24. Преобразователь тока для заряда электрохимических источников тока : № 2021133633 : заявл. 18.11.2021 : опубл. 15.03.2022 / И. М. Валеев, В. Г. Макаров, В. Д. Сандаков ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Казанский государственный энергетический университет". – EDN GFKSFV.

8. Мусаев, Т. А. Исследование корреляционно-регрессионной зависимости между показателями баланса электрической энергии / Т. А. Мусаев, М. Н. Хабибуллин, И. М. Валеев // XVI Всероссийская открытая молодежная научно-практическая конференция «Диспетчеризация и управление в электроэнергетике», Казань, 20–21 октября 2021 года. – Казань: Общество с ограниченной ответственностью "Издательско-полиграфическая компания "Бриг", 2022. – С. 177-179. – EDN OEANBY

9. Абдуллазянов Э.Ю., Грачева Е.И., Горлов А.Н., Шакурова З.М., Табачникова Т.В., Шумихина О.А, Гибудуллин Р.Р. Исследование качества функционирования электрических аппаратов низкого напряжения в составе электротехнических комплексов // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021. Т. 23. № 6. С. 3-15. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-6-3-15

10. Арестова А.Ю., Ульянов В.Н., Фролов М.Ю. Алгоритм расчета показателей энергоэффективности оборудования нефтегазодобывающего предприятия // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ

ЭНЕРГЕТИКИ. 2021. Т. 23. № 6. С. 16-28. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-6-16-28.

11. Генбач, А. А. Пути повышения эффективности охлаждения камер сгорания и сопел ГТУ / А.А. Генбач, Д.Ю. Бондарцев, И. К. Илиев // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Т. 13. № 3(51). С. 114-134.

12. Повышение системной эффективности ТЭЦ как фактор перехода к ресурсосберегающей и экологически безопасной энергетике / С.С. Белобородов, А.А. Дудолин, Е. М. Лисин, В.О. Киндра // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Т. 13. № 3(51). С. 135-145.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАХОЖДЕНИЯ ПРИБЛИЖЕННОГО ВЫЧИСЛЕНИЯ ОПРЕДЕЛЕННОГО ИНТЕГРАЛА МЕТОДОМ СИМПСОНА

Азимов Н. С.

ПИТТУ имени М.С. Осими в г. Худжанд, г. Худжанд, Таджикистан
dilmurod.tjk@gmail.com

В настоящее время моделирование математических процессов является одним из важнейших методов повышения степени знаний студентов в технических вузах. Работа посвящена моделированию процесса нахождения приближенного вычисления определенного интеграла методом Симпсона.

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

MODELING OF THE PROCESS OF FINDING AN APPROXIMATE CALCULATION OF A CERTAIN INTEGRAL BY THE SIMPSON METHOD

Azimov N. S.

PITTU named after M.S. Osimi in Khujand, Khujand, Tajikistan
dilmurod.tjk@gmail.com

Currently, modeling of mathematical processes is one of the most important methods of increasing the degree of knowledge of students in technical universities. The paper is devoted to modeling the process of finding an approximate calculation of a certain integral by the Simpson method.

Keywords: modeling, definite integral, Simpson's method, approximate value, Newton-Leibniz formula

Известно, что определенный интеграл может быть вычислен по формуле Ньютона-Лейбница. Но существуют функции, для которых невозможно найти первообразную функцию, тем самым определенный интеграл от таких функций невозможно вычислить. Для это существуют разные приближенные методы интегрирования, одним из которых является метод Симпсона [1].

В данной работе приведен процесс моделирования приближенного вычисления определенного интеграла этим методом. Общий вид программы приведен на рисунке 1.

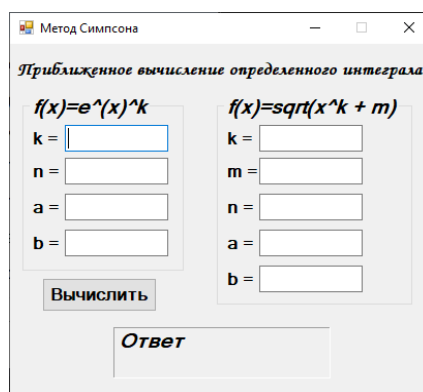


Рис. 1. Общий вид программы

Приведем код вычисления [2].

Листинг 1. Код вычисления

```
Private Sub Button1_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles
Button1.Click
```

```
    Dim a1, a2, n1, n2, b1, b2, k1, k2, m As Integer
```

```
    If aValue.Text <> "" Then a1 = Integer.Parse(aValue.Text) : If
a2Value.Text <> "" Then a2 = Integer.Parse(a2Value.Text) : If bValue.Text <>
"" Then b1 = Integer.Parse(bValue.Text) : If b2Value.Text <> "" Then b2 =
Integer.Parse(b2Value.Text) : If kValue.Text <> "" Then k1 =
Integer.Parse(kValue.Text) : If k2Value.Text <> "" Then k2 =
Integer.Parse(k2Value.Text) : If nValue.Text <> "" Then n1 =
Integer.Parse(nValue.Text) : If n2Value.Text <> "" Then n2 =
Integer.Parse(n2Value.Text) : If mValue.Text <> "" Then m =
Integer.Parse(mValue.Text) : If aValue.Text <> "" And bValue.Text <> "" And
a1 >= b1 Or a2Value.Text <> "" And b2Value.Text <> "" And a2 >= b2 Then
```

```
        MsgBox("Значение нижней грницы интеграла должно быть меньше
верхней границы!", vbCritical, "Ошибка") : Exit Sub
```

```
    End If
```

```
    If nValue.Text <> "" And n1 Mod 2 = 1 Or n2Value.Text <> "" And
n2 Mod 2 = 1 Then
```

```
        MsgBox("Значение n должно быть четным!", vbCritical, "Ошибка") :
Exit Sub
```

```
    End If
```

```

    If kValue.Text <> "" And k1 <= 1 Or k2Value.Text <> "" And k2 <= 2
Then
    MsgBox("Степень x должна быть больше 1 и больше 2
соответственно!", vbCritical, "Ошибка") : Exit Sub
    End If
    If aValue.Text <> "" And bValue.Text <> "" And kValue.Text <> ""
And nValue.Text <> "" Then
        answer.Text = "Ответ 1 = " & exponenta(a1, b1, k1, n1)
        ElseIf a2Value.Text <> "" And b2Value.Text <> "" And k2Value.Text
<> "" And n2Value.Text <> "" And mValue.Text <> "" Then
            answer.Text = "Ответ 2 = " & koren(a2, b2, k2, n2, m)
        End If
    If aValue.Text <> "" And bValue.Text <> "" And kValue.Text <> ""
And nValue.Text <> "" And a2Value.Text <> "" And b2Value.Text <> "" And
k2Value.Text <> "" And n2Value.Text <> "" And mValue.Text <> "" Then _
        answer.Text = "Ответ 1 = " & exponenta(a1, b1, k1, n1) & vbCrLf &
"Ответ 2 = " & koren(a2, b2, k2, n2, m) : End Sub
    Private Function exponenta(ByVal a1 As Integer, b1 As Integer, k1 As
Integer, n1 As Integer) As Double
        Dim h, stepen, yChet, yNechet As Double
        h = (b1 - a1) / n1
        For i = 2 To n1
            stepen = (a1 + (i - 1) * h) ^ k1
            If i Mod 2 = 0 Then : yNechet = yNechet + Math.Exp(stepen)
            ElseIf i Mod 2 = 1 Then : yChet = yChet + Math.Exp(stepen)
            End If
        Next
        exponenta = Math.Round((h * ((Math.Exp(a1 ^ k1) + Math.Exp(b1 ^
k1)) + (4 * yNechet) + (2 * yChet))) / 3, 4)
    End Function
    Private Function koren(ByVal a2 As Integer, b2 As Integer, k2 As
Integer, n2 As Integer, m As Integer) As Double
        Dim h, virojenie, yChet, yNechet As Double
        h = (b2 - a2) / n2
        For i = 2 To n2
            virojenie = ((a2 + (i - 1) * h) ^ k2) + m
            If i Mod 2 = 0 Then : yNechet = yNechet + Math.Sqrt(virojenie)
            ElseIf i Mod 2 = 1 Then : yChet = yChet + Math.Sqrt(virojenie)
            End If
        End If
    End Function

```

```

Next
koren = Math.Round((h * ((Math.Sqrt((a2 ^ k2) + m) +
Math.Sqrt((b2 ^ k2) + m)) + (4 * yNchet) + (2 * yCchet))) / 3, 4)
End Function

```

Код вычисления составлен для приближенного вычисления определенного интеграла от функций $f(x) = e^{x^k}$ ($k > 1$) и $f(x) = \sqrt{x^k + m}$ ($k > 2$).

На рисунке 2 приведено приближенное вычисление определенного интеграла от этих функций при значений параметров $k = 2$, $n = 10$, $a = 0$ и $b = 1$ для первой функции, $k = 3$, $n = 4$, $a = -1$, $b = 3$ и $m = 2$ – для второй функции.

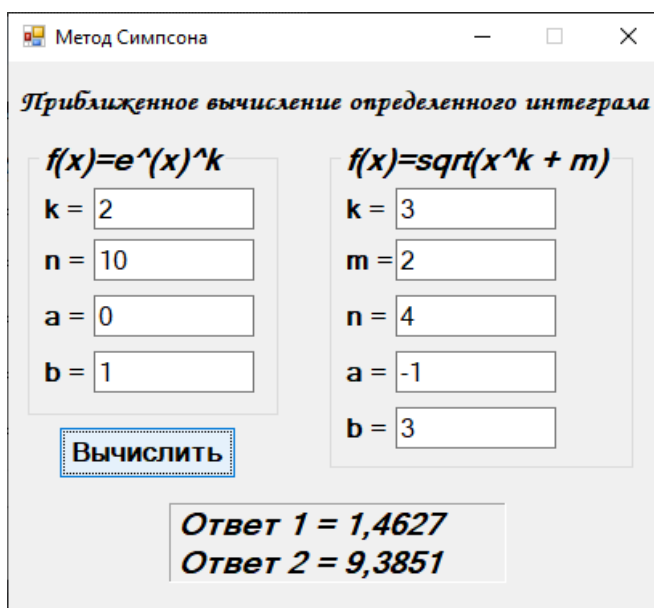


Рис. 2. Пример вычисления

Моделирование математических процессов с использованием элементов программирования даёт возможность найти приближенное значение определенного интеграла от функций, для которых не существует первообразных. Тем самым могут быть использованы для решения многих технических задач.

Источники

1. Пискунов Н.С. Дифференциальное и интегральное исчисления для вузов. Москва: Наука, 1985. 432 с.

2. Дейтел Х.М., Дейтел П.Дж. Как программировать на Visual Basic.NET: Книга 1. Основы программирования. Пер. с англ. Москва: ООО «Бином-Пресс», 2003. 768 с

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ НАГРЕВА ВОДЫ ЗА СЧЕТ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

Александрова А. А.¹, Симачкова М. С.², Дулепова Ю. М.³
^{1,2,3} ГБОУ ВО «НГИЭУ», г. Княгинино, Россия
alieksandrova_1990@mail.ru¹, marina_w@inbox.ru², makjul92@mail.ru³

На сегодняшний день, в связи с ростом тарифов на электрическую и тепловую энергию, сельскохозяйственные производители ищут пути решения по сокращению затрат на энергоресурсы. Одним из вариантов, которые рассматриваются активно последние 20 лет, является использование солнечной энергии.

Ключевые слова: водонагреватели, гелиоустановка, коллектор, нагрев, солнечная энергия, электрическая энергия.

IMPROVING THE DESIGN OF AN ENERGY-SAVING DEVICE FOR HEATING WATER USING SOLAR ENERGY

Alexandrova A.A.¹, Simachkova M. S.², Dulepova Y. M.³
^{1,2,3} GBOU VO "NGIEU", Knyaginino, Russia
alieksandrova_1990@mail.ru¹, marina_w@inbox.ru², makjul92@mail.ru³

Today, due to the increase in tariffs for electric and thermal energy, agricultural producers are looking for solutions to reduce energy costs. One of the options that have been actively considered over the past 20 years is the use of solar energy

Keywords: water heaters, solar installation, collector, heating, solar energy, electric energy.

Солнечное излучение применяется как для получения электрической энергии, так и для тепловой энергии, используемой для отопления помещения и для горячего водоснабжения [1]. Именно горячее водоснабжение составляет до 15 % от общего потребления электрической энергии, и, поэтому данная работа посвящена рассмотрению данного вопроса.

Проанализировав публикации и изобретения по подборке «солнечные водонагреватели» [2, 3, 4, 5], видно, что количество статей увеличилось почти в 2 раза, результаты представлены в таблице 1.

Распределение по годам публикаций из подборки «солнечные водонагреватели»

Год	2021	2020	20219	2018	2017	2016	2015	2014	2013	2012
Статей	14	13	5	14	7	8	8	4	3	6

Кроме этого, были рассмотрены типы солнечных водонагревателей, применяемых на сельскохозяйственных предприятиях, способы подключения и технические характеристики.

Одним из вариантов является разработанная Всероссийским научно-исследовательским проектно-технологическим институтом механизации и электрификации сельского хозяйства гелиоустановка для снабжения доильных площадок крупного рогатого скота горячей водой [6].

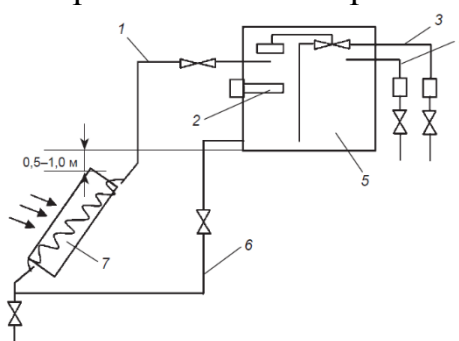


Рис. 1. Гелиоустановка для снабжения доильных площадок крупного рогатого скота горячей водой: 1 – трубопровод подачи теплой воды в аккумулятор; 2 – электроподогреватель воды; 3 – трубопровод подвода в аккумулятор холодной воды; 4 – трубопровод забора нагретой воды; 5 – бак-аккумулятор; 6 – обратный трубопровод; 7 – гелионагреватель

Технологическая схема гелиоустановки представляет собой секцию гелионагревателей, которые соединены трубопроводами с бак-термосом. В каркасе гелионагревателя размещен зачерненный металлический радиатор с каналами для циркуляции воды, для улучшения тепловых характеристик гелионагреватель сверху покрыт стеклом, а снизу — слоем теплоизоляции.

Данная система работает без циркуляционного насоса. Экономия за счет применения гелиоустановки составит 8,5 тыс. кВт·ч, это около 65 % от всей потребляемой электрической энергии.

Еще одним способом нагрева воды на сельскохозяйственных предприятиях является применение солнечной водонагревательной установки УВС-30-1.

В устройстве использованы серийные стальные отопительные радиаторы типа РСГ-2 и автоматическое устройство на основе фотореле

ФГ-2 для включения дублирующей системы. Экономия топлива до 9 т условного топлива в год.

Солнечные водонагреватели, рассмотренные выше, использующие как поглощающий элемент конструкцию крыши, имеют сезонный характер работы. Установки изготовлены с использованием пластического материала или стеклопластика, которые подвергаются влиянию перепада температур, что сокращает срок службы устройства для нагрева воды.

Для решения данной проблемы было сконструировано устройство для нагрева воды за счет солнечной энергии [7]. Данное устройство выполнено с использованием кровли крыши в качестве элемента солнечного коллектора.



Рис. 2. Солнечный коллектор

Такая конструкция позволяет сельскохозяйственным организациям не затрачивать большие площади для установки солнечных водонагревателей, не требует затрат на эксплуатацию. Кроме того, рассматриваемое устройство является частью сооружения – кровлей крыши, что удешевляет стоимость капитальных и эксплуатационных затрат.

Источники

1. Земсков В.И. Возобновляемые источники энергии в АПК: учебное пособие. СПб.: Издательство «Лань», 2014. 368 с.

2. Грачева Е.И., Горлов А.Н., Шакурова З.М. Анализ и оценка экономии электроэнергии в системах внутривозовского электроснабжения. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2020. № 22(2). С 65-74.

3. Moskalenko N.I., Akhmetshin A.R., Safiullina Y.S., Dodov I.R., Khamidullina M.S. Simulation of the impact of the atmospheric weather state on the efficiency of functioning of solar thermal and power plants. Power engineering: research, equipment, technology, 2021. № 23(5). С 86-99. (In Russ.)

4. Султанов М.М. Разработка методологии и мероприятий по обеспечению надежности оборудования энергетических систем. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. № 23(5). С 46-55.

5. Лаврик А.Ю., Жуковский Ю.Л., Лаврик А.Ю., Булдыско А.Д. Особенности выбора оптимального состава ветро-солнечной электростанции с дизельными генераторами. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2020. № 22(1). С 10-17.

6. Сулейманов М.Ж. Экспериментальное исследование теплотехнических характеристик солнечных коллекторов и водонагревательных установок. Диссертация на соискание кандидата технических наук. Москва, 2007. 130 с.

7. Патент на изобретение № 2672656 РФ, МПК F24S 10/55, F24S 10/70. Устройство для нагрева воды за счет солнечной энергии / Александрова (Маслова) А. А., Осокин В. Л. № 2016126648; опубл. 16.11.2018, Бюл. № 32.

ТРАНСФОРМАТОРНОЕ МАСЛО МАРКИ ТКП И ЕГО ХАРАКТЕРИСТИКИ

Валеев А.А.¹, Валлиулина Д.М.², Козлов В.К.³, Мустафин Т.А.⁴
^{1,2,3,4} ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
^{1,2,3,4} 89534960746@mail.ru

Представлены результаты изучения трансформаторного масла, марки ТКп, при облучении лазером различных источников цвета. В процессе облучения, приведены спектры источников излучения и анализ трансформаторного масла.

Ключевые слова: кюминесценция, излучение, рассеяние

TRANSFORMER OIL OF THE TKP BRAND AND ITS CHARACTERISTICS

Valeev A.A.¹, Valiullina D.M.², Kozlov V.K.³, Mustafin T.A.⁴
^{1,2,3,4} FGBOU VO "KGEU", Kazan
^{1,2,3,4} 89534960746@mail.ru

The results of the study of transformer oil, the TKp brand, under laser irradiation of various color sources are presented. In the process of irradiation, the spectra of radiation sources and the analysis of transformer oil are given.

Keywords: luminescence, radiation, scattering

Для определения характеристик трансформаторного масла и изменений в процессе его эксплуатации можно использовать визуальный метод, описанный в [1]. Для этого необходимо провести исследование образцов масел при освещении их различными источниками света. Одновременно с этим необходимо измерить спектры излучения различных участков масел. После этого можно провести анализ полученных данных и определить изменения характеристик масла, таких как вязкость, кислотное число, токсичность и другие. Важно отметить, что правильная расшифровка фотографий масел требует определенного опыта и знаний в этой области.

На рис. 1 приведены фотографии масел ТКп в кювете размером 50 мм при облучении ее зеленым, красным, синим и зеленым источников света (рис. 1 а), с длиной волны 531 нм, (рис. 1 б) с длиной волны 654 нм,

(рис. 1 в) с длиной волны с максимумом 400 нм и полушириной линии излучения ~ 25 нм и (рис. 1 г) с линией накачки на длине волны 447 нм. Облучение производилось в начале одной из сторон кюветы, прошедшее излучение регистрировалось с помощью зеркала, находящегося после кюветы под углом 45° к направлению распространения облучаемого излучения.

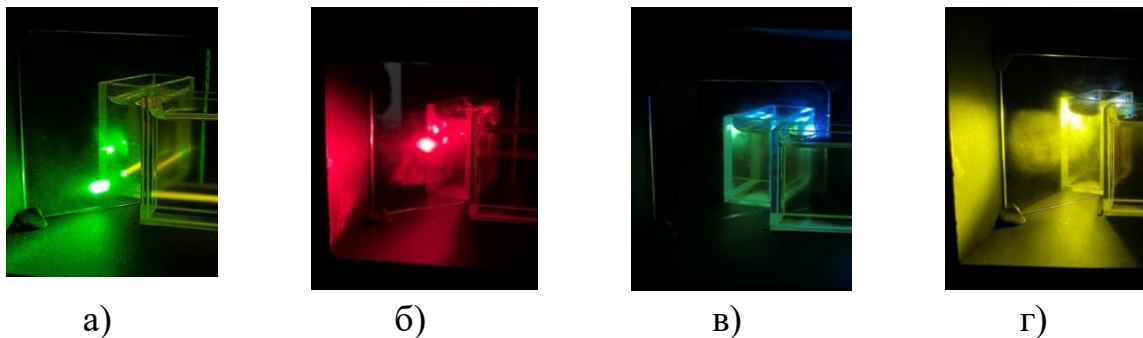


Рис. 1. Фотографии кюветы с маслом ТКп при освещении их:
 а – излучением зеленого источника света;
 б – излучением красного источника света;
 в – излучением источника синего света;
 г – излучением источника белого света

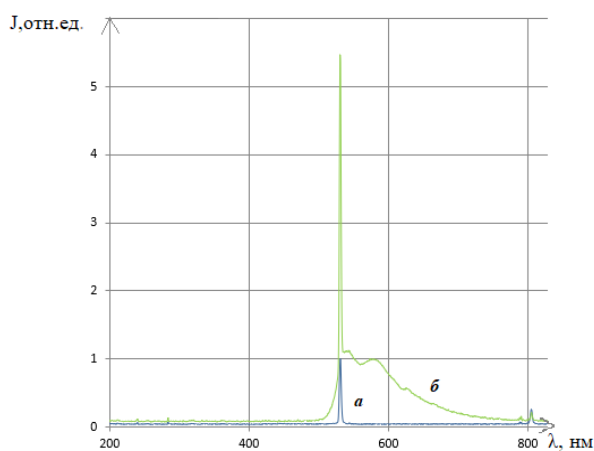


Рис. 2. Спектр зеленого источника света а) спектр свечения масла б) при освещении в начале кюветы

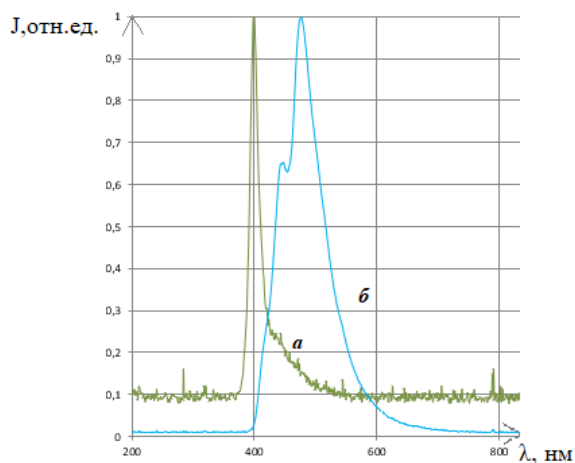


Рис. 3. Спектр синего источника света а) и спектр свечения масла б) при облучении в начале кюветы

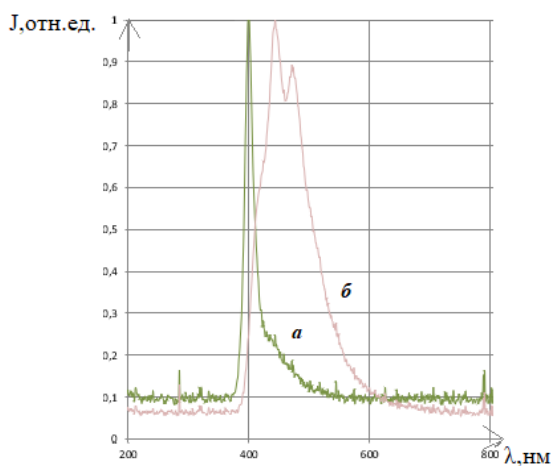


Рис. 4. Спектр синего источника света а) спектр свечения масла б) при облучении, з в середине кюветы

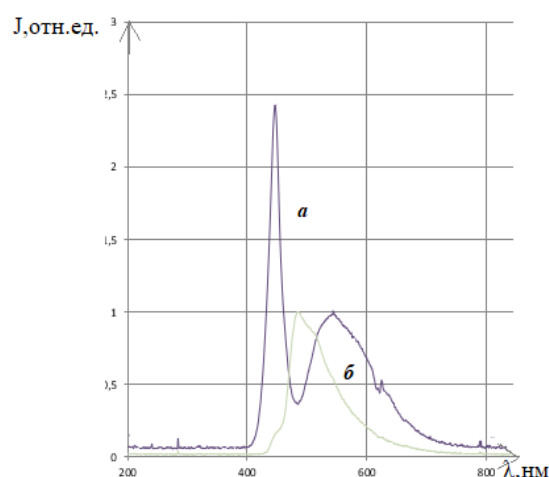


Рис. 5. Спектр белого источника света а) спектр свечения масла б) при облучении, в начале кюветы

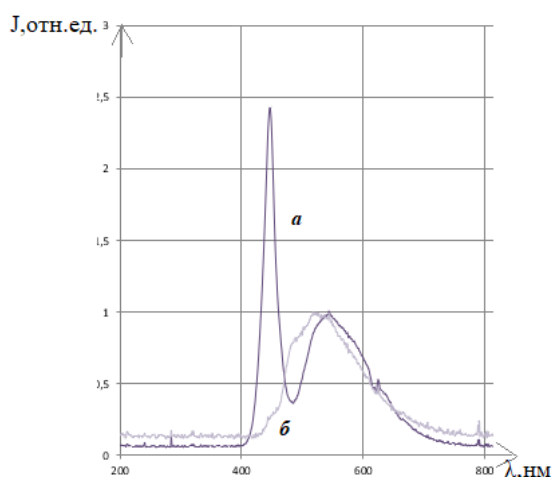


Рис. 6. Спектр белого источника света масла а) спектр свечения масла б) при облучении, зарегистрированный в середине кюветы

Согласно методике, описанной в источнике [2], в направлении перпендикулярном к направлению источника света, наблюдается рассеянное на частицах масла Релеевское излучение и люминесценция молекул ароматических соединений, присутствующих в составе масла. Анализ прошедшего излучения показывает, что спектр представлен истинным спектром источника света с учетом ослабления, вызванного Релеевским рассеянием на частицах масла, а также молекулярным поглощением, обусловленным молекулами, находящимися в масле.

Анализ фотографий и спектров, приведенных выше, позволяет дать однозначную интерпретацию конкретных вкладов в наблюдаемые явления.

Анализ фотографии рис. 1а и графика рис. 2 позволяет установить наличие рассеяния зеленого света и люминесценции (желтый цвет излучения) в масле ТКп. Согласно спектру на рис. 2б, люминесценция объясняется наличием ароматических молекул сложной структуры, содержащих более четырех бензольных колец. Облучение красным светом выявило отсутствие люминесценции и рассеяния рис. 1б, что свидетельствует об отсутствии более сложных молекул и частиц большого размера в масле ТКп.

Фотография на рис. 1в и спектры на рис. 3 и 4 указывают на присутствие люминесценции молекул с тремя-четырьмя бензольными кольцами в начале и середине кюветы. Различие спектров связано с молекулярным поглощением и рассеянием на частицах.

Присутствие рассеивающих частиц подтверждено фотографией на рис. 1г и спектрами на графике рис. 5 и 6, где в начале кюветы наблюдается люминесценция, а в середине - рассеяние. Рассеяние излучения источника света вызывает длинный луч рассеивания. Отсутствие рассеяния более длинноволновых лучей свидетельствует об отсутствии больших частиц в масле ТКп.

Данное исследование помогает понять визуальные характеристики масла ТКп. Рассеяние при длине волны больше 500 нм отсутствует, что подтверждает отсутствия больших частиц в масле ТКп (~ 600 нм), что свидетельствует отсутствием рассеяния красного излучения. Таким образом становится понятно, что природа визуальных характеристик трансформаторного масла марки ТКп зависит от различных источников освещения .

Источники

1. В. К. Козлов, Д. М. Валиуллина, В. Н. Енюшин, Р. А. Гиниатуллин. Диагностика состояния трансформаторного масла по его координатам цветности // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2022. – Т. 78. – № 3. – С. 109-115.

2. В. К. Козлов, Д. М. Валиуллина, О. А. Туранова, А. Н. Туранов. Механизмы деградации трансформаторных масел // Электрические станции. – 2022. – № 2(1087). – С. 41-44.

3. Исследование динамической устойчивости энергосистемы сирийской арабской Республики / А. Альзаккар, Н. П. Местников, Ф. Алхадж Хассан, И. М. Валеев // Электрические сети: надежность,

безопасность, энергосбережение и экономические аспекты : Материалы международной научно-практической конференции, Казань, 07 апреля 2021 года / Редколлегия: В.В. Максимов (отв. редактор) [и др.]. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. – С. 66-70. – EDN KJSKMX.

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

5. Бородин М.В., Виноградов А.В., Букреев А.В., Панфилов А.А. Структура времени определения источника искажений показателей качества электрической энергии и программно-аппаратный комплекс для его сокращения // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021. Т. 23. № С. 29-41. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-6-29-41.3.

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

7. Запольская, И. Н. Влияние индивидуальных водо-водяных подогревателей на потребление тепловой энергии многоквартирными домами / И.Н. Запольская // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Т. 13. № 3(51). С. 146-155.

8. Изучение конструктивных особенностей мобильных установок заряда электротранспорта для разработки эскизной конструкторской документации / А. Р. Сафин, И. В. Ившин, А. Н. Цветков [и др.] // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Т. 13. № 3(51). С. 15-24.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТАНГЕНСА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ И ЕГО ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА

Валеев А.А.¹, Валлиулина Д.М.², Козлов В.К.³, Мустафин Т.А.⁴

^{1,2,3,4} ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

^{1,2,3} 89534960746@mail.ru, ⁴konamipes354@gmail.com

В этом тексте обсуждается определение и важность тангенса диэлектрических потерь для трансформаторного масла. Этот термин относится к отношению энергии, теряемой в виде тепла из-за электрического сопротивления масла, к энергии, запасенной в электрическом поле. Более высокий коэффициент рассеивания указывает на большие диэлектрические потери, что может быть признаком загрязнения или деградации масла. Поддержание коэффициента рассеивания в допустимых пределах имеет решающее значение для обеспечения безопасной и надежной работы трансформаторов

Ключевые слова: тангенс диэлектрических потерь, масло, трансформатор, температура, качество

THE DEFINITION OF THE TANGENT OF DIELECTRIC LOSSES AND ITS IMPORTANCE FOR TRANSFORMER OIL

A.A. Valeev¹, T.A. Mustafin², D.M. Valiullina³, V.K. Kozlov⁴

^{1,2,3,4} FGBOU VO "KGEU", Kazan

^{1,2,3} 89534960746@mail.ru, ⁴konamipes354@gmail.com

This text discusses the definition and importance of the "dissipation factor" (or "tangent of dielectric losses") for transformer oil. The term refers to the ratio of the energy lost as heat due to the electrical resistance of the oil to the energy stored in the electrical field. A higher dissipation factor indicates greater dielectric losses, which could be a sign of contamination or degradation of the oil. Keeping the dissipation factor within acceptable limits is crucial for ensuring the safe and reliable operation of transformers

Keywords: tangent of dielectric losses, oil, transformer, temperature, quality

Тангенс диэлектрических потерь - это показатель, который описывает потери энергии в диэлектрике под воздействием переменного электрического поля. Для трансформаторного масла, тангенс диэлектрических потерь является важным показателем, определяющим

качество масла и его способность к использованию в трансформаторах. Чем меньше значение тангенса диэлектрических потерь, тем лучше качество масла и тем более эффективно работает трансформатор.

Физическое объяснение тангенса диэлектрических потерь в масле: рассмотрение молекулярных процессов и эффектов, влияющих на потери энергии в масле.

Кроме того, на значение тангенса диэлектрических потерь влияют частота переменного электрического поля, температура масла, время пребывания в масле и другие факторы. Все эти процессы непосредственно связаны с молекулярной структурой и свойствами масла, и могут привести к дополнительным потерям энергии под действием электрического поля.

Тангенс диэлектрических потерь в трансформаторном масле измеряется с помощью специальных приборов, например, прибора тангенсометра. Этот прибор устанавливается в цепь переменного электрического поля тестируемого масла, и позволяет точно измерить значение тангенса диэлектрических потерь.

Практическое значение тангенса диэлектрических потерь для трансформаторов: как потери энергии в масле влияют на технические характеристики трансформатора и его работу в целом. Значение тангенса диэлектрических потерь в трансформаторном масле важно для технических характеристик трансформаторов. Чем выше значение тангенса диэлектрических потерь, тем больше потери энергии в масле, а значит, тем ниже будет эффективность работы трансформатора.

Дополнительные потери энергии могут привести к повышению температуры масла и компонентов трансформатора, что может приводить к повреждению изоляции и других элементов трансформатора.

Методы снижения значений тангенса диэлектрических потерь в масле: представление современных методов и разработок в этой области.

Существуют различные методы для снижения значения тангенса диэлектрических потерь в трансформаторном масле. Один из наиболее распространенных методов - это очистка масла от воды и других примесей. Поскольку вода и другие примеси могут вызывать дополнительные потери энергии в масле, удаление этих примесей может существенно снизить значение тангенса диэлектрических потерь.

Другим методом снижения значения тангенса диэлектрических потерь является использование специальных добавок к маслу, такие как антиоксиданты и антикоррозийные добавки. Эти добавки могут помочь сохранять качество масла на протяжении всего срока службы

трансформатора и препятствовать росту значения тангенса диэлектрических потерь.

В заключении можно сказать что, различные методы могут быть применены для снижения значения тангенса диэлектрических потерь в масле, включая очистку масла, использование добавок и применение современных технологий, таких как наноматериалы.

Эффективность различных методов может различаться в зависимости от типа масла и трансформатора, поэтому для выбора наиболее эффективного метода необходимо проводить консультации со специалистами и проводить соответствующие исследования.

Таким образом, контроль за значением тангенса диэлектрических потерь в трансформаторном масле и его снижение позволят обеспечить более эффективную и безопасную работу трансформаторов в энергетических системах.

Источники

1.В. К. Козлов, Д. М. Валиуллина, В. Н. Енюшин, Р. А. Гиниатуллин. Диагностика состояния трансформаторного масла по его координатам цветности // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2022. – Т. 78. – № 3. – С. 109-115. (Дата обращения 25.02.2023)

2.В. К. Козлов, Д. М. Валиуллина, О. А. Туранова, А. Н. Туранов. Механизмы деградации трансформаторных масел // Электрические станции. – 2022. – № 2(1087). – С. 41-44. (Дата обращения 25.02.2023)

3. Вагапов Т.Р., Волкова Т.А. Трансформаторное масло как средство диагностики силовых трансформаторов.

Электротехнические комплексы и системы: Материалы международной научно-практической конференции. Уфа, 2016, с. 39-425 .(Дата обращения 25.02.2023)

4.Картик Р., Шри Ренга Раджа Т. Исследования характеристик трансформаторного масла. – 2012, том 7, стр. 369-374. (Дата обращения 25.02.2023)

5. Липштейн Р.А., Шахнович М.И. Трансформаторное масло. М.: Энергоатомиздат, 1983. 296 с. (Дата обращения 25.02.2023)

6. Объем и нормы испытания электрооборудования: СТО 34.01-23.1-001-2017. - Введ. 2017 - 05 - 29. М.: ПАО «Россети», 2017. - 262 с. (Дата обращения 25.02.2023)

7. Коробейников С.М. Исследование технологических операций, влияющих на определение концентрации присадки тонол в изоляционном

масле высоковольтного оборудования/ С.М. Коробейников, М.Н. Лютикова // Проблемы региональной энергетики. - 2018. - №36 - С.96 - 105. (Дата обращения 25.02.2023)

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

9.Определение параметров качества трансформаторного масла по его координатам цветности / В. К. Козлов, Д. М. Валиуллина, О. Е. Куракина, Э. М. Садыков // Проблемы региональной энергетики. – 2021. – № 3(51). – С. 24-36. – DOI 10.52254/1857-0070.2021.3-51.03. – EDN SKRHYS.

10. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Солуянов В.И. Анализ фактических электрических нагрузок помещений общественного назначения, твстроенных в жилые здания. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021. Т. 23. № 6. С. 137-147. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-6-137-147.

11. Татевосян А.А. Оптимизация параметров тихоходного синхронного двигателя с постоянными магнитами для линейного привода длинноходового одноступенчатого поршневого компрессора // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021. Т. 23. № 6. С. 148-156. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-6-148-156.

12. Савина, М. В. Разработка СХЕМЫ ИспользованиЯ генераторного газа из низкосортного угля в ПГУ / М. В. Савина, С. С. Тимофеева // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Т. 13. № 2(50). С. 66-77.

13. Исследование механизма влияния многофункциональной присадки к котельному топливу / Э. Р. Зверева, В. П. Плотникова, Г. Г. Сафина [и др.] // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Т. 13. № 2(50). С. 89-99.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ И ПРИМЕСЕЙ РЕЛАКСОМЕТРОМ ПРОТОННОГО МАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА (ПМР)

Васинкин К.А.¹, Кашаев Р.С.²

^{1,2} ФГБОУ ВО «КГЭУ», г.Казань

^{1,2} kirillvasinkin1999@gmail.com

В данном тезисе рассматриваются вопросы: изучение возможных направлений научно-исследовательской работы, сбор и обработка результатов эксперимента на базе метода ПМР-релаксации, проведение исследований с помощью программ, теоретических и экспериментальных методов ПМР-релаксации. Автор рассматривает текущее состояние вопроса функционирования комплекса многопараметрического учета характеристик СКЖ, нефти и воды, разрабатывает метод и алгоритмы автоматизации процесса измерения и повышения достоверности функционирования комплекса, реализует алгоритм контроля функционирования измерительной системы и режимов работы релаксометра ПМР в составе комплекса многопараметрического контроля в виде программного обеспечения

Ключевые слова: автоматизация, аппаратно-программный комплекс, экспресс-контроль, релаксометр ПМР, скважинная жидкость, нефть.

AUTOMATION OF PROCESSES OF MEASURING HUMIDITY AND IMPURITIES WITH A RELAXOMETER PROTON MAGNETIC RESONANCE (PMR)

Vasinkin K.A.¹, Kashaev R.S.²

^{1,2} KSPEU, Kazan, Russia

^{1,2} kirillvasinkin1999@gmail.com

This thesis deals with the following issues: the study of possible areas of research work, the collection and processing of experimental results based on the PMR relaxation method, research using programs, theoretical and experimental methods of PMR relaxation. The author considers the current state of the issue of functioning of the complex for multi-parameter accounting of the characteristics of SCL, oil and water, develops a method and algorithms for automating the process of measuring and increasing the reliability of the complex, implements an algorithm for monitoring the functioning of the measuring system

and the operating modes of the PMR relaxometer as part of a multi-parameter control complex in the form of software

Keywords: automation, hardware-software complex, express control, PMR relaxometer, well fluid, oil.

Нефтяная промышленность России подошло к этапу развития, когда дальнейшая добыча и подготовки нефти возможна лишь при автоматизации процессов с экспресс-контролем её характеристик из-за существенного ухудшения свойств нефти – повышенной влажности, больших концентраций примесей, что затрудняет ее подготовку до требований ГОСТ. Внедрение новых методов анализа ускорит процессы на нефтепромыслах и снизит энергопотребление оборудования. Это можно сделать с использованием метода протонной магнитной резонансной релаксометрии, позволяющим контролировать большинство физико-химических свойств сырья и продуктов.

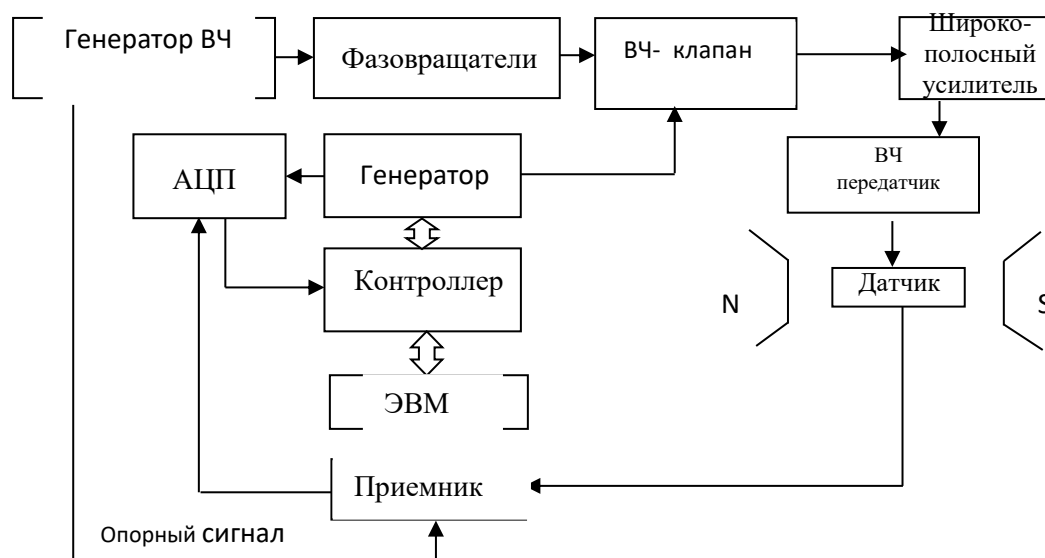


Рис.1. Электрическая функциональная схема портативного анализатора протонного магнитного резонанса (ПМР)

Наиболее энергоемким узлом релаксометра является Высокочастотный широко-полосный усилитель мощности (см. рис.2) облучающих катушку датчика импульсов - передатчик. Он должен обеспечивать короткие мощные радиочастотные импульсы на катушке датчика ЯМР на частоте резонанса. При использовании последовательности Карра –Парселла-Мейбус-Гилла (КПМГ) количество импульсов в «пачке» может достигать нескольких тысяч.

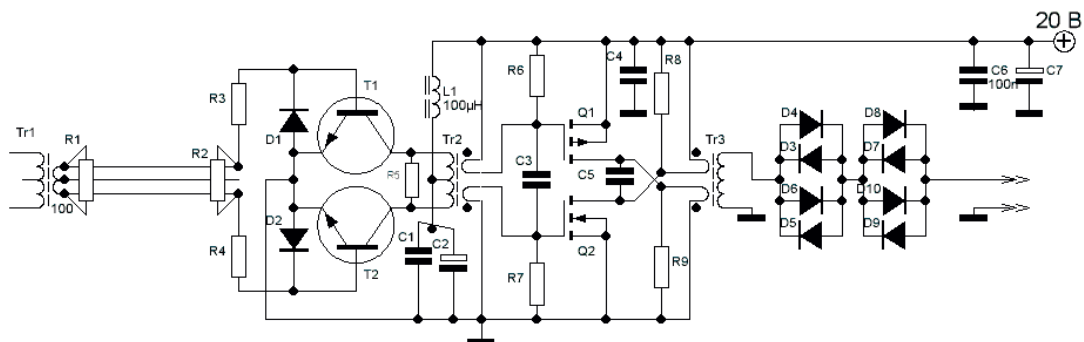


Рис.2. Принципиальная электрическая схема передатчика (улучшенная версия)

Коллекторы выходных транзисторов соединены с первичными обмотками двухтактного согласующего трансформатора. С выходной обмотки дифференциальный РЧ сигнал подается на вход двухтактного каскада на биполярных транзисторах. Усиленный по мощности сигнал управляет двухтактным каскадом на комплиментарных полевых транзисторах. Диоды D4 – D9 отсекают помехи и шумы передатчика при приеме сигнала ЯМР. Используются полевые скомбинированные по 2 транзистора в одном корпусе комплиментарные транзисторы с задержкой переключения ~ десятка наносекунд.

В конструкции релаксометра применен 8-разрядный аналого-цифровой преобразователь (АЦП) AD7819. Запуск АЦП производится импульсом с выхода СН4 генератора импульсных последовательностей. Данные считываются в «окне», которое определяется программой по сигналу Q8

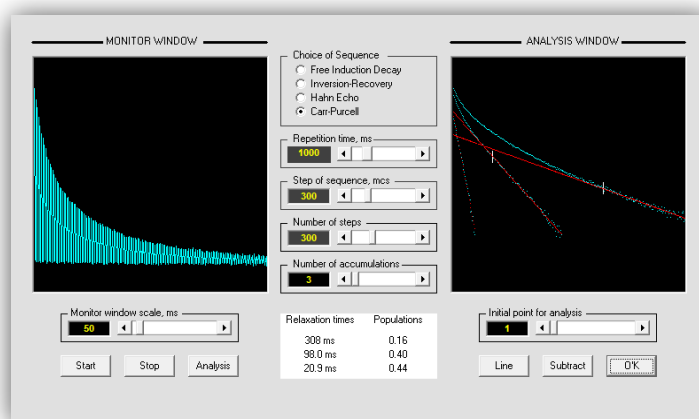


Рис. 3. Панель управления релаксометром ПМР

На основе подпрограмм управления отдельными узлами и блоками релаксометра была разработана управляющая программа,

позволяющая проводить наблюдение сигналов ЯМР на экране монитора компьютера, накопление и обработку данных.

Эффективность технологий добычи, подготовки и переработки нефти в нефтяной промышленности, производства и использования топлив и эмульсий в энергетике напрямую зависят от оперативной информации, получаемой с приборов – средств измерений, обработки и представления информации, контролирующих процесс добычи нефти, ее подготовки и перекачки.

Источники

1. Приборные и мехатронные комплексы в нефтяной промышленности и энергетике. Кашаев Р.С., Козелков О.В., -2017г.

2. Годвинцев И. Б. Нефтепереработка. Практический вводный курс; Интеллект - Москва, 2011. - 120 с.

3. Карнаухов. Механические и мехатронные системы. 2014

4. Механизмы деградации трансформаторных масел / В. К. Козлов, Д. М. Валиуллина, О. А. Туранова, А. Н. Туранов // Электрические станции. – 2022. – № 2(1087). – С. 41-44. – EDN FCLUNX.

5. Чиркова, Д. М. Возобновляемые источники энергии и безопасность / Д. М. Чиркова, Д. М. Валиуллина // XXV Всероссийский аспирантско-магистерский научный семинар, посвященный Дню энергетика : Материалы конференции. В 3-х томах, Казань, 07–08 декабря 2021 года / Под общей редакцией Э.Ю. Абдуллазянова

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

7. Москаленко Н.И., Ахметшин А.Р., Сафиуллина Я.С., Додов И.Р., Хамидуллина М.С. Численное моделирование воздействий метеосостояния атмосферы на эффективность функционирования солнечных тепловых и электрических станций // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021. Т. 23. № 5. С. 86-99. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-5-86-99. Основные технические требования по диапазону и точности регулирования скорости перемотки шелка-сырца / Н. М. Арипов, О. З. Тоиров, Ш. Ю. Усмонов, Д. Т. Кучкарова // Вестник Казанского

государственного энергетического университета. 2021. Т. 13. № 1(49). С. 218-231.

8.Бадриев, А. И. Анализ нормальности распределения потоков в башенных испарительных градирнях / А. И. Бадриев, С. М. Власов, Н. Д. Чичирова // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Т. 13. № 1(49). С. 232-241

ОСОБЕННОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ МАСЕЛ С УЧЕТОМ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Воробьев Д. С.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

ledok.ne.holodok@gmail.com

В данной работе рассматриваются, особенности современных технологий при производстве трансформаторного масла различных марок, а так же используемое при этом производстве сырье.

Ключевые слова: минеральное трансформаторное масло, сернистая нефть, масло марки Nutro

FEATURES OF INDUSTRIAL PRODUCTION OF DOMESTIC AND FOREIGN TRANSFORMER OILS TAKING INTO ACCOUNT MODERN TECHNOLOGIES

Vorobyv D. S.

KSPEU, Kazan, Russia

ledok.ne.holodok@gmail.com

This thesis examines the features of modern technologies in the production of transformer oil of various grades, as well as the raw materials used in this production.

Keywords: mineral transformer oil, sour oil, Nutro brand oil

Трансформаторные масла – это минеральные нефтяные масла высокой чистоты и при этом слабой вязкостью. Применяются такие масла для заливки в емкости измерительных, а так же силовых трансформаторов, выключателей масляного типа и т.д. Предназначено оно для изоляции находящихся под высоким напряжением узлов, а так же частей работающего трансформатора, отвода тепловой энергии от греющихся при работе трансформатора частей и для предохранения изоляции в трансформаторе от увлажнения [1].

Характеристики, свойства минерального трансформаторного масла при эксплуатации определяют по его химическому составу, который зависит от сырья и использованных способов его очистки. Каждая новая

партия трансформаторного масла, поступающая для заливки в баки трансформаторов, должна иметь специальный сертификат от завода-поставщика этого масла [2]. Сырьем для производства минерального трансформаторного масла является нефтяная фракция, вскипающая при температуре 300 – 400 по шкале Цельсия.

В последнее время наиболее широко используют такие трансформаторные масла, как отечественные минеральные масла типа: Т-1500, ВГ, ГК, а также зарубежные трансформаторные масла от марки Nyro. Масло ГК производится в соответствии с ТУ 38.101.1025-85 в основной своей массе из западно-сибирской сернистой нефти с применением процесса современных технологий каталитической депарафинизации. Где, каталитическая депарафинизация - это процесс, применяемый для увеличения свойств текучести масла в холодном состоянии смазочных жидкостей и средних дистиллятов с использованием крекинга обычных парафинов [3]

Считается, что по технологии трансформаторное масло типа ГК, от акционерного общества «Ангарская нефтехимическая компания», имеет более серьезный уровень удаления нежелательных компонентов, в сравнении с минеральным маслом ВГ. Масло ВГ, а также Шведские масла от марки Nutro в промышленных условиях получают при помощи гидрогенизационных процессов, с более низким давлением водорода. Считается, что трансформаторное масло ВГ уступает ГК по стабильности против процессов его окисления, но обычно дешевле в применении [4].

Рассмотрим так же и производимые в Швеции трансформаторные масла марки Nyro типа: 11 GX и 10 X. производятся они из импортированной с Венесуэлы нафтенной нефти, которая содержит малое число парафинов, сернистых соединений. Благодаря этим особенностям эти трансформаторные масла и обладают чуть лучшими свойствами при низких температурах, чем трансформаторные масла типа: Т, которые, как уже было сказано ранее производят из западно-сибирских парафинистых сортов нефти [5]. Технология производства данного трансформаторного масла происходит с применением современных процессов гидроочистки. Стоит отметить, что масло Nyro 10 X имеет более серьезную очистку, чем его 11 версия.

Кроме минеральных трансформаторных масел, полученных гидрогенизацией, на отечественных заводах выпускают минеральные масла с использованием устаревшей технологии щелочной и селективной

очисток при производстве масла. Селективная очистка с последующим гидрированием применяются при производстве масла марок типа: Т. Увеличенное содержание в трансформаторном масле Т-1500 ароматических углеводородов обуславливает высокую, в сравнении с другими минеральными маслами, растворимость воды, продуктов окисления масла, что негативно сказывается на его свойствах в сравнении с современными аналогами [6]. Трансформаторное масло Т-1500У производится из сернистых сортов нефти с селективной очисткой улучшенного качества [7].

Из всего сказанного выше можно сделать вывод, что применяемые при промышленном производстве трансформаторного масла современные технологии депарафинизации и гидроочистки, используемые, как при производстве отечественных масел ГК, так и Шведского масла Nutro, положительно сказываются на их эксплуатационных характеристиках. Изготовленные с применением новых технологий минеральные масла в процессе эксплуатации на холодном климате проявляют лучшие изоляционные свойства, чем их устаревшие предшественники, что крайне востребовано в суровых условиях Российского климата.

Источники

1.ГОСТ 10121-76. Масло трансформаторное селективной очистки. Технические условия М.: Межгосударственный стандарт. ИПК Издательство стандартов, 1977. 236 с.

2.Валиуллина Д.М., Загустина И.Д., Козлов В. К. Определение качественного состава примесей в отработанном трансформаторном масле // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2018. № 4. 25 с.

3.James G. S. Handbook of Industrial Hydrocarbon Processes, Second Edition. 2020. Pp 147-148.

4.Козлов В.К., Гарифуллин М.Ш. Особенности оптических характеристик трансформаторных масел различных марок // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2015. № 11-12. 11 с.

5.Липштейн Р.А., Глазунова Т.В., Довгопольный Е.Е. Шведские трансформаторные масла фирмы «Nynas» марок Nitro 11GX и Nytro 10X // Электрические станции. 1998. № 1. С. 61-64.

6.Липштейн Р.А., Туркот В.А. Восстановление изоляционных характеристик загрязненной изоляции маслонаполненного оборудования моющими средствами // Методы и средства оценки состояния энергетического оборудования, 2000. № 11 С. 99-105.

7.Гасанова Р. З., Ибрагимова М. Д., Нагиев В. А., Кафарова Н. Ф. Сравнительная оценка качеств товарных и синтетических трансформаторных масел // Мир нефтепродуктов. 2021. № 5. 6 с.

8.Каримов, М. М. Применение ранжирования при модернизации оборудования подстанции с целью повышения надежности электроснабжения потребителей / М. М. Каримов, Д. М. Валиуллина // Электрические сети: надежность, безопасность, энергосбережение и экономические аспекты : Материалы международной научно-практической конференции, Казань, 22 апреля 2022 года / Редколлегия: В.В. Максимов (отв. редактор) [и др.]. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. – С. 156-162. – EDN QRZBOK.

9.Князева, Ю. В. Выбор конфигурации схемы электрической сети с применением реклоузеров / Ю. В. Князева, Д. М. Валиуллина // Электрические сети: надежность, безопасность, энергосбережение и экономические аспекты : Материалы международной научно-практической конференции, Казань, 22 апреля 2022 года / Редколлегия: В.В. Максимов (отв. редактор) [и др.]. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. – С. 170-178. – EDN MBEEJH.

10. Кузнецов А.В., Юренков Ю.П. Возможность увеличения коммутационного ресурса жидкометаллических самовосстанавливающихся предохранителей с составной плавкой вставкой // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021. Т. 23. №5. С. 139-149. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-5-139-149.

11. Мартынов К.В., Пантелеева Л.А., Васильев Д.А., Дресвянникова Е.В. Исследование распределения токов по фазам в асинхронном электродвигателе с совмещённой обмоткой // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021. Т. 23. № 5. С. 150-159. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-5-150-159.

12.Гизатуллин, Р. М. Моделирование функционирования элементов электронных систем БПЛА при воздействии излучаемых электромагнитных помех высоковольтной линии электропередачи / Р. М. Гизатуллин, В. А. Дроздинов, Э. С. Константинов // Вестник Казанского

государственного энергетического университета. 2019. Т. 11. № 4(44). С. 13-21.

13. Проблемы, перспективы применения и методика расчета нормированной стоимости накопления электрической энергии / В. Д. Мельников, Г. Б. Нестеренко, Д. Е. Лебедев [и др.] // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2019. Т. 11. № 4(44). С. 30-36.

РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА ЕСТЕСТВЕННОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ

Гадельшина В.Р.
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
vilena.gadelshina.00@mail.ru

В данном тезисе рассматривается расчет КЕО для различных помещений и использование результатов расчета для автоматического управления освещением

Ключевые слова: коэффициент естественной освещенности, освещенность, общественные здания, световой поток.

CALCULATION OF NATURAL LIGHT COEFFICIENT

Gadelshina V.R.
KSPEU, Kazan, Russia
vilena.gadelshina.00@mail.ru

This thesis discusses the calculation of KEO for various rooms and the use of the calculation results for automatic lighting control

Key words: coefficient of natural illumination, illumination, public buildings, luminous flux.

В современном мире использование автоматизированных систем управления освещением - обычная практика в различных областях. Будь то в жилых, коммерческих или промышленных зданиях, автоматизированные системы управления освещением доказали свою эффективность с точки зрения энергоэффективности, простоты использования и рентабельности. По одному из требований санитарных норм (СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 п. 2.1.1) в местах, где люди долго находятся (например, административные здания, образовательные учреждения и т.д.), необходимо обязательное наличие естественного освещения.

Существенный фактор правильного функционирования автоматизированных систем является коэффициент естественной освещенности (КЕО). КЕО - это значение, которое используется для расчета соответствующего уровня освещенности, требуемого в конкретной зоне [1-4].

Значение КЕО зависит от нескольких факторов, таких как размер помещения, высота потолка, вид деятельности, выполняемой в помещении, цвет стен и пола, а также тип используемых осветительных приборов.

Формула для расчета КЕО выглядит следующим образом:

$$КЕО = \frac{\Phi}{S} * k_{отраж} \quad (1)$$

где Φ - общее количество люмен, требуемых в помещении; S – площадь, m^2 ; $k_{отраж}$ - значение, учитывающее отражение света от стен, потолка и пола [5].

Расчет КЕО для разных помещений требует определения различных факторов, упомянутых выше. Рассмотрим пример расчета КЕО для конференц-зала:

1) Определение размеров помещения

Предположим, размеры комнаты составляют 6 на 8 метров, а высота потолка - 2,5 метра.

2) Определение типа деятельности, выполняемой в помещении.

Для конференц-зала рекомендуемый уровень освещенности составляет около 500-700 лк.

3) Определение коэффициента отражения.

Коэффициент отражения зависит от цвета покраски стен, потолка и пола. Например, стены конференц-зала белого цвета, потолок - светло-серый, а пол - темный. В этом случае коэффициент отражения можно принять равным 0,7.

4) Используя формулу (2) рассчитывается необходимое кол-во люмен (т.е световой поток)

$$\Phi = \frac{S * E}{\eta} \quad (2)$$

5) Коэффициент освещенности (КЕО). КЕО = 437,5.

Расчет коэффициента освещенности (КЕО) является решающим фактором в надлежащем функционировании автоматизированных систем управления освещением. Точно рассчитав КЕО для различных помещений, систему освещения можно оптимизировать с точки зрения энергоэффективности, простоты использования и экономичности [6-7]. Значение КЕО также можно использовать для регулировки уровня освещенности в соответствии с деятельностью, выполняемой в помещении, и временем суток. Благодаря интеграции системы освещения с

другими системами автоматизации здания, такими как системы ОВКВ, общее энергопотребление здания может быть снижено, что приводит к значительной экономии средств. Таким образом, расчет КЕО и использование результатов расчета для автоматического управления освещением является важным аспектом современных систем автоматизации зданий.

Источники

1. Денисова, А. Р. Энергосберегающие технологии в системах офисного освещения / А. Р. Денисова, О. В. Исаева, Р. А. Залилова // XVI Всероссийская открытая молодежная научно-практическая конференция «Диспетчеризация и управление в электроэнергетике», Казань, 20–21 октября 2021 года. – Казань: Общество с ограниченной ответственностью "Издательско-полиграфическая компания "Бриг", 2022. – С. 32-35. – EDN GAJRJR.

2. Денисова, А. Р. Вопросы надежности и эффективной эксплуатации электротехнических систем и способы ее повышения / А. Р. Денисова, Г. А. Аманова // Проблемы и перспективы разработки инновационных технологий: сборник статей Международной научно-практической конференции, Магнитогорск, 01 июня 2021 года. – Уфа: Общество с ограниченной ответственностью "Аэтерна", 2021. – С. 10-12.

3. Балхеева В.А. Методика расчета естественного освещения помещений с учетом света, отраженного от территорий // Светотехника. 1990. № 10. С. 32-35.

4. Н. М. Гусев, Н. Н. Киреев. Руководство по проектированию естественного освещения зданий. // Науч.-исслед. ин-т строит, физики Госстроя СССР. Стройиздат. 1976г. 96 с.

5. Здания жилые и общественные. Правила проектирования естественного и совмещенного освещения: СП 367.1325800.2017. - Введ. 06.06.2018. - М.: Рос. науч.-техн. центр информ. по стандартизации, метрологии и оценке соответствия, 2018. - 74 с.

6. Study Into Spectral Analysis of Transformer Oil Composition / V. K. Kozlov, Y. K. P'yasova, D. M. Valiullina [et al.] // Power Technology and Engineering. – 2021. – Vol. 54. – No 5. – P. 753-756. – DOI 10.1007/s10749-020-01282-z. – EDN XLKLDF.

7. Исследование взаимных корреляций параметров трансформаторного масла / Д. М. Валиуллина, Ю. К. Ильясова, В. К. Козлов, Э. М. Садыков // Перспективные научные исследования: опыт,

проблемы и перспективы развития : Сборник научных статей по материалам V Международной научно-практической конференции, Уфа, 02 марта 2021 года. – Уфа: Общество с ограниченной ответственностью "Научно-издательский центр "Вестник науки", 2021. – С. 24-33. – EDN RASQPP

8. Сафин А.Р, Ившин И.В., Цветков А.Н., Петров Т.И., Басенко В.Р., Манахов В.А. Развитие технологии мобильных зарядных станций для электромобилей // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021. Т. 23. № 5. С. 100-114. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-5-3-100-114.

9. 22. Давыдов Д.Ю., Обухов С.Г. Модель оценки технико-экономических показателей оффшорных ветроэлектростанций // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021. Т. 23. № 5. С.115-130. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-5-115-130.

10. Мустафин Р. М. Повышение энергетической эффективности работы металлургической печи за счет внедрения технологии бортового производства водородного топлива / Р. М. Мустафин // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2022. – Т. 14, № 3(55). – С. 27-37. – EDN DOAPSC.

11. Гапоненко С. О. Анализ результатов численного моделирования колебательных процессов в бездефектных и дефектных трубопроводах / С. О. Гапоненко, А. Е. Кондратьев, Ш. У. Ульябаева // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2022. – Т. 14, № 3(55). – С. 38-47. – EDN AXSMRA.

РАЗРАБОТКА КЛАСТЕРНОЙ СТРУКТУРЫ БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ ИНТЕГРИРОВАННОЙ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ ОБОРУДОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ СУБД POSTGRESQL

Галиев И.Ф.,¹ Гарифуллин М. Ш.,² Гизатуллин А. Р.,³ Рахманкулов Ш.Ф.,⁴ Гараев А. А.,⁵ Фаррахова А.М.,⁶ Галиев Р.И.⁷

^{1,2,3,4,5,6,7} ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

galievi.f@list.ru¹, g_marsels@mail.ru², caff.tatap4uk@gmail.com³,
shamil74000@mail.ru⁴

В статье предложена реализация кластерной структуры базы данных интегрированной экспертной системы диагностики (ИЭСД) оборудования распределительной сети, формируемой на основе технологии искусственного интеллекта (ИИ). Модули Аналитического комплекса ИЭСД взаимодействуют с подсистемой ретроспективной, периодически дополняемой и обновляемой офлайн информацией (базой данных) и подсистемами онлайн мониторинга и диагностики основного электрооборудования сети. Серверный процесс организован на основе СУБД PostgreSQL v15.1.

Объектами исследования являются действующее основное оборудование подстанции 110/6(10) кВ и прилегающей распределительной сети 0,4÷6(10) кВ.

ИЭСД состоит из следующих вычислительных комплексов:

- исполнительного, обеспечивающего систему входными офлайн и онлайн данными, для решения поставленных задач;
- интеллектуального, состоящего из вычислительных и аналитических модулей проблемной направленности;
- базы знаний (БЗ) – Экспертной системы, осуществляющей также запросы дополнительных исходных данных для корректировки вычислений в расчетных модулях.

Целью работы является формирование кластерной структуры базы данных для ИЭСД за счет интеграции подсистем офлайн и онлайн мониторинга реальных объектов и организации логики размещения и взаимодействия данных в файловой системе табличного пространства СУБД.

Ключевые слова: база данных, база знаний, архитектура ПО.

DEVELOPMENT OF A CLUSTER STRUCTURE OF A DATABASE FOR AN INTEGRATED EXPERT SYSTEM OF DIAGNOSTICS OF DISTRIBUTION NETWORK EQUIPMENT BASED ON POSTGRESQL DATABASE

Galiev I.F.,¹ Garifullin I.S.,² Gizatullin A.R.,³ Rakhmankulov S.F.,⁴ Garaev.A.A,⁵
Farakhova, A.M.,⁶ Galiev R.I.⁷

^{1,2,3,4,5,6,7} FGBOU VO "KSPEU", Kazan, Republic of Tatarstan
galievi.f@list.ru¹, g_marsels@mail.ru², caff.tatap4uk@gmail.com³,
shamil74000@mail.ru⁴

The article offers realization of cluster structure of database of integrated expert system of diagnostics (ESD) of equipment of distribution network formed on the basis of artificial intelligence (AI) technology. The modules of the ESDI Analytical Complex interact with a subsystem of retrospective, periodically supplemented and updated offline information (database) and subsystems for online monitoring and diagnosis of the main electrical equipment of the network. The server process is organized on the basis of PostgreSQL v15.1 database.

The objects of the study are the operating basic equipment of the 110/6(10) kV substation and the adjacent distribution network of 0.4 6(10) kV.

The ESDI consists of the following computational complexes:

- executive, providing the system input offline and online data, to solve the tasks.
- intellectual, consisting of computational and analytical modules of problem orientation.
- Knowledge Base (BR) - Expert System that also requests additional input data for adjustment of calculations in calculation modules.

The aim of the work is to form a clustered database structure for ESD by integrating offline subsystems and online monitoring of real objects and organizing the logic of data placement and interaction in the file system of the DBMS table space.

Keywords: database, knowledge base, software architecture.

В современных реалиях экономики важнейшей задачей электроэнергетики остается обеспечение бесперебойного электроснабжения потребителей и качества электроэнергии (ЭЭ). Основная роль в поддержании непрерывности процессов передачи и потребления ЭЭ отводится основному оборудованию схем электроснабжения (СЭ): силовым трансформаторам (СТ), коммутационному оборудованию и линиям электропередачи (ЛЭП). Эффективная эксплуатация объектов СЭ основана на постоянном

мониторинге и диагностике состояния оборудования. Благодаря цифровизации объектов СЭ методы диагностики и прогнозирования состояния оборудования получили расширение возможностей и развитие в сочетании с офлайн и онлайн мониторингом объектов [1].

Дистанционный контроль параметров позволяет:

- дополнить возможности интегральной оценки состояния и прогнозирования отказов с определением остаточного ресурса оборудования;

- обеспечить формирование адекватных моделей для прогнозирования и предиктивного анализа на основе как детерминированного подхода, так и методов машинного обучения (искусственного интеллекта);

- разработать систему принятия оптимальных решений и выбора эффективных эксплуатационных воздействий на объект.

Для успешного решения многих современных задач, необходимым условием является обеспечение многокомпонентного онлайн диагностирования [2], при наличии эффективной подсистемы сбора, хранения и обработки информации.

За последние 10 лет авторами разработаны и внедрены онлайн подсистемы, позволяющие диагностировать оборудование, проводить предиктивный анализ и оценку его технического состояния. Это подсистемы: коммерческого и технического учета электроэнергии [3, 4] в сетях 0,4–10 кВ (АИИС КУЭ, ТУЭ); аппаратно-программный комплекс (АПК) диагностики РПН СТ [5, 6], АПК диагностики выключателей [4,7]. Параллельно разработаны аналитические программные модули для обработки данных онлайн мониторинга на основе: методики оптимизации напряжений центров питания [8, 9]; моделей отклонений осциллограмм приводов РПН и выключателей; методики определения потерь при несимметричной нагрузке сети 0,4 кВ [10]; методики определения диагностической ценности показателей СТ [11] и степени деградации масел [12]; модели расчета надежности РС.

На рис.1 показана структура взаимодействия в ИЭСД подсистем офлайн и онлайн мониторинга оборудования подстанции и прилегающей распределительной сети 0,4÷6(10) кВ с реляционной базой данных, формирующей исполнительный комплекс Экспертной системы (Базы Знаний).

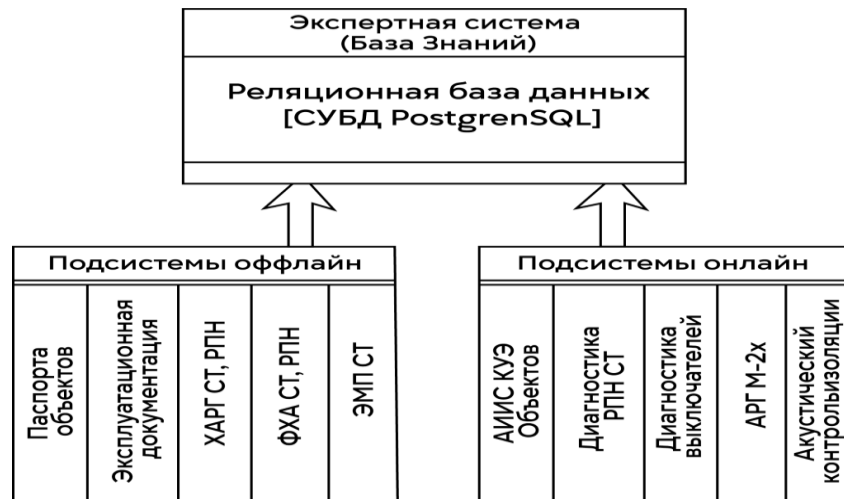


Рис.1. Структура взаимодействия подсистем офлайн и онлайн мониторинга в ИЭСД.

Здесь подсистему офлайн формируют паспорта объектов исследования и эксплуатационная документация (паспортные данные, руководство по эксплуатации, схемы подключения оборудования, и др.) а также документация «жизненного цикла» основного электрооборудования, включая протоколы и отчеты о проводимых испытаниях и диагностических обследованиях, акты расследования аварий и отказов и прочее. Наибольший интерес с точки зрения эксплуатации вызывают фиксируемые по времени диагностические данные обследований СТ по: хроматографическому анализу растворенных газов в масле (ХАРГ), включая РПН, физико-химическому анализу (ФХА) и электромагнитным параметрам (ЭМП).

Подсистемы онлайн мониторинга дополняют информацию по состоянию оборудования, работающего в нагрузочных режимах для многокомпонентного анализа:

- жидкой изоляции трансформатора (анализ растворенных газов (АРГ));
- акустического контроля внешней изоляции;
- токов привода РПН, вибрационный и температурный контроль узлов;
- приводов и контактных соединений выключателей 6(10) кВ фидеров РС;
- фазных нагрузок и напряжений, мощностей в точках отпуска сети 0,4÷10 кВ.

На Рис.2, изображена структура взаимодействия таблиц файловой системы кластеров в СУБД, а на Рис.3 показано взаимодействие файловой

системы кластеров с реляционными связями по времени испытаний и предшествующим нагрузкам СТ.

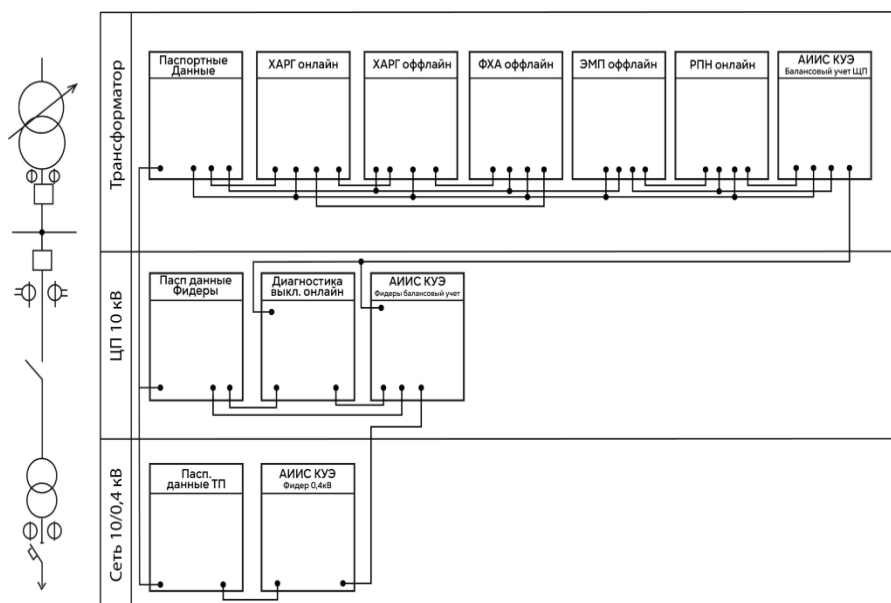


Рис.2. Структура взаимодействия файловой системы кластеров в СУБД

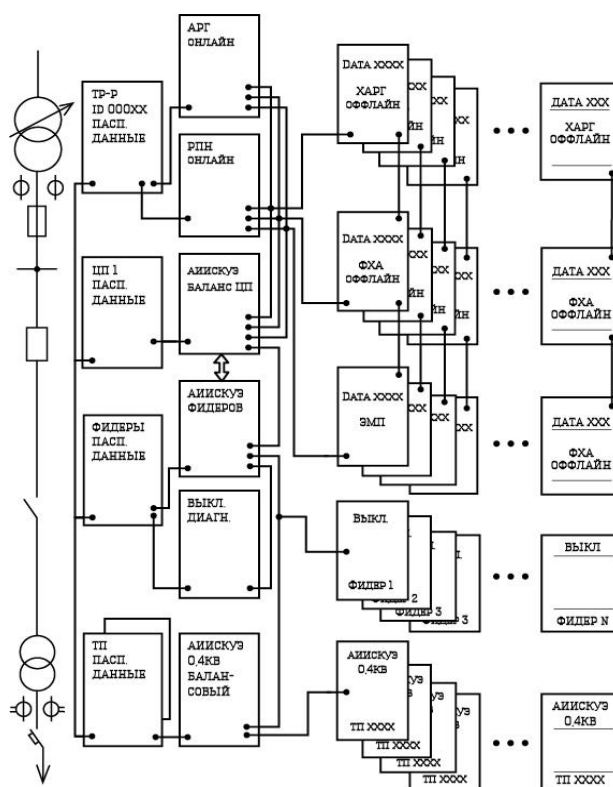


Рис.3. Структура взаимодействия файловой системы кластеров в СУБД с реляционными связями по времени испытаний и предшествующим нагрузкам СТ.

Важнейшей информацией является содержание таблиц кластеров файловой системы ИЭСД. Рис.4 показано содержание файлов табличного пространства кластеров ИЭСД с реляционными связями Рис.3. Таблицы с наименованиями ФХА, ХАРГ и ЭМП, соответственно представляют из себя следующие методы диагностики, а именно ФХА – физико-химический анализ масла, ХАРГ – это хроматографический анализ растворенных газов, т.е. каждый из газов представлен как отдельный реляционный элемент в таблице, а именно ацетилен (C_2H_2), этан (C_2H_6), этилен (C_2H_4), угарный газ (СО), углекислый газ (CO_2), водород (H_2) и метан (CH_4). ЭМП представляет из себя таблицу, состоящую из перечня электромеханических испытаний, таких как «Сопротивление изоляции обмоток», «Диэлектрических потерь», т. е. измерение тангенса угла диэлектрических потерь, «Сопротивление вводов», «Потери ХХ», т. е. потери холостого хода, «Сопротивление обмоток \Rightarrow », т. е. сопротивление обмоток постоянному току, а K_T – коэффициент трансформации. Три этих таблицы связаны между собой 3 реляциями, а именно «Дата ХХХХ», которая ссылается на дату проведения испытания, «ID СТ» - ссылка на трансформатор в общей базе оборудования, для возможности обращения к его паспортным данным и сопоставления объектной принадлежности испытаний, И «Нагрузка P_T Q_T » т.е. нагрузка которая предшествовала испытанию.

Таблицы с наименованиями «АСКУЭ», Диаг. Выкл., РПН СТ, содержат в себе следующие показатели. В АСКУЭ это мощности по фазам, как активная, так и реактивная, так же токи и напряжения тоже распределенным по фазам, несмотря на то что фактически в базе данных эти показания будут расположены в отдельных столбцах, в схеме они показаны на «однолинейный» манер, т. к. являются однородными измерениями. Таблица «Диаг. Выкл.» расшифровывается как диагностику выключателя, имеет реляцию с «АСКУЭ» по токам и напряжению, а также имеет ток и напряжение нулевой последовательности (I_0 U_0), а также «Относительное время», т. е. время отсчета срабатывания выключателя от нулевой отметки и «Абсолютное время», т. е. время в общем понимании этой метрики. «РПН СТ» имеет реляцию с паспортными данными силового трансформатора, что позволяет привязать диагностику РПН к конкретному электрооборудованию. Строки i_a , i_b , i_c , u_a , u_b , u_c имеют реляцию с «АСКУЭ» и являются вторичными токами и напряжениями. « $T_{НВ}$ » и « $T_{ШП}$ » – это температура наружного воздуха и температура в шкафу привода соответственно. В таблице «ПАСП.Д. СТ» расположен «ID СТ» - идентификатор, по которому идет привязка к силовому

трансформатору в нашем случае этот столбец будет «Первичным ключом». Все остальное это будут паспортные данные трансформатора в том числе номинальная мощность, напряжение и т. д.

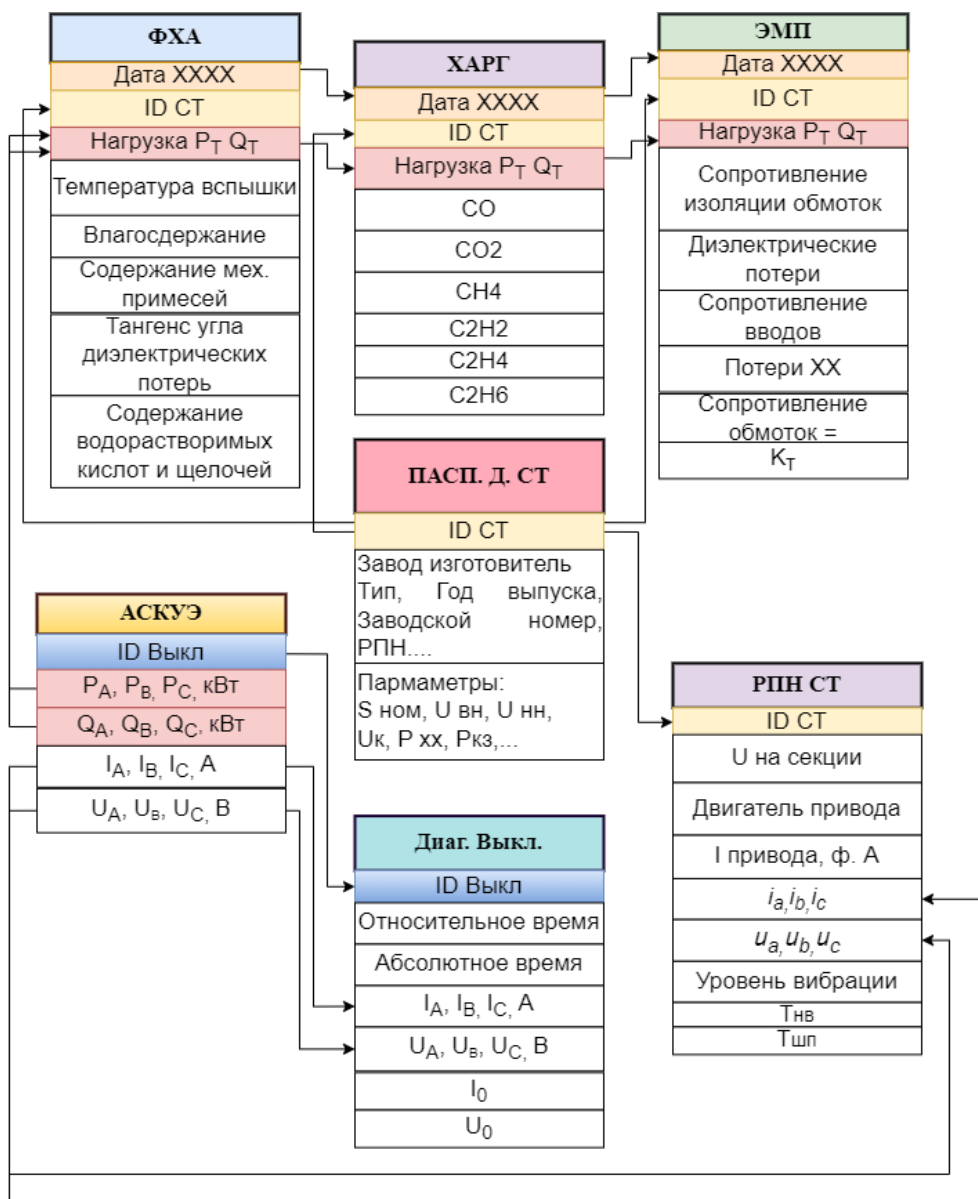


Рис.4 Содержание файлов табличного пространства кластеров ИЭСД с реляционными связями.

Получены обширные эксплуатационные данные об объекте исследования и большая их часть (90 %) переведена в табличные формы файловой системы ИЭСД.

По результатам многолетних научных исследований и выполненных на их основе инжиниринговых проектов, проведенных организационно-технических мероприятий, получены следующие результаты по

формированию кластерной структуры базы данных для ИЭСД при интеграции подсистем офлайн и онлайн мониторинга реальных объектов и организации логики размещения и взаимодействия данных в файловой системе табличного пространства СУБД:

1. Выделен реальный объект моделирования (полигон) - подстанция 110/10 кВ и прилегающая распределительная сеть 0,4÷10 кВ для осуществления многокомпонентного диагностирования оборудования. Установлено современное серверное оборудование полигона с пользовательским АРМом, осуществлен удаленный доступ к реляционной базе данных, выполненной на основе СУБД PostgreSQL.

2. Получен большой объем эксплуатационной информации о «жизненном цикле» реального оборудования посредством офлайн мониторинга, включая паспортные, нормативные и «эталонные» характеристики подсистем и оборудования, призванном заполнить разделы реляционной СУБД.

3. На объекте предустановлено и смонтировано функционирующее оборудование подсистем онлайн мониторинга выключателей отходящих фидеров и устройства РПН СТ 110/10 кВ.

4. Разработанные ранее модули аналитического комплекса ИЭСД на основе детерминистских моделей и методов ИИ нуждаются в привязке к формируемым разделам реляционной СУБД.

Источники

1. Маклецов А. М. Дистанционный контроль параметров режима работы линий электропередачи 0,4 кВ / А. М. Маклецов, И. Ф. Галиев, Р. И. Галиев // Энергетик. – 2017. – № 9. – С. 9-10. – EDN ZIBOEN.

2. Яхья А.А. Совершенствование моделей предиктивной диагностики и оценки состояния трансформаторного оборудования энергообъектов: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.02. / Яхья А.А. - Новосибирск, 2022. - 193 с.

3. Маклецов А. М. Дистанционный контроль параметров режима ЛЭП 0,4 кВ / А. М. Маклецов, И. Ф. Галиев, Р. И. Галиев // Диспетчеризация и управление в электроэнергетике: XIV Всероссийская открытая молодежная научно-практическая конференция, Казань, 06–08 ноября 2019 года. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2019. – С. 250–254. – EDN MWQVWJ.

4. Галиев И. Ф. Разработка опытного образца аппаратно-программного комплекса для контроля состояния коммутационных аппаратов по полному времени отключения, параметров потребления и

качества электроэнергии в несимметричных режимах / И. Ф. Галиев, А. М. Маклецов, Р. И. Галиев // ИКРБС АААА-А16- 116022550203.

5. Аппаратно-программный комплекс диагностики РПН силовых трансформаторов / А. М. Маклецов, И. Ф. Галиев, Р. И. Галиев, С. Ж. Жылдызбекова // Тинчуринские чтения - 2020 "Энергетика и цифровая трансформация" : Материалы Международной молодежной научной конференции. В 3-х томах, Казань, 28–29 апреля 2020 года. Том 1. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2020. – С. 73-75. – EDN EGFYVN.

6. Яхья А.А., Левин В. М. Байесовский классификатор как средство повышения эффективности распознавания дефектов в силовых трансформаторах. *Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ*. 2019;21(6):11-18. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2019-21-6-11-18>

7. Новые технологии, материалы и оборудование в энергетике / Э. Ю. Абдуллазянов, Л. Х. Арутюнян, Р. С. Арутюнян [и др.]. Том 3. – Казань : Казанский государственный энергетический университет, 2018. – 398 с. – ISBN 978-5-89873-535-7. – EDN FCQKYP.

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

9. Мониторинг несимметрии нагрузок в электрических сетях 0,4 кВ / А. М. Маклецов, И. Ф. Галиев, Р. И. Галиев, К. К. Лыу // Энергетик. – 2019. – № 5. – С. 27-29. – EDN SJBDFX.

10. Маклецов, А. М. Проблемы регулирования напряжения в распределительных сетях / А. М. Маклецов, Тамсир Ан // Тинчуринские чтения - 2020 "Энергетика и цифровая трансформация" : Материалы Международной молодежной научной конференции. В 3-х томах, Казань, 28–29 апреля 2020 года. Том 1. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2020. – С. 114-116. – EDN SDZPPE.

11. Козлов, В. К. Диагностическая ценность показателей состояния силового трансформатора / В. К. Козлов, И. Ф. Галиев // Энергетика Татарстана. – 2009. – № 1(13). – С. 46-49. – EDN KWGSQR.

12. Garifullin M.Sh., Slobodina Y.N., Bikzinurov A.R., Giniatullin R.A. The Degradation Degree Control of the Hydrocarbon Base of Mineral Oils Using the Specific Degradation Marker in their Infrared Spectrum // 49 CIGRE Session, Paris, 2022. Paper 10608.

РАЗРАБОТКА АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ ОБОРУДОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

Галиев И.Ф.¹, Маклецов А. М.², Гарифуллин М. Ш.³, Владимиров О.В.⁴,
Алексеев И. П.⁵, Казка М. В.⁶, Пигалин А. А.⁷, Соломонов И. И.⁸

^{1,2,3,4,5,6,7,8} ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

galievi.f@list.ru¹, mac.am@mail.ru², g_marsels@mail.ru³,

ovladimirov2011@yandex.ru⁴,

nemo.alexo@mail.ru⁵, nesnakomec97@mail.ru⁶, artempigalin@mail.ru⁷,

solomonov.ilia.1@yandex.ru⁸.

В статье предложена реализация концепции интегрированной экспертной системы диагностики (ИЭСД) оборудования схемы распределительной сети на основе технологии искусственного интеллекта (ИИ). Комплексы и модули ИЭСД взаимодействуют с подсистемой ретроспективной, периодически дополняемой и обновляемой офлайн информации (базой данных) и подсистемами онлайн мониторинга и диагностики основного электрооборудования сети.

Объектами исследования в работе являются действующее основное оборудование подстанции 110/6(10) кВ и прилегающей распределительной сети 0,4÷6(10) кВ.

ИЭСД состоит из следующих вычислительных комплексов:

- исполнительного, обеспечивающего систему входными офлайн и онлайн данными;
- интеллектуального, состоящего из вычислительных аналитических модулей проблемной направленности;
- базы знаний (БЗ) - Экспертной системы, осуществляющей в том числе запросы дополнительных данных для корректировки вычислений в расчетных модулях.

Цель работы состоит в разработке архитектуры интегрированного аппаратно-программного комплекса (АПК) ИЭСД существующих и дополнительных подсистем мониторинга реального объекта в единую экспертную систему диагностики, которая позволяет:

- адекватно оценивать состояние основного оборудования распределительной сети и контролировать его остаточный ресурс;
- производить оценку состояния распределительной сети, оптимизировать текущий режим по параметрам надежности, уровням напряжений и потерям электроэнергии;

- контролировать развитие дефектов оборудования и использовать модели предиктивного анализа для планирования ремонтных работ и обслуживания.

Ключевые слова: диагностика оборудования, распределительные сети, аппаратно-программный комплекс, качество электроэнергии, вольтодобавочный трансформатор.

DEVELOPMENT OF A HARDWARE AND SOFTWARE COMPLEX OF AN EXPERT SYSTEM FOR DIAGNOSTICS OF DISTRIBUTION NETWORK EQUIPMENT

Galiev I.F.¹, Makletsov A.M.², Garifullin M.Sh.³, Vladimirov O.V.⁴, Alekseev I.P.⁵,
KazkaM.V.⁶, Pigalin A.A.⁷, Solomonov I.I.⁸

^{1,2,3,4,5,6,7,8} FGBOU VO "KSPEU", Kazan, Republic of Tatarstan

galievi.f@list.ru¹, mac.am@mail.ru², g_marsels@mail.ru³,

ovladimirov2011@yandex.ru⁴,

nemo.alexo@mail.ru⁵, nesnakomec97@mail.ru⁶, artempigalin@mail.ru⁷,

solomonov.ilia.1@yandex.ru⁸.

The article proposes the implementation of the concept of an integrated expert diagnostic system (IESD) for the equipment of a distribution network circuit based on artificial intelligence (AI) technology. The IESD complexes and modules interact with the subsystem of retrospective, periodically updated and updated offline information (database) and subsystems of online monitoring and diagnostics of the main electrical equipment of the network.

The objects of research in the work are the operating main equipment of the 110/6(10) kV substation and the adjacent 0.4-6(10) kV distribution network.

IESD consists of the following computing complexes:

- executive, providing the system with offline and online input data;
- intelligent, consisting of computational analytical modules of problem orientation;
- knowledge base (BZ) - An expert system that performs, among other things, requests for additional data to correct calculations in calculation modules.

The purpose of the work is to develop the architecture of the integrated hardware and software complex (APC) of the IESD of existing and additional subsystems for monitoring a real object into a single expert diagnostic system that allows:

- adequately assess the condition of the main equipment of the distribution network and monitor its residual resource;
- to assess the condition of the distribution network, optimize the current mode according to reliability parameters, voltage levels and power losses;

- monitor the development of equipment defects and use predictive analysis models to plan repairs and maintenance.

Keywords: equipment diagnostics, distribution networks, hardware and software complex, power quality, voltage-booster transformer.

Введение

В современных условиях экономического развития важнейшей задачей электроэнергетики остается обеспечение бесперебойного электроснабжения потребителей и качества электроэнергии (ЭЭ). Основная роль в непрерывности процессов передачи и потребления ЭЭ отводится основному оборудованию схем электроснабжения (СЭ): силовым трансформаторам (СТ), коммутационному оборудованию и линиям электропередачи (ЛЭП). Эффективная эксплуатация объектов СЭ основана на постоянном мониторинге и диагностике состояния оборудования. Благодаря цифровизации объектов СЭ методы диагностики и прогнозирования состояния оборудования получили расширение возможностей и развитие в сочетании с офлайн и онлайн мониторингом объектов [1], что позволяет:

- дополнить возможности интегральной оценки состояния и прогнозирования отказов с определением остаточного ресурса оборудования;

- обеспечить формирование адекватных моделей для прогнозирования и предиктивного анализа на основе как детерминированного подхода, так и методов машинного обучения (искусственного интеллекта);

- разработать систему принятия оптимальных решений и выбора эффективных эксплуатационных воздействий на объект.

Для решения перечисленных задач требуется обеспечить многокомпонентное диагностирование в режиме онлайн мониторинга [2]. Многочисленные работы по данной тематике не исключают совершенствования математических моделей оперативной и предиктивной оценки состояния оборудования, систем поддержки принятия решений по обеспечению надежной работы и являются актуальными.

Авторами за последние 10 лет разработаны и внедрены онлайн подсистемы: коммерческого и технического учета электроэнергии КУЭ (ТУЭ) [3, 4]; АПК диагностики РПН СТ [5, 6], АПК диагностики состояния выключателей [7]. Разработаны модули аналитических программ на

основе: методики оптимизации напряжений центров питания [8, 9]; моделей отклонений осциллограмм приводов РПН и выключателей; методики определения потерь при несимметрии нагрузок [10]; методики определения степени деградации трансформаторных масел [12,13]; модели расчета надежности СЭ [14, 15].

Системы диагностики СТ должны иметь «персонализированный характер», эффективность которых может быть достигнута применительно к конкретному СТ, с учетом его паспортных данных [16]. В «классической» системе диагностики важная роль отводится анализу растворённых в масле газов, проводимому с помощью хроматографического анализа (ХАРГ). На его основе обнаруживаются быстроразвивающиеся дефекты. Продемонстрированные за почти полувековое использование метода его достоинства, не позволили окончательно сформировать однозначные диагностические модели дефектов. Одна из причин этого – не учет физико-химических характеристик масла.

Для комплексного анализа особенностей углеводородной основы изоляционных материалов, а также степени их деградации целесообразно использование методов оптической спектроскопии в ультрафиолетовом и инфракрасном диапазонах.

Материалы и методы. На рис. 1 изображена структура ИЭСД оборудования объектов СЭ. Она содержит три основных комплекса: исполнительный (ИК), интеллектуальный аналитический (АК) и БЗ.

ИК по сути формирует информационный уровень (ИУ) БЗ в составе:

- база данных подсистем СЭ офлайн на электронных носителях (схемы соединений, паспортные данные и полная информация «жизненного цикла» оборудования – испытания, диагностика, физико-химические обследования и др.) и АИИС КУЭ (ТУЭ) сервера ПК «Пирамида» или аналогов;

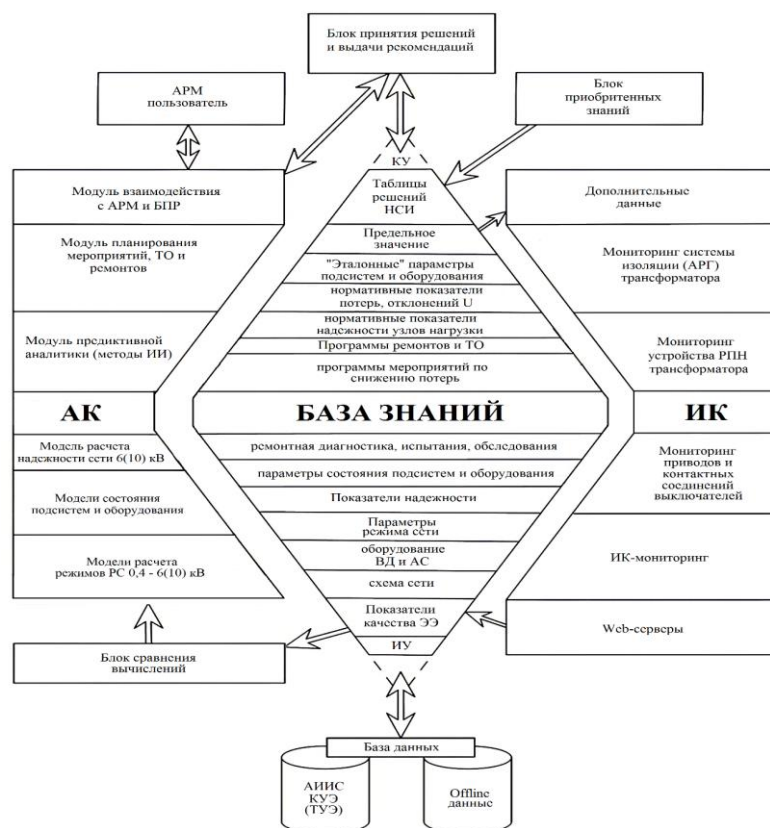


Рис.1. Структура ИЭСД основного оборудования подстанции и прилегающей распределительной сети 0,4÷6(10) кВ.

- дополнительные подсистемы онлайн мониторинга, формируемые концептуальным уровнем (КУ) БЗ для дополнения многокомпонентного анализа:

- жидкой изоляции трансформатора (анализ растворенных газов (АРГ));
- внешнего и внутреннего температурного контроля;
- привода устройства РПН, вибрационный и температурный контроль узлов;
- приводов и контактных соединений выключателей 6(10) кВ отходящих фидеров распределительной сети;
- фазных нагрузок и напряжений в точках отпуска сети 0,4÷6(10) кВ.

При этом все дополнительные подсистемы мониторинга ИК поставляют информацию, которая экспортируется и содержится в реляционной базе данных БЗ в виде отдельных массивов, таблиц или моделей отклонений параметров.

База знаний

Как следует из Рис. 1, информационный уровень (ИУ) БЗ также содержит офлайн данные в виде электронных документов:

- СЭ и параметры её сезонных нагрузок и режимов;
- параметров и моделей подсистем и оборудования, формируемых офлайн и онлайн данными;
- показателей надежности электрооборудования и качества ЭЭ в узлах нагрузок;
- параметры вольтодобавочного оборудования (ВДО) и аппаратуры секционирования (АС) распределительной сети;
- электронные документы диагностических обследований, испытаний, ремонтной диагностики (выявленные дефекты, контрольные параметры).

Концептуальный уровень (КУ) БЗ содержит модули:

- мероприятий по снижению потерь и повышению надежности СЭ;
- нормативных характеристик узлов нагрузок: отклонений напряжения, потерь электроэнергии, (договорных) ПН;
- «эталонных моделей», параметров, характеристик подсистем и оборудования, зафиксированных на начало эксплуатации;
- нормативно-справочную информацию (НСИ) об эксплуатируемом оборудовании и об объектах СЭ и подстанции;
- таблиц предельных значений параметров сети и оборудования и таблиц принятия решений;
- программ технического обслуживания и ремонтов по состоянию.

Интеллектуальный комплекс.

ИУ БЗ через блок сравнения вычислений (БСВ) связан с АК. Основное его назначение состоит в решении задач диагностики состояния оборудования СЭ и оптимизации режима участков СЭ по заданным критериям для пользователя через рабочий интерфейс (АРМ) посредством модулей:

- предиктивной аналитики, задачей которого является распознавание образа состояния подсистемы в произвольный момент времени для сравнения с «эталоном» и прогнозирование развития процесса;
 - расчет остаточного ресурса на основе анализа базовых характеристик и ключевых параметров (уровней напряжений и нагрузок, электромагнитных параметров СТ, включая потери ХХ и КЗ, концентраций газов и др.);
 - прогнозных расчетов режима распределительной сети с учетом мероприятий секционирования и регулирования напряжения;

- оптимизации коэффициентов трансформации РПН в центрах питания и ПБВ, а также мест установки ВДО;
- прогнозного расчета надежности сети с мероприятиями секционирования и оценкой их эффективности;
- оптимизации мест размыкания сети 6(10) кВ по критериям минимумов потерь электроэнергии, вероятностного ее недоотпуска и ущербов у потребителя;
- прогнозных расчетов режима сети с мероприятиями по симметрированию нагрузок в сети 0,4 кВ.

Приведем перечень решаемых задач для реализации концепции ИЭСД, ее аппаратного и программного наполнения, с конкретизацией функционала системы:

- формирование структуры и аппаратной части комплекса для хранения результатов ретроспективных, текущих и последующих испытаний и измерений, как от офлайн, так и онлайн подсистем (на основе СУБД PostgreSQL);
- монтаж и наладка подсистем онлайн мониторинга (газоанализатора Hydran TM 2x, привода РПН, аппаратуры температурного контроля) на СТ объекта;
- наполнение реляционной БД ретроспективной информацией о результатах обследований и испытаний, накопленной в течении жизненного цикла СТ (физико-химических исследований масла традиционными методами и методом инфракрасной спектроскопии в нескольких диапазонах: VIS-NIR, NIR, IR);
- разработка и адаптация взаимодействия новых и существующих программных модулей состояния подсистем, оборудования и режимов СЭ с реляционной СУБД;
- разработка алгоритмов, моделей и программных модулей, анализирующих накопленные данные с помощью аппарата ИНС и нечёткой (экспертной) логики.

Внешний вид подсистем диагностики выключателей и РПН СТ показаны на рисунках 2 и 3. Программное обеспечение, установленное на АЦП сервера постоянно опрашивает измерительные каналы, датчики температуры и вибрации. При появлении тока в приводе двигателя РПН или на контактах электромагнитов включения и отключения выключателей, происходит сохранение осциллограммы переключения из циклического буфера с отступом в несколько секунд относительно момента фиксации события. Кроме отслеживания тока привода, система анализирует температуру внутри шкафа управления.

Работу АК рассмотрим на примере модуля оптимизации выбора мест установки и уставок линейных ВДТ сети 0,4-10 кВ. Основными критериями оптимизации при решении задач являются: величины потерь и недоотпуска ЭЭ потребителям, полезный отпуск ЭЭ при обеспечении нормируемых показателей качества. Основной целью установки ВДТ в ЛЭП 0,4 кВ является обеспечение допустимых длительных отклонений напряжения у распределенных вдоль ЛЭП потребителей, Рис. 4. От выбора места установки ВДТ и его уставок по напряжению зависят также потери электроэнергии в ЛЭП и полезный отпуск электроэнергии в соответствии со статическими характеристиками нагрузок. Поэтому критерием оптимальности выбора является разность между потребленной электроэнергией и ее потерями.

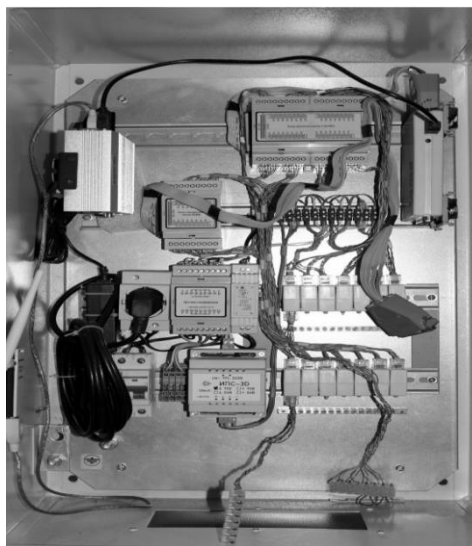


Рис. 2. Сервер системы диагностики выключателей



Рис. 3. Сервер системы диагностики РПН

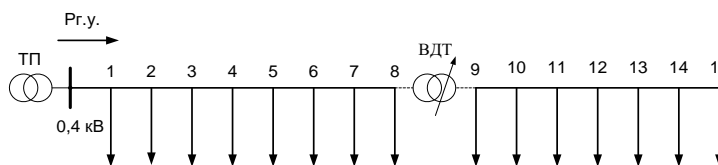


Рис. 4. К выбору места установки и уставок ВДТ.

В следующем разделе в Табл. 1 приведены результаты расчетов режимов ЛЭП 0,4 кВ с 24-мя опорами при максимальной нагрузке. Последнее отображается показаниями интеллектуальных счетчиков ЭЭ при выгрузке соответствующих данных из подсистемы АИИС КУЭ в раздел реляционной базы данных.

Результаты. Ниже приведем примеры взаимодействия исполнительного и аналитического комплексов ИЭСД. Начнем с результатов проводимых работ в области спектральных методов анализа масел для корректировки конечных моделей дефектов СТ. Выше отмечалось, что для повышения достоверности обследований необходимо учитывать физико-химические характеристики масла. Некоторые из характеристик масел, влияющих на показатели ХАРГ, определяются при традиционных исследованиях, например, кислотное число. Для выявления особенностей деградации углеводородной основы требуется привлечение методов оптической спектроскопии.

Для примера на рис.5 приведены дифференциальные ИК-спектры поглощения непредельных соединений свежих, состаренных и регенерированного масел. Они могут существенно скорректировать результаты обследования на основе ХАРГ.

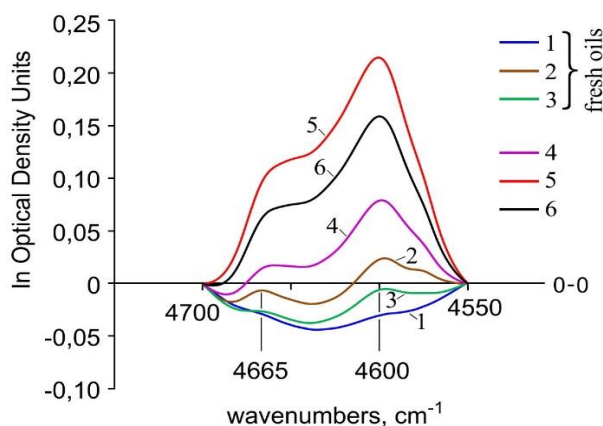


Рис. 5. Характерные полосы поглощения непредельных углеводородов с двойными С=C связями в различных минеральных трансформаторных маслах. 1÷3 – свежие; 4, 5 – старые; 6 – регенерированные масла.

На объекте предусмотрено оборудование подсистем онлайн мониторинга выключателей отходящих фидеров и устройства РПН СТ 110/10 кВ. При отсутствии на начальном этапе реальных коммутаций (включая токи КЗ), необходимо провести опытную эксплуатацию подсистем для ее «наработки», чтобы контроллером были загружены осциллограммы и журналы событий за все время работы терминалов релейной защиты, что позволило выполнить отладку основных алгоритмов системы. Приведем интерфейс отчета о реальном остаточном коммутационном ресурсе, рис.6. Система автоматически выполнила обработку осциллограммы и определила параметры коммутации: ток отключения, время с момента подачи команды до момента пропадания токов в фазах. Израсходованный при этом ресурс указан в %.

В таблице 1 представлены результаты расчетов режимов ЛЭП 0,4 кВ при максимальной нагрузке (данные АИИС КУЭ). ВДТ необходимо устанавливать на опоре №10 при определенных программой оптимальных фазных уставках по напряжению. Также следует, что установка ВДТ на опорах с номерами больше 13 недопустима, так как напряжение перед ВДТ становится недопустимо низким.

Заключение.

По результатам научных исследований и выполненных проектов, получены промежуточные результаты для реализации концепции ИЭСД оборудования.

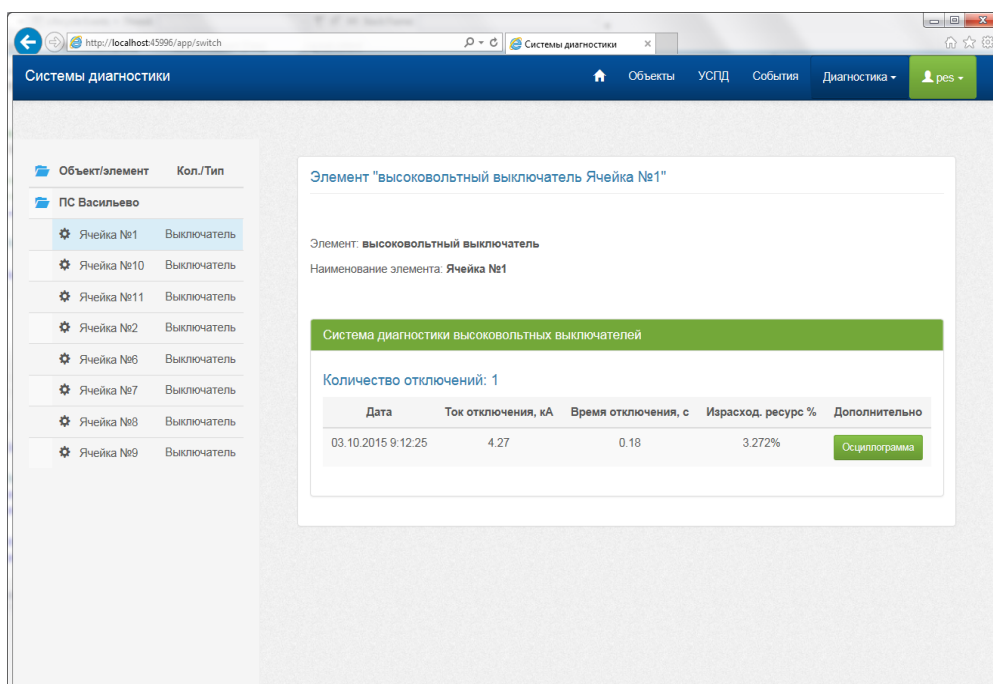


Рис. 6. Пример отчета об остаточном коммутационном ресурсе выключателя.

Таблица 1. Расчет режимов ЛЭП 0,4 кВ при максимальной нагрузке

Номер опоры с ВДТ	Потери мощности, кВт	Суммарное потребление, кВт	Напряжение перед ВДТ	Напряжение на конечной опоре, В	Потребление минус потери, кВт
5	3,2060	21,3148	219,3941	198,5614	18,1088
6	3,2986	21,4977	216,5149	200,8445	18,1991
7	3,3862	21,6541	213,6673	203,0645	18,2679
8	3,4674	21,7838	210,8647	205,2198	18,3165
9	3,5408	21,8872	208,1212	207,3076	18,3464
10	3,6053	21,9648	205,4513	209,3254	18,3594
11	3,6598	22,0171	202,8702	211,2704	18,3573
12	3,7033	22,0452	200,3932	213,1399	18,3419

13	3,7349	22,0500	198,0356	214,9313	18,3151
14	3,7541	22,0327	195,8126	216,6419	18,2786
15	3,7604	21,9947	193,7386	218,2688	18,2343
16	3,7539	21,9375	191,8273	219,8096	18,1836
17	3,7347	21,8629	190,0908	221,2616	18,1282
18	3,7032	21,7725	188,5400	222,6222	18,0693
19	3,6601	21,6683	187,1838	223,8892	18,0082
20	3,6063	21,5521	186,0289	225,0602	17,9458
21	3,5430	21,4258	185,0800	226,1329	17,8828
22	3,4716	21,2915	184,3391	227,1054	17,8199
23	3,3934	21,1510	183,8062	227,9758	17,7576
24	3,3100	21,0060	183,4784	228,7423	17,6960

1. Предложена структура ИЭСД оборудования СЭ на основе технологии ИИ, разработана схема взаимодействия ее комплексов и модулей.

2. Выделен объект моделирования - подстанция 110/10 кВ и прилегающая распределительная сеть для осуществления многокомпонентного диагностирования. оборудования. Установлено серверное оборудование с АРМом, осуществлен удаленный доступ к реляционной СУБД PostgreSQL.

3. На основе эксплуатационной документации получен большой объем информации о «жизненном цикле» реального оборудования и подсистем, включая паспортные, нормативные и «эталонные» характеристики. Наиболее важная информация переведена в табличный вид файловой системы СУБД.

4. Показано, что традиционные модели обнаружения дефектов СТ на основе ХАРГ, нуждаются в корректировке с учетом результатов физико-химического анализа масел. Эффективным инструментом исследования физико-химических свойств масел является ИК спектроскопия.

5. Продемонстрирована работоспособность разработанных модулей АК на основе детерминистских моделей, но они нуждаются в привязке к разделам СУБД.

Источники

1. Маклецов А. М. Дистанционный контроль параметров режима работы линий электропередачи 0,4 кВ / А. М. Маклецов, И. Ф. Галиев, Р. И. Галиев // Энергетик. – 2017. – № 9. – С. 9-10. – EDN ZIBOEH.

2. Яхья А.А. Совершенствование моделей предиктивной диагностики и оценки состояния трансформаторного оборудования энергообъектов: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.02. / Яхья А.А. - Новосибирск, 2022. - 193 с.

3. Маклецов А. М. Дистанционный контроль параметров режима ЛЭП 0,4 кВ / А. М. Маклецов, И. Ф. Галиев, Р. И. Галиев // Диспетчеризация и управление в электроэнергетике : XIV Всероссийская открытая молодежная научно-практическая конференция, Казань, 06–08 ноября 2019 года. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2019. – С. 250-254. – EDN MWQVWJ.

4. Галиев И. Ф. Разработка опытного образца аппаратно-программного комплекса для контроля состояния коммутационных аппаратов по полному времени отключения, параметров потребления и качества электроэнергии в несимметричных режимах / И. Ф. Галиев, А. М. Маклецов, Р. И. Галиев // ИКРБС АААА-А16- 116022550203.

5. Аппаратно-программный комплекс диагностики РПН силовых трансформаторов / А. М. Маклецов, И. Ф. Галиев, Р. И. Галиев, С. Ж. Жылдызбекова // Тинчуринские чтения - 2020 "Энергетика и цифровая трансформация" : Материалы Международной молодежной научной конференции. В 3-х томах, Казань, 28–29 апреля 2020 года. Том 1. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2020. – С. 73-75. – EDN EGFYVH.

6. Маклецов, А. М. Система мониторинга регуляторов напряжения трансформаторов под нагрузкой / А. М. Маклецов, И. Ф. Галиев, Р. И. Галиев // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве: Материалы VI Национальной научно-практической конференции. В двух томах, Казань, 10–11 декабря 2020 года. Том 1. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2020. – С. 378-380. – EDN VZHDYY.

7. Новые технологии, материалы и оборудование в энергетике / Э. Ю. Абдуллазянов, Л. Х. Арутюнян, Р. С. Арутюнян [и др.]. Том 3. – Казань : Казанский государственный энергетический университет, 2018. – 398 с. – ISBN 978-5-89873-535-7. – EDN FCQKYP.

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

9. Мониторинг несимметрии нагрузок в электрических сетях 0,4 кВ / А. М. Маклецов, И. Ф. Галиев, Р. И. Галиев, К. К. Лыу // Энергетик. – 2019. – № 5. – С. 27-29. – EDN SJBDFX.

10. Маклецов, А. М. Проблемы регулирования напряжения в распределительных сетях / А. М. Маклецов, Тамсир Ан // Тинчуринские чтения - 2020 "Энергетика и цифровая трансформация" : Материалы Международной молодежной научной конференции. В 3-х томах, Казань, 28–29 апреля 2020 года. Том 1. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2020. – С. 114-116. – EDN SDZPPE.

11. Козлов, В. К. Диагностическая ценность показателей состояния силового трансформатора / В. К. Козлов, И. Ф. Галиев // Энергетика Татарстана. – 2009. – № 1(13). – С. 46-49. – EDN KWGSQR.

12. Garifullin M.Sh., Slobodina Y.N., Bikzinurov A.R., Giniatullin R.A. The Degradation Degree Control of the Hydrocarbon Base of Mineral Oils Using the Specific Degradation Marker in their Infrared Spectrum // 49 CIGRE Session, Paris, 2022. Paper 10608.

13. Garifullin M.Sh., Slobodina Y.N., Bikzinurov A.R., Giniatullin R.A., Logacheva A.G. Control of the degradation of the mineral transformer oils hydrocarbon base // E3S Web of Conferences 216, 01055 (2020). DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021601055>.

14. Galiev, I. F. Analysis of the Reliability and Efficiency of Local Power Supply Systems at Major International Events / I. F. Galiev, A. E. Sabitov // Lecture Notes in Civil Engineering. – 2022. – Vol. 190. – P. 269-278. – DOI 10.1007/978-3-030-86047-9_28. – EDN YMEVNM.

15. Соловьева, А. В. Методика формирования моделей надежности вариантов сети / А. В. Соловьева, И. Ф. Галиев // Тинчуринские чтения - 2020 "Энергетика и цифровая трансформация" : Материалы Международной молодежной научной конференции. В 3-х томах, Казань, 28–29 апреля 2020 года. Том 1. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2020. – С. 107-108. – EDN SDZPPE.

16. Бутырин, П. А. Цифровизация и аналитика в электротехнике. Цифровые двойники трансформаторов / П. А. Бутырин, М. Е. Алпатов // Электричество. – 2021. – № 10. – С. 4-10. – DOI 10.24160/0013-5380-2021-10-4-10. – EDN FGJJUH.

17. Бирюлин В.И., Куделина Д.В. Разработка модели для анализа способов снижения несимметрии напряжений в системах электроснабжения. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022;24(2):72-85. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2022-24-2-73-86>

18. Оморов, Т. Т. К проблеме математического моделирования трехфазной несимметричной распределительной сети / Т. Т. Оморов, Б. К. Такырбашев, Р. Ч. Осмонова // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2020. – Т. 22, № 1. – С. 93-102. – DOI 10.30724/1998-9903-2020-22-1-93-102. – EDN QCYDGT.

УДК: 631.1

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РЫБОВОДНО-АКВАПОНИЧЕСКИМ КОМПЛЕКСОМ

Гайнутдинова А.Р.¹, Валеев А. А.², Мухаметшин А. И.³
^{1,2,3} ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия
valeevalan44@gmail.com², Mo2825@yandex.ru³

В статье анализируются некоторые тенденции российского рыболовства и рыбоводства, и на основе исследований демонстрируется система контроля и мониторинга содержания рыбы растений.

Ключевые слова: автоматизация, рыбоводство, аквапоника, пищевая промышленность

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED MANAGEMENT SYSTEM FORA FISH-FARMING AND AQUAPONICS COMPLEX

Gainutdinova A.R.,¹ Valeev A. A.,² Muhametshin A.I.³
^{1,2,3} FGBOU VO "KSPEU", Kazan, Republic of Tatarstan
valeevalan44@gmail.com², Mo2825@yandex.ru³

Abstract: The article analyzes some trends in Russian fisheries and aquaculture, and based on research, demonstrates a system for monitoring and controlling the conditions of fish and plant maintenance.

Keywords: automation, fish farming, aquaponics, food industry.

Одной из активно развивающихся сфер не только в далеком прошлом, но в настоящем является мировое производство рыбы и морепродуктов. В 2020 году вылов рыбы в России составил 4,97 млн т [1]. Стратегией развития рыбохозяйственного комплекса до 2030 г. предусматривается показатель вылова, достигающий 5,4 млн т и потребления 25 кг рыбной продукции на душу населения при 15-ти % доле импортной продукции [2].

Сырьевая база отечественного рыболовства в 2019 году составляет около 5,2 млн т и остается стабильной с незначительными изменениями в годовом разрезе. Однако расширение добычи водных биоресурсов требует проведения переговоров с международными организациями [3], и рост потребления за счет промышленного рыболовства и экспорта ограничен.

Необходимо увеличивать упор на развитие рыбоводства с сохранением объемов промышленного рыболовства для наиболее рационального решения.

В рыбоводной промышленности внедрение новых технологий автоматизации может столкнуться с проблемами, такими как высокая стоимость, недостаток квалифицированных специалистов и проблемы интеграции с существующим оборудованием. Кроме того, производственный процесс рыбоводства может требовать специализированных технологий. Тем не менее, внедрение автоматизации имеет большой потенциал для улучшения производительности и качества продукции, и российские компании продолжают совершенствовать свои технологии [4,5,6]. Но в настоящее время продукты автоматизированных систем представляются не совершенными, так как обычно отслеживают только потребление тепловой энергии и электричества [7].

Разработка и улучшение средств автоматизации важны для производства и рыбоводства. Нами создана автоматизированная система управления рыбоводно-аквапоническим комплексом, которая контролирует условия содержания рыб и растений, автоматизирует процессы подачи корма и регулировки параметров воды и климата. Система содержит датчики, контроллер, модуль удаленного доступа и исполнительные механизмы. Она облегчает труд обслуживающего персонала и сводит монотонный ручной труд к минимуму, но требует высокой квалификации персонала. Система находится на этапе разработки. Ниже представлены функциональная схема и визуальная модель установки (рис.1, рис.2):

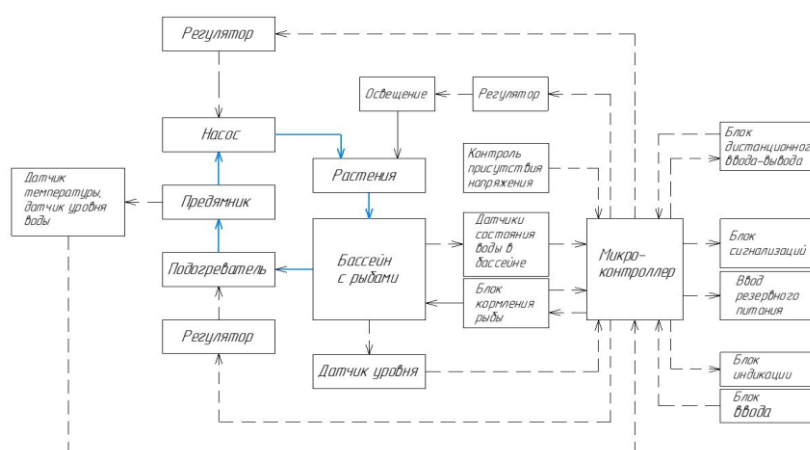


Рис. 1. Функциональная схема установки

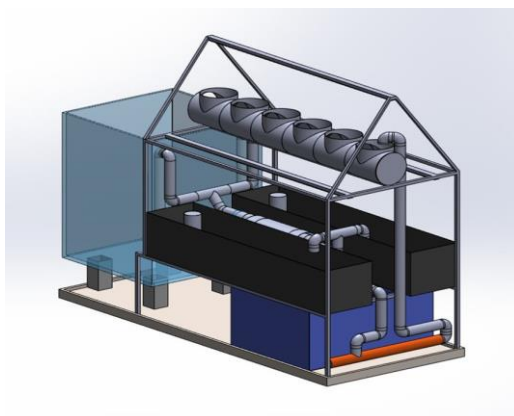


Рис. 2. Визуальная модель установки

Таким образом, система является актуальной и крупным шагом в развитии рыбоводных технологий. Однако, на данный момент ее реализация еще не завершена, и предстоит продолжить работу над совершенствованием и оптимизацией системы. Тем не менее, мы уверены в том, что разработка данной системы будет способствовать повышению эффективности производства, снижению экологических рисков и обеспечению высокого качества продукции.

Источники

1. Хохлова Н.Ф. Тенденции развития рыбоводства и рыболовства в России // Вестник Московского финансово-юридического университета. 2021. №4. С.109-119.

2. Распоряжение Правительства РФ от 26 ноября 2019 г. № 2798-р об утверждении стратегии развития рыбохозяйственного комплекса РФ на период до 2030 г. и плана мероприятий по ее реализации. URL: <http://government.ru/docs/38448/> (дата посещения: 04.04.2023).

3. Колончин К.В. Освоение доступной сырьевой базы рыбного промысла и задачи будущего развития // Пищевая промышленность. 2020. №2. С.38-40.

4. Королева, К.С. Проблемы и вызовы современной рыбной промышленности / К. С. Королева, Д. В. Ходос // Экономический вектор. 2021. № 3(26). С. 29-35.

5. Морковина С.С., Ванятинский Ф.В. Формирование механизма развития предпринимательства в сфере аквакультуры и рекреационного рыбоводства // Социально-экономические явления и процессы. 2011. №12(34). С. 197-200.

6. Коршунов, Е.А. Автоматизация процессов обслуживания энергетического оборудования с помощью специализированных

программных решений / Е. А. Коршунов, А. А. Капанский, К. Е. Коршунов // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14, № 1(53). С. 65-75.

7.Рахмонов, И.У. Автоматизированная система управления электропотреблением промышленных предприятий / И. У. Рахмонов // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2022. Т. 14, № 4(56). С. 30-38.

8.Определение степени полимперизации бумажной изоляции / В. К. Козлов, А. Х. Сабитов, Р. А. Саляхутдинов, Г. Ф. Нигматуллина // Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы современной науки, достижения и инновации : Сборник научных статей по материалам VIII Международной научно-практической конференции, Уфа, 06 мая 2022 года. – Уфа: Общество с ограниченной ответственностью "Научно-издательский центр "Вестник науки", 2022. – С. 65-71. – EDN QNZRBX.

9.Определение содержания ароматических углеводородов в трансформаторном масле спектральным методом / В. К. Козлов, О. Е. Куракина, А. Р. Гизатуллин, Р. А. Гиниатуллин // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2022. – Т. 78. – № 1. – С. 19-22. – EDN GUNDZO.

10.Волотковская Н.С., Семёнов А.С., Бебихов Ю.В., Шевчук В.А., Федоров О.В. Перспективы развития энергетического комплекса Северо-Востока России // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021. Т. 23. № 3. С. 58- 69. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-3-58-69.

11.Петров Т.И. Модификация генетического алгоритма для комплексной топологической оптимизации ротора синхронных двигателей // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021. Т. 23. № 3. С. 70-79 doi:10.30724/1998-9903-2021-23-3-70-79.

12.Оленцевич, В. А. Проблемы организации работы энергосистемы объектов железнодорожного транспорта Восточного полигона в условиях прироста грузопотока / В. А. Оленцевич, Е. А. Гусева, М. В. Константинова // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2023. – Т. 15, № 1(57). – С. 23-36.

13.Столярова, Е. Ю. Экспериментальные гидравлические и тепломассообменные характеристики пленочной градирни с комбинированными насадками / Е. Ю. Столярова, Е. А. Лаптева, А. Г. Лаптев // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2023. – Т. 15, № 1(57). – С. 37-47.

ИММЕРСИОННОЕ ДВУХФАЗНОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ ДЛЯ СВЕТОДИОДНОЙ ОСВЕТИТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ

Гладков О.Б.¹, Сорокин Н.С.², Беликов Р.П.³

^{1,2,3} ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В.

Парахина», Россия, г. Орёл

^{1,2,3} gladkoff.oleg2010@yandex.ru

Применение жидкостного двухфазного иммерсионного охлаждения для светодиодной осветительной аппаратуры с металлическим герметичным корпусом позволит постоянно обеспечивать оптимальный температурный режим работы светодиодным источникам света, что в значительной степени позволит продлить срок их эксплуатации.

Ключевые слова: светодиодный источник, светильник, иммерсионное охлаждение.

IMMERSION TWO-PHASE COOLING FOR LED LIGHTING EQUIPMENT

Gladkov O.B.¹, Sorokin N.S.², Belikov R.P.³

^{1,2,3} Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Oryol State

Agrarian University named after N.V. Parakhin, Russia, Oryol

^{1,2,3} gladkoff.oleg2010@yandex.ru

The use of liquid two-phase immersion cooling for LED lighting equipment with a metal hermetic housing will constantly ensure the optimal temperature regime of LED light sources, which will greatly extend their service life.

Keywords: LED source, lamp, immersion cooling.

Принцип работы технологии иммерсионного двухфазного охлаждения в конструкциях светодиодной осветительной аппаратуры представлен на рисунке 1. В герметичном корпусе светильника происходит процесс нагрева светодиодов до температуры около 49 °С, далее происходит вскипание фторкетона, и именно оно обеспечивает процесс отведения излишней энергии тепла от светодиодов. Далее происходит конденсация фторкетона в верхней части светодиодного светильника, фторкетон стекает вниз в рассеиватель.

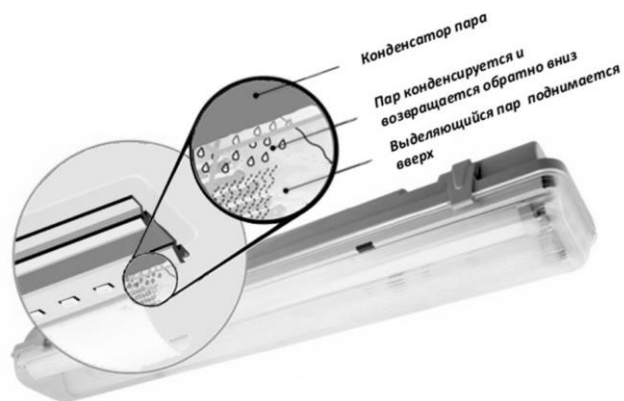


Рис. 1. Алгоритм иммерсионного охлаждения светильник со светодиодным источником света

В качестве корпуса для инновационного светильника на светодиодах с иммерсионным охлаждением целесообразно использовать светильник о степенью защиты IP67, который предназначен для эксплуатации в достаточно тяжелых условиях. Также к плюсам данного решения можно отнести то, что корпус такого светильника сделан из оцинкованной стали [1,2].

Металл корпуса имеет более высокую теплопроводность, данный фактор важен именно для реализации иммерсионного охлаждения, с используемыми в качестве источников свет светодиодами лампами. Отсюда можно сделать вывод, что любые корпуса уличных светильников из металла, которые имеют пыле- и влагозащищенность, целесообразно переоборудовать под светильники иммерсионным охлаждением, для установки светодиодных источников света.

В случае использования иммерсионного охлаждения температура подложки будет определяться температурой кипения фторкетона, которая равна $+49\text{ }^{\circ}\text{C}$, поэтому можно сделать вывод, что время работы светодиодов с использованием иммерсионного охлаждения будет составлять не менее 85-95 тыс. часов. Среднее время работы светодиодных источников света составляет примерно 10-30 тыс. часов. С использованием иммерсионного охлаждения светодиодов можно увеличить срок службы таких источников света до трех раз.

На рисунке 2 (а) приведена зависимость влияния температуры подложки светодиодов на его срок службы [3,4].

Прослеживается зависимость температуры и параметров светового потока при воздушном охлаждении (рис. 2 (б)).

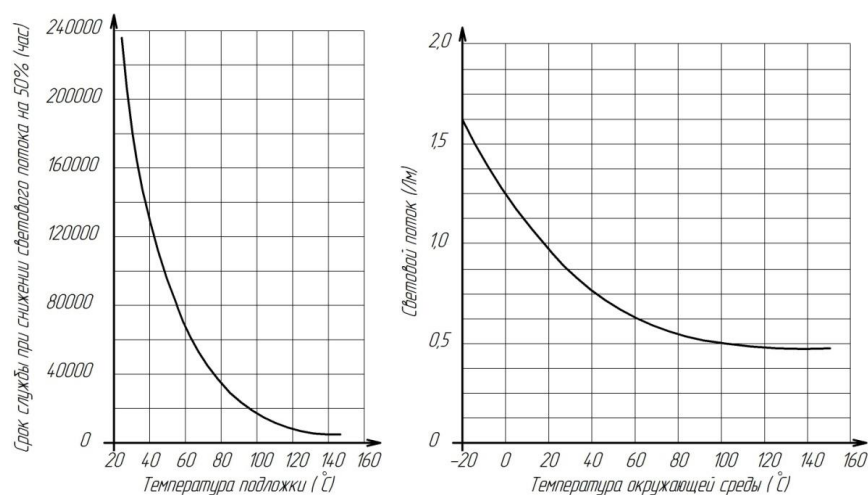


Рис. 2. Влияние температуры подложки на срок службы и на световой поток светодиода

Анализируя данные зависимости, видно, что при температуре среды в светильнике 20-25 °С прослеживается оптимальный поток света светодиода, т.е температура кристалла не выше 80°С, при этом температура подложки не выше 50-60 °С. При этом при росте температуры среды с 25 °С до 75 °С, температура подложки может увеличиться с 60 °С до 90 °С. Необходимо отметить, что температура кристалла светодиода достигнет критического значения, что приведет к падению светового потока примерно в 2-2,5 раза. Если при этом будет использована технологии иммерсионного охлаждения светодиодного источника света, то это позволит ограничить рост температуры подложки не выше 49-50 °С. Такая температура подложки обеспечит оптимальный световой поток, вне зависимости от температуры среды светодиодного источника света.

Несмотря на теоретическое обоснование целесообразности применения предлагаемого способа иммерсионного охлаждения в конструкциях светодиодной осветительной аппаратуры, важно отметить, что необходима детальная и тщательная проработка ряда вопросов технического и экономического плана, которые связаны с эксплуатацией светодиодных светильников с иммерсионным охлаждением [5].

Таким образом, можно утверждать, что предложенное оригинальное инженерно-техническое решение, способно эффективно решать проблему перегрева светодиодов и может быть весьма полезно разработчикам светодиодного освещения при проектировании агропромышленных светодиодных светильников нового поколения с повышенным ресурсом и улучшенной светоотдачей [6,7].

Источники

1. Полищук А. Обеспечение теплового режима мощных светодиодных ламп при разработке светотехнических устройств/ А. Полищук // Современная электроника. – 2006. – №3.– С. 42-45.

2. Особенность эксплуатации светодиода / В. Константинов, Е. Вставкая, А. Вставский, М. Пожидай // Полупроводниковая светотехника. – 2011. – №5. – С. 56-57.

3. Бабушкина Л.Г. Решение проблемы тепловода в светодиодной технике // Пермский национальный исследовательский политехнический университет. – 2012. – С. 271-274.

4.Чернышов В.А. Обоснование целесообразности применения иммерсионной системы охлаждения в светодиодных светильниках агропромышленного назначения / В.А. Чернышов, М.В. Новиков // Вестник Воронежского ГАУ. – 2017. – №3.

5.Гладков, О. Б. Иммерсионное охлаждение для светодиодных уличных светильников / О. Б. Гладков, В. А. Чернышов, Р. П. Беликов // Профессия инженер : Сборник статей X Всероссийской молодежной научно-практической конференции "Профессия инженер", посвящённой 40-летию факультета агротехники и энергообеспечения, Орел, 07 апреля 2022 года / А.Л. Севостьянов, Е.В. Мищенко, Т.Г. Павленко, И.В. Сидорова; под общ. ред. А.Л. Севостьянова; Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина.. – Орел: орл, 2022. – С. 509-513. – EDN GIJPHM.

6.Ensuring effective heat dissipation in the design of light emitting diode (Led) lighting equipment / V. A. Chernyshov, E. A. Pechagin, O. B. Gladkov [et al.] // Sustainable Energy Systems: innovative perspectives : Conference proceedings, Saint-Petersburg, 29–30 октября 2020 года. – Saint-Petersburg: Springer, Cham, 2021. – P. 80-88. – DOI 10.1007/978-3-030-67654-4_10. – EDN WEMISJ.

7.Гладков, О. Б. Концепт-проект сверхъяркого светодиодного прожектора с жидкостным линзовым концентратором светового луча и иммерсионной системой охлаждения / О. Б. Гладков, Р. П. Беликов, В. А. Чернышов // Физика и современные технологии в АПК : материалы XI Всероссийской молодежной конференции молодых ученых, студентов и школьников с международным участием, Орел, 19 февраля 2020 года. – Орел: ООО Полиграфическая фирма «Картуш», 2020. – С. 378-381. – EDN EVDIDT.

8.Усовершенствование технологии монтажа "подушки" под

фундамент КТП 10/0,4 кВ киоскового типа / М. В. Бородин, С. Ю. Захаров, Р. П. Беликов, В. И. Бобровский // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2021. – Т. 23, № 3. – С. 154-167. – DOI 10.30724/1998-9903-2021-23-3-154-167. – EDN KKLSJW.

9. Структура времени определения источника искажений показателей качества электрической энергии и программно-аппаратный комплекс для его сокращения / М. В. Бородин, А. В. Виноградов, А. В. Букреев, А. А. Панфилов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2021. – Т. 23, № 6. – С. 29-41. – DOI 10.30724/1998-9903-2021-23-6-29-41. – EDN RVAROE.

СИСТЕМЫ НАКОПЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ В ИЗОЛИРОВАННЫХ РАЙОНАХ РОССИИ

Глоткина Л. А.
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия
glotkina_lyuba@mail.ru

Процессы выработки и потребления жестко связаны, то есть производится ровно столько энергии, сколько потребляется. В результате электростанции работают в экономически неэффективном для них режиме. Из-за растущего потребления электроэнергии, всё активнее будут применяться возобновляемые источники энергии. Такие как солнечные или ветряные электростанции, периодически вырабатывают энергию и нуждаются в крупномасштабных решениях по хранению энергии. Современное развитие технологий позволяет нам решать эту проблему локально, ориентируясь на конечных пользователей. В статье рассматриваются способы накопления энергии для удаленных регионов России.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, системы накопления энергии, гидроаккумулирующая станция, накопительные батареи, энергосбережение.

ENERGY STORAGE SYSTEMS IN ISOLATED AREAS OF RUSSIA

Glotkina L. A.
FGBOU VO "KSPEU", Kazan, Republic of Tatarstan
glotkina_lyuba@mail.ru

The processes of production and consumption are rigidly connected, that is, exactly as much energy is produced as is consumed. As a result, power plants operate in an economically inefficient mode for them. Due to the growing electricity consumption, renewable energy sources will be increasingly used. Such as solar or wind power plants, periodically generate energy and need large-scale energy storage solutions. Modern technology development allows us to solve this problem locally, focusing on end users. The article discusses the ways of energy storage for remote regions of Russia.

Keywords: renewable energy sources, energy storage systems, pumped storage station, storage batteries, energy saving.

Энергия является основным источником экономического развития любой страны. В настоящее время большая часть спроса на электроэнергию удовлетворяется за счет ископаемого топлива, при сжигании которого негативно сказывается на окружающую среду. Электроэнергетический сектор стремится к повышению доступности, надежности и безопасности энергоснабжения потребителей. Это стремление сильно усилило намерение интегрировать возобновляемые источники энергии (ВИЭ) в качестве стратегии по решению проблем, связанных с истощением запасов ископаемого топлива, увеличением спроса на энергию и антропогенным глобальным потеплением [1]. Однако станции на ВИЭ сильно зависят от погодных условий с непостоянными и изменчивыми характеристиками. Чтобы избежать эти вариации, применяются системы накопления энергии (СНЭ) в качестве одного из потенциальных решений с такими преимуществами, как возможность быстрого реагирования, устойчивая подача энергии и географическая независимость. СНЭ представляют собой устройства, предназначенные для накопления, хранения и отдачи энергии в сеть или нагрузку для поддержания функционирования требуемого качества электрической энергии и реализации требуемых режимов.

Энергетическая система Российской Федерации диверсифицирована по регионам и состоит из одной Единой энергосистемы и нескольких автономных энергосистем. Многие населенные пункты России не подключены к централизованному электроснабжению в силу своего географического положения, из-за чего питание поселков осуществляется за счет дизельной генерации, очень дорогостоящего способа получения электричества. Для таких систем предлагается использовать большую долю генерации на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) [2, 3].

Для северных территорий целесообразно использовать ветряные, солнечные и гидроэлектростанции. Однако стохастический характер возобновляемых источников энергии обусловил необходимость рассмотрения методов хранения этой энергии.

В настоящее время существует несколько видов технологий хранения электроэнергии. Примеры таких систем включают гидроаккумулирующие электростанции, химические источники энергии, а также системы хранения энергии на основе маховиков, водорода и синтетического природного газа. Наиболее подходящими для северных районов являются литий-ионные батареи, главная задача которых состоит в накоплении энергии, когда она есть (или она дешевая) и выдать ее, когда

ее нет (или она дорогая). Такая установка позволяет сэкономить на оплате электроэнергии, обеспечить устойчивое и бесперебойное энергоснабжение [4, 5].

Еще один способ энергосбережения является гидроаккумулирующая электростанция (ГАЭС). Гидроэнергетика, безусловно, является наиболее важным источником электроэнергии. Гидроэлектростанции не только отвечают целям производства электроэнергии с низким содержанием углерода, но также имеют низкие затраты на выработку электроэнергии и являются наилучшим средством регулирования баланса энергетической системы. Перспективы развития гидроэлектростанций в России значительны: в целом страна освоила 20% экономического гидроэнергетического потенциала [6, 7]. Таким образом, вклад гидроэлектростанций в мировое производство электроэнергии огромен.

Доступная и недорогая электроэнергия в изолированных регионах России является серьезной глобальной проблемой. Для производства необходимой электроэнергии требуется дешевый и возобновляемый источник. Долговременное хранение энергии позволит осуществить энергетический переход в России. Это сократит потери возобновляемой энергии, уменьшит зависимость от дизельных электростанций и снизит углеродный след. Потери на самом деле замедляют переход, потому что не используются все возможности возобновляемых генераторов и чистой, зеленой энергии. Хранение является неотъемлемой частью этого плана.

Источники

1. Мохаммед Йекини Системы накопления энергии для интеграции сектора возобновляемой энергетики и смягчения перебоев // Обзоры возобновляемых и устойчивых источников энергии. - 2014. - №35. - С. 499.

2. Суслов К.В. Развитие изолированных энергосистем в России с использованием возобновляемых источников энергии // Науки о Земле и окружающей среде. - 2020. - №1. - С. 479.

3. Чиркова И.Г., Бережной К.М. Анализ занятости в энергетическом секторе экономики региона // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. №2 (54). С. 134-141.

4. Литий-ионные батареи и системы накопления энергии // Рэнера Росатом – отраслевой интегратор в области систем накопления электроэнергии URL: <https://renera.ru/> (дата обращения: 01.04.2023).

5. Системы накопления электрической энергии АО «Атомэнергопромсбыт» // Атомэнергопромсбыт Росатом URL:

<https://apsbt.ru/uslugi/postavka-i-dispetcherizatsiya-nakopiteley/sistemy-nakopleniya-elektricheskoy-energii-ao-atomenergopromsbyt/> (дата обращения: 03.04.2023).

6. Общие сведения // Официальный информационный портал Республики Саха (Якутия) URL: <https://www.sakha.gov.ru/o-respublike-saha-kutiya-/obschiesvedeniya> (дата обращения: 03.04.2023).

7. Mukhametova L.R., Akhmetova I.G., Strielkowski W. Innovations in energy storage. Power engineering: research, equipment, technology. 2019;21(4):33-40.

8. Фомин, К. Д. Перспективы применения генераторов переменного и постоянного тока в ВЭУ / К. Д. Фомин, А. А. Хусаинов, О. Е. Куракина // Фундаментальные и прикладные исследования: концепты, методики, новации : Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 12–13 мая 2022 года. – Ростов-на-Дону: Профпресслит, 2022. – С. 287-289. – EDN IGCCCKP.

9. Куракина, О. Е. Модернизация трансформаторов / О. Е. Куракина, А. В. Вахитова // Актуальные проблемы общества, экономики и права в контексте глобальных вызовов : Сборник материалов XI Международной научно-практической конференции, Москва, 02 июня 2022 года / Редколлегия: Л.К. Гуриева [и др.]. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "ИРОК", ИП Овчинников Михаил Артурович (Типография Алеф), 2022. – С. 145-146. – EDN CFRBOD.

10. Андреев, В. П. Методы динамического перепрограммирования для мобильного робота с модульной архитектурой / В. П. Андреев, П. Ф. Плетенев // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2022. – Т. 24. – № 3. – С. 175-184. – DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-3-175-184. – EDN CFNRWN.

11. Городнов, А. Г. Методика определения параметров схемы замещения электромеханического модуля с повышенным электромагнитным моментом / А. Г. Городнов, В. Ю. Корнилов, Е. Ю. Федоров // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2022. – Т. 24. – № 3. – С. 185-197. – DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-3-185-197. – EDN ХКВСWQ.

12. Способ интенсификации теплообмена на основе интеллектуального управления режимными характеристиками теплообменного оборудования / К. Х. Гильфанов, Р. А. Шакиров, Р. Н. Гайнуллин, Ф. В. Коннов // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2022. – Т. 14, № 4(56). – С. 91-102. – EDN RKNVКW.

13.Базукова, Э. Р. Экономический эффект вариантов тепловой защиты трубопроводов энергетических комплексов / Э. Р. Базукова, Ю. В. Ваньков, Р. А. Пономарев // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2022. – Т. 14, № 4(56). – С. 103-112. – EDN WPZRLD

МЕТОДИКА ИНФРАКРАСНОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДВИГАТЕЛЕЙ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ РОБОТИЗИРОВАННЫМ КОМПЛЕКСОМ «ИНСПЕКТОР»

Губарев Н.А.¹, Яхин Ш.Р.², Сабитов А.Х.³

^{1,2,3} ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

Nikita20143@mail.ru¹, yahinshr@mail.ru², sabitov_ah@mail.ru³

В работе предложена методика тепловизионного обследования электродвигателей системы охлаждения трансформаторов роботизированным комплексом «Инспектор». Представлены методические указания, а также основные возможности и требования по инфракрасной диагностике.

Ключевые слова. Инфракрасная диагностика, система охлаждения трансформатора, искусственный интеллект, роботизированный комплекс.

THE METHOD OF INFRARED DIAGNOSTICS OF ELECTRIC MOTORS OF THE TRANSFORMER COOLING SYSTEM BY THE "INSPECTOR" ROBOT COMPLEX

Gubarev N.A.¹, Yakhin Sh.R.², Sabitov A.H.³

^{1, 2, 3} FGBOU VO "KSPEU", Kazan, Republic of Tatarstan

Nikita20143@mail.ru¹, yahinshr@mail.ru², sabitov_ah@mail.ru³

The paper proposes a method for thermal imaging inspection of electric motors of the transformer cooling system by the robotic complex "Inspector". Guidelines are presented, as well as the main features and requirements for infrared diagnostics.

Keywords. Thermal imaging diagnostics, transformer cooling system, artificial intelligence, robotic complex.

Сегодня процессы обслуживания и инспекции электроустановок проводятся согласно стандартам, нормам и требованиям технического обслуживания и ремонта. Одним из наиболее эффективных методов диагностики является инфракрасный (ИК) метод обследования [2]. При правильном обследовании оборудования можно обнаружить различные дефекты электрооборудования на ранней стадии их развития [3,4]. Однако сам подход к реализации работ по ИК инспекции и их периодичность не

позволяют в полной мере раскрыть потенциал данного метода. В следствии чего стоит задача в разработке новых измерительных комплексов и методов ИК обследований.

В данной работе предлагается методика ИК обследования электродвигателей системы охлаждения трансформаторов посредством разработанного роботизированного комплекса «Инспектор».

Комплекс представляет собой трех уровневую систему: Робота инспектора с зарядной станцией, сервера, и программного обеспечения (рис. 1).

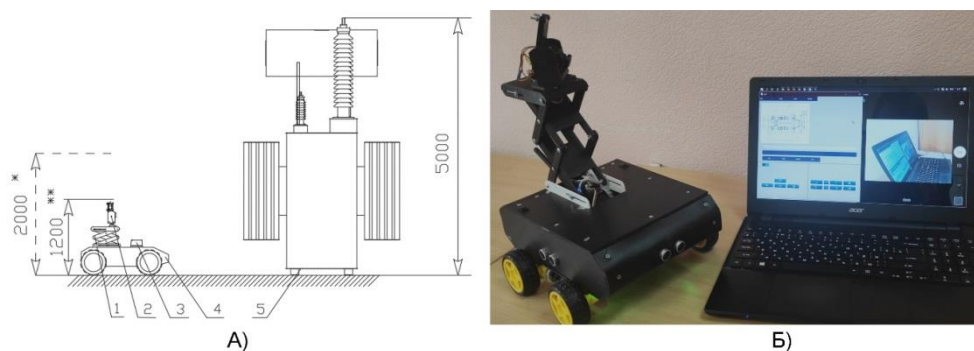


Рис.1. А) Габаритные размеры, Б) Лабораторная модель. 1) пантограф, 2) ИК и видео камеры, 3) лидар, 4) корпус, 5) трансформатор ТДЦТН 110/10, *высота в раскрытом положении, **высота в закрытом положении.

В процессе «дежурства», робот, согласно графику, выходит на обследование и проводит ИК обследование оборудования.

Программное обеспечение представляет собой пакеты программ «Оператор» и «Анализатор» [5, 6]. В задачи программы «Оператор» входит создание графиков и маршрутов обследований, контроль и управление роботом. В задачи программы «Анализатор» входит обработка данных обследований при помощи технологии нейронных сетей, и составление отчетов, на основании результатов инспекции. Обработка термограмм и фотографий проводится при помощи технологии TensorFlow Object Detection API [7].

При проведении ИК контроля состояния электродвигателей устройств системы охлаждения трансформатора, комплексом производится оценка теплового состояния дутьевых вентиляторов и маслонасосов. Снятие термограмм электродвигателей роботом проводится совместно с системой охлаждения трансформатора.

Выявляемые дефекты электродвигателей, а также их предельные значения представлены в таблице 1 согласно требованиям РД 153-34.0-20.363-99 [2]. Пример термограмм представлен на рисунке 2.

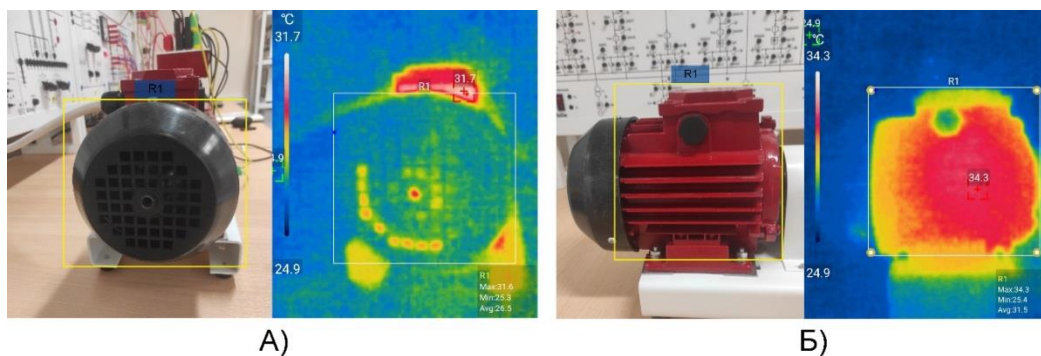


Рисунок 2. Термограммы электродвигателя, а) решетка радиатора, б) корпус.

Таблица 1

ИК инспекция электродвигателей системы охлаждения трансформаторов

Операции	Объем получаемой информации	допустимые значения
Корпус электродвигателя дутьевого вентилятора и маслонасоса	локальные нагревы в следствии витковых замыканий в обмотках	80/100 °С
	подтеки масла в следствии не герметичности соединений	-
	загрязнение и запыление корпуса и крыльчаток	-
Трубопроводы и корпус маслонасоса	Несовпадение температуры трубопроводов и маслонасоса в следствии трения крыльчаток, витковых замыканий в обмотке электродвигателя и т.п.	± 5 °С
Крыльчатки вентиляторов	неправильный угол атаки или направление вращения крыльчатки вентилятора	Сопоставление температур
Подшипники скольжения	оценивается состояние подшипников	80/100 °С

Периодичность ИК инспекций, согласно [1,2] для трансформаторов напряжением 110 кВ и выше составляет не менее одного раза в два года, чего недостаточно не только для раннего предупреждения дефектов электрооборудования, но и качественной наработки базы данных обследований. В следствии этого периодичность ИК инспекции трансформаторов роботизированным комплексом предлагается повысить, до 1-го раза в день, а непосредственно электродвигателей системы охлаждения не менее 1-го раза в месяц.

Источники

1. Концепция «Цифровая трансформация 2030», ПАО «Россети» [Электронный ресурс].https://www.rossetivolga.ru/i/files/2019/2/7/kontseptsiya_tsifrovaya_transformatsiya_2030.pdf (дата обращения 22.02.2023).

2. РД 153-34.0-20.363-99, «Основные положения методики инфракрасной диагностики электрооборудования и ВЛ».
3. СТО 34.01-23.1-001-2017, «Объем и нормы испытаний электрооборудования», ПАО «РОССЕТИ».
4. Хальясмаа А. И. и др. Диагностика электрооборудования электрических станций и подстанций: учебное пособие. – 2015.
5. Губарев Н. А., Сабитов А. Х. Роботизированный комплекс мониторинга состояния электрооборудования электрических подстанций 110-220 КВ //СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРО-И ТЕПЛОТЕХНОЛОГИИ (XXI БЕНАРДОСОВСКИЕ ЧТЕНИЯ). – 2021. – С. 87-90.
6. Яхин, Ш. Р. Тепловизионный метод диагностики электрооборудования с применением машинного обучения / Ш. Р. Яхин, Н. А. Губарев // Тинчуринские чтения - 2022 "Энергетика и цифровая трансформация".Казанский государственный энергетический университет, 2022. – С. 163-166. – EDN INRJBM.
7. «YOLO object detection with OpenCV». Текст: электронный Интернет-портал. – URL:<https://www.pyimagesearch.com/2018/11/12/yolo-object-detection-with-opencv/> (дата обращения: 02.03.2023)
- 8.Тарифы на электроэнергию как стимулирующий фактор развития распределенной генерации в России / М. Ш. Гарифуллин, С. О. Каминский, М. И. Лашманова, Р. Н. Мухаметжанов // Электрические сети: надежность, безопасность, энергосбережение и экономические аспекты : Материалы международной научно-практической конференции, Казань, 22 апреля 2022 года / Редколлегия: В.В. Максимов (отв. редактор) [и др.]. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. – С. 81-96. – EDN XTFNPH.
- 9.Мухаметжанов, Р. Н. Особенности монтажа воздушных ЛЭП / Р. Н. Мухаметжанов, Х. Х. Нигматзянов // Современные тенденции развития науки и мирового сообщества в эпоху цифровизации : Сборник материалов VII Международной научно-практической конференции, Москва, 30 июня 2022 года / Редколлегия: Бабаева З.Ш. [и др.]. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "ИРОК", ИП Овчинников Михаил Артурович (Типография Алеф), 2022. – С. 88-92. – EDN YVETKI.
- 10.Горинов, Ю. А. Повышение эффективности систем централизованного теплоснабжения модернизацией ИТП / Ю. А. Горинов, П. Н. Анисимов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2022. – Т. 24. – № 3. – С. 101-111. – DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-3-101-111. – EDN BNTYBM.

11.Шириев, Р. Р. Об обеспечении теплового режима светодиодного источника света / Р. Р. Шириев, А. Н. Борисов, А. А. Валеев // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2022. – Т. 24. – № 3. – С. 112-120. – DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-3-112-120. – EDN ZIJESR.

12.Спектроскопическое исследование поведения органических примесей в технологических водах тепловых электростанций / А. А. Филимонова, А. А. Чичиров, Н. Д. Чичирова, А. А. Баталова // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2022. – Т. 14, № 3(55). – С. 3-12. – EDN OIDDMO.

13.Ахметова, И. Г. Исследование нестационарных процессов теплообмена в тепловых сетях централизованного теплоснабжения / И. Г. Ахметова, К. В. Лапин // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2022. – Т. 14, № 3(55). – С. 13-26. – EDN ECZKFW.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РЕСПУБЛИКЕ ТАТАРСТАН

Долматов Е.Н.¹, Суворов А.А.², Мухаметжанов Р.Н.³, Салихов Р.Р.⁴
^{1, 2, 3, 4}artyom.suvorov01@mail.ru

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

Данная работа базируется на анализе отечественных научных публикаций и представляет собой обзорную статью, посвященную прогнозированию потребления электроэнергии в Республике Татарстан, которая в настоящее время является актуальной по причине проникновения рыночных отношений во все сферы электроэнергетики РФ и активному росту показателей электропотребления в обозначенном регионе.

Ключевые слова: электроэнергетика, электропотребление, нагрузка, прогнозирование, планирование, потребители.

REPUBLIC OF TATARSTAN FORECASTING ELECTRICITY CONSUMPTION IN THE

Dolmatov E.N.,¹Suvorov A.A.,² Mukhametzhanov R.N.,³ Salikhov R.R.⁴
^{1, 2, 3, 4}artyom.suvorov01@mail.ru

FGBOU VO "KSPEU", Kazan, Republic of Tatarstan

This paper is based on the analysis of domestic scientific publications and is a review article devoted to forecasting electricity consumption in the Republic of Tatarstan, which is currently relevant due to the penetration of market relations in all spheres of the RF power industry and the active growth of electricity consumption indicators in this region.

Keywords: power industry, power consumption, load, forecasting, planning, consumers.

Общеизвестно, что современные рыночные отношения проникли во все сферы электроэнергетической отрасли в РФ. Такое положение дел вместе с наблюдающимися в стране трендами роста потребления электричества сегодня обуславливают тенденции, направленные на то, что перед отечественными энергетиками все чаще ставятся задачи по совершенствованию методов и способов как краткосрочного, так и долгосрочного прогнозирования потребления электрической энергии в рамках повышения общей точности планирования оптимальных и эффективных режимов работы ЭЭС. Увеличение показателей точности такого планирования предполагает обеспечение наиболее экономичной работы всей энергосистемы страны при соблюдении условий по рациональному расходованию энергетических ресурсов и требований надежности, качества энергоснабжения [1].

По мнению исследователей, от прогнозов электрической нагрузки напрямую зависит ценообразование на электроэнергию [2], поэтому данная проблема является довольно важной как для ее производителей, так и для соответствующих потребителей. В настоящее время энергосбытовые предприятия и поставщики электроэнергии многих субъектов РФ реализуют мероприятия по планированию электропотребления. Республика Татарстан здесь не является исключением. Проблема повышения качества прогнозирования нагрузок и потребления электроэнергии является важной составляющей комплексной задачи оптимального управления РС и СЭ энергетических компаний и организаций данного региона [3], что актуализирует необходимость более детального изучения обозначенной в статье темы, попытка чего и предпринимается в данной работе.

Энергетический сектор РТ является базовой отраслью для всей экономики региона. От этого сектора напрямую зависит конкурентоспособность и рентабельность производственно-промышленных предприятий субъекта РФ, а, соответственно, и общий уровень социально-экономического развития Республики, качество жизни населения. В процессе своего функционирования хозяйствующие субъекты электроэнергетического сектора в Татарстане, как и в целом в России, находятся под влиянием двух сред: технологической и рыночной (см. рисунок 1), которые важно учитывать при прогнозировании электропотребления в регионе [4].

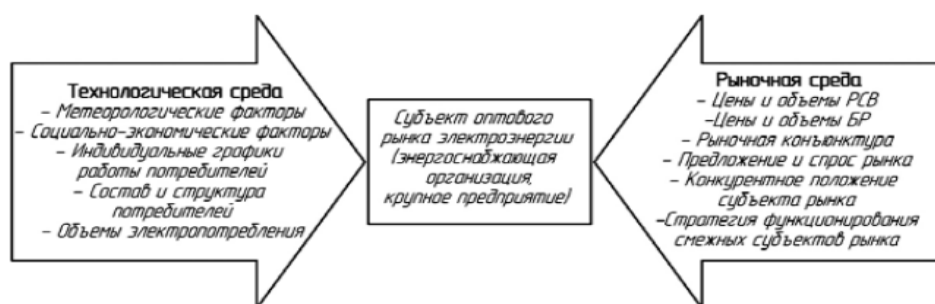


Рис. 1. Воздействие технологической и рыночной среды на предприятия электроэнергетического сектора [4]

По своей сути прогнозирование потребления электрической энергии вне зависимости от территориального расположения ЭЭС реализуется с помощью применения различных инструментов и средств, базирующихся на анализе ретроспективной динамики нагрузок и влияющих на нее факторов, и основывается на выявлении статистической связи,

позволяющей с использованием аппаратно-программного обеспечения строить необходимые прогнозные модели.

Современное решение задач по повышению качества прогнозирования потребления электрической энергии основывается на оперативной и эффективной обработке большого множества информации, которая в отечественных ЭЭС поступает со специальных автоматизированных информационно-измерительных систем коммерческого учета электроэнергии (далее: АСКУЭ) с наличием соответствующей функции, структура которых представлена на рисунке 2 [5]. Такая ситуация наблюдается в России с момента вступления ее энергетики на путь цифровизации и интеллектуализации, т.е. всего около трех десятилетий, а в Республике Татарстан – вовсе не более одного десятилетия.



Рис. 2. Структура АСКУЭ с функцией прогнозирования потребления ЭЭ [5]

В настоящее время в Региональном диспетчерском управлении энергосистемы РТ для прогнозирования потребления электрической энергии применяются программно-аппаратные комплексы типа «ИСП» (иерархические системы прогнозирования). Для задач оперативного краткосрочного прогнозирования в диспетчерских центрах установлена программа «Консоль прогноза потребления», которая рассчитывает прогноз на четыре часа вперед. При прогнозировании электропотребления с помощью «ИСП» в ЭЭС региона учитывается влияние как метеофакторов, так и заявок крупных потребителей электрической энергии. В РДУ Татарстана, как и в других управлениях нашей страны реализован специальный энергетический календарь, в котором прописаны все официальные праздники и особые даты, наступление которых тем или иным образом может повлиять на нагрузку. Метеорологические данные вносятся в ПК «АС Метео» [6].

По заявлению производителей «ИСП», автоматизация с помощью последней этапов планирования электропотребления открывает возможности оптимизации временных затрат на подготовку энергетических прогнозов и призвана оказывать энергетикам помощь в процессе внутрисуточного планирования потребления электроэнергии для

балансирующего рынка. Однако, согласно тезисам исследователей, на практике в РТ применение иерархических систем прогнозирования не удовлетворяет требованиям диспетчерского управления данного региона в плане качества и точности планирования электропотребления [7]. В связи с этим, а также с учетом того, что потребление электричества в Татарстане растет (увеличение соответствующих показателей с января по сентябрь 2022 г. на четыре процента, по сравнению с аналогичным периодом прошлого года), исследователями данного субъекта РФ в настоящее время осуществляется работа по изучению путей совершенствования эффективности и повышения качества прогнозирования электропотребления [8].

Первоначальные попытки повышения качества долгосрочного прогнозирования потребления электроэнергии в Республике базировались на идее повышения качества общего экономического планирования развития рынка электрической энергии по материалам АО «Татэнерго» с помощью предложений по внедрению методов кластерного анализа в компьютерно-программном прикладном комплексе Statistica. Однако полученные в 2017 г. учеными Республики теоретические результаты сегодня не проверены на практике [9].

Еще одной попыткой можно назвать работу А.М. Нигматуллина и И.Т. Низамутдинова «Исследование методики интегральных прогнозов потребления электроэнергии на примере Республики Татарстан» [7], где авторами предлагается реализация процессов, направленных на использование в Республике прогнозов электропотребления, базирующихся на комплексе моделей, которые формируются интегральным подходом. Укрупненная схема взаимосвязи данного комплекса моделей представлена на рисунке 3.

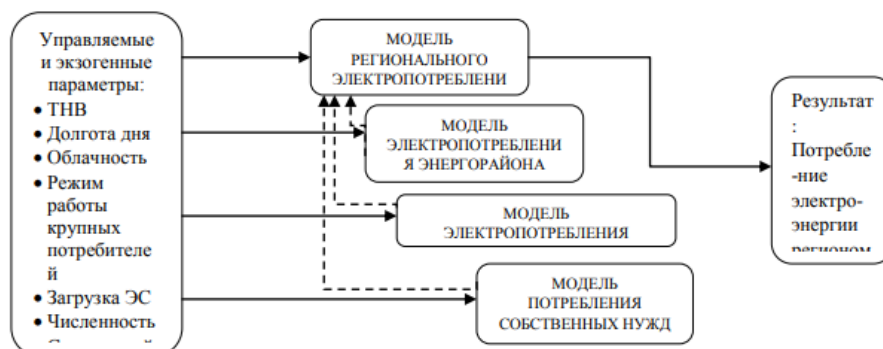


Рис. 3. Укрупненная схема взаимосвязи комплекса моделей [7]

По мнению исследователей, интегральные прогнозы, как показывает опыт их использования в иных регионах РФ, открывают пути повышения

точности предположений о будущем состоянии объекта ЭЭС или процесса, реализуемого в нем, за счет такой специальной функции, как коррекция ошибок. Этими же авторами при прогнозировании потребления электрической энергии в РТ предлагается учитывать долю потребления энергии турбогенераторами, которая относится к данным о собственных нуждах станции. Исследователи проблемы повышения качества электропотребления в Республике предлагают рассматривать ее каждый энергорайон обособленно, поскольку последние отличаются друг от друга по характеру нагрузки и метеорологическим условиям. Данная концепция внедрения методики интегральных прогнозов на данный момент находится на этапе теоретических исследований и не реализована на практике [7].

Что касается методик повышения качества прогнозирования электропотребления, которые к моменту написания настоящей работы были проверены в диспетчерском центре РТ на практике, то здесь следует отметить исследования математической модели бытового потребления электроэнергии в зависимости от внешних факторов. Учеными региона были найдены соответствующие коэффициенты зависимости от погодных изменений. Для выделения величин нагрузки от бытовых потребителей использовались данные статистики по общему потреблению, потреблению крупных промышленных предприятий, электростанций (в том числе на собственные нужды) в пределах: КТЭЦ-1, КТЭЦ-2, КТЭЦ-3. В качестве критических параметров были взяты: температура окружающей среды; облачность; величина осадков в Казани. Учеными также использовался архив параметров «ИСП». Исследователями были получены математические коэффициенты, которые после их усреднения обеспечили возможность построения линейной кривой зависимости прогнозного потребления от факторов, влияющих на него. Обозначенная модель сегодня используется в РДУ Татарстана [10].

Таким образом, проблема повышения качества прогнозирования потребления электроэнергии в Республике Татарстан является актуальной и в настоящее время исследуется учеными и энергетиками региона как в теоретическом, так и в практическом приложении.

Источники

1. Мызникова М.Н. Современные проблемы управления региональным энергопотреблением // Национальная ассоциация ученых. – 2015. – № 2. – С. 8-10.

2. Мызникова М.Н. Многоуровневая система управления региональным энергопотреблением: анализ взаимосвязей элементов инфраструктуры, оценка эффективности // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 3: Экономика. Экология. – 2016. – № 3. – С. 56-65.

3. Зорин А.П. Факторы, влияющие на электропотребление на территории Республики Татарстан // Диспетчеризация и управление в электроэнергетике. – 2017. – № 1. – С. 387-389.

4. Соловьева И.А., Дзюба А.П. Прогнозирование электропотребления с учетом факторов технологической и рыночной среды // Научный диалог. – 2013. – № 7. – С. 97-113.

5. Староверов Б.А., Гнатюк Б.А. Повышение эффективности системы автоматизированного коммерческого учета электроэнергии за счет введения функций прогнозирования // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2013. – № 6. – С. 26-29.

6. Полижаров А.С., Макоклюев Б.И. Методика расчёта прогнозов сбалансированной структуры электропотребления ЕЭС России // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики. – 2015. – № 2. – С. 440-445.

7. Нигматуллин А.М., Низамутдинов И.Т. Исследование методики интегральных прогнозов потребления электроэнергии на примере Республики Татарстан // Диспетчеризация и управление в электроэнергетике. – 2017. – № 2. – С. 36-40.

8. В Татарстане за первое полугодие 2022 года энергопотребление выросло на 4,7% [Электронный ресурс]. URL: <https://www.tatarinform.ru/news/v-tatarstane-za-pervoe-polugodie-2022-goda-energopotreblenie-vyroslo-na-47-5881205?ysclid=lburgvlwcr816708170> (дата обращения: 10.12.22).

9. Гиззатуллина К.И., Марданова А.М., Будникова И.К. Кластерный анализ в экономическом прогнозировании рынка электроэнергии // Диспетчеризация и управление в электроэнергетике. – 2017. – № 2. – С. 361-366.

10. Зорин А.П. Определение факторов, влияющих на электропотребление на территории Республики Татарстан // Электроэнергетика глазами молодежи. – 2017. – № 1. – С. 33-34.

11. Исследование возможности применения вакуумно-высокочастотной технологии для сушки деревянных опор / А. Н. Качанов, Д. А. Коренков, В. В. Максимов, О. В. Воркунов // Вестник ПИТТУ имени академика М.С. Осими. – 2021. – № 1(18). – С. 42-52. – EDN KVCVOT.

12. Induction Method for Parameters Control of Cable Lines laying at the Electricity Distribution Network Polygon / R. R. Askarov, S. S. Filimonov, K. V. Nikolaev, R. N. Mukhametzhano // Proceedings of the 2022 4th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering, REEPE 2022 : 4, Moscow, 17–19 марта 2022 года. – Moscow, 2022. – DOI 10.1109/REEPE53907.2022.9731465. – EDN EENKZQ.

13. Масков, Л. Р. Разработка модели электротехнического комплекса для аппаратов воздушного охлаждения газа газового промысла №1000 "Газпром добыча Ямбург" с централизованной системой электроснабжения в программе MATLAB/SIMULINK / Л. Р. Масков, В. Ю. Корнилов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 2. С. 50-71. DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-2-50-71. EDN MUGGPH.

14. Бирюлин, В. И. Исследование проблем качества электроэнергии в сетях напряжением 0,4 кВ / В. И. Бирюлин, Д. В. Куделина, И. В. Брежнев // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 2. С. 73-85. DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-2-73-86. EDN ПХУОС.

15. Плотникова, Л.В. Программное обеспечение системного анализа сложноструктурированных промышленных комплексов при разработке энергосберегающих мероприятий / Л. В. Плотникова, Ю. В. Торкунова // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 1(53). С. 140-154. EDN LSVQSA.

16. Стимулирование развития электротранспорта как инструмент развития территории / Ю. С. Валеева, М.В. Калинина, Т. Г. Зорина, И. Г. Ахметова // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 1(53). С. 155-172. EDN UCKMFG.

ВЛИЯНИЯ НАГРУЗКИ НА РАЗВИТИЕ РАЗРЯДОВ В ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ ИЗОЛЯЦИИ ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ

Зарипов Д. К.¹, Закиров Д. Ф.², Захаров А. В.³

^{1,2,3}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

¹dzaripov@list.ru, ²qwerty2014dinar@gmail.com, ³koktel42@mail.ru

Аннотация. Неравномерность загрязнения и увлажнения изоляторов воздушных линий электропередачи в процессе эксплуатации повышает вероятность их перекрытия электрической дугой. Значительные токи нагрузки, протекающие по несущим проводам, и, вызванный этим неравномерный нагрев изоляторов, могут также являться одной из причин внезапных коротких замыканий из-за перекрытия изоляционных конструкций в условиях тумана и выпадения росы. Лабораторные эксперименты продемонстрировали, что градиент температуры вдоль изоляции приводит к неравномерному смачиванию поверхности изолятора при увлажнении искусственным туманом и появлению стримеров.

Ключевые слова: изолятор воздушной линии, электрический разряд, перекрытие изоляции электрической дугой, неравномерный нагрев изоляции.

THE INFLUENCE OF THE LOAD ON THE DEVELOPMENT OF DISCHARGES IN THE HIGH-VOLTAGE INSULATION OF THE OVERHEAD LINE

Zaripov D. K.¹, Zakirov D. F.², Zakharov A.V.³

^{1,2,3}KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

¹dzaripov@list.ru, ²qwerty2014dinar@gmail.com, ³koktel42@mail.ru

Abstract. Uneven contamination and wetting of overhead line insulators during operation increases the likelihood of overlapping arcing. Significant load currents flowing through the bearing wires of overhead lines and the resulting uneven heating of insulators may also be one of the causes of sudden short-circuits due to overlapping of insulating structures in fog and dewfall conditions. Laboratory experiments have demonstrated that the temperature gradient along the insulation leads to uneven wetting of the insulator surface when wetted by artificial fog and the appearance of streamers.

Keywords: overhead line insulator, electrical discharge, overlapping of insulation by electric arc, uneven insulation heating.

Концевая арматура изолятора в процессе эксплуатации может достигать температуры более 50°C из-за тока в несущем проводе [1]. Это вызывает повышение температуры поверхности части изолятора вблизи провода. Для предотвращения конденсации влаги при выпадении росы достаточно лишь небольшого изменения (1-2°C) температуры поверхности по сравнению с окружающей средой [2,3].

В эксперименте использован полимерный изолятор ЛК70/35. Загрязнение его проводилось в соответствии с методом предварительного загрязнения [4]. Изменения состояния изоляции гирлянды при воздействии тумана контролировалось измерением тока утечки и регистрацией сигналов с датчика беспроводной системы контроля изоляции [5,6]. Полученные данные отображались на экране в виде данных высокочастотных и низкочастотных сигналов (ВЧС и НЧС), импульсов тока утечки (Имп). Подогрев нижней арматуры изолятора осуществлялся с помощью прикрепленных к нижнему оконцевателю изолятора двух самонагревающихся пакетиков Hand Warmer.

Полученные результаты представлены на рисунках 1 и 2.

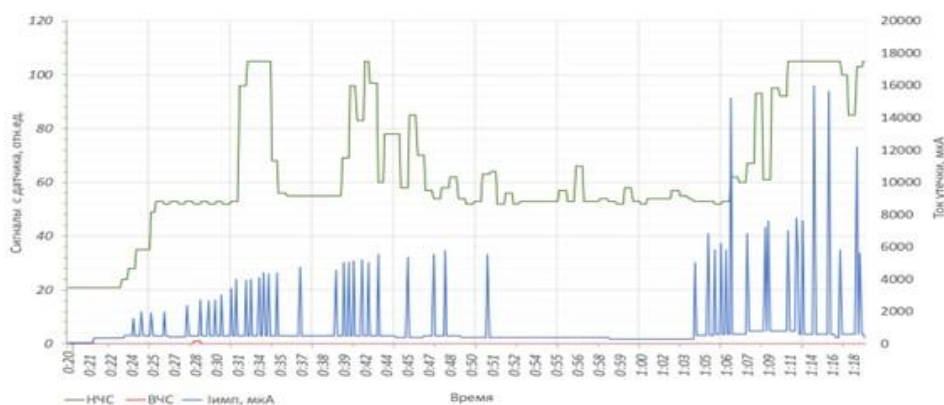


Рис. 1. Результаты измерений при равномерном загрязнении без подогрева

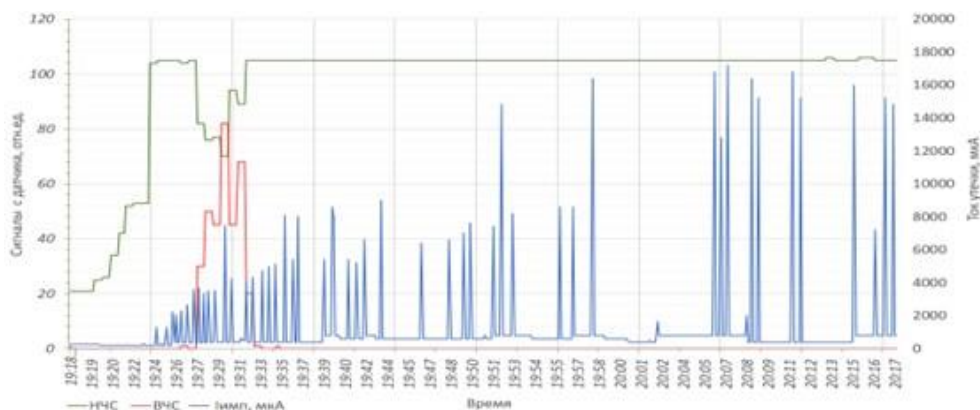


Рис. 2. Результаты измерений при равномерном загрязнении с подогревом нижнего оконцевателя изолятора

Важным отличием графиков на рисунках 1 и 2 является появление высокочастотных сигналов, регистрируемых емкостным датчиком (ВЧС) от изолятора с подогревом через несколько минут после подачи пара в камеру тумана и насыщения влагой слоя загрязнения. Это вызвано вероятно тем, что из-за подогрева к тому моменту нижняя часть изолятора еще не смочилась и образовался большой градиент напряжения над сухим участком, что обусловило появление стримеров. Частота следования стримеров на порядки выше частоты следования импульсов тока утечки, вызванных загрязнением [7].

Источники

1. L. A. Insulator, Minimum Test Requirements for Non-Ceramic Insulators, in IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-100, no. 2, pp. 882-890, Feb. 1981, doi: 10.1109/TPAS.1981.316947.
2. R. S. Gorur et al., Sudden flashover of nonceramic insulators in artificial contamination tests, in IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, vol. 4, no. 1, pp. 79-87, Feb. 1997, doi: 10.1109/94.590870.
3. F. A. M. Rizk and S. I. Kamel, Modelling of HVDC wall bushing flashover in nonuniform rain, in IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 6, no. 4, pp. 1650-1662, Oct. 1991, doi: 10.1109/61.97704.
4. ГОСТ 10390–2015. Электрооборудование на напряжение свыше 3 кВ. Методы испытаний внешней изоляции в загрязненном состоянии. М.: Стандартинформ, 2016. 16 с.
5. Патент № 2731169 С1 РФ, МПК G01R 31/08. Датчик для системы непрерывного контроля состояния изолирующих конструкций: № 2019145586: заявл. 30.12.2019: опубл. 31.08.2020 / Д. К. Зарипов, Р. А. Насибуллин, Р. Р. Ибрагимов, М. Ч. Игтисамов.
6. Устройство оптической индикации дефекта высоковольтной изолирующей конструкции / Р.Н. Балобанов, Д. К. Зарипов, Р. А. Насибуллин, С. М. Маргулис // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2017. Т. 19. № 3-4. С. 119-125.
7. В. Ф. Тарасенко, В. С. Кузнецов, В. А. Панарин, В. С. Скакун, Э. А. Соснин, Е. Х. Бакшт, “Роль стримеров в формировании коронного разряда при резко неоднородном электрическом поле”, Письма в ЖЭТФ, 110:1 (2019), 72–77; JETP Letters, 110:1 (2019), 85–89
8. Гервасьева, Ю. Р. Моделирование электрических токов с помощью программного комплекса COMSOL Multiphysics / Ю. Р. Гервасьева, В. В.

Максимов // XVI Всероссийская открытая молодежная научно-практическая конференция «Диспетчеризация и управление в электроэнергетике», Казань, 20–21 октября 2021 года. – Казань: Общество с ограниченной ответственностью "Издательско-полиграфическая компания "Бриг", 2022. – С. 129-131. – EDN SRAARB.

9. Мотыгуллин, И. И. Предложение о внесении изменений в методику диагностирования подстанционного оборудования на промышленных предприятиях / И. И. Мотыгуллин, В. В. Максимов // Электрические сети: надежность, безопасность, энергосбережение и экономические аспекты : Материалы международной научно-практической конференции, Казань, 22 апреля 2022 года / Редколлегия: В.В. Максимов (отв. редактор) [и др.]. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. – С. 202-208. – EDN PXJXVI.

10. Влияние принимаемых технических решений при эксплуатации энергетических систем в г. Ташкент / Ю. Н. Звонарева, Р. В. Ахметова, К. И. Турсунов, И. Р. Шорохов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 1. С. 74-85. DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-1-74-85. EDN YPYILT.

11. Численное исследование теплопроводности композитного теплоизоляционного материала с гранулами / С. А. Соловьев, О. В. Соловьева, И. Г. Ахметова [и др.] // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 1. С. 86-98. DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-1-86-98. EDN FNTJXE.

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

13. Ахметова, Р.В. Разработка и исследование энергоэффективных методов сжигания газового топлива в энергетических системах / Р. В. Ахметова, Ю. Н. Звонарева, И. Р. Шорохов // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 1(53). С. 13-23. EDN MBZPYO.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ПОВЕСНОГО ПОЛИМЕРНОГО ИЗОЛЯТОРА ПРИ ЗАГРЯЗНЕНИИ

Зарипов Д. К.¹, Закиров Д. Ф.², Захаров А. В.³

^{1,2,3}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

¹dzaripov@list.ru, ²qwerty2014dinar@gmail.com, ³koktel42@mail.ru

Аннотация. В работе представлены результаты лабораторных исследований, направленных на изучение поведения подвесных высоковольтных полимерных изоляторов воздушных линий электропередачи при их равномерном и неравномерном загрязнении. Путем непрерывной регистрации значений токов утечки, а также сигналов, поступающих с дистанционного датчика, выявлены характерные при увлажнении загрязненной изоляции особенности которые можно использовать в качестве диагностических признаков. Проведенные эксперименты показали, что характер разрядной деятельности на поверхности полимерного изолятора схож с таковым для гирлянды подвесных стеклянных изоляторов.

Ключевые слова: изолятор воздушной линии, электрический разряд, перекрытие изоляции электрической дугой, загрязнение изоляции.

STUDY OF THE OPERATION OF A SUSPENDED POLYMER INSULATOR UNDER CONTAMINATION

Zaripov D. K.¹, Zakirov D. F.², Zakharov A.V.³

^{1,2,3}KSPEU, Kazan, Russia

¹dzaripov@list.ru, ²qwerty2014dinar@gmail.com, ³koktel42@mail.ru

Abstract. The paper presents the results of laboratory research aimed at studying the behavior of suspended high-voltage polymer insulators of overhead power lines during their uniform and non-uniform contamination. By continuous registration of values of leakage currents, as well as signals from remote sensor, the characteristic features of contaminated insulators, which can be used as diagnostic attributes, have been identified. The conducted experiments showed that the character of discharge activity on the surface of polymer insulator is similar to that for a garland of suspended glass insulators.

Keywords: overhead line insulator, electrical discharge, overlapping of insulation by electric arc, insulation contamination.

Для гидрофобного изолятора процесс смачивания сложен, так как поверхностная вода имеет тенденцию коагулировать в отдельные изолированные области, что препятствует формированию непрерывного пути тока утечки. Точечные разряды на поверхности вызывают локальную потерю гидрофобности и может произойти перекрытие электрической дугой всего изолятора [1,2].

В эксперименте использован полимерный изолятор ЛК70/35. Загрязнение его проводилось в соответствии с методом предварительного загрязнения [3]. Изменения состояния изоляции гирлянды при воздействии тумана контролировалось измерением тока утечки и регистрацией сигналов с датчика беспроводной системы контроля изоляции воздушных линий [4,5]. Полученные данные отображались на экране в виде данных высокочастотных и низкочастотных сигналов (ВЧС и НЧС), импульсов тока утечки (Имп). Для имитации неравномерности загрязняющего слоя участок изолятора под нижней юбкой оставлялся чистым.

Полученные результаты представлены на рисунках 1 и 2.

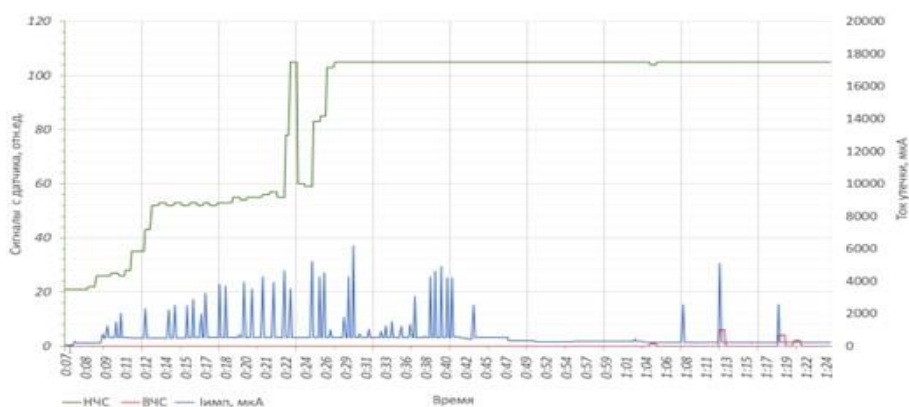


Рис. 1. Результаты измерений при равномерном загрязнении



Рис. 2. Результаты измерений при неравномерном загрязнении

При равномерном загрязнении (Рис. 1) резкий рост амплитудных значений импульсов тока утечки (Имп) наблюдался на начальном этапе

увлажнения изолятора. Максимальное амплитудное значение тока утечки при этом было около 6 мА. Высокочастотные сигналы (ВЧС) с датчика СКИВЛ не наблюдались, что говорило о малой частоте следования этих импульсов.

При неравномерном загрязнении (рис. 2) разрядная активность в начальный момент после подачи тумана не наблюдается и появляется по мере насыщения влагой загрязнения. Позднее, из-за появления капель на краях юбок, появляются стримеры со значительно большей интенсивностью и частотой, чем при равномерном загрязнении.

При таких же уровнях воздействующего напряжения и загрязнения у полимерного изолятора наблюдаются меньшие значения токов утечки и интенсивности разрядов по сравнению с гирляндой стеклянных изоляторов.

Источники

1. A. C. Baker et al., Insulator Selection for AC Overhead Lines With Respect to Contamination, in IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 24, no. 3, pp. 1633-1641, July 2009, doi: 10.1109/TPWRD.2009.2024666.

2. R. S. Gorur et al., Sudden flashover of nonceramic insulators in artificial contamination tests, in IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, V. 4, no. 1, pp. 79-87, Feb. 1997, doi: 10.1109/94.590870.

3. ГОСТ 10390–2015. Электрооборудование на напряжение свыше 3 кВ. Методы испытаний внешней изоляции в загрязненном состоянии. М.: Стандартинформ, 2016. 16 с.

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

5. Устройство оптической индикации дефекта высоковольтной изолирующей конструкции / Р.Н. Балобанов, Д. К. Зарипов, Р. А. Насибуллин, С. М. Маргулис // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2017. Т. 19. № 3-4. С. 119-125.

6. Испытания изоляции электрических аппаратов / Р. И. Нигматзянов, Д. Р. Абдрашитов, О. Е. Куракина, О. В. Воркунов // Заметки ученого. – 2022. – № 6. – С. 204-206. – EDN RYZHR.

7. Гиниятуллин, И. Ф. Положительные аспекты появляющиеся при внедрении ремонта электрических сетей под напряжением / И. Ф. Гиниятуллин, О. Е. Куракина // Электрические сети: надежность,

безопасность, энергосбережение и экономические аспекты : Материалы международной научно-практической конференции, Казань, 22 апреля 2022 года / Редколлегия: В.В. Максимов (отв. редактор) [и др.]. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. – С. 96-101. – EDN YVFWTT.

8.Мотовилов, А. И. Повышение пропускной способности неоднородной электрической сети регулированием уравнивающей ЭДС / А. И. Мотовилов, И. И. Соловьев // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 1. С. 52-60. DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-1-52-60. EDN BOEXIZ.

9.Трещева, М.А. Обоснование мощности теплового насоса, используемого в системе охлаждения конденсатора паровой турбины ПГУ-ТЭЦ / М. А. Трещева, И. Д. Аникина, Д. А. Трещев // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 1. С. 61-73. DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-1-61-73. EDN CNZZDX.

10.Альмохаммед, О. А. М. Применение теплового насоса для дистилляции воды / О. А. М. Альмохаммед, Н. Ф. Тимербаев, И. Ю. Мазаров // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2019. Т. 11. № 3(43). С. 57-66.

11. Расулзода, Х. Н. Влияние тока КЗ в ЛЭП на значение тока в обмотках возбуждения гидрогенератора / Х. Н. Расулзода, Д. Б. Рахимов, М. Х. Сафаралиев // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2019. Т. 11. № 3(43). С. 99-107

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

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

АНАЛИЗ РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА СОБСТВЕННЫЕ НУЖДЫ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Зиангиров А. Ф.¹, Сабитов А. Х.²

^{1,2} ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

zinaydar@mail.ru¹, sabitov_ah@mail.ru²

В статье рассмотрена система собственных нужд – какие оборудования образуют систему собственных нужд, расходы электроэнергии в зависимости от типа электростанции.

Ключевые слова: электростанция, трансформатор, распределительное устройство система собственных нужд, газовое топливо, каменный уголь, мазут, теплообменник.

ANALYSIS OF ELECTRICITY CONSUMPTION FOR THE OWN NEEDS OF THE POWER PLANT

Ziangirov A.F.¹, Sabitov A. K.²

^{1,2} FGBOU VO "KSPEU", Kazan, Republic of Tatarstan

zinaydar@mail.ru¹, sabitov_ah@mail.ru²

The article considers the system of own needs - what equipment forms the system of own needs, the cost of electricity depending on the type of power plant.

Keywords: power plant, transformer, switchgear auxiliary system, gas fuel, coal, fuel oil, heat exchanger.

Любая электрическая станция – очень сложный технологический объект. Работа всех агрегатов и систем должна происходить согласованно [1]. Оборудование на электростанции, необходимые для ее работы (распределительные устройства, понижающие трансформаторы, система управления и др.) образуют систему собственных нужд (с.н.) электростанции [2].

Мощность и электроэнергия, расходуемая системой собственных нужд, зависят от вида электростанции и топлива, используемого в ней, типа и мощности турбин и других параметров [3]. В таблице 1

представлены технические данные по нагрузкам системы с.н. разных типов электрических станций и их особенностей [4].

Таблица 1

Нагрузки системы собственных нужд

Тип станции	Особенности станции	Нагрузка с.н (в процентах установленной мощности)
АЭС	С водяным теплоносителем	5 - 8
	С газовым теплоносителем	5 - 14
КЭС	На пылеугольном топливе	6 - 8
	На газомазутном топливе	3 - 5
ТЭЦ	На пылеугольном топливе	8 - 14
	На газомазутном топливе	5 - 7
ГЭС	Большой мощности	0,5 - 1
	Малой и средней мощности	2 - 3

Таблица 2

Расход электроэнергии на собственные нужды конденсационных тепловых электростанций, %

Тип турбины	Загрузка блока, %	Топливо				
		Каменный уголь		Бурый уголь	Газ	Мазут
		Марки АШ	Других марок			
К-160-130	100	6,8	6,5	6,6	4,9	5,2
	70	7,3	7,1	7,1	5,3	5,6
К-200-130	100	6,8	6,1	6,8	4,6	5,7
	70	7,3	6,7	7,3	5,1	6,1
К-300-240	100	4,4	3,7	4,2	2,4	2,6
	70	4,9	4,1	4,7	2,8	3,0
К-500-240	100	-	4,4	3,7	-	-
	70	-	4,9	4,1	-	-
К-800-240	100	4,2	3,7	3,9	2,3	2,5
	70	4,6	4,1	4,3	-	-

В таблице 1 большие значения соответствуют меньшим мощностям энергоблоков. К примеру, для КЭС с турбиной К-160-130 при загрузке в 100% (топливо – газ) расход электроэнергии на с.н. будет составлять примерно 4,9%, а при загрузке той же турбины в 70% этот расход составляет уже 5,3% от суммарной выработки электроэнергии (табл. 2). Это связано со значительным влиянием мощности холостого хода

оборудований с.н., которая не изменяется, а также наличием нерегулируемых приводов на оборудовании с.н. и ухудшением КПД работы центробежных нагнетателей, устройств для размалывания угля и других оборудований при снижении нагрузки станции [5].

Исследовав данные расходов электроэнергии на с.н. (табл. 2) можно сделать вывод о том, что доля этого расхода с повышением мощности турбины уменьшается, и самые минимальные расходы приходятся на турбины, работающие на газу. Это объясняется тем, что процесс подготовки газового топлива требует меньше операций, нежели мазут или каменный уголь [6]. К примеру, каменный уголь предварительно должен подвергаться дроблению, сушке, размолу до пылевидного состояния; мазут подогревают в системе циркуляции – с помощью насоса непрерывно откачивают его из резервуара, затем он проходит через трубчатый теплообменник и обратно поступает в резервуар. В свою очередь, при работе на природном газе электростанция не нуждается в громоздком и дорогостоящем оборудовании систем топливоподачи из-за того, что он является таким видом топлива, который непосредственно пригоден для использования в газотурбинных энергетических установках [7].

Источники

1. Сабитов, А. Х. Интеллектуальные сети и системы связи / А. Х. Сабитов, Н. С. Заев // Актуальные проблемы науки и образования в условиях современных вызовов : Сборник материалов XII международной научно-практической конференции, Москва, 17 июня 2022 года. – Москва: Изд-во «ООО «ИРОК»; Общество с ограниченной ответственностью "Издательство АЛЕФ", 2022. – С. 38-42. – EDN GMLAAX.

2. Технологический процесс производства электроэнергии на электростанциях [Электронный ресурс]. https://www.gigavat.com/obschie_svedeniya_ob_elektroustanovkah2.php (дата обращения: 27.02.2023).

3. Электрическая часть станций и подстанций: Учеб. для вузов / А.А. Васильев, И.П. Крючков, Е.Ф. Наяшкова и др.; Под ред. А.А. Васильева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1990.

4. Банникова, В. Ю. Оценка надежности электрооборудования с помощью индекса технического состояния / В. Ю. Банникова, М. Ш. Гарифуллин // Тинчуринские чтения – 2021 «энергетика и цифровая трансформация» : Материалы Международной молодежной научной конференции. В 3 томах, Казань, 28–30 апреля 2021 года. Том 1. – Казань: ООО ПК «Астор и Я», 2021. – С. 7-9. – EDN NPPPMQ.

5. Губарев, Н. А. Роботизированный комплекс мониторинга состояния электрооборудования электрических подстанций 110-220 КВ / Н. А. Губарев, А. Х. Сабитов // Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии (XXI Бенардосовские чтения) : Материалы международной научно-технической конференции, посвященной 140-летию изобретения электросварки Н.Н. Бенардосом, Иваново, 02–04 июня 2021 года. Том I. – Иваново: Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина, 2021. – С. 87-90. – EDN NDWHSL.

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

7. Абдреев, К. А. Сравнительный анализ различных систем накопления электроэнергии в промышленной аккумуляции / К. А. Абдреев, М. Ш. Гарифуллин // Электрические сети: надежность, безопасность, энергосбережение и экономические аспекты : Материалы международной научно-практической конференции, Казань, 22 апреля 2022 года / Редколлегия: В.В. Максимов (отв. редактор) [и др.]. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. – С. 162-170. – EDN CIYAAAN.

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

9. Определение параметров качества трансформаторного масла по его координатам цветности / В. К. Козлов, Д. М. Валиуллина, О. Е. Куракина, Э. М. Садыков // Проблемы региональной энергетики. – 2021. – № 3(51). – С. 24-36. – DOI 10.52254/1857-0070.2021.3-51.03. – EDN SKRHYS.

10. Виноградов А.В., Виноградова А.В., Сейфуллин А.Ю., Букреев А.В., В.Е. Большев Принципы управления конфигурацией электрической сети и задачи по их реализации // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021. Т. 23. № 3. С. 34-46. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-3-34-46.

11.Солуянов Ю.И., Ахметшин А.Р., Солуянов В.И. Актуализация удельных электрических нагрузок помещений общественного назначения, встроенных в жилые здания // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021. Т. 23. № 3. С. 47-57. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-3-47-57.

12.Применение амплитудно-фазного анализа тока намагничивания для выявления повреждений трансформаторов тока / И. И. Литвинов, О. В. Танфильев, А. А. Марченко [и др.] // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2020. Т. 12. № 4(48). С. 94-106.

13.Курбангалеев, А. А. Трёхмерная гидродинамическая модель многозвенного аппарата - смесителя с каналом диффузор-конфузорного типа / А. А. Курбангалеев, С. Р. Еникеева, Н. А. Юдина // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2020. Т. 12. № 3(47). С. 40-48.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ СХЕМ СОЕДИНЕНИЯ ОБМОТОК ТРАНСФОРМАТОРА НА НАПРЯЖЕНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВИДОВ НАГРУЗОК

Зиангиров А. Ф.¹, Сабитов А.Х.²

^{1,2} ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан
zinaydar@mail.ru¹, sabitov_ah@mail.ru²

В данном тезисе исследуются схемы соединения обмоток трансформатора «звезда – звезда с нулем» и «треугольник – звезда с нулем» при симметричных и несимметричных нагрузках.

Ключевые слова: силовой трансформатор, электроэнергетическая система, распределительная сеть, несимметричная нагрузка, симметричная нагрузка, схема соединения обмоток, MATLAB Simulink, источник питания, трансформатор напряжения.

STUDY OF THE INFLUENCE OF DIFFERENT CONNECTION SCHEMES OF TRANSFORMER WINDINGS ON VOLTAGE DEPENDING ON TYPES OF LOADS

Ziangirov A. F.¹, Sabitov A. K.²

^{1,2} KSPEU, Kazan, Russia
zinaydar@mail.ru¹, sabitov_ah@mail.ru²

In this thesis, the connection schemes of the transformer windings "star - star with zero" and "triangle - star with zero" are investigated for symmetrical and asymmetrical loads.

Keywords: power transformer, electric power system, distribution network, unbalanced load, symmetrical load, winding connection diagram, MATLAB Simulink, power supply, voltage transformer.

Силовой трансформатор – один из основных элементов системы электроснабжения, который предназначен для преобразования электрического тока из одного напряжения в другое с целью снижения потерь при передаче электрической энергии на большие расстояния. Наиболее распространены трансформаторы 10/0,4 кВ, которые устанавливаются в распределительных сетях [1].

Одной из причин потери электроэнергии, а также ухудшения качества выходного напряжения является несимметричный режим

нагрузки. И огромное влияние на это оказывает схема соединения обмоток трансформатора [2].

Самыми распространенными схемами соединения обмоток трансформаторов 10/0,4 кВ являются:

- звезда – звезда с нулем ($Y-Y_0$);
- треугольник – звезда с нулем ($\Delta-Y_0$) [3].

Программа моделирования MATLAB Simulink использовалась для определения зависимости напряжения от нагрузки в сети 0,4 кВ. В нем был создан план распределительной сети, в который были заложены следующие элементы:

- источник питания 10 кВ частотой 50 Гц;
- трансформатор с номинальной мощностью 250 кВА и с коэффициентом трансформации 10/0,4;
- к каждой фазе (фаза «А», фаза «В» и фаза «С») подключены по 10 потребителей, расстояния между которыми составляют 100 м;
- измерительные трансформаторы напряжения [4].

Сравнили фазные напряжения на зажимах трансформатора при соединении его обмоток «звезда — звезда с нулем» и «треугольник — звезда с нулем» при несимметричной и симметричной нагрузках (при несимметричных нагрузках фаза «А» была нагружена потребителями с мощностью по 3 кВт, фаза «В» - по 5 кВт, фаза «С» - по 7 кВт; при симметричных нагрузках все фазы были нагружены потребителями мощностью по 5 кВт) [5].

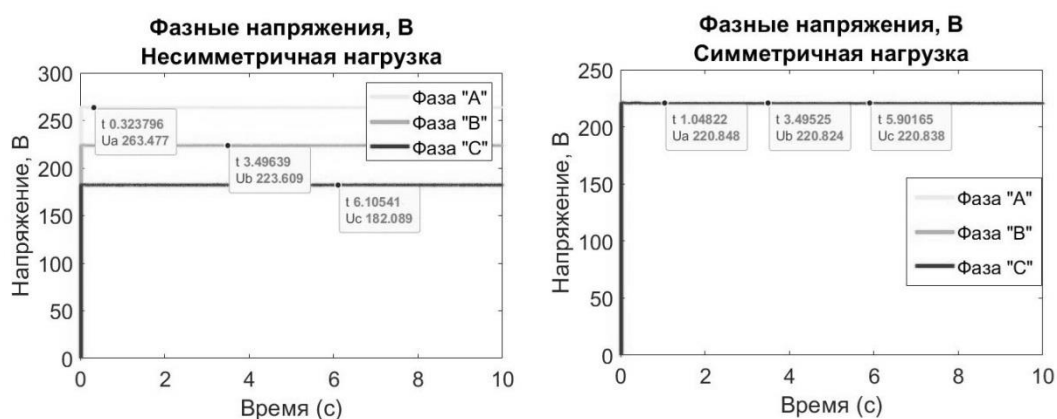


Рис. 1. Фазные напряжения при схеме соединения обмоток «звезда – звезда с нулем»

Из графика напряжения для схемы соединения обмоток «звезда-звезда с нулем» (см. рис. 1) видно, что фазные напряжения для несимметричных нагрузок существенно различаются ($U_a=263$ В, $U_b=224$ В, $U_c=182$ В), при этом допустимые значения напряжения находятся в

пределах 198-242 В [2]. Однако при симметричных нагрузках напряжения составляют около 220 В.

При схеме соединения обмоток «треугольник – звезда с нулем» (см. рис. 2) все трехфазные напряжения примерно равны (221-223 В) и находятся в допустимых пределах для несимметричных и симметричных нагрузок [6].

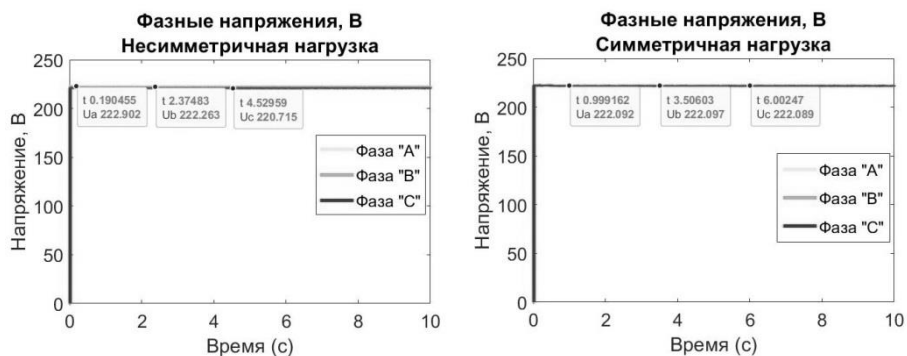


Рис. 2. Фазные напряжения при схеме соединения обмоток «треугольник – звезда с нулем»

По результатам моделирования можно сделать вывод, что схема соединения обмоток «звезда-звезда с нулем» применима только для симметричных нагрузок, тогда как схема «треугольник-звезда с нулем» универсальна и может применяться для симметричных и несимметричных нагрузок [7].

Источники

1. Сабитов, А. Х. Интеллектуальные сети и системы связи / А. Х. Сабитов, Н. С. Заев // Актуальные проблемы науки и образования в условиях современных вызовов : СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ XII МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ, Москва, 17 июня 2022 года. – Москва: Изд-во «ООО «ИРОК»; Общество с ограниченной ответственностью "Издательство АЛЕФ", 2022. – С. 38-42. – EDN GMLAAX.

2. ГОСТ 32144-2013. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.

3. Е.А. Каминский «Звезда, треугольник, зигзаг». 3-е издание. Москва, «энергия», 1973 г.

4. Воркунов, О. В. Диагностика технического состояния силовых трансформаторов напряжением 110 КВ / О. В. Воркунов, Р. Р. Загруднинов // Электрические сети: надежность, безопасность, энергосбережение и экономические аспекты : Материалы международной научно-практической

конференции, Казань, 07 апреля 2021 года / Редколлегия: В.В. Максимов (отв. редактор) [и др.]. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. – С. 83-85. – EDN OSCXZT.

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

6. Шарифуллин, Р. Р. Техническое обслуживание подстанционного оборудования / Р. Р. Шарифуллин, Д. М. Валиуллина // Электрические сети: надежность, безопасность, энергосбережение и экономические аспекты : Материалы международной научно-практической конференции, Казань, 22 апреля 2022 года / Редколлегия: В.В. Максимов (отв. редактор) [и др.]. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. – С. 323-329. – EDN EEUUOH.

7. Фахрутдинов, Р. И. Защита нейтрали трансформатора / Р. И. Фахрутдинов // Тинчуринские чтения - 2022 "Энергетика и цифровая трансформация" : Сборник статей по материалам конференции. В 3-х томах, Казань, 27–29 апреля 2022 года / Под общей редакцией Э.Ю. Абдуллазянова. Том 1. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. – С. 144-147. – EDN IYNTETJ.

8. Сабитов, А. Х. Оптический метод и устройство контроля состояния бумажной изоляции маслонаполненных трансформаторов / А. Х. Сабитов, В. К. Козлов. – Казань : Казанский государственный энергетический университет, 2021. – 111 с. – ISBN 978-5-89873-585-2. – EDN GXMGPW.

9. Козлов, В. К. Определение влагосодержания трансформаторного масла спектральным методом / В. К. Козлов, О. Е. Куракина, И. М. Минегалиев // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2021. – Т. 77. – № 4. – С. 96-101. – EDN FAMLOR.

10. Вокин Л.О., Семакина Е.Ю., Черников В.А. Влияние закрутки лопаток последней ступени на эффективность блока «ступень-диффузор» стационарной ГТУ // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021. Т. 23. № 4. С. 84-95. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-4-84-95.

11. Тукшаитов Р.Х., Роженцова Н.В., Денисова А.Р. Разработка и исследование схемы измерения тока утечки при испытании изоляции повышенным выпрямленным напряжением // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021. Т. 23. № 4. С. 96-104.

doi:10.30724/1998-9903-2021-23-4-96-104.

12. Современные змеевиковые аппараты, перспективы их развития и теория расчета / Я. Д. Золотонос, Е. К. Вачагина, И. А. Крутова, А. Я. Золотонос // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Т. 13. № 1(49). С. 52-65.

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

ПРОБЛЕМЫ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВАКУУМНО-ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СПОСОБА СУШКИ ДРЕВЕСИНЫ

Качанов А.Н.¹, Гришин В.А.²

^{1,2} ФГБОУ ВО ОГУ им. И.С. Тургенева, г.Орел, Россия

kan@ostu.ru¹, grishin29052000@yandex.ru²

В статье рассматриваются технические преимущества использования вакуумно-диэлектрических камер (ВДК) для сушки древесины по сравнению с традиционными способами сушки древесины, широко используемые на предприятиях деревообрабатывающей промышленности и в мебельном производстве. ВДК обеспечивают получение конечного высушиваемой древесины с содержанием влаги от 8 до 12 %, что соответствует первой и второй категории качества её сушки.

Ключевые слова: вакуумно-диэлектрический способ, сушка, древесина, рабочая камера, высокочастотный генератор.

PROBLEMS AND TECHNICAL POSSIBILITIES OF USING THE VACUUM-DIELECTRIC METHOD OF DRYING WOOD

Kachanov A. N.¹, Grishin V.A.²

^{1,2} S. Turgenev OSU, Orel, Russia

kan@ostu.ru¹, grishin29052000@yandex.ru²

The ability of a power transformer to bear the load depends on the condition of the individual components and the absence of defects. In this paper, transformer oils have been studied, and relationships between the dielectric loss tangent and chromaticity coordinates have been established.

Keywords: transformer oil, losses, dielectric loss tangent, correlation, color coordinates.

Маслонаполненные силовые трансформаторы представляют собой значительный актив для любого владельца, и последствия неожиданного сбоя или простоя в работе могут иметь огромные последствия. Это устройства, от которых в основном зависит экономичная подача электроэнергии.

Окончание срока службы трансформатора обычно определяется как потеря механической прочности твердой изоляции в обмотках. С

достижениями в методах тестирования системы изоляции (масло и бумага), становится возможным продлить срок службы некоторых блоков путем непрерывного мониторинга в режиме реального времени [1–2].

Трансформаторные масла подвержены «старению», что выражается в изменении их химических и физических свойств [3–4]. Степень ухудшения масла можно определить по тангенсу угла диэлектрических потерь ($\text{tg}\delta$). Он чувствителен к наличию в масле различных загрязнений [5–7].

Был проведен эксперимент с некоторыми трансформаторными маслами для нахождения корреляции (R) между координатой цветности и тангенсом угла диэлектрических потерь. В работе использовались три источника света (белый, синий и зеленый) для того, чтобы получить спектры пропускания масел. После были определены координаты цветности масел.

Корреляционная зависимость между координатами цветности и тангенсом угла диэлектрических потерь наиболее точно описывается координатой x , которая соответствует красному цвету (см. рис. 1, 2).

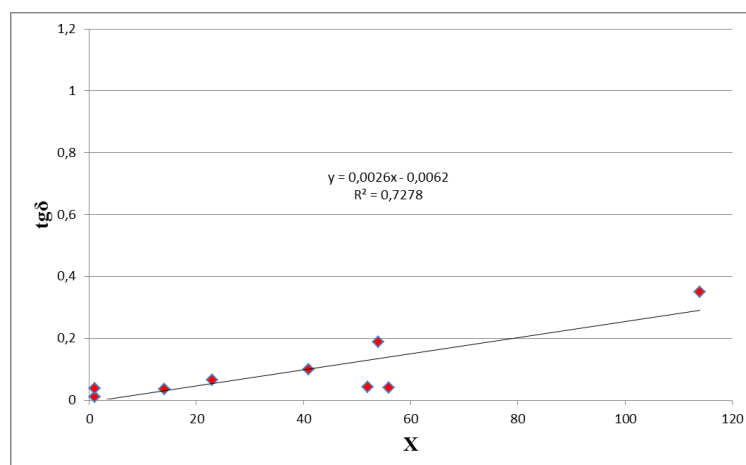


Рис. 1. Корреляционная зависимость тангенса угла диэлектрических потерь от координаты цветности при пропускании белого цвета для марки масла ГК ($R=0,8531$)

Обнаружено, что наибольшая корреляционная зависимость получается при одной марке масла. Если же рассмотрим все образцы масел, то заметим, что корреляция уменьшается, следовательно, необходимо строить данную зависимость для одной марки масел. В результате работы установлена возможность определения степени старения трансформаторного масла по координатам цветности масла.

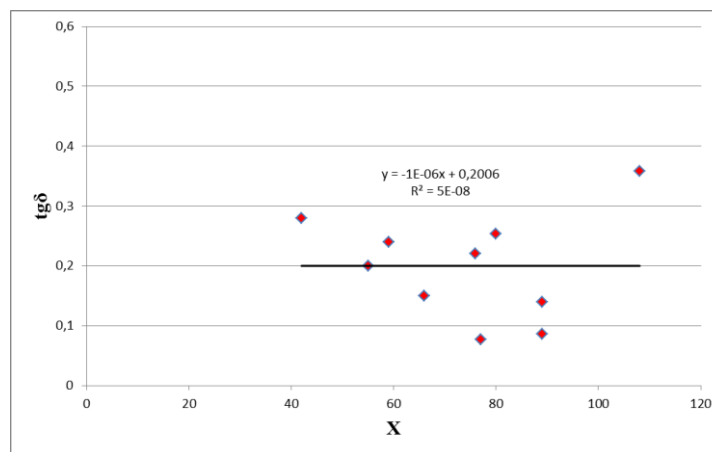


Рис. 2. Корреляционная зависимость тангенса угла диэлектрических потерь от координаты цветности при пропускании белого цвета для разных марок масел (R=0,0023)

Источники

1. Sparling, B., Transformer monitoring and diagnostics // IEEE Power Engineering Society. 1999.
2. Валиуллина Д.М., Ильясова Ю.К., Козлов В.К., Качественные методы спектрального анализа в диагностике трансформаторных масел // ИЗВУЗ. Проблемы энергетик. 2019. Т. 21. № 1-2. С. 87-92.
3. Липштейн Р.А., Шахнович М.И., Трансформаторное масло. М.: Энергоатомиздат, 1983. С. 296.
4. Karthik R., Sree Renga Raja T. Investigations of transformer oil characteristics. IEEJ Trans Elec Electron Eng, 2012 vol.7, pp. 369-374.
5. Валиуллина, Д.М., Ильясова Ю.К., Козлов В.К., Определение характеристик трансформаторного масла спектральным методом // Вестник КГЭУ. 2021. Т. 13. № 1(49). С. 66-74.
6. R. Siva Sai, J. Rafi, S. Farook, N.M.G. Kumar, M. Parthasarathy, R. Ashok Bakkiyaraj, Degradation studies of electrical, physical and chemical properties of aged transformer oil // Journal of Physics: Conference Series, 2020.
7. Hadjadj Y., Fofana I. and Jalbert J., Insulating oil decaying assessment by FTIR and UV-Vis spectrophotometry measurements // Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, 2013.

ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИ РАБОТЕ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ АММИАЧНЫХ МЕТОДОВ УДАЛЕНИЯ ОКСИДОВ АЗОТА

Папулова Д.А.¹, Кижин В.В.²

^{1,2} ФГБОУ ВО «БрГУ», г. Братск, Россия

¹papulova.diana@bk.ru, ²vadim-hero4ever@yandex.ru

В данной статье представлено исследование оксидов азота, содержащегося в дымовых газах ТЭЦ, и их влияние на окружающую среду. Кроме того, выполнен анализ различных каталитических технологий, используемых для удаления NO_x.

Ключевые слова: дымовые газы, реакция, аммиак, технология, оксид.

IMPROVING ENVIRONMENTAL EFFICIENCY IN THE OPERATION OF THERMAL POWER PLANTS WITH THE USE OF AMMONIA METHODS FOR THE REMOVAL OF NITROGEN OXIDES

Papulova D.A.¹, Kizhin V.V.²

^{1,2} Bratsk State University, Bratsk, Russia

papulova.diana@bk.ru¹, vadim-hero4ever@yandex.ru²

This article presents a study of nitrogen oxides contained in the flue gases of CHP plants and their impact on the environment. In addition, the analysis of various catalytic technologies used to remove NO_x was performed.

Keywords: flue gases, reaction, ammonia, technology, oxide.

В связи с тем, что в настоящее время во всем мире растет оборот промышленности, уделяется большое внимание проблемам загрязнения атмосферы. Большое количество загрязняющих веществ в России вырабатывается на теплоэлектростанциях (ТЭС) и котельных [1].

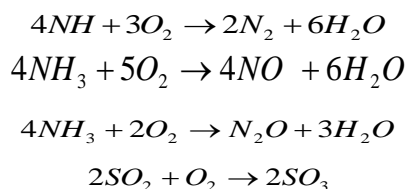
Целью данной статьи является исследование оксидов азота, содержащегося в дымовых газах теплоэлектроцентралях (ТЭЦ) и их влияния на окружающую среду, а также различных каталитических технологий, используемых для удаления NO_x [2].

В окружающей среде существует множество типов оксидов азота, таких как N₂O, NO, NO₂, N₂O₃, N₂O₄, NO₃ и N₂O₅. Аббревиатура NO_x относится к кумулятивным выбросам, главным образом оксида азота

NO и диоксида азота (NO₂). Эти газы имеют вредоносный характер. Так как ТЭЦ являются одними из основных источников выбросов NO_x, особое внимание уделяется методам их минерализации. Их негативное воздействие как на окружающую среду, так и на здоровье человека привело к принятию законодательных актов, ограничивающих выбросы NO_x из стационарных и других источников. Ограничения на выбросы в большинстве стран были установлены путем установления стандартов концентрации NO_x, выделяемого в дымовых газах [3]. Выбросы NO_x в атмосферу могут быть снижены за счет использования современных технологий очистки дымовых газов, таких как системы выборочной каталитической очистки и системы рециркуляции выхлопных газов.

Существует несколько методов удаления NO_x из дымовых газов, одним из которых является аммиачный метод, но наиболее интересным является технология селективного каталитического восстановления, и поэтому в этой работе будут рассматриваться именно эти технологии [4].

Среди методов очистки дымовых газов селективное каталитическое восстановление (SCR) NO_x аммиаком является наиболее эффективной и широко распространенной технологией удаления NO_x при умеренных температурах (250-500°C). Как правило, процесс NH₃-SCR основан на реакции между NO_x (включая NO, NO₂) и аммиак (NH₃) или (CO(NH₂)₂), вводимый в поток дымовых газов для получения N₂ и H₂O. Многочисленные нежелательные реакции окисления, которые могут протекать наряду с желаемыми в присутствии катализаторов NH₃-SCR, могут привести к выделению нежелательных продуктов и снижению конверсии. Например, реакции окисления аммиака (уравнения 1-3) нежелательны, поскольку приводит к образованию NO и N₂O в качестве побочных продуктов:



В присутствии NO_x эти реакции становятся незначительными из-за способности катализаторов и восстановителя (аммиака) способствовать восстановлению оксидов азота.

В случае серосодержащих ископаемых топлив (например, угля, нефти) при сжигании в котлах образуется SO_x (SO₂ с небольшим процентом, равным SO₃). Дальнейшим окислением на катализаторах

(уравнение 3), что является крайне небезопасным. Известно, что SO_3 вступает в реакцию с водой и непрореагировавшим аммиаком, присутствующим в дымовых газах, с образованием серной кислоты и сульфатов аммония. Сульфаты аммония осаждаются и накапливаются на поверхности катализатора, особенно если он работает при низкой температуре ($<300^\circ\text{C}$), и это приводит к дезактивации. Осаждение сульфатов аммония на поверхности катализатора может быть заблокировано при нагреве [5].

Каталитический нейтрализатор является наиболее важной частью системы SCR, и его расположение – вместе с системой, используемой для впрыска аммиака, являются критическими знаковыми параметрами.

Установка SCR, работающий на тепловых электростанциях, может быть размещен в четырех конфигурациях: непосредственно за котлом (устройство с высокой запыленностью), перед блоком подогрева воздуха (устройство с низкой запыленностью) и за устройством удаления диоксида серы с помощью установка для обессеривания дымовых газов (хвостовое расположение) [6].

Для эффективного использования установка SCR должна быть оснащена: катализатором SCR, усовершенствованная аппаратура управления технологическим процессом, оптимальные условия эксплуатации (температура реакции и соотношение подачи NH_3/NO) и распределитель NH_3 [7].

Очистка NO_x аммиачными установками происходит следующим образом:

1. Высокотемпературные отходящие газы, содержащие NO_x , поступают на вход аммиачной установки.
2. В установке происходит введение аммиака (20-35% раствора) аммиака в газовую смесь.
3. NO_x , находящиеся в газовой смеси, реагируют с аммиаком при наличии катализатора и образуются безвредные продукты – азот (N_2) и водяной пар (H_2O).
4. Очищенный газ выходит из установки и может быть выброшен в атмосферу или подвергнут дополнительной очистке для удаления других вредных веществ.

В ходе данного исследования были определены преимущества и недостатки данного метода. Во-первых, это эффективный способ снижения выбросов NO_x . Во-вторых, этот метод можно легко интегрировать в существующие системы очистки дымовых газов ТЭЦ. В-третьих, этот метод является экономически выгодным и не требует больших затрат на

эксплуатацию и техническое обслуживание. Несмотря на эти преимущества, применение селективного каталитического метода удаления NO_x также имеет некоторые недостатки. Во-первых, этот метод может приводить к образованию других вредных выбросов. Во-вторых, этот метод может создавать дополнительные затраты на закупку аммиака и катализаторов.

В целом, при правильном применении этого метода и правильной работе с реагентами, такой метод удаления NO_x является эффективным способом снижения вредных выбросов, и будет иметь растущее значение в будущем, так как все больше регулирующих органов начнут вводить строгие нормы по выбросам NO_x из ТЭЦ.

Источники

1. Очистка газов от оксидов. Виды опасных азотистых соединений. Очистка дымовых газов от оксида азота [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://sibelkon.ru> (дата обращения: 02.04.2023).

2. Способы снижения выбросов NO_x [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://molotokrus.ru> (дата обращения: 28.03.2023).

3. Котлер В.Р., Штегман А.В., Сосин Д.В. Некоторые аспекты снижения выбросов оксидов азота на угольных котлах тепловых электростанций // Международная научно-техническая конференция «Технологии эффективного и экологически чистого использования угля»: сборник докладов и тезисов. 2009. С. 287-293.

4. Применение технологии DENOX компании «Хальдор Топсе АО» на российских электростанциях [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://msd.com.ua> (дата обращения: 30.03.2023).

5. Постановление Правительства РФ от 12 июня 2003 года «О нормативах платы за выбросы в атмосферный воздух загрязняющих веществ стационарными и передвижными источниками, сбросы загрязняющих веществ в поверхностные и подземные водные объекты, в том числе через централизованные системы водоотведения, размещение отходов производства и потребления» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://government.ru/docs/all/45636/> (дата обращения: 28.03.2023).

6. Иваницкий М.С. Прогнозирование показателя суммарной агрессивности продуктов сгорания, обусловленного серосодержащими компонентами пылеугольного топлива // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2015. № 9-10. С. 22-28.

7. Иваницкий М.С. Моделирование влияния температурного уровня в зоне активного горения на содержание оксидов азота и бенз(а)пирена в продуктах сгорания котельных установок систем теплоснабжения. Часть 1. Сжигание крекинг-мазута в паровом котле БКЗ-420-140 НГМ // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2017. № 19. С. 56-64.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМАМИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В БЫТУ

Кудакаев А. Р.¹, Эшлиоглу Р. И.²
^{1,2} ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия
kudakaev.123@gmail.com¹, Ralyarose@yandex.ru²

Данная статья посвящена применению технологии интернета вещей для управления системами энергосбережения в быту. Рассмотрены технические и софтверные решения, которые позволяют повысить эффективность использования энергоресурсов и удобство в повседневной жизни.

Ключевые слова: энергосбережение, интернет вещей, эффективность

APPLICATION OF INTERNET OF THINGS TECHNOLOGY FOR THE MANAGEMENT OF ENERGY SAVING SYSTEMS IN EVERYDAY LIFE

Kudakaev A.R.¹, Eshelioglu R. I.²
^{1,2} FGBOU VO "KSPEU", Kazan, Republic of Tatarstan
¹kudakaev.123@gmail.com, ²Ralyarose@yandex.ru

This article is devoted to the use of Internet of Things technology to manage energy saving systems in everyday life. Technical and software solutions that allow to increase the efficiency of energy use and convenience in everyday life are considered.

Keywords: energy saving, internet of things, efficiency

Неэффективное использование энергоресурсов в бытовых условиях стало одной из основных проблем современного общества [1]. Потребление энергии в домах и квартирах может быть существенно снижено с помощью систем энергосбережения. Технология интернета вещей предоставляет новые возможности для управления системами энергосбережения в быту, что делает её очень перспективной в данной области.

Технология интернета вещей (IoT) – это система взаимосвязанных физических объектов, которые могут обмениваться данными между собой и с другими устройствами через сеть Интернет [2]. IoT может быть

использована для автоматизации домашней жизни, мониторинга состояния окружающей среды и управления энергосберегающими системами в доме.

Для создания системы управления энергосбережением на основе интернета вещей необходимо использовать различные технические решения. Существует множество систем и технологий, которые могут быть использованы для управления энергосберегающими системами в доме. Они могут включать в себя устройства для автоматического отключения освещения, регулирования температуры и контроля потребления электроэнергии [3]. Но эти системы могут иметь ограничения в функциональности и возможностях управления.

Технические решения для управления системами энергосбережения в быту могут включать в себя такие устройства, как "умные" термостаты, которые регулируют температуру в помещении, оптимизируя использование отопления и кондиционирования воздуха [4]. Это позволяет существенно сократить расходы на электроэнергию и газ, не ухудшая качества жизни.

Другие примеры технических решений, которые могут быть использованы в системах энергосбережения в быту, включают умные энергосберегающие [5] светильники, которые автоматически отключаются при выходе из помещения, энергоэффективные устройства для электротехнических шкафов, которые помогают экономить энергию, контролируя климат-контроль внутри шкафа [6].

Софтверные решения для управления системами энергосбережения включают в себя программы для управления устройствами и обработки данных, а также облачные платформы для удалённого контроля. Программные компоненты могут быть использованы для настройки параметров системы, контроля энергопотребления и отслеживания данных. Приложения для смартфонов могут обеспечить удобный и быстрый доступ к управлению устройствами в системе энергосбережения. Облачные платформы, такие как MTC IoT HUB, Azure IoT и Google Cloud IoT, предоставляют расширенный набор инструментов для управления устройствами, обработки данных и создания аналитических отчётов. Такие платформы обеспечивают масштабируемость, надёжность и безопасность при управлении системами энергосбережения в быту [7].

Использование технологии IoT для управления системами энергосбережения в быту имеет ряд преимуществ. Во-первых, это повышение эффективности использования энергоресурсов, что позволяет снизить расходы на коммунальные услуги. Во-вторых, это удобство и комфорт в повседневной жизни, так как системы энергосбережения могут

автоматически выполнять рутинные задачи по управлению энергопотреблением в доме.

Технология IoT имеет свои риски и ограничения. Одним из рисков является потенциальная уязвимость системы для кибератак [8]. Также, некоторые устройства могут иметь ограниченную функциональность, что может ограничить возможности управления энергосберегающими системами.

Технология интернета вещей предоставляет новые возможности для управления системами энергосбережения в быту. Это может привести к повышению эффективности использования энергоресурсов и удобству в повседневной жизни. Но использование этой технологии также имеет свои риски и ограничения, которые необходимо учитывать при реализации подобных проектов.

Источники

1. Проблемы энергосбережения. URL: <https://energo-audit.com/problemy-energoberezhenia> (дата обращения 01.04.2023).
2. «Интернет вещей» в электроэнергетике. Применение и перспективы. URL: <https://www.elec.ru/publications/tsifrovye-tekhnologii-svjaz-izmerenija/6157/> (дата обращения 01.04.2023).
3. Энергосберегающие системы управления освещением РИЭЛТА. Многоквартирные жилые дома. URL: <https://www.elec.ru/publications/osveschenie/3782/> (дата обращения 02.04.2023).
4. Что такое умный термостат? И для чего он нужен. URL: <http://juice-health.ru/technology/technology-explained/960-what-is-a-smart-thermostat-and-what-is-it-for> (дата обращения 02.04.2023).
5. Наумов А.А., Садыков М.Ф. Некоторые аспекты энергосбережения в осветительной технике. Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2017;19(5-6):109-118.
6. Thermal Management Основной каталог Издание 20.1 Климат-Контроль и охлаждение электротехнических шкафов. URL: http://www.fannenberg.ru/pdf/Pfannenberg_klimat_20.1_RU.pdf (дата обращения 02.04.2023).
7. IoT-платформы. URL: <https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:IoT-платформы> (дата обращения 02.04.2023).
8. Гурина Л.А., Зорина Т.Г., Томин Н.В., Прусов С.Г. Угрозы и уязвимости объектов киберфизической энергетической системы при

цифровой трансформации её свойств // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. №3 (55). С. 89-98.

9.Определение содержания ароматических углеводородов в трансформаторном масле спектральным методом / В. К. Козлов, О. Е. Куракина, А. Р. Гизатуллин, Р. А. Гиниатуллин // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2022. – Т. 78. – № 1. – С. 19-22. – EDN GUNDZO.

10.Определение влагосодержания бумажной изоляции / В. К. Козлов, А. Х. Сабитов, Г. Ф. Нигматуллина, Р. А. Саляхутдинов // Инновационный потенциал развития науки в современном мире: достижения и инновации : сборник научных статей по материалам VIII Международной научно-практической конференции, Уфа, 03 мая 2022 года. – Уфа: Общество с ограниченной ответственностью "Научно-издательский центр "Вестник науки", 2022. – С. 39-52. – EDN QJXJZL.

11.Султанов М.М. Модель оценки технико-экономических показателей оффшорных ветроэлектростанций // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021. Т. 23. № 5. С. 46-55. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-5-46-55.

12.Грачева Е.И., Табачникова Т.В., Швецова Л.В. Методика расчета оптимального напряжения центра питания отходящей линии промышленной подстанции нефтегазодобывающего предприятия // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021. №5. С.56-70. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-5-56-70.

13.Савенко, А. Е. Ввод в работу автоматизированной системы коммерческого учета электроэнергии на Керченском металлургическом заводе / А. Е. Савенко, П. С. Савенко // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Т. 13. № 2(50). С. 51-65.

14.Савина, М. В. Разработка СХЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ генераторного газа из низкосортного угля в ПГУ / М. В. Савина, С. С. Тимофеева // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Т. 13. № 2(50). С. 66-77.

ПРИМЕНЕНИЕ ОНЛАЙН-КУРСОВ И ДИСТАНЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПОДГОТОВКЕ КАДРОВ ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ

Кудакаев А.Р.¹, Эшлиоглу Р.И.²

^{1,2} ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

kudakaev.123@gmail.com¹, Ralyarose@yandex.ru²

В данной статье рассматривается применение онлайн-курсов и дистанционных технологий в подготовке кадров по электротехнике, а также их эффективность и перспективы использования.

Ключевые слова: онлайн-обучение, дистанционные технологии, электротехника

APPLICATION OF ONLINE COURSES AND REMOTE TECHNOLOGIES IN PERSONNEL TRAINING IN ELECTRICAL ENGINEERING

Kudakaev A. R.¹, Eshelioglu R. I.²

^{1,2} FGBOU VO "KSPEU", Kazan, Republic of Tatarstan

kudakaev.123@gmail.com¹, Ralyarose@yandex.ru²

This article discusses the application of online courses and distance technologies in the training of personnel in electrical engineering, as well as their effectiveness and prospects for use.

Key words: online training, distance technologies, electrical engineering.

В настоящее время онлайн-курсы и дистанционные технологии используются все чаще и чаще для обучения и подготовки специалистов по различным направлениям [1]. В частности, в сфере электротехники эти технологии оказывают значительное влияние на подготовку кадров.

Онлайн-курсы представляют собой электронные учебные материалы, которые доступны для обучения в Интернете. Дистанционные технологии, в свою очередь, включают в себя использование различных средств связи, таких как электронная почта, видеоконференции и другие.

В связи с быстро меняющимися технологиями и требованиями рынка труда, электротехнические специалисты должны постоянно совершенствовать свои знания и навыки [2]. Онлайн-курсы по

электротехнике могут быть полезны как для начинающих специалистов, так и для тех, кто уже имеет определенный опыт в данной области. Такие курсы предлагают широкий выбор тем и уровней сложности, начиная от базовых курсов по электронике и электрике, заканчивая более сложными курсами, такими как курсы по системам управления электроснабжением или электротехническим системам [3].

Дистанционные технологии позволяют обучающимся самостоятельно изучать материал в удобное для них время и темпе. Это особенно важно для тех, кто занят на работе или имеет другие обязательства, которые не позволяют посещать традиционные учебные заведения. Проведение вебинаров или онлайн-конференций способствует более эффективному усвоению материала и возможности задать вопросы и получить ответы на них в режиме реального времени [4].

Использование онлайн-курсов и дистанционных технологий в обучении электротехнике имеет ряд преимуществ, среди которых:

- гибкость обучения: изучать материал можно в удобное время и темпе, что позволяет адаптировать учебный процесс под личный график;

- широкий выбор курсов: широкий выбор тем и уровней сложности позволяет обучающимся выбрать наиболее подходящий курс для своего уровня знаний и интересов;

- доступность обучения: онлайн-курсы и дистанционные технологии доступны через Интернет. Это означает, что студенты могут изучать материал из любой точки мира и не ограничены местоположением;

- экономия времени и денег: обучение в онлайн-формате позволяет избежать затрат на коммунальные услуги, транспорт и проживание вне дома. Кроме того, онлайн-курсы и дистанционные технологии обычно стоят дешевле, чем традиционное обучение.

Несмотря на множество преимуществ онлайн-курсов и дистанционных технологий в обучении электротехнике, они также имеют некоторые недостатки:

- необходимость самостоятельности: онлайн-курсы требуют большей самостоятельности и ответственности от студентов;

- ограниченный доступ к лабораторным работам: многие курсы по электротехнике требуют выполнения лабораторных работ, что может быть затруднительно при обучении в онлайн-формате. Хотя существуют симуляторы [5] и цифровые системы [6], они не всегда могут полностью заменить реальные лаборатории;

- ограниченный доступ к практическому опыту: настоящая работа в электротехнике требует практического опыта и навыков. Онлайн-курсы и

дистанционные технологии могут предоставить теоретические знания, но не могут полностью заменить практический опыт [7].

Однако, несмотря на эти недостатки, онлайн-курсы и дистанционные технологии продолжают быстро развиваться и улучшаться. Производители программного обеспечения и университеты постоянно работают над созданием новых симуляторов, виртуальных лабораторий и других технологий, которые могут облегчить процесс обучения.

Таким образом, использование онлайн-курсов и дистанционных технологий в обучении электротехнике имеет много преимуществ, но также и некоторые недостатки. Дальнейшие исследования могут быть направлены на улучшение методик онлайн-обучения, а также на адаптацию курсов и технологий к разным видам знаний и умений, требующихся в электротехнике.

Источники

1. Исследование российского рынка онлайн-образования и образовательных технологий. URL: <https://estars.hse.ru/mirror/pubs/share/211448255> (дата обращения 01.04.2023).

2. Как стать электриком - выбор профессии, получение образования, навыков, самообучение и перспективы. URL: <https://электротехника.рф/info/publikatsii/kak-stat-elektrikom-vybor-professii-poluchenie-obrazovaniya-navykov-samoobuchenie-i-perspektivy/> (дата обращения 01.04.2023).

3. Основы электротехники и электроники. URL: <https://openedu.ru/course/urfu/ELB/> (дата обращения 01.04.2023).

4. Актуальность и эффективность дистанционного обучения. URL: <https://nastobr.com/articles/aktualnost-i-effektivnost-distantsionnogo-obucheniya/> (дата обращения 02.04.2023).

5. Хальясмаа А.И., Ревенков И.С., Сидорова А.В. Применение технологии цифрового двойника для анализа и прогнозирования состояния трансформаторного оборудования // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 3 (55). С. 99-113.

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

7. Электронное обучение: сможет ли заменить традиционное. URL: <https://gb.ru/blog/elektronnoe-obuchenie/> (дата обращения 02.04.2023).

УДК 536.12.34.

8. Валиуллина, Д. М. Влияние твердых частиц, дисперсно-коллоидных структур и других неоднородностей на цвет трансформаторного масла / Д. М. Валиуллина, Ю. К. Ильясова, В. К. Козлов // Тинчуринские чтения – 2021 «энергетика и цифровая трансформация»: Материалы Международной молодежной научной конференции. В 3 томах, Казань, 28–30 апреля 2021 года. – Казань: ООО ПК «Астор и Я», 2021. – С. 17-22. – EDN DFCXLW.

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

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

11. Шерязов С.К., Исенов С.С., Искаков Р.М., Кайдар А.Б. Основные типы ветротурбин-генераторов в системе электроснабжения // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021. Т. 23. № 5. С. 24-33. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-5-24-33.

12. Construction of a radiofrequency wireless system for electric energy transmission / L. Jorge, E. Baikova, J. Pina [et al.] // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Vol. 13. No 3(51). P. 81-98.

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

14. Петров, Т. И. Разработка и реализация стенда для подтверждения эффективности топологической оптимизации ротора синхронных двигателей с постоянными магнитами / Т. И. Петров, А. Р. Сафин // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Т. 13. № 2(50). С. 100-108.

15. Звонарева, Ю. Н. Изменение параметров работы систем теплоснабжения при поэтапном внедрении АИТП / Ю. Н. Звонарева, К. С.

Кузборская // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Т. 13. № 2(50). С. 109-118.

ОБРАБОТКА И ОБОБЩЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОЛЛОИДНЫХ МАГНИТНЫХ ЖИДКОСТЕЙ НА ОСНОВЕ ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА

Джураев Д.С.

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

Построены уравнения, с помощью которых можно вычислить с некоторыми погрешностями теплофизические свойства неисследованных жидкостей, в интервале вектора индукции магнитного поля $B=1,59...3,866$ мТл, в зависимости от добавки железного порошка или плотности жидкостей при комнатной температуре.

Ключевые слова: магнитная жидкость, магнитное поле, железный порошок, температуропроводность, теплопроводность, теплоемкость.

PROCESSING AND GENERALIZATION OF EXPERIMENTAL DATA ON THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF COLLOIDAL MAGNETIC FLUIDS BASED ON TRANSFORMER OIL

Djuraev D.S.

Candidate of Technical Sciences Polytechnic Institute of Technological University
named after ak. M.S. Agiotage, Self-declaration.
juraev77@mail.ru

Equations are constructed with the help of which it is possible to calculate, with certain errors in the thermophysical properties of unexplored liquids, in the interval of the magnetic field induction vector $B = 1.59 \dots 3.866$ mT, depending on the addition of iron powder or the density of liquids at room temperature.

Keywords: magnetic fluid, magnetic field, iron powder, thermal diffusivity, thermal conductivity, heat capacity.

На разработанной нами экспериментальной установке, были исследованы и получены опытные данные по теплопроводности, теплоёмкости и температуропроводности коллоидных магнитных

жидкостей на основе трансформаторного масла (трансформаторное масло и железный порошок) в интервале температур $T=298...423$ К, давлении $P=0,101...0,141$ МПа, и векторе индукции магнитного поля $B=1,59...3,866$ мТл. Методика измерений и экспериментальная установка подробно описаны в [1 – 8].

Для обобщения экспериментальных данных по температуропроводности трансформаторного масла, в зависимости от концентрации железного порошка, плотности и воздействия магнитного поля при атмосферном давлении, использовали следующее соотношение:

$$\alpha_B/\alpha_{B_1}=f(B/B_1), \quad (1)$$

где α_B – температуропроводность испытуемого образца, в зависимости от воздействия магнитного поля; α_{B_1} – температуропроводность испытуемого образца при B_1 ; B – магнитное поле, при котором проводятся испытания; B_1 – среднее значение магнитного поля, при котором проводятся испытания $B_1=2,8$ мТл.

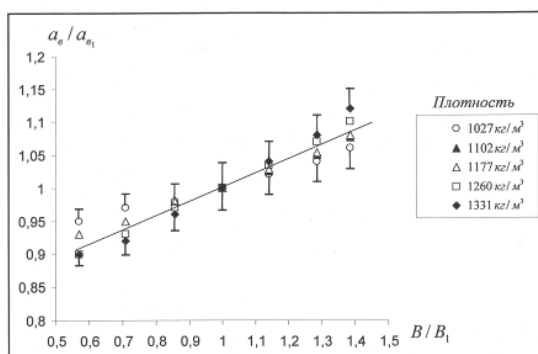


Рис.1. Зависимость относительной температуропроводности исследуемого объекта α_B/α_{B_1} от относительного магнитного поля B/B_1 .

Как видно, все экспериментальные данные по температуропроводности укладываются вдоль общей линии (рис 1), эта линия описывается:

$$\alpha_B=[0,19(B/B_1)+0,81]\alpha_{B_1}, \quad (2)$$

где B – магнитное поле, при котором проводятся испытания; B_1 – среднее значение магнитного поля, при котором проводятся испытания $B_1=2,8$ мТл.

Значение α_{B_1} является функцией концентрации железного порошка:

$$\alpha_{B_1}=f(m)$$

Значения температуропроводности трансформаторного масла в зависимости от добавки железного порошка при $B_1=2,8$ мТл приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Экспериментальные значения температуропроводности трансформаторного масла в зависимости от добавки железного порошка, при $V_1=2,8$ мТл.

$m_{Fe}, 10^{-3}$ кг	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3
$\alpha_{B1} \cdot 10^7, \text{ м}^2/\text{с}$	1,018	1,202	1,3	1,47	1,6

Кривая линия, изображенная на рисунке 2, описывается уравнением:

$$\alpha_{B1}=2,9 \cdot 10^{-4} \cdot m+0,73 \cdot 10^{-7}, \quad (3)$$

где m – масса порошка.

Значение α_{B1} является функцией плотности образца:

$$\alpha_{B1}=f(\rho)$$

Значения температуропроводности магнитных жидкостей в зависимости от плотности при $V_1=2,8$ мТл приведены в таблице 2.

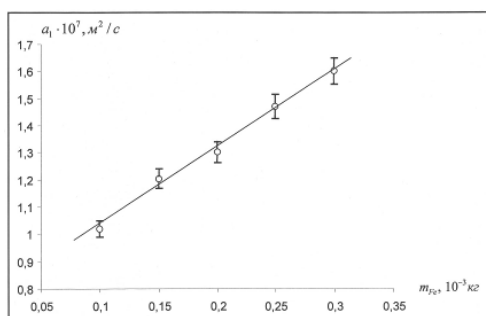


Рис. 2. Зависимость температуропроводности исследуемого объекта от добавки железного порошка $\alpha_{B1}=f(m)$.

Таблица 2.

Экспериментальные значения температуропроводности магнитных жидкостей в зависимости от плотности, при $V_1=2,8$ мТл.

$\rho, \text{ кг}/\text{м}^3$	1027	1102	1177	1260	1331
$\alpha_{B1} \cdot 10^7, \text{ м}^2/\text{с}$	1,018	1,202	1,3	1,47	1,6

Кривая линия, изображенная на рисунке 3, описывается уравнением:

$$\alpha_{B1}=1,93 \cdot 10^{-10} \cdot \rho -0,946 \cdot 10^{-7}, \quad (4)$$

где ρ – плотность образца.

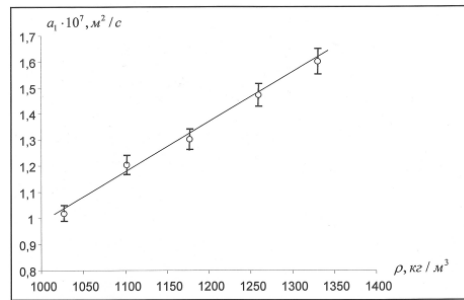


Рис.3. Зависимость температуропроводности исследуемого объекта от плотности $\alpha_{B1}=f(m)$.

Из уравнения (2), с учетом (3) и (4), для расчета температуропроводности системы трансформаторное масло + железный порошок в зависимости от давления, получим:

$$\alpha_B = [0.19(B/B_1) + 0,81](2,9 \cdot 10^{-4} \cdot m + 0,73 \cdot 10^{-7}), \quad (5)$$

$$\alpha_B = [0.19(B/B_1) + 0,81](1,93 \cdot 10^{-10} \cdot \rho - 0,946 \cdot 10^{-7}), \quad (6)$$

С помощью уравнений (5) и (6) можно вычислить с погрешностью до 3% температуропроводность неисследованных жидкостей, в зависимости от воздействия магнитного поля при комнатной температуре и атмосферном давлении, для этого необходимо знать только массовое значение концентрации или плотность неисследованных жидкостей.

Соотношение (7) использовано для обобщения экспериментальных данных по теплопроводности трансформаторного масла в зависимости от концентрации железного порошка, плотности и воздействия магнитного поля при атмосферном давлении:

$$\lambda_B / \lambda_{B1} = f(B/B_1), \quad (7)$$

где λ_B – теплопроводность испытуемого образца в зависимости от воздействия магнитного поля.; λ_{B1} – теплопроводность испытуемого образца при B_1 ; B – магнитное поле, при котором проводятся испытания; $B_1 = 2,8$ мТл.

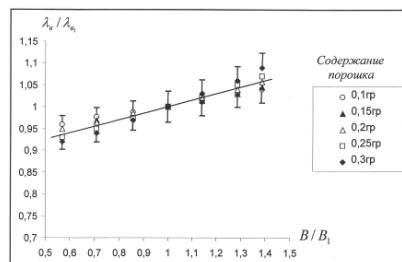


Рис.4. Зависимость относительной теплопроводности исследуемого объекта λ_B/λ_{B1} от относительного магнитного поля B/B_1 .

Экспериментальные данные по теплопроводности располагаются вдоль общей кривой (рис. 4), и эта кривая описывается уравнением:

$$\lambda_B = [0.2(B/B_1) + 0,8]\lambda_{B1}, \quad (8)$$

Значения λ_{B1} являются функцией концентрации железного порошка :

$$\lambda_{B1} = f(m).$$

Значение теплопроводности трансформаторного масла в зависимости от добавки железного порошка, при $V_1 = 2,8$ мТл. приведены в таблице 3.

Таблица 3.

Экспериментальное значение теплопроводности трансформаторного масла в зависимости от добавки железного порошка, при $V_1 = 2,8$ мТл.

$m_{Fe}, 10^{-3} \text{ кг}$	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3
$\lambda_{B1} \cdot 10^3, \text{ Вт/(м·К)}$	118,1	138,4	153,3	168,5	178,9

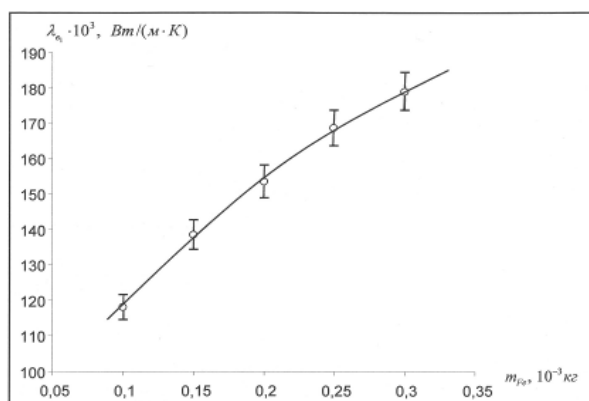


Рис.5. Зависимость теплопроводности исследуемого объекта от добавки железного порошка $\lambda_{B1} = f(m)$

Кривая линия, изображенная на рисунке 5, описывается уравнением:

$$\lambda_{B1} = -557133,5m^2 + 526,6m + 7,126 \cdot 10^{-2}, \quad (9)$$

где m – масса порошка.

Значение λ_{B1} является функцией плотности образца:

$$\lambda_{B1} = f(\rho).$$

Значение теплопроводности магнитных жидкостей в зависимости от плотности, при $V_1 = 2,8$ мТл. приведены в таблице 4.

Таблица 4.

Экспериментальные значения теплопроводности магнитных жидкостей в зависимости от плотности при $B_1=2,8$ мТл.

ρ , кг/м ³	1027	1102	1177	1260	1331
$\lambda_{B1} \cdot 10^3$, Вт/(м·К)	118,1	138,4	153,3	168,5	178,9

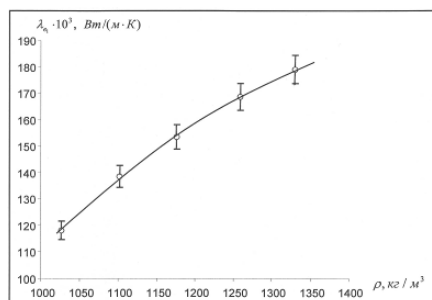


Рис.6. Зависимость теплопроводности исследуемого объекта от плотности

$$\lambda_{B1}=f(\rho).$$

Кривая линия, изображенная на рис 6, описывается уравнением:

$$\lambda_{B1}=-2,44 \cdot 10^{-7} \rho^2+7,736 \cdot 10^{-4} \rho-0,418, \quad (10)$$

где ρ – плотность образца.

Из уравнения (8), с учетом (9) и (10), для расчета теплопроводности системы трансформаторное масло + железный порошок, в зависимости от магнитного поля, получим:

$$\lambda_B=[0.2(B/B_1)+0,8](-557133,5m^2+526,6 m+7,126 \cdot 10^{-2}), \quad (11)$$

$$\lambda_B=[0.2(B/B_1)+0,8](-2,44 \cdot 10^{-7} \rho^2+7,736 \cdot 10^{-4} \rho-0,418), \quad (12)$$

С помощью уравнений (11) и (12) можно вычислить, с погрешностью до 3%, теплопроводность неисследованных жидкостей, в зависимости от воздействия магнитного поля, при комнатной температуре и атмосферном давлении. Для этого необходимо знать только массовое значение концентрации или плотность неисследованных жидкостей.

Для обобщения опытных данных по теплоемкости исследуемого образца, который зависит от концентрации железного порошка, плотности и воздействия магнитного поля и находится под атмосферным давлением, использована зависимость в виде:

$$C_B/C_{B1}=f(B/B_1), \quad (13)$$

где C_B – теплоемкость испытуемого образца, в зависимости от воздействия магнитного поля; C_{B1} – теплоемкость испытуемого образца при $B_1 = 2,8 \text{ мТл}$; B – магнитное поле, при котором проводятся испытания.

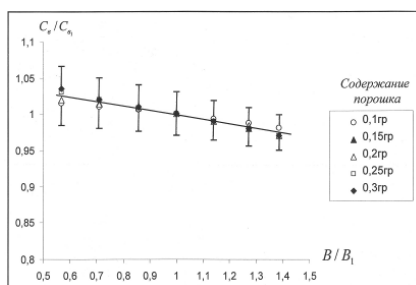


Рис.7. Зависимость относительной теплоемкости исследуемого объекта C_B/C_{B1} от относительного магнитного поля B/B_1 .

Экспериментальные данные по теплоемкости хорошо расположены вдоль прямой (рис. 7), и эта прямая описывается уравнением:

$$C_B = [-0,075(B/B_1) + 1,075]C_{B1}, \quad (14)$$

где B – магнитное поле, при котором проводятся испытания; $B_1 = 2,8 \text{ мТл}$.

Значение C_{B1} является функцией концентрации железного порошка:

$$C_{B1} = f(m).$$

Значения теплоемкости трансформаторного масла, в зависимости от добавки железного порошка при $B_1 = 2,8 \text{ мТл}$, приведены в таблице 5.

Таблица 5.

Экспериментальные значения теплоемкости трансформаторного масла, в зависимости от добавки железного порошка при $B_1 = 2,8 \text{ мТл}$.

$m_{Fe}, 10^{-3} \text{ кг}$	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3
$C_{B1} \cdot 10^3, \text{ Дж/}$ (кг·К)	1129,6	1044,8	1002,4	909,7	840,1

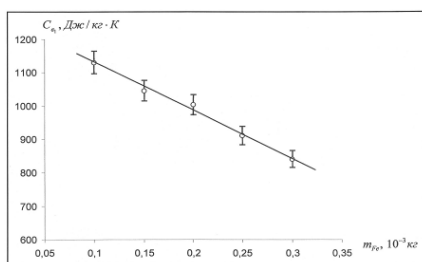


Рис.8. Зависимость теплоемкости исследуемого объекта от добавки железного порошка $C_{B1} = f(m)$.

Кривая линия, изображенная на рисунке 8, описывается уравнением:

$$C_{B1} = -1,4 \cdot 10^6 m + 1265,5, \quad (15)$$

где m – масса порошка.

Значение C_{B1} является функцией плотности образца:

$$C_{B1} = f(\rho).$$

Кривая линия, изображенная на рисунке 9, описывается уравнением:

$$C_{B1} = -0,77\rho + 1912,5, \quad (16)$$

где ρ – плотность образца.

Значение теплоемкости трансформаторного масла, в зависимости от плотности при $B_1 = 2,8 \text{ мТл}$, приведены в таблице 6.

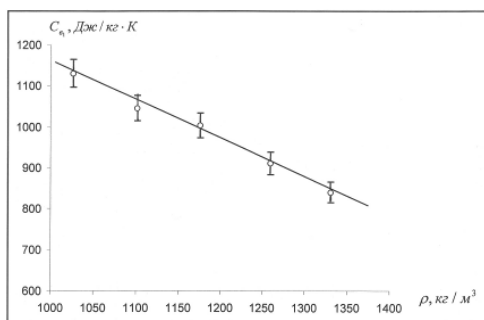


Рис.9. Зависимость теплоемкости исследуемого объекта от плотности $C_{B1} = f(\rho)$.

Таблица 6.

Экспериментальные значения теплоемкости магнитных жидкостей, в зависимости от плотности при $B_1 = 2,8 \text{ мТл}$.

$\rho, \text{ кг/м}^3$	1027	1102	1177	1260	1331
$C_{B1} \cdot 10^3, \text{ Дж/}$ (кг·К)	1129,6	1044,8	1002,4	909,7	840,1

Из уравнения (14), с учетом (15) и (16), для расчета теплоемкости системы трансформаторное масло + железный порошок в зависимости от магнитного поля получим:

$$C_B = [-0,075(B/B_1) + 1,075](-1,4 \cdot 10^6 m + 1265,5), \quad (17)$$

$$C_B = [-0,075(B/B_1) + 1,075](-0,77\rho + 1912,5), \quad (18)$$

С помощью уравнений (17) и (18) можно вычислить, с погрешностью до 3%, теплоемкость неисследованных жидкостей, в

зависимости от воздействия магнитного поля при комнатной температуре и атмосферном давлении. Для этого необходимо знать только массовое значение концентрации или плотность неисследованных жидкостей.

Источники

1. Башарин А. Ю. Кириллин А.В., Шейллин М.А. Методика экспериментального исследования оптических характеристик тугоплавких металлов при сверхвысоких температурах // ТВТ. 1984. –Т. 22. –№1. – С.131–137.

2.Мирошниченко В. И. Махров В.В., Ребров М. В. Экспериментальная установка с импульсным лазерным нагревом для исследования теплопроводности и теплоемкости твердых тел при высоких температурах // 9-й Теплофизической конференции СНГ. Махачкала, 1992. –С.22–23.

3.Джураев Д. С., Сафаров М. М., Нажмудинов Ш. З. и др. Устройство для определения влияния магнитного поля на изменение температуропроводности магнитных жидкостей. Пат 229 ТД. 2009. Патентный вестник № 54 (2).

4.Джураев Д.С. Сафаров М.М. Исследование теплофизических свойств магнитных жидкостей / Измерительная техника. 2016. №7. С.43-45.

5.Сафаров М.М., Назаров Х.Х., Давлатов Н.Б., Джураев Д.С., и др. Адсорбционные теплофизические термодинамические свойства некоторых наночастиц и их влияние на поведение теплоносителей. Материалы докладов 10-ой школа-семинар молодых учёных и специалистов академика РАН В.Е.Алимасова «Проблема теплообмена и гидродинамик и энергомашиностроения» Казань, 2016 г. 217-220

6.Хушвактов А.А., Сангов Т.Ш., Джураев Д.С., Сафаров М.М. Степень набухания, коэффициент термодиффузии и массоотдачи ультрадисперсных никелевых катализаторов на основе силикагеля в насыщенных конденсированных средах. Вестник Таджикского национального университета. 2012. № 1-3. С. 160-165.

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАГНИТНЫХ ЖИДКОСТЕЙ НА ОСНОВЕ ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА

Джураев Д.С.

к.т.н. Политехнический институт Таджикского технического университета им.

ак. М.С.Осими, Худжанд, Таджикистан.

juraev77@mail.ru

В данной статье приведена зависимость теплопроводности, теплоёмкости и температуропроводности ферромагнитных жидкостей от магнитного поля и давления. Кроме того, приведена зависимость диэлектрической проницаемости, электропроводности, электрофизических свойств магнитных жидкостей от концентрации ферромагнитных частиц.

Ключевые слова: магнитная жидкость, теплопроводность, теплоёмкость, температуропроводность, диэлектрическая проницаемость, электропроводность, электрофизические свойства.

ELECTROPHYSICAL PROPERTIES OF MAGNETIC FLUIDS BASED ON TRANSFORMER OIL

Djuraev D.S.

Candidate of Technical Sciences Polytechnic Institute of Technological University

named after ak. M.S. Agiotage, Self-declaration.

juraev77@mail.ru

This article describes the dependence of heat conductivity, heat capacity, temperature conductivity of ferromagnetic fluids on the magnetic field and pressure. In addition, the dependence of the dielectric constant, electrical conductivity, electrophysical property of magnetic fluids on the concentration of ferromagnetic particles is given.

Keywords: magnetic fluid, thermal conductivity, heat capacity, temperature conductivity, dielectric constant, electrical conductivity, electrophysical properties.

Применение магнитных жидкостей в различных областях науки и техники определяют и разнообразие требований к их физико-химическим и электрическим характеристикам с учётом конкретных условий их использования. В большинстве случаев ряд свойств магнитных жидкостей однозначно определяет эффективность её работы независимо от сферы применения. Среди них можно назвать намагниченность

насыщения и устойчивость к действию гравитационных сил и магнитных полей, – чем они выше, тем, как правило, достигаются более высокие выходные показатели магнитожидкостных устройств. О других свойствах магнитных жидкостей этого сказать нельзя, так как они дифференцированы в зависимости от условий применения. К таким характеристикам магнитных жидкостей можно отнести вязкость, испаряемость, токсичность, термостойкость и специальные требования по химической устойчивости к рабочим средам, что достаточно подробно было освещено в литературе[1]. Например, при использовании в скоростных уплотнениях и подшипниковых узлах магнитные жидкости должны обладать низкой вязкостью и испаряемостью в сочетании с высокой термостойкостью; при использовании в качестве магнитных чернил – наоборот, высокой испаряемостью. При использовании магнитных жидкостей в биологии и медицине необходимо учитывать, что они должны обладать нетоксичностью и устойчивостью при контакте с живыми клетками и тканями организма [2].

На разработанной нами экспериментальной установке, были исследованы и получены опытные данные по теплопроводности, теплоёмкости и температуропроводности коллоидных магнитных жидкостей на основе трансформаторного масла (трансформаторное масло и железный порошок) в интервале температур $T=298...423$ К, давлении $P=0,101...0,141$ МПа, и векторе индукции магнитного поля $B=1,59...3,866$ мТл. Методика измерений и экспериментальная установка подробно описаны в [3,4].

Таблица 1

Температуропроводность ($a \cdot 10^7, м^2 / с$) трансформаторного масла при комнатной температуре в зависимости от вектора индукции магнитного поля и концентрации ферромагнитного порошка Fe .

$B, 10^{-2} Тл$ $m_{Fe}, 10^{-3} кг$	0,1594	0,199	0,24	0,28	0,32	0,36	0,3866
0.1	0,965	0,985	1,001	1,0181	1,0371	1,061	1,081
0.15	1,1151	1,1452	1,175	1,2021	1,2321	1,2622	11,295
0.2	1,2111	1,2371	1,271	1,311	1,3362	1,3722	1,412
0.25	1,321	1,37	1,42	1,4711	1,5212	1,582	1,6311
0.3	1,411	11,47	1,53	1,611	1,662	1,7332	1,811

Таблица 2

Теплопроводность ($\lambda \cdot 10^3, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$) трансформаторного масла при комнатной температуре в зависимости от вектора индукции магнитного поля и концентрации ферромагнитного порошка (Fe)

$B, 10^{-2} \text{ Тл}$ $m_{Fe}, 10^{-3} \text{ кг}$	0,1594	0,199	0,24	0,28	0,32	0,36	0,3866
0.11	113,61	115,41	116,72	118,13	119,52	121,45	1230
0.15	1431,2	133,82	136,42	138,44	140,42	142,55	144,63
0.2	145,6	147,93	151,12	153,32	156,73	159,13	162,14
0.25	156,1	160,421	164,5	168,52	172,14	176,83	180,62
0.3	1163,4	168,42	173,12	178,93	184,15	189,64	194,54

Таблица 3

Теплоемкость $C_p, \text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ трансформаторного масла при комнатной температуре в зависимости от вектора индукции магнитного поля и концентрации ферромагнитного порошка

$B, 10^{-2} \text{ Тл}$ $m_{Fe}, 10^{-3} \text{ кг}$	0,1594	0,199	0,24	0,28	0,32	0,36	0,3866
0.11	1146,8	1140,8	1136,3	1129,6	1122,1	1115	1108,3
0.15	1067,9	1060,3	1053,4	1044,8	1034,1	1024,6	1014,9
0.2	1022,6	1015,8	1010,8	1002,4	996,54	986,63	976,73
0.25	938,5	929,25	917,24	909,73	898,64	888,13	879,33
0.3	871,1	860,13	850,2	840,12	833,24	823,43	811,82

Из таблиц 1 – 3 видно что температуропроводность и теплопроводность с ростом вектора индукции магнитного поля и концентрации ферромагнитного порошка увеличивается, а теплоемкость уменьшается. Например: при увеличении концентрации ферромагнитного порошка (Fe) от $m=0,1 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$ на $m=0,3 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$ при $B=0,1595 \cdot 10^{-2} \text{ Тл}$ температуропроводность образца увеличивается на 46,1%, теплопроводность увеличивается на 43,8%, теплоемкость уменьшается на 31,6 %, а при $B=0,3866 \cdot 10^{-2} \text{ Тл}$, температуро-проводность образца увеличивается на 86,5%, теплопроводность увеличивается на 71,2%, теплоемкость уменьшается на 41,3%.

Диэлектрическую проницаемость и электропроводность магнитных жидкостей зависит от размер и ферромагнитных частиц и от концентрация.

Кроме того в магнитных жидкостях наблюдается дисперсия диэлектрической проницаемости которая зависит от напряженности магнитного поля. С увеличением напряженности магнитного поля диэлектрическая проницаемость увеличивается.

С увеличением температуры возрастают электрофизические параметры магнитных жидкостей, такие как электроемкость, диэлектрическая проницаемость, удельная проводимость и тангенс угла диэлектрических потерь [5]. При этом, не изменяется характер их зависимостей от концентрации твердой фазы [6]. Электрические свойства магнитных жидкостей с увеличением концентрации ферромагнитных порошков могут изменяться более чем на порядок под действием магнитного поля. Данный факт представляет собой существенный результат и может найти практическое применение в работах по синтезу новых функциональных материалов, а также при создании управляемых электротехнических модулей.

Источники

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

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

3. Джураев Д.С. Влияние температуры, давления и магнитного поля на изменение теплофизических свойств магнитных жидкостей. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Бишкек, 2012.

4. Гиллоева Т.Р., Тагоев С., Зоиров Х.А., Зарипова М.А., Джураев Д.С., Сафаров М.М.. Температуропроводность коллоидного раствора наносеребра в зависимости от давления при комнатной температуре. Измерительная техника. 2012, №3, С.51-53.

5. Начаева О.А. Структурная организация магнитных коллоидов в электрическом и магнитном полях. Дисс... канд. физ-мат. наук: 01.04.13. – Ставрополь, 2003. – 140 с.

6. Кожевников В.М., Морозова Т.Ф., Шаталов А.Ф., Малсугенов О. В. Электрические свойства тонких слоев магнитной жидкости различной концентрации при воздействии температуры / Тезисы докладов региональной научно-технической конференции «Вузовская наука – Северо-Кавказскому региону». Ставрополь, 1997. – С.80–83.

ДОПУСТИМЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ТОЛЩИНЫ СТЕНКИ ГОЛОЛЕДА НА ПРОВОДАХ ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ПРИ НАЛИЧИИ ВЕТРОВЫХ НАГРУЗОК

Минкин А.С.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

cntnur_mn@mail.ru

Исследуются изменения механического напряжения в проводах высоковольтных линий электропередачи в зависимости от толщины стенки гололеда при наличии ветровых нагрузок. Рассчитаны максимально допустимые значения толщины стенки гололедных отложений на проводах при различных значениях скорости ветра.

Ключевые слова: Механическое напряжение, высоковольтные линии электропередачи, гололед, скорость ветра

PERMISSIBLE VALUES OF ICE WALL THICKNESS ON THE WIRES OF A HIGH-VOLTAGE POWER LINE IN THE PRESENCE OF WIND LOADS

Minkin A. S.

FGBOU VO "KSPEU", Kazan, Republic of Tatarstan

cntnur_mn@mail.ru

Changes in mechanical stress in the wires of high-voltage power lines depending on the thickness of the ice wall in the presence of wind loads are investigated. The maximum permissible values of the wall thickness of icy deposits on wires at different values of wind speed are calculated.

Keywords: Mechanical voltage, high-voltage power lines, ice, wind speed

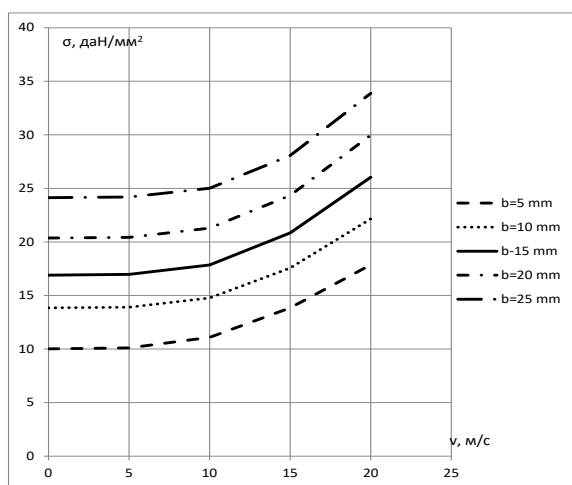
Повреждения на воздушных линиях электропередачи из-за образования гололедных отложений на проводах являются серьезными и трудно устранимыми, они приводят к большим потерям для поставщиков и потребителей электроэнергии. Мониторинг состояния линий электропередачи с учетом погодных условий позволяет своевременно предотвращать такие аварии [1-5].

В [5] был проведен анализ допустимых значений толщины стенки гололеда на проводах высоковольтных линий электропередачи без учета

ветровых нагрузок. Наличие же ветра оказывает дополнительную нагрузку на провода [6].

В данной работе проведены расчеты механических напряжений на проводах в зависимости от толщины стенки гололедных отложений для высоковольтных линий электропередачи при различных значениях скорости ветра.

Решением уравнения состояния провода [1,6], найдены значения механического напряжения провода от толщины стенки гололеда при различных скоростях ветра, а также определена зависимость механического напряжения провода от скорости ветра при различных значениях толщины стенки гололеда (см. рисунок).



Зависимость механического напряжения провода от скорости ветра для различных значений толщины стенки гололеда

На рисунке показаны кривые изменения механического напряжения провода от скорости ветра при различных значениях толщины стенки гололеда для линии электропередачи напряжением 110 кВ с длиной пролета 220 м, маркой провода АС–120/19, для которой максимальное механическое напряжение $\sigma_{\max} = 30,43$ даН/мм². Из рисунка видно, что заметное влияние ветра при всех значениях толщины стенки гололеда на проводах начинается при скоростях ветра более 5 м/с. Увеличение перпендикулярной к ВЛ составляющей скорости ветра на 5 м/с при одних и тех же толщинах стенки гололеда на проводах рассматриваемой ВЛ, увеличивает механическое напряжение в проводе примерно на 3 – 4 даН/мм².

Для рассматриваемой ВЛ электропередачи, максимальное механическое напряжение возникает, когда толщины стенки гололеда

находятся в интервале от 20,60 до 30,44 мм в зависимости от скорости ветра от $v=0$ м/с до $v=20$ м/с соответственно. Допустимое напряжение для провода АС–120/19 при наибольшей нагрузке и низшей температуре составляет 45% от предела прочности при растяжении [7], поэтому допустимые толщины стенки гололеда при этом интервале скоростей ветра составляют 9,3 – 13,7 мм.

Для своевременного предотвращения повреждений линий электропередачи от гололедных отложений на проводах, необходима непрерывная достоверная информация не только о толщине стенки гололеда, но и о скорости ветра, поскольку ветровая нагрузка создает дополнительное механическое напряжение на них.

Источники

1. Минуллин Р.Г. Обнаружение гололедных образований на линиях электропередачи локационным зондированием / Р.Г. Минуллин, Д.Ф. Губаев.–Казань: КГЭУ, 2010.–207с.

2. Минуллин Р.Г. Определение места повреждения локационным методом на линиях электропередачи с ответвлениями/ Р.Г.Минуллин, Ю.В. Писковацкий, В.А. Касимов, Р.Г. Мустафин, Ю.В. Виноградов// Вестник Казанского государственного энергетического университета.–2021. –Т. 13, № 3 (51).–С. 69-80.

3. Kasimov V.A. Dstortion of location pulses in high-frequency paths of overhead power lines/ V.A. Kasimov// Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики.–2019.–Т. 21, № 3– С. 146-159.

4. Минуллин Р.Г. Локационный мониторинг гололеда и повреждений на линиях электропередачи м/ Р.Г. Минуллин.–Казань: КГЭУ, 2022.–439с.

5. Минуллин, Р.Г. Анализ допустимых значений толщины стенки гололеда на проводах высоковольтных линий электропередачи/ Р.Г. Минуллин, А.С. Минкин, Э.Ю. Абдуллазянов, В.А. Касимов// Кибернетика энергетических систем: Сборник материалов XL научного семинара по тематике «Электроснабжение» (25-26 сентября 2018 г., Новочеркасск). – Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ), 2018. – С. 160-163.

6. Климатические факторы и расчетные нагрузки, действующие на элементы линий электропередач [Электронный ресурс] URL <http://scbist.com/scb/uploaded/kontaktная-set/3.htm>

7. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). – 7-е издание.-М.: ЭНАС. 2005.

8. Бикзинуров, А. Р. Исследование влияния исходной концентрации ингибитора окисления 2,6-ди-трет-бутилфенола на интенсивность термоокислительной деструкции минерального масла / А. Р. Бикзинуров, Ю. Н. Слободина, М. Ш. Гарифуллин // Тинчуринские чтения – 2021 «энергетика и цифровая трансформация» : Материалы Международной молодежной научной конференции. В 3 томах, Казань, 28–30 апреля 2021 года. Том 1. – Казань: ООО ПК «Астор и Я», 2021. – С. 12-16. – EDN EFFJHR.

9. Банникова, В. Ю. Оценка надежности электрооборудования с помощью индекса технического состояния / В. Ю. Банникова, М. Ш. Гарифуллин // Тинчуринские чтения – 2021 «энергетика и цифровая трансформация» : Материалы Международной молодежной научной конференции. В 3 томах, Казань, 28–30 апреля 2021 года. Том 1. – Казань: ООО ПК «Астор и Я», 2021. – С. 7-9. – EDN NPPPMQ.

10. Савенко А.Е., Савенко П.С. Обеспечение работы электротехнического комплекса современных судов специального назначения с динамическим позиционированием // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021. Т. 23. № 6. С. 99-108. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-6-99-108.

11. Мартынов К.В., Пантелеева Л.А., Благодатских И.А. Оценка энергетических характеристик асинхронного двигателя с совмещённой обмоткой // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021. Т. 23. № 6. С. 109-118. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-6-109-118.

12. Разработка автоматической системы контроля кабелей с помощью квази-распределенных волоконно-оптических датчиков / А. Д. Алькина, А. В. Юрченко, А. Д. Мехтиев [и др.] // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2023. – Т. 15, № 1(57). – С. 125-143.

13. Пассивные фильтры для компенсации гармоник в линиях электропередачи высокого напряжения / Н. П. Боярская, В. П. Довгун, Д. Э. Егоров, А. Ф. Синяговский // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2023. – Т. 15, № 1(57). – С. 144-151.

14. Колибаба, В. И. Оценка влияния тарифного регулирования на устойчивое функционирование и развитие энергокомпаний РФ / В. И. Колибаба, А. С. Тарасова // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2023. – Т. 15, № 1(57). – С. 152-172.

15. Антонов, В. С. Разработка структуры формализованной модели управления всеобщим ресурсосбережением / В. С. Антонов // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2023. – Т. 15, № 1(57). – С. 173-188.

ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА РАБОТУ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

Мирхаликова Д. С.

ПИТТУ, г.Худжанд, Республика Таджикистан

mirkhalikova.d@mail.ru

В статье рассмотрены основные факторы влияющие на работу электрооборудования насосных станций, проведен анализ параметров качество электроэнергии влияющие на работу насосных станций, приведены основные особенности синхронных двигателейнасосных агрегатов насосных станций.

Ключвые слова: показатели качества, синхронный двигатель, электроэнергетика, качества электроэнергии.

IMPACT OF POWER QUALITY ON THE OPERATION OF PUMPING STATIONS

Mirkhalikova D. S.

PITTU, Khujand, Republic of Tajikistan

mirkhalikova.d@mail.ru

The article considers the main factors affecting the operation of electrical equipment of pumping stations, analyzes the parameters of the quality of electricity affecting the operation of pumping stations, and shows the main features of synchronous motors of pumping units of pumping stations.

Keywords: quality indicators, synchronous motor, power industry, power quality.

Электропривод расходует почти 25% всей вырабатываемой электроэнергии в развитых странах. Надежное функционирование и эксплуатация любых объектов электроэнергетической системы невозможно без соблюдения требований к качеству электрической энергии. Изучение проблем влияния качества электроэнергии на срок службы отдельных электроприёмников, в частности насосных агрегатов, является весьма актуальной в условиях развития электроэнергетики страны [1, 6, 7].

К примеру, отклонение напряжения является одним из основных и важнейших показателей качества электрической энергии. В соответствии с

ГОСТ 13109-97 предел установившегося отклонения напряжения на входе электрических приемников равен $\pm 10\%$ (см. на табл. 1). Отклонение напряжения негативно влияет на работу всех приемников системы электроснабжения (СЭС), в частности, ухудшается работа энергетического оборудования электроэнергетических систем, увеличиваются потери мощности, увеличивается пережог топлива для компенсации этих потерь, падает производительность двигателей собственных нужд, что может привести к снижению выработки электроэнергии [7].

Объектом исследования является Б. Гафуровского района Согдийской области Республики Таджикистан, в котором расположены 18 насосных станций оросительной системы средней и большой мощности. Структура потребителей электрической энергии Б. Гафуровского района за 2021 год приведена на диаграмме 1.

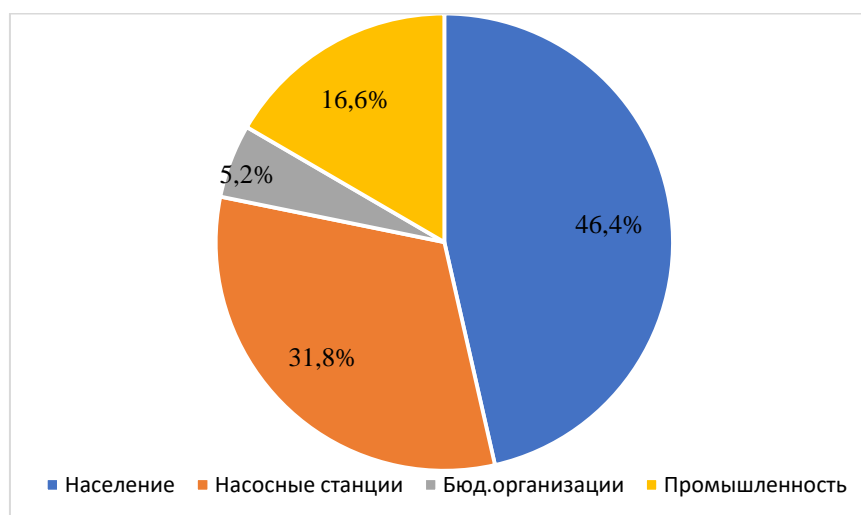


Рис. 1. Структура потребителей электрической энергии за 2021 г. Б. Гафуровского района

Как видно из диаграммы, основным потребителем электрической энергии является население, второе место занимают насосные станции.

Отклонение показателей электрической энергии от нормируемых значений приводит к нарушению режима работы насосных агрегатов и электромагнитной совместимости. Влияние изменения напряжения на синхронных двигателях СД во многом аналогично, как и для асинхронных двигателей АД [2, 4]. Основные отличия состоят в том, что частота вращения не зависит от напряжения. Ток возбуждения для машинного возбудителя не зависит от напряжения сети, а при возбуждении от выпрямительной установки - пропорционален напряжению. С изменением напряжения сети изменяется реактивная мощность СД, что имеет важное

значение, если СД используется для компенсации реактивной мощности в системах электроснабжения СЭС. Характер изменения реактивной мощности, зависящей от режима тепловой нагрузки СД, при отклонении напряжения сети определяется рядом конструктивных параметров и показателей режима работы СД [3, 5].

При несимметрии напряжений сети в синхронных машинах, наряду с возникновением дополнительных потерь активной мощности и нагревом статора и ротора, могут возникнуть опасные вибрации, которые, при недостаточной прочности и наличии дефектов сварных соединений, могут оказаться опасными. При несимметрии токов, не превышающей 30 %, опасные перенапряжения в элементах конструкций, как правило, не возникают. Токи нулевой последовательности протекают постоянно через заземлители. При этом дополнительно высушивается и увеличивается сопротивление заземляющих устройств. Это может быть недопустимым с точки зрения работы релейной защиты, а также из-за усиления воздействия на низкочастотные установки связи и устройства железнодорожной блокировки. На рисунке 2 приведено схематическое изображение влияния нарушения качества электроэнергии на работу синхронных двигателей.



Рис. 2 - Влияние нарушение показателей качества электроэнергии на работу СД.

Как видно, из рисунка отклонение показателей качества электроэнергии практически во всех случаях становится причиной дополнительного нагрева основных электрических частей СД. Это проблема особенно актуально в условиях жаркого климата, так конвективный теплообмен между окружающей средой и основными

частями машины затрудняется. В условиях Согдийской области, где из-за года в год наблюдается повышение температуры окружающей среды, рассмотрение проблемы функционирования СД в условиях жаркого климата требует особого подхода.

Источники

1. Богачёв В.С. Повышение качества энергии в сетях электропитания потребителей // ЭЛЕКТРО. 2011. № 1. – с. 47–51.

2. Дорофеев В.В., Макаров А.А. Активно-адаптивная сеть – новое качество ЕЭС России // Энергоэксперт. 2009. № 4. – с. 28–34.

3. Chareonsrikasem S., Anantavanich K., Prungkhunmuang S., Suwanasri T. Enhancement of substation reliability by retrofitting existing bus configuration applying hybrid switchgear :B3-206 // CIGRÉ, 2012. – 9 p.

4. Мирхаликова Д.С. Анализ состояния системы электроснабжения и перспективы электроэнергетики республики Таджикистан. В сборнике: Региональная энергетика и электротехника: проблемы и решения сборник научных трудов. А.Ю. Александров (гл. редактор). Чебоксары, 2015. с. 161-167.

5. Мирхаликова Д.С. Мероприятия по обеспечению качества электроэнергии. В сборнике: Региональная энергетика и электротехника: проблемы и решения сборник научных трудов. А.Ю. Александров (гл. редактор). Чебоксары, 2015. с. 186-193.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ СОГДИЙСКОЙ ОБЛАСТИ С УЧЕТОМ ОТКЛОНЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ СЕТИ

Мирхаликова Д. С.
ПИТТУ, г.Худжанд, Республика Таджикистан
mirkhalikova.d@mail.ru

В статье проведен анализ проблемы возникающие во время работы электрооборудования насосных станций с системой электроснабжения низкого качество, в частности сделан анализ негативного влияния отклонения напряжения сети на пусковые и рабочие режимы работы насосных агрегатов, а также на примере насосных станций Согдийской области Республики Таджикистан показан причины и количество отключений насосных станций районов области

Ключвые слова: отклонение напряжения, насосные станции, система электроснабжения, синхронный двигатель, пусковые токи.

INVESTIGATION OF PUMPING STATIONS OF THE SUGHD REGION TAKING INTO ACCOUNT THE MAINS VOLTAGE DEVIATION

Mirkhalikova D.S.
PITTU, Khujand, Republic of Tajikistan
mirkhalikova.d@mail.ru

The article provides a detailed analysis of the problems that arise during the operation of electrical equipment of pumping stations with a low-quality power supply system, in particular, an analysis is made of the negative impact of network voltage deviation on the starting and operating modes of operation of pumping units, as well as, using the example of pumping stations in the Sughd region of the Republic of Tajikistan, the causes and number of shutdowns of pumping stations in districts of the region

Keywords: voltage deviation, pumping stations, power supply system, synchronous motor, starting currents.

Отклонение напряжения является одним из основных и важнейших показателей качества электрической энергии. В соответствии с ГОСТ 13109-97 предел установившегося отклонения напряжения на входе электрических приемников равен $\pm 10\%$ (см. на табл. 1). Отклонение напряжения негативно влияет на работу всех приемников системы

электроснабжения (СЭС), в частности, ухудшается работа энергетического оборудования электроэнергетических систем, увеличиваются потери мощности, увеличивается пережог топлива для компенсации этих потерь, падает производительность двигателей собственных нужд, что может привести к снижению выработки электроэнергии [7]. Кроме того, в электродвигателях увеличивается скорость старения изоляции обмоток, что может стать причиной аварийных ситуаций. В трансформаторах увеличиваются потери в стали, что в свою очередь ведет к повышению температуры стали. В воздушных линиях электропередачи увеличивается генерация реактивной мощности, которая может привести к большим подъемам напряжения в сети и тем самым увеличить риск пробоя изоляции электрооборудования или всего электротехнического и энергетического комплекса в целом. Поэтому, исследование влияния качества напряжения сети на работу электроприводов насосных станций является весьма актуальным вопросом.

Таблица 1

Нормы и погрешности измерений показателей качества электроэнергии (ПКЭ) по ГОСТ 13109-97

Параметры		Значения
Свойства электроэнергии		Отклонение напряжения
ПКЭ, единица измерения		Установившиеся отклонения напряжения на входе электроприемника δU_y , %
Интервал усреднения, с		60
Допустимые значения	нормальные	± 5
	предельные	± 10
Погрешность измерения показателей КЭ	абсолютный	$\pm 0,5$
	относительный	

В качестве объекта исследования были приняты насосные станции Согдийской области Республики Таджикистан. График потребления электроэнергии в Согдийской области за последние три года показан на рисунке 1 [6].

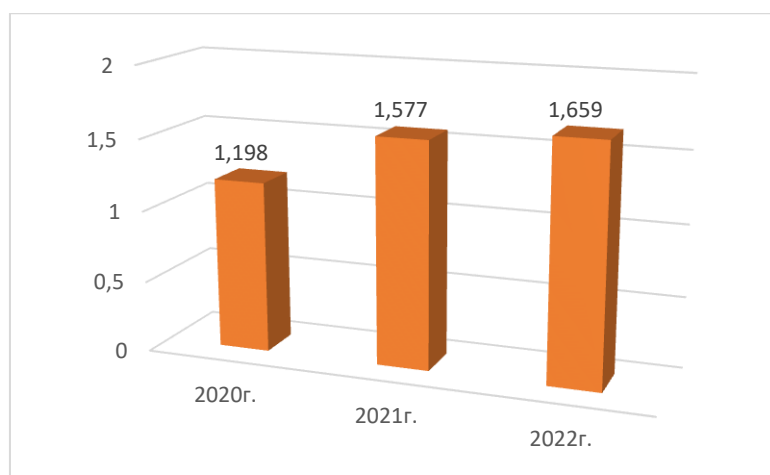


Рис. 1. График потребления электроэнергии Согдийской области за последнее три года

Как видно из графика (см. рис. 1), потребление электроэнергии в Согдийской области имеет максимальные значения в период летних месяцев года. Это связано с тем, что в данный период основными потребителями электрической энергии в Согдийской области являются насосные станции, служащие для орошения поливных земель дехканских хозяйств [3]. Подача этих насосов, в основном, регулируется способом дросселирования трубопроводов, осуществляемого путем введения в нагнетающую магистраль различных заслонок, диафрагм или задвижек [2, 5].

В таблице 2 и рисунке 2 приведены классы напряжений питающих сетей насосных станций Согдийской области и график потребления электроэнергии за последние три года.

Таблица 2

Напряжение питающих сетей насосных станций Согдийской области					
№	Наименование районов	10 кВ	6 кВ	0,4 кВ	6/0,4 кВ
1	Б. Гафуров	-	20	17	-
2	Пенджикент	2	10	7	-
3	Исфара	1	6	4	-
4	Ашт	4	18	18	1
5	Айни	-	2	8	-
6	Истаравшан	-	-	1	-
7	Зафаробод	10	4	-	-
8	Спитамен	-	-	6	-
9	КВД Ходжабакирган	-	2	2	-
10	Дж. Расулов	-	8	5	-
11	Конибодом	-	4	15	-
12	Мастчоҳ	-	16	2	1
13	Гончи	-	4	1	-
Итого		17	94	86	2

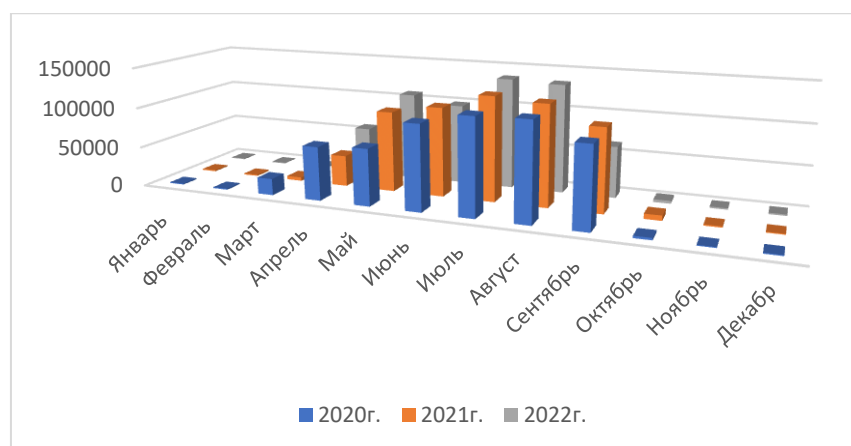


Рис. 2. График потребления электроэнергии насосными станциями в области за последнее три года

Основная часть насосных агрегатов Согдийской области снабжена синхронными электродвигателями большой мощности. Эти электрические машины имеют высокий коэффициент загрузки и большой пусковой ток [9]. Каждый пуск высоковольтного СД сопровождается многократными скачками токов и моментов двигателя, отклонением напряжения, нагревом двигателя и дополнительными потерями, которые уменьшают технический ресурс насосных агрегатов и другого оборудования [3]. Сбои и аварии в работе насосной станции могут возникнуть по причине нарушения динамической устойчивости синхронных электродвигателей, которая в свою очередь возникают из-за сбоев в работе системы электроснабжения и автоматики ввода резерва [1, 8]. В таблице 3 приведена статистика отключений насосных станций в районах Согдийской области Республики Таджикистан в период сезона орошения сельхозземель в 2021 году.



Рис.3. Отключение насосных станций за 2021 год

На основе анализа приведенных в таблице 3 данных, можно сделать вывод, что напряжение питающей сети насосных станций области не достаточно хорошего качества, вследствие чего и возникло столько

аварийных отключений за достаточно короткий период. Как известно, для каждого электродвигателя по рекомендации завода-изготовителя указывается допустимое число пусков в год. Кроме этого, каждый пуск высоковольтных электродвигателей может привести к отклонению напряжения сети, что еще более усугубляет качество напряжения сети. Исходя из вышеизложенного, отклонение напряжения сети негативно влияет на работу электрооборудования насосных станций и для решения данной проблемы необходимо предпринять соответствующие мероприятия.

Источники

1. Дадабаев Ш.Т. Особенности механических характеристик электроприводов с вентиляторным характером нагрузки. Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 2013. № 11. с. 29-34.
2. Лезнев Б.С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздуходувных установках. – М.: Энергоатомиздат, 2006. – 360 с.
3. Мирхаликова Д.С. Анализ состояния системы электроснабжения и перспективы электроэнергетики республики Таджикистан. В сборнике: Региональная энергетика и электротехника: проблемы и решения сборник научных трудов. А.Ю. Александров (гл. редактор). Чебоксары, 2015. с. 161-167.
4. Мирхаликова Д.С. Мероприятия по обеспечению качества электроэнергии. В сборнике: Региональная энергетика и электротехника: проблемы и решения сборник научных трудов. А.Ю. Александров (гл. редактор). Чебоксары, 2015. с. 186-193.

ВЫБОР ВЕТРОВЫХ ГЕНЕРАТОРОВ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ ГИБРИДНЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА ХУДЖАНДА

Насулоев У. У.

Худжандский политехнический институт Таджикского технического университета
имени академика М. С. Осими
nasuloev1998@mail.ru

В статье приведена обзор и анализ внедрения гибридных систем электроснабжения на основе ветровых генераторов в городе Худжанде. Произведено выбор ветровых генераторов на основе использование значительных площадей земельных ресурсов для ВЭУ и среднегодовую скорость ветра по территориям города Худжанда. Определено оптимальный вариант выбора ветровых устройств

Ключевые слова: гибридная система, ветрогенератор, принцип действия, площадей земельных ресурсов, среднегодовая скорость ветра, поверхности земли, параллельная работа, классификация ветроустановок.

SELECTION OF WIND GENERATORS AND THEIR USE FOR HYBRIDPOWER SUPPLY SYSTEMS ON THE EXAMPLE OF THE CITY OF KHUJAND

Nasuloev U. U.

Khujand polytechnical institute of Taji technical university named after academician
M. S. Osimi
nasuloev1998@mail.ru

The article provides an overview and analysis of the introduction of hybrid power supply systems based on wind generators in the city of Khujand. The choice of wind generators was made on the basis of the use of significant areas of land resources for wind turbines and the average annual wind speed in the territories of the city of Khujand. The optimal choice of wind devices has been determined

Keywords: hybrid system, wind generator, principle of operation, areas of land resources, average annual wind speed, earth surface, parallel operation, classification of wind turbines.

В Республики Таджикистан для использования гибридной системы электроснабжения на основе альтернативных источников электроэнергии государством принят новый путь развития сельской электрификации, суть которого заключается в общенациональном переходе к использованию местных возобновляемых источников энергии (ВИЭ), включая нетрадиционные ресурсы. Правительством начиная с 2010 года в целях решения национальной стратегии об энергетической независимости в республике принят Закон Республики Таджикистан «Об использовании возобновляемых источников энергии» и Закон Республики Таджикистан «Об энергосбережении», что ставит задачу для расчёта и анализа гибридной системы электроснабжения на основе ВИЭ для строительства источников энергии на территории Республики Таджикистан. Кроме того, для развития ВИЭ в республике объявлен мораторий на ввоз высокотехнологичного и современного оборудования, что положительно влияет на технико-экономических показателях при внедрении ВИЭ.

В целом по Республике Таджикистан для различных местностей скорость ветра колеблется в широких пределах зависимости от рельефа горной местности и географического расположения. Среднегодовая скорость ветра на высоте от 3 до 5 м в различных регионах республики составляет от 5 до 8 м/с. Среднегодовая скорость ветра по результатам наблюдений изменяется в пределах от 0,8 до 6,0 м/с.

При установке ВЭУ до 20 м и выше скорость ветра повышается от 12 до 15 м/с, в связи с чем целесообразно установить ВЭУ в целях генерирования и использования ветряных ресурсов для повышения уровня энергообеспечение наших объектов. Например, в городе Худжанде эти данные представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Среднегодовая скорость ветра по территории г. Худжанда

Регион	Высота над уровнем моря, м	Скорость ветра, м/с
Худжанд	425	4,6

Таблица 2

Скорость ветра в зависимости от месяца в г. Худжанде

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Скорость ветра, м/с	5,3	5,5	5,6	4,8	4,2	4	4,4	4,4	4	4,2	4,6	4,8

Ветрогенератор (ветроэлектрическая установка или сокращенно ВЭУ) - устройство для преобразования кинетической энергии ветрового потока в механическую энергию вращения ротора с последующим её преобразованием в электрическую энергию.

Существуют классификации ветрогенераторов по количеству лопастей, по материалам, из которых они выполнены, по оси вращения и по шагу винта. Существуют два основных типа ветротурбин - с вертикальной осью вращения «карусельные» и с горизонтальной осью круглого вращения «крыльчатые». Ветрогенераторы, как правило, используют три лопасти для достижения компромисса между величиной крутящего момента (возрастает с ростом числа лопастей) и скоростью вращения (понижается с ростом числа лопастей).

Принцип действия всех ветроустановок один: под напором ветра вращается ветроколесо с лопастями, передавая крутящий момент через систему передач валу генератора, вырабатывающего электроэнергию. Реальный КПД лучших ветровых колес достигает 45% в случае устойчивой работы при оптимальной скорости ветра.



Рис.1 Современные ветровые установки

В таблице 3 приведено 10 самых крупнейших производителей промышленных ветрогенераторов с объёмом производства в МВт-ах.

Таблица 3

Крупнейших производителей промышленных ветрогенераторов

	Название	Страна	Объём производства, МВт.
	<u>Vestas</u>	 Дания	5 842
	<u>Sinovel</u>	 Китай	4 386
	GE Energy	 США	3 796
	<u>Goldwind</u>	 Китай	3 740
	<u>Enercon</u>	 Германия	2 846
	<u>Suzlon Energy</u>	 Индия	2 736
	<u>Dongfang Electric</u>	 Китай	2 624
	<u>Gamesa</u>	 Испания	2 587
	Siemens Wind	 Германия	2 325
	United Power	 Китай	1 600

Ветроэнергетические ресурсы классифицируют в зависимости от среднегодовой скорости или среднегодовой удельной мощности ветра на высотах 10 и 50 м от поверхности земли.

Таблица 4

Классификация ветроэнергетических ресурсов на высотах 10 и 50 м от поверхности земли

Класс	Высота 10 м		Высота 50 м	
	Скорость ветра, м/с	Удельная мощность, Вт/м ²	Скорость ветра, м/с	Удельная мощность, Вт/м ²
1	0–4,4	0–100	0–5,6	0–200
2	4,4–5,1	100–150	5,6–6,4	200–300
3	5,1–5,6	150–200	6,4–7,0	300–400
4	5,6–6,0	200–250	7,0–7,5	400–500
5	6,0–6,4	250–300	7,5–8,0	500–600
6	6,4–7,0	300–400	8,0–8,8	600–800
7	7,0–9,0	400–1000	8,8–11,9	800–1200

ВЭУ содержит ветротурбину и электрогенератор, связанный с валом ветротурбины непосредственно или через редуктор. Мощные ВЭУ работают параллельно с энергосистемой (рисунок 2). Эта параллельная связь обеспечивает постоянство частоты, напряжения и постоянство частоты вращения ветродвигателя. Мощность, которую генератор отдает в сеть, зависит от вращающего момента двигателя и определяется силой ветра. Возможна совместная работа ВЭУ с сетью с соединением через промежуточный преобразователь частоты при переменной частоте вращения ветродвигателя.

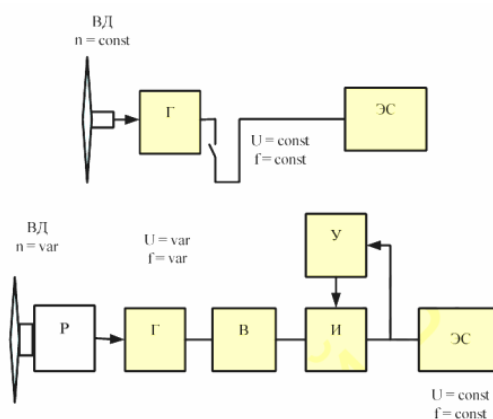


Рис.2 Параллельная работа ветроэнергетической установки с мощной энергосистемой.

В рисунке показана следующие элементы: ВД - ветродвигатель, Р - редуктор, Г - генератор, В - выпрямитель, И - инвертор, У - блок управления, ЭС – энергосистема.

Выпускаются и работают ВЭУ мощностью от нескольких ватт до тысяч киловатт. Выделяют три группы: малой мощности – до 0,1 МВт, средней мощности - от 0,1 до 1,0 МВт, большой мощности - свыше 1 МВт. Ветроустановки каждой группы отличаются друг от друга прежде всего конструктивным выполнением, типом фундамента, способом установки ветроагрегата на ветер, системой регулирования, системой передачи ветровой мощности, способом монтажа и способом обслуживания. В зависимости от мощности генератора ветроустановки подразделяются на классы, их параметры и назначение приведены в таблицу 4.

Таблица 4

Классификация ветроустановок

Класс установки	Мощность, МВт	Диаметр колеса, м	Количество лопастей	Назначение
Малой мощности	До 0,1	3 – 10	3 – 2	Зарядка аккумуляторов, насосы, бытовые нужды
Средней мощности	Более 0,1 до 1,0	25 – 44	3 – 2	Энергетика
Большой мощности	Более 1,0	>45	3 – 2	Энергетика

Использование значительных площадей земельных ресурсов для ВЭУ мощностью 1000 МВт понадобится общая площадь 70–200 км², хотя большая часть этих земель может быть использована в сельском хозяйстве и других нужд. (сама ВЭС занимает 1% общей площади).

Среднегодовая выработка электроэнергии с 1 км² площади ВЭС при разных скоростях ветра приведена в табл. 5.

Таблица 5

Годовая выработка электроэнергии с 1 км² площади ВЭС

Среднегодовая скорость ветра, м/с	5	6	7	8	9
Выработка электроэнергии, млн. кВт·ч/км ²	12	20	26	34	39

Ограничение шумового влияния ВЭС достигается их удалением от населенных пунктов (для ВЭС до 300 м).

Vestas - один из крупнейших в мире производителей промышленных ветрогенераторов мощностью от 850 кВт до 3,0 МВт. Турбины сконструированы на основе проверенных уже в нескольких поколениях

разработок, что позволяет гарантировать передовые на данном рынке производительность и легкость в обслуживании. Рабочие характеристики гарантируют способность вырабатывать энергию в условиях низких и средних ветров при минимальных расходах. Кроме того, конструкция турбин обеспечивает надежность и долговечность эксплуатации, что снижает простои и сохраняет инвестиции. В таблице приведена характеристика ветроустановок с номинальной мощностью 200кВт до 2000кВт.

Таблица 6

Характеристика ветрогенераторов фирмы Vestas

Характеристика	Vestas V25	Vestas V47	Vestas V66	Vestas V80
Диаметр ротора, м	25	47	66	80
Ометаемая площадь, м ²	491	1735	3421	5027
Скорость вращения ротора, об/мин	44	28,5	20	16,7
Мощность основного генератора, кВт	200	660	1650	2000
Мощность малого генератора, кВт	36	200	300	-
Стартовая скорость ветра, м/с	3,5	4	4	4
Номинальная скорость ветра, м/с	13	15	15	16
Предельно-допустимая скорость ветра, м/с	50	50	50	50
Автоматическое ориентирование на ветер	да	да	да	да
Высота мачты, м	30	65	До 80	До 100
Тип мачты	Трубчатый/ решетчатый	Трубчатый	Трубчатый	Трубчатый
Количество лопастей, шт.	3	3	3	3
Тип генератора	Асинхронный трехфазный генератор	Асинхронный трехфазный генератор	Асинхронный трехфазный генератор	4-полюсный двухконтурный генератор
Частота генератора, Гц	50	50	50	50
Цена за ВЭУ, рубл	12 999 000	9 790 000	82 935 000	93 417 000

Как видно из данной таблицы 6 стартовая скорость ветра составляет от 3,5 до 4 м/с.

Таблица 7

Технические характеристики и возможности ветряка 1000 кВт

Мощность	
Номинальная мощность	1000 кВт
Минимально необходимая скорость ветра	2,5 м/с
Номинальная мощность при скорости ветра	11,5 м/с
Отключение при скорости ветра	23,0 м/с
Максимально допустимая скорость ветра	60,0 м/с
Ротор	
Диаметр	62,0 м
Площадь охвата	3019,0 м ²
Количество лопастей	3
Тип	LM 29
Материал	GFK
Коробка передач	
Тип	Шпоры/планетарный
Этапы	3.0
Соотношение	1:54
Генератор	
Тип	Асинхронный
Количество	1
Скорость, максимальная	1000,0 об/мин
Напряжение	690,0 В
Подключение к сети	IGBT
Частота сети	50 Гц
Мачта	
Высота ступицы	68,5/91,5 м
Вес	
Общий	194 т
Цена	
С комплектом	6750000 сомони

Как видно из таблицы минимально необходимая скорость ветра составляет 2,5 м/с, и вполне подходит для промышленной зоны города Худжанда, так как среднегодовая скорость ветра города Худжанда составляет 4,6 м/с.

Как видно по выбору ветрового агрегатата, что в Таджикистане создает благоприятные условия для установки такого оборудования. В основном для наиболее эффективности использование возобновляемых источников энергии для промпредприятия установлены ветрогенераторы. Так как среднегодовая скорость ветра в г. Худжанда составило 4,6 м/с, установлены две ветрогенераторы фирмы Vestas мощность каждого составляет 1МВт, и стартовая скорость данной ветроустановки составляет 2,5 м/с что вполне подходит для данной местности.

Источники

1. Ахмедов, Х. М. Возобновляемые источники энергии в Таджикистане: состояние и перспективы развития / Х. М. Ахмедов, Х. С. Каримов, К. Кабутов // Физико-Технический институт им. С. У. Умарова Академии наук Республики Таджикистан. – Доклад. – Душанбе: – 2010г. – 30 с.
2. Киргизов, А.К. Экономическая выгода от использования солнечного теплоснабжения в Таджикистане / А. К. Киргизов, М. Б. Иноятов // Вестник Таджикского технического университета. – 2009. – № 5. С. 32-34.
3. Таджикистан. Карты Таджикистана. Подробная карта Таджикистана [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://geo10.ru/963085.html>.
4. МБРР / Всемирный банк, Энергетический кризис в Таджикистане взимный период: Альтернативные варианты обеспечения баланса спроса и предложения, 2012. – 111 с.
5. Петров, Г.Н. Малая Гидроэнергетика Таджикистана / Г. Н. Петров, Х.М. Ахмедов // Гидротехническое строительство. – 2010. – № 12. – С. 49-56.
6. Осадчий, Г.Б. Возобновляемые энергоисточники для автономного энергоснабжения / Г. Б. Осадчий // Энергетик. – 2002. – Вып. 4. – С. 23-25.
7. Боровков В.М., Бородина О.А. Развитие малой энергетики, как элемент стратегической программы и энергосберегающей политики России // Энергетическая безопасность. 2005: Тез. Докл. С-Пб: Ленэкспо. 2005. С.10-12.
8. Киргизов, А.К. К вопросу использования малой гидроэнергетики в условиях Таджикистана./А. К. Киргизов. М. Б. Иноятов // Вестник Таджикского технического университета. – 2008. – № 2(18). – С. 38-42.
9. Закон Республики Таджикистан об использовании возобновляемых источников энергии №587: [Принят Постановлением Маджлиси намояндагон]
10. Маджлиси Оли Республики Таджикистан от 23 дек.2009 г.: по состоянию на 23 нояб.2015 г.№587]. – Ирфон. 2009. – 8 с.
11. <https://ru.climate-date.org>
12. <https://ru.meteotrend.com>
13. <https://www.meteoblu.com>

ИННОВАЦИОННАЯ СИСТЕМА ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ ДОСТУПА К ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

Полетаев Д.А.¹, Соколенко Б.В.²

^{1,2} Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, г.

Симферополь,

^{1,2} poletaevda@cfuv.ru

В работе рассматривается концепция организации системы для платного подключения потребителей электрической энергии в виде малых торговых точек и других клиентов. Рассматриваются аспекты конструирования и функционирования разработки. Делается вывод о применимости концепции.

Ключевые слова: электрическая энергия, потребители энергии, счетчик, учет энергии, бесконтактный платеж.

INNOVATIVE SYSTEM OF PROVIDING ACCESS TO THE ELECTRIC NETWORK

Poletaev D.A.¹, Sokolenko B.V.²

^{1,2} V.I. Vernadsky crimean federal university, Simferopol,

^{1,2} poletaevda@cfuv.ru

In this paper concept of organizing a system for paid connection of consumers of electrical energy in the form of small retail outlets and other customers is considered. The aspects of designing and functioning of the development are considered. The conclusion is made about the applicability of the concept.

Keywords: electrical energy, energy consumers, meter, energy metering, contactless payment.

В курортных и туристических зонах работает множество выносных торговых точек, экспозиционных комплексов. Большинству из них требуется электрическая энергия для производственных процессов, таких как термическая обработка, либо поддержание заданных параметров [1]. Некоторые предприниматели решают вопросы энергопоставок за счет подключения к близлежащим городским сетям, таким как жилые (хозяйственные) помещения, остальные – за счет использования электрических генераторов. Такие устройства, на которые не

распространяются нормы по токсичности, кроме экологического загрязнения, ощутимо шумят, отталкивая потенциальных посетителей и гостей.

Современные системы учета электрической энергии – компактные полностью электронные устройства [2]. Их можно встраивать в элементы туристической инфраструктуры без существенных изменений. Вместе с тем, биллинговые системы и системы бесконтактной оплаты получают широкое распространение. Представляется целесообразным совместить устройство для учета и предоставления электрической энергии с терминалами оплаты.

Целью работы является предложение и анализ концепции системы для платного предоставления доступа к электрической сети предпринимателям и другим клиентам.

Требования, предъявляемые к предлагаемой системе, представляющую собой разъем для подключения потребителей электрической энергии с устройством оплаты, следующие: высокая надежность, вандалостойкость, пыле-, влагозащищенность, универсальность. Кроме того требуется предусмотреть электронные компоненты для учета потребленной электрической энергии и электронной (бесконтактной) оплаты. Требование высокой надежности предусматривает возможность длительной безотказной работы системы. Разработка должна работать без регулировки круглосуточно и круглогодично.

В концепции системы для платного предоставления доступа к электрической сети предусматривается сочетание следующих блоков: предохранительный блок, механический контактный разъем для подключения потребителей электрической энергии (розетки), блок учета электрической энергии, блок контроля оплаты, модуль подключения к электрической сети, индикатора. Рассмотрим каждый элемент отдельно. Предохранительный блок, содержащий датчики дифференциального тока и тока, необходим для отключения электрического тока от потребителей при превышении допустимых значений и попадания жидкостей (посторонних предметов) внутрь системы. Механический контактный разъем (розетка) для подключения потребителей электрической энергии необходим для подключения 2-х фазных, 3-х фазных потребителей электрической энергии. Целесообразно реализовать функции заряда мобильных устройств, для чего предусматривается организация разъема типа usb (а также других разъемов для цифровых устройств) в комплексе с преобразователями напряжения. Блок учета электрической энергии

представлен элементом контроля тока и напряжения для суммирования потребленного количества энергии. Блок контроля оплаты содержит бесконтактный блок приема платежей с банковских карт, а также интернет-модуль для оплаты через биллинговые системы. Модуль подключения к электрической сети представлен соединениями и блоками преобразования напряжений для различных устройств: постоянное (5 В, 19 В для заряда мобильных устройств), переменное (промышленные значения напряжений 220 В и 380 В). Индикаторный блок необходим для вывода информации о платежах, а также текущему энергопотреблению.

Разработка может функционировать следующим образом. При необходимости подключения к электрической сети собственник подключает необходимое устройство (таковым может быть холодильный шкаф, ларек, зарядное устройство) к системе через разъем, производит оплату через биллинговую систему либо бесконтактное устройство. При отключении потребителей электрической энергии производится пересчет переданной электроэнергии и возврат платежей на указанный счет.

Работа по данному проекту ведется в студенческом конструкторском бюро физико-технического института Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Система может применяться как в курортных регионах, так и в общественных местах.

Источники

1. Быстрицкий Г.Ф. Энергосиловое оборудование промышленных предприятий. – М.: academia, 2003. – 452 с.
2. Фрике К. Курс цифровой электроники / К. Фрике. М.: техносфера: 2004. – 384 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ СЛОЖНОЗАМКНУТЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Пряшникова П.Ф.

Филиал МГУ имени М.В. Ломоносова в городе Севастополе, старший
преподаватель кафедры Прикладной математики
ppf99999@rambler.ru

Моделирование режимов является неотъемлемой частью проектирования и эксплуатации электрических сетей сложной структуры. В работе рассматриваются электрические сети, математические модели которых заданы ненаправленными графами. Операторы ветвей графов могут быть заданы во временной, частотной и комплексной областях. Проведена сравнительная характеристика различных методов моделирования сложно замкнутых электрических сетей. Предложен метод решения уравнений установившихся режимов электрических сетей в частотной области.

Ключевые слова: моделирование, электрические сети, линейные модели, нелинейные модели.

SIMULATION OF MODES OF COMPLEXLY-CLOSED ELECTRIC NETWORKS

Pryashnikova P.F.

Sevastopol Branch, Lomonosov Moscow State University, Senior Lecturer,
Department of Applied Mathematics
ppf99999@rambler.ru

Simulation of conditions is an integral part of the design and operation of electrical networks of complex structure. The paper considers electrical networks, the mathematical models of which are given by undirected graphs. Graph branch operators can be specified in the time, frequency, and complex domains. A comparative description of various methods for modeling complexly closed electrical networks has been carried out. A method for solving the equations of steady-state modes of electrical networks in the frequency domain is proposed.

Keywords: modeling, electrical networks, linear models, non-linear models.

При проектировании и эксплуатации электрических сетей сложной структуры используются математические модели различного типа. Чаще всего моделирование производится с помощью пакетов прикладных программ [1,2]. В работе рассматривается задача

моделирования установившихся режимов электрических сетей, математические модели которых заданы ненаправленными графами. Операторы ветвей графов могут быть заданы во временной, частотной и комплексной областях.

Рассматривается сложно замкнутая электрическая сеть, математическая модель которой заданная ненаправленным графом. Перенумерованные узлы графа соответствуют потребителям и источникам электрической сети, перенумерованные ветви графа соответствуют линиям связи электрической сети. Число узлов графа – n . Обозначим множество номеров ветвей, соединяющих k -й узел с одним из узлов цепи через L_k ($k = 1, \dots, n$); $L_{k+} = \{l \mid l \in L_k; k > q(k, l)\}$; $L_{k-} = \{l \mid l \in L_k; k < q(k, l)\}$, где $q(k, l)$ – номер узла, который соединен l -й ветвью с k -м узлом.

Решение уравнений установившихся режимов электрических цепей обычно находят методом Ньютона-Рафсона [5, с. 21-27], который требуют задания начальных приближений, не гарантирует одновременного определения всех решений и может расходиться. Методы решения уравнений установившихся режимов электрических сетей, свободные от этих недостатков, могут быть основаны на применении результата [3, с. 55-57], достаточных или необходимых условий отсутствия решений на заданном многомерном параллелепипеде. В работе предлагается использовать необходимые условия отсутствия решений уравнений в вещественной области.

Независимые уравнения первого закона Кирхгофа соответствуют линейным уравнениям установившегося режима операторов ветвей электрической сети в комплексной области:

$$I_k = \sum_{l \in L_{k+}} I_{q(k,l)} - \sum_{l \in L_{k-}} I_{q(k,l)} = \sum_{l \in L_{k+}} Y_l (U_k - U_{q(k,l)}) - \sum_{l \in L_{k-}} Y_l (U_{q(k,l)} - U_k) = \sum_{l \in L_k} Y_l U_k - \sum_{l \in L_k} Y_l U_{q(k,l)},$$

где U_k – потенциал k -ого узла, I_k – ток в k -м узле; Y_l – проводимость l -й ветви; ($k = 1, \dots, n$). Последнее уравнение может быть записано в виде

$$\begin{cases} I_k = Y_k U_k + \mu_k; \\ Y_k = \sum_{l \in L_k} Y_l; \\ \mu_k = - \sum_{l \in L_k} Y_l U_{q(k,l)}; (k = 1, \dots, n). \end{cases} \quad (1)$$

Система уравнений (1) в вещественной области имеет вид

$$\left\{ \begin{array}{l} I_{(re)k} = Y_{(re)k}U_{(re)k} - Y_{(im)k}U_{(im)k} + \mu_{(re)k}; \\ I_{(im)k} = Y_{(im)k}U_{(re)k} + Y_{(re)k}U_{(im)k} + \mu_{(im)k}; \\ Y_{(re)k} = \sum_{l \in L_k} Y_{(re)l}; \quad Y_{(im)k} = \sum_{l \in L_k} Y_{(im)l}; \\ \mu_{(re)k} = \sum_{l \in L_k} (-Y_{(re)l}U_{(re)q(l,k)} + Y_{(im)l}U_{(im)q(l,k)}); \\ \mu_{(im)k} = \sum_{l \in L_k} (-Y_{(im)l}U_{(re)q(l,k)} - Y_{(re)l}U_{(im)q(l,k)}); \quad (k = 1, \dots, n). \end{array} \right. \quad (2)$$

Уравнения баланса мощностей являются нелинейными: $I_k \bar{U}_k = \bar{S}_k$ или $Y_k U_k \bar{U}_k + \mu_k \bar{U}_k = \bar{S}_k \Leftrightarrow Y_k |U_k|^2 + \mu_k \bar{U}_k = \bar{S}_k \quad (k = 1, \dots, n)$.

Последнее уравнение в вещественной области приводится к виду

$$\left\{ \begin{array}{l} Y_{(re)k}U_{(re)k}^2 + Y_{(re)k}U_{(im)k}^2 + \mu_{(re)k}U_{(re)k} + \mu_{(im)k}U_{(im)k} - S_{(re)k} = 0; \\ Y_{(im)k}U_{(re)k}^2 + Y_{(im)k}U_{(im)k}^2 + \mu_{(im)k}U_{(re)k} - \mu_{(re)k}U_{(im)k} + S_{(im)k} = 0; \\ (k = 1, \dots, n). \end{array} \right. \quad (3)$$

Система (2) и (3) нелинейных уравнений операторов ветвей в вещественной области состоит из квадратичных уравнений относительно переменных $U_{(re)k}, U_{(im)k} \quad (k = 1, \dots, n)$. В [4, с. 34-37] предложен численный метод решения систем полиномиальных уравнений, основанный на применении необходимых условий отсутствия нулей на заданном прямоугольнике полиномиальных функций двух переменных. В работе предложен метод распространения этих результатов на квадратичные функции многих переменных.

Источники

1. Тошходжаева М.И., Каримов И.Р., Грачева Е.И. Моделирование и сравнение основных параметров электроэнергетической системы в нормальном и аварийном режимах с помощью прикладной программы Matlab // Вестник КГЭУ, 2021, том 13, № 4(52). С.113-122.

2. Русина А.Г., Серохвостов Д.А., Колесников Д.И., Белоглазов А.В. PSCAD как инструментальный создателя имитационной модели электроэнергетической системы с возобновляемыми источниками энергии // Вестник КГЭУ, 2021, том 13, № 1 (49). 163-176.

3. Пряшников П.Ф. Не итерационный метод решения нелинейных уравнений установившихся режимов электрических сетей // Электротехника, 2019, №4. С.54-58.

4. Пряшникова П. Ф. D – разбиение при полиномиальной зависимости коэффициентов многочлена от двух параметров // Автоматика и телемеханика. 2021. №3. С. 32-46.

5. Joe H. Chow, Juan J. Sanchez-Gasca. Power System Modeling, Computation, and Control. JohnWiley & Sons Ltd: USA. 2020.

ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ РЫНКИ СУРЬМЫ ТАДЖИКИСТАНА ДО 2025 г.

Рахимов.Х.Ш.¹, Бахтиёр М.Н.², Кадиров. А.А.³, Бадалов А.Б.⁴
Горно-металлургический институт Таджикистана г. Бустон Таджикский
технический университет им. М.С. Осими г. Душанбе
hayotrahimi95@mail.ru¹, bakhtiyar1971@mail.ru², abduushka2021@mail.ru³,
badalovab@mail.ru⁴

Успешное решение четвертой стратегической задачи Республики Таджикистан зависит от таких отраслей промышленности, как химическая, горнодобывающая, горноперерабатывающая и металлургическая, ритмичное функционирование которых обеспечивается энергетической и транспортной индустрией. Комплексная переработка многочисленных местных, полезных ископаемых, расположенных на территории Республики Таджикистан способствует появлению новых производственных объектов и рабочих мест, перехода от производителя сырья и полуфабрикатов до производителя готовой продукции и решению социально-экономических задач.

Ключевые слова: Четвертая стратегическая задача РТ, *сурьма*, развития экономики Республики, мировое производство сурьмы, стабилизации рынка, перспективы производства сурьмяного концентрата.

DEVELOPMENT FORECAST ANTIMONY MARKETS TAJIKISTAN UNTIL 2025

Rakhimov H.G.¹, Bakhtiyor M.N.², Kadirov A.A.³, Badalov A.B.⁴
Mining and Metallurgical Institute of Tajikistan Buston
Tajik Technical University named after M.S. Azimi G.Monday
hayotrahimi95@mail.ru¹, bakhtiyar1971@mail.ru², abduushka2021@mail.ru³,
badalovab@mail.ru⁴

The successful solution of the fourth strategic task of the Republic of Tajikistan depends on such industries as chemical, mining, processing and metallurgical industries, the rhythmic functioning of which is ensured by the energy and transport industries. The complex processing of numerous local minerals located on the territory of the Republic of Tajikistan contributes to the emergence of new production facilities and jobs, the transition from a producer of raw materials and semi-finished products to a producer of finished products and the solution of socio-economic problems.

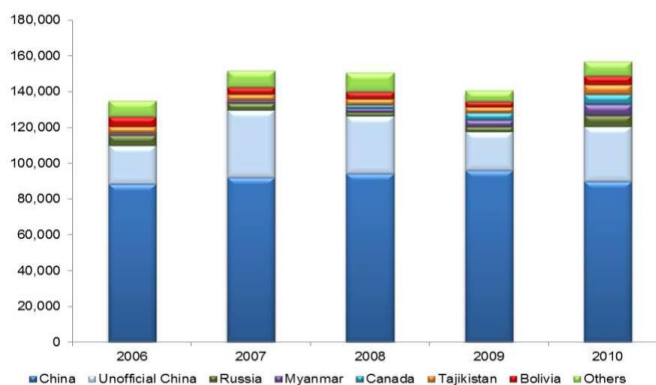
Keywords: The fourth strategic task of the Republic of Tatarstan, antimony, development of the economy of the republic, world production of antimony, market stabilization, prospects for the production of antimony concentrate

Металлическая сурьма слишком хрупкая, чтобы их можно было использовать в отдельности, и в большинстве случаев должна быть включена в сплав или соединение. По этой причине его развитие было медленным до тех пор, пока военные не заявили о создании нового рынка сбыта, а Рус-японская война 1905 года вызвала спрос. В то время и во время Первой мировой войны широко использовалась сурьма [1], поскольку оно было обнаружено лучшим легированным материалом для производства боеприпасов, способных к проникновению брони. Разнообразные соединения, содержащие сурьму в качестве основных компонентов, также использовались для других типов боеприпасов, таких как детонаторы, маршрутные пули и арсенал. Начало массового производства автомобилей дало дальнейшее повышение для сурьмы, поскольку она является основной составляющей батареи свинцовой кислоты [2].

Самородная металлическая сурьма встречается редко. Сурьма (Sb) обычно встречается вместе со свинцом, медью и серебром, известны комплексные полиметаллические руды, содержащие также молибден, вольфрам, цинк, индий и висмут. Существует более 100 минералов сурьмы, хотя сульфидный минерал антимонит (Sb_2S_3), безусловно, является основным. Около 80% продукции сурьмяных рудников перерабатывается в триоксид сурьмы (некоторые из них используются в качестве сырья для производства металла и других продуктов), который используется в основном в составах антипиренов для текстиля, пластмасс и резины, а также в катализаторах для производства полиэтилентерефталат (ПЭТ) [3].

Металлическая сурьма в основном используется в качестве ингредиента в сплавах, где она придает твердость, прочность, антикоррозионные и другие свойства. Сурьмянистый свинец используется в основном для автомобильных и резервных аккумуляторов. Другое применение - припои, боеприпасы, коррозионностойкие трубы и кабельная оболочка.

Согласно показателям, определенным Roskill, рост производства сурьмы в Таджикистане удвоился в период с 2006 по 2010 годы [4].



В таблице 1 представлены основные производители сурьмы и дана оценка китайских мощностей основных производителей. Крупнейшими производителями в остальном мире являются Beaver Brook в Канаде, GeoPro Mining в России, Consolidated Murchison в Южной Африке и Таджикистане (в настоящее время принадлежит Американская компания «Comsup Commodities Inc.» в ООО СП «Анзоб»). Согласно исследованию Roskill, производство металлической сурьмы в Республике Таджикистан развивается с 2010 года [4].

По оценкам Roskill, добыча на руднике упала со 115 тыс. тонн в 2010 году до 80 тыс. тонн в 2017 году. Сокращение поставок сырья из Китая было частично компенсировано увеличением поставок в Таджикистане, России и Австралии [4].

Как показано автор работа [4], объем производства металлической сурьмы в мире снизился, особенно в Китайской Народной Республике, но по показателям, представленным на рисунке 1, за последние пять лет 2014-2019 гг. концентрата и металлической сурьмы из Республики Таджикистан увеличивается.

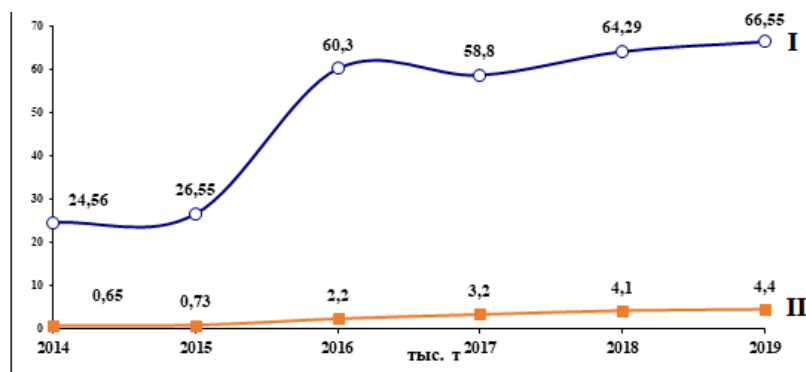


Рис. 1. Объем производства сурьмяного концентрата и металлической сурьмы в Республике Таджикистан за 2014-2019 годы показан в соответствии с программой индустриализации Республики Таджикистан на 2020-2025 годы.

Согласно статистике, представленной на рисунке 1, объем

производства сурьмяного концентрата в Республике Таджикистан за последние пять лет увеличился с 24,56 до 66,65 тыс. тонн, при этом обеспечен рост производства более чем в 2,2 раза (рис 2. «I»). За последние пять лет объем производства металлической сурьмы увеличился с 0,65 до 4,4 тыс. тонн, обеспечен рост производства более чем в 4 раза (рис. 1. «II»).

В 2021 году по сравнению с предыдущими годами производство сурьмы увеличилось на 4,1 процента. Наиболее заметные темпы роста были зафиксированы в 2020 году, когда экспорт увеличился на 150%. За рассматриваемый период мировой экспорт достиг пикового значения в 2021 году и, вероятно, продолжит рост в ближайшем будущем. Рост в последние годы был также обеспечен увеличением производства сурьмы в Таджикистане, России и Словакия.

В стоимостном выражении Таджикистан, Китай и Вьетнам составили страны с самым высоким уровнем экспорта в 2021 году, на которые вместе приходилось 63% мирового экспорта. Нидерланды, Индия, Южная Корея, Оман, Мьянма, США и Словакия несколько отстали, вместе составляя еще 27% [5].

На Рисунке 2 показана перспектива производства концентрата и сурьмы на 2020-2025 годы. Согласно представленной на рисунке перспективе, объем производства сурьмяного концентрата в ближайшие пять лет, 2020-2025 годы, будет увеличен с 66,6 до 116,6 тыс. тонн, что позволит увеличить производство почти в 2 раза. Также объем производства металлической сурьмы в ближайшие пять лет, 2020-2025 годы, будет увеличен с 4,4 до 23 тысяч тонн, что позволит увеличить производство почти в 2 раза [6].

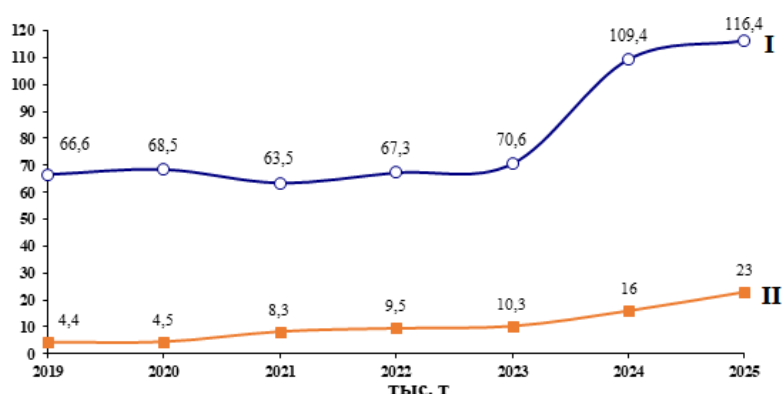


Рис. 2. Перспективы производства сурьмяного концентрата-«I» и металлической сурьмы-«II» в 2020-2025 годах показаны согласно программе индустриализации Республики Таджикистан.

В Таджикистане добыча сульфидно – сурьмяных концентратов производится на ООО СП «Анзоб» из месторождений Джижикруд и в

районе «Кончоч» Айнинского района ведется строительство предприятия по добыче золота и сурьмы закрытым акционерным обществом «Талко Голд». Стоит отметить, что группа рудников Канчоч состоит из трех структур: Чолбой (золото и серебро), Канчоч (золото, серебро, ртуть, флюорит) и Шахкон (золото, сурьма, маргимуш (мышьяк, химический элемент), флюорит). По предварительным оценкам, месторождение Кончоч содержит 268 тысяч тонн сурьмы.

На ООО «СП «Анзоб» переработка сульфидно-сурьмяного концентрата проводится при высоких температурах более 900 °С и в зависимости от крупности исходного сырья, может достигать 1100-1200°С. Производственный процесс пирометаллургии, применяемый для переработки сульфидно - сурьмяных минеральных руд Республики Таджикистан, которые имеют полиметаллический состав, требует модернизации, как с точки зрения эффективности и экологии. По анализам, проведенным учеными в данной области, было определено, что одной из основных причин снижения производства металлической сурьмы в Китайской Народной Республике являются экологические факторы. В пирометаллургическом процессе в атмосферу выбрасывается большое количество выхлопных газов.

Экономический эффект новой технологии может достигаться за счет хлорирующего обжига сурьмяных концентратов, нового способ выщелачивания (с новым реагентами и новыми режимами) конденсации и улавливания сурьма содержащих соединений, электролиз чисто металлическая сурьмы товарного продукта. Особое значение метода хлорирующего обжига для промышленности Республики Таджикистан обусловлено наличием природных ресурсов: большого запаса местного хлорирующего агента, относительно дешёвой электрической энергией и воды.

Извлечение металлическая сурьмы осуществляется по новой технологии, с образованием чистой металлической сурьмы (98,53%) [7,8,9].

Заключения: В условиях Республики Таджикистан исследования в области сурьмяной металлургии имеют особое значение для успешного осуществления стратегической цели индустриализации нашей страны — перехода от аграрного государства к индустриально-аграрному. Наличие богатых природных ресурсов и многоэлементных месторождений полезных ископаемых, относительно недорогой и доступного источника электроэнергии являются надежной основой для развития металлургической промышленности нашего государства.

В глобальном масштабе первичное производство сурьмы в настоящее время изолировано в нескольких странах.

Следовательно, сурьма в настоящее время считается критическим и стратегическим материалом.

Источники

1. Majzlan, J. Primary and secondary minerals of antimony. *Antimony* 2021, 17–47.
2. Anderson, C.G. The metallurgy of antimony. *Geochemistry* 2012, 72, 3–8.
3. Roskill Consulting Group Limited, 2011, Study of The Antimony Market, July.
4. Roskill Consulting Group Limited, 2018, Antimony Global Industry, Markets and Outlook, <https://roskill.com/market-report/antimony/July>.
5. Мир - Сурьма - анализ рынка, прогноз, размер, тенденции и идеи Please mention the Source: <https://www.indexbox.io/store/world-antimony-market-analysis-forecast-size-trends-and-insights/>
6. Программа ускоренной индустриализации Республики Таджикистан на 2020-2025 годы. Душанбе-2020, № 293, 65 стр
7. Рахимов Х.Ш., Кодиров А.А., Бадалов А.Б. Хлорирующий обжиг механоактивированных сульфидных концентратов сурьмы хлоридом натрия. Докл. НАНТ, 2021, т.64, №9-10, с.583-587.
8. Рахимов Х.Ш., Кодиров А.А., Бадалов А.-Способ переработки механоактивированных сульфидных концентратов.- Малый патент №ТJ 1206. 2021, 8с
9. Рахимов Х.Ш., Эшов Б.Б., Бадалов А.Б, Разыков З. А. Эффективная технология переработки сульфидно-сурьмяного концентрата хлорирующим обжигом, Горный вестник Узбекистана 2023, № 1.

СУЩЕСТВУЮЩИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДЕТАНДЕР-ГЕНЕРАТОРНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Родионов О. В.¹, Денисова А.Р.²

^{1,2} ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

^{1,2} o_rodionov1990@mail.ru

В данной работе рассматриваются существующие возможности применения детандер-генераторных установок для выработки электроэнергии, а также приведены примеры исследований и экспериментов.

Ключевые слова: детандер-генераторная установка, выработка электроэнергии, объекты.

EXISTING POSSIBILITIES OF USING EXPANDER-GENERATOR SETS FOR ELECTRICITY GENERATION

Rodionov O.V.¹, Denisova A. R.²

^{1,2} FGBOU VO "KGEU", Kazan, Republic of Tatarstan

^{1,2} o_rodionov1990@mail.ru

This paper examines the existing possibilities of using expander generator sets for generating electricity, and also provides examples of research and experiments.

Keywords: expander-generator set, power generation, object.

В условиях необходимости снижения затрат выработку электроэнергии, применение детандер-генераторных установок может быть эффективным решением. Они представляют собой комплексное технологическое решение, которое используется для генерации электроэнергии. В данной статье мы рассмотрим существующие возможности применения детандер-генераторных установок для выработки электроэнергии, а также приведем примеры исследований и экспериментов, проводимых в России.

Одним из перспективных направлений применения детандер-генераторных установок является их использование на газопроводах. В настоящее время многие газопроводы оснащены компрессорными станциями, которые используют газовые турбины для компримирования

газа. Однако, при этом теряется значительное количество энергии, которое можно было бы использовать для выработки электроэнергии. Применение детандер-генераторных установок позволило бы значительно повысить эффективность использования газового потока на газопроводах и снизить затраты на производство электроэнергии.

В России проводится множество исследований и экспериментов по применению детандер-генераторных установок на объектах транспорта газа. В одном из таких исследований, проведенном в Национальном исследовательском ядерном университете «МИФИ», было исследовано применение детандер-генераторных установок на газопроводах. Были проведены эксперименты, которые показали эффективность использования детандер-генераторных установок на газопроводах [1].

Кроме того, в другом исследовании, проведенном в Институте энергетических проблем транспорта Российской академии наук, были исследованы возможности применения детандер-генераторных установок на судах, которые используют газ в качестве топлива. Использование детандер-генераторных установок на судах также имеет экологические преимущества. При сжигании газа на судах образуется значительное количество оксидов азота, которые являются вредными для окружающей среды. Применение детандер-генераторных установок позволяет снизить количество оксидов азота и других вредных выбросов, что улучшает экологическую обстановку [2].

Существует также потенциал для использования детандер-генераторных установок на объектах транспорта газа, которые используются для транспортировки газа по трубопроводам. В данном случае, детандер-генераторные установки могут использоваться для выработки электроэнергии на компрессорных станциях, которые используются для поддержания давления в газопроводах [3,4].

Детандер-генераторные установки также могут использоваться для выработки электроэнергии на нефтегазовых платформах и других объектах, связанных с добычей и переработкой углеводородных ресурсов. В таких условиях газ часто является одним из основных топливных источников, и использование детандер-генераторных установок позволяет оптимизировать процесс использования газа и повысить его эффективность [5].

Также можно использовать детандер-генераторные установки на объектах хранения газа, таких как подземные газовые хранилища. Это позволяет снизить затраты на производство электроэнергии и обеспечить надежное энергоснабжение на объекте.

Наконец, детандер-генераторные установки могут использоваться на объектах, связанных с производством водорода. В данном случае, детандер-генераторные установки могут использоваться для выработки электроэнергии при электролизе воды или для поддержания необходимых параметров процесса [6].

Таким образом, исследования показывают, что детандер-генераторные установки могут быть эффективно использованы для выработки электроэнергии. Применение этих установок позволит повысить эффективность использования газового потока и снизить затраты на производство электроэнергии, а также улучшить экологическую обстановку [7].

Источники

1. Киселев, В.А. Применение детандер-генераторных установок на объектах транспорта газа / В.А. Киселев, А.В. Кузьмин // Электричество. - 2019. - № 7. - с. 14-19.

2. А.В. Иванов, С.А. Кузнецов, А.И. Рябов // Применение детандергенераторных установок на судах, использующих газ в качестве топлива // морская техника. 2019. - № 7. - с. 14-19.

3. И.С. Иванов, А.А. Петров, С.А. Смирнов /исследование возможностей применения детандер-генераторных установок на газопроводах // Вестник московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. - 2018. - № 5. - с. 38-42.

4. С. Демин, А. Бондаренко, В. Шевцов, И. Мрозова/Исследование цикла когенерации двигателя с детонационной волной // Международный журнал вращающихся машин, 2014, идентификатор статьи 584968.

5. В.С. Агабабов, А. В. Корягин, А. Ю. Архарова/Сравнительный анализ влияния различных способов подогрева газа в детандер-генераторном агрегате на изменение тепловой экономичности тэс// известия высших учебных заведений. проблемы энергетики. – 2005. – № 1-2. – с. 11-21. – edn kgydbz.

6. Дж. Махуль, С. Л. Мурад/Теоретическое и экспериментальное исследование цикла, основанного на детонации // Международный журнал водородной энергетики, 2014, 39(23), 12123-12131.

7. Р. З. Гатина, Н. М. Гафуров, Р. Р. Зайнуллин /Перспективы развития малой энергетики с использованием топливных элементов // Вестник казанского государственного энергетического университета. –

2018. – Т. 10, № 1(37). – С. 88-96. – EDN x

8. Хабибуллин, Р. М. Мониторинг линий воздушных линий электропередачи / Р. М. Хабибуллин, О. В. Воркунов // Электрические сети: надежность, безопасность, энергосбережение и экономические аспекты : Материалы международной научно-практической конференции, Казань, 22 апреля 2022 года / Редколлегия: В.В. Максимов (отв. редактор) [и др.]. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. – С. 277-281. – EDN ZLSPDL.

9. Феоктистов, Д. И. Контроль неисправностей силового трансформатора 110/10 кВ / Д. И. Феоктистов, О. В. Воркунов // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2022. – № 6. – С. 17-20. – EDN GSLJSE.

10. Биодизельное топливо. ЧАСТЬ II. теплофизические свойства систем, участвующих в процессе получения биодизельного топлива с использованием рабочих сред в сверхкритическом флюидном состоянии / С. В. Мазанов, З. И. Зарипов, Ф. М. Гумеров [и др.] // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2022. – Т. 24, № 5. – С. 35-60. – DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-5-35-60. – EDN SEYJZR.

11. Виноградов, А. В. Анализ парка и оценка коммутационного ресурса выключателей 10 кВ филиала ПАО "Россети центр" - "Орелэнерго" / А. В. Виноградов, А. А. Лансберг // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2022. – Т. 24, № 5. – С. 61-73. – DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-5-61-73. – EDN EOMFXV.

12. Спектроскопическое исследование поведения органических примесей в технологических водах тепловых электростанций / А. А. Филимонова, А. А. Чичиров, Н. Д. Чичирова, А. А. Баталова // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2022. – Т. 14, № 3(55). – С. 3-12. – EDN OIDDMO.

13. Ахметова, И. Г. Исследование нестационарных процессов теплообмена в тепловых сетях централизованного теплоснабжения / И. Г. Ахметова, К. В. Лапин // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2022. – Т. 14, № 3(55). – С. 13-26. – EDN ECZKFW.

14. Мустафин Р. М. Повышение энергетической эффективности работы металлургической печи за счет внедрения технологии бортового производства водородного топлива / Р. М. Мустафин // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2022. – Т. 14, № 3(55). – С. 27-37. – EDN DOAPSC.

15. Гапоненко С. О. Анализ результатов численного моделирования колебательных процессов в бездефектных и дефектных трубопроводах / С. О. Гапоненко, А. Е. Кондратьев, Ш. У. Ульябаева // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2022. – Т. 14, № 3(55). – С. 38-47. – EDN AXSMRA.

ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ ВЫРАБОТКИ МОЩНОСТЕЙ ТЭЦ, РАСПОЛОЖЕННЫХ В РЕСПУБЛИКЕ ТАТАРСТАН

Сайфутдинова А.И.¹ Сайфутдинов З. Г.² Башмаков Д. А.³
^{1,2,3} Набережночелнинский институт (филиал) ФГАОУ ВО КФУ,
г Набережные Челны, Россия
^{1,2,3} saifutdinow97@mail.ru

Теплоэнергетика является основой энергетического комплекса и производит большую часть электроэнергии страны. Тепловые электрические станции обладают массой недостатков, таких как загрязнение окружающей среды и высокая себестоимость электроэнергии. В связи с этим возникает необходимость снижения себестоимости электроэнергии вырабатываемой тепловыми электрическими станциями.

Ключевые слова: установленные мощности, прогнозирование электропотребления, собственные нужды, ТЭС, планирование нагрузки.

RESEARCH AND ANALYSIS OF THE PRODUCTION CAPACITY OF THERMAL POWER PLANTS LOCATED IN THE REPUBLIC OF TATARSTAN

Sayfutdinova A. I.¹, Sayfutdinov Z. G.², Bashmakov D. A.³
^{1,2,3} Naberezhnye Chelny Institute (branch) of FGAOU IN KFU,
Naberezhnye Chelny, Russia
^{1,2,3} saifutdinow97@mail.ru

Thermal power is the basis of the energy complex and produces most of the country's electricity. Thermal power plants have a lot of disadvantages, such as environmental pollution and high cost of electricity. In this regard, there is a need to reduce the cost of electricity generated by thermal powerplants.

Keywords: installed capacities, forecasting of electricity consumption, own needs, thermal power plants, load planning.

Большой процент от общего количества различных видов электростанций приходится именно на тепловые электрические станции (рис. 1). Причина распространенности данного вида электростанций – универсальность ТЭС. Топливом на тепловых электростанциях является:

природный газ, уголь, мазут, торф и горячие сланцы. При проектировании данного типа электростанции необходимо учитывать какие энергоресурсы преобладают в данном регионе [1].

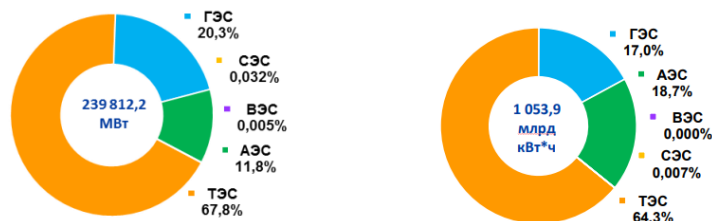


Рис. 1 Структура установленных мощностей и выработки электроэнергии электростанций РТ на 01.01.2022 г.

Работа ТЭС может осуществляться как на твердом, жидком, так и на газовом топливе. В настоящее время на тепловых электростанциях РФ, странах СНГ и за рубежом наряду с твердым топливом применяют жидкое и газовое. В европейской части России большая часть ТЭС работают на газу, а угольные ТЭС преобладают в южной Сибири и Дальнем Востоке (рис. 2). Самым редким видом основного топлива на тепловых электростанциях является мазут. Переход на жидкое и газовое топливо значительно упрощает и удешевляет топливное хозяйство электростанции. Использование природного газа способствует также чистоте воздушного бассейна [2-4].

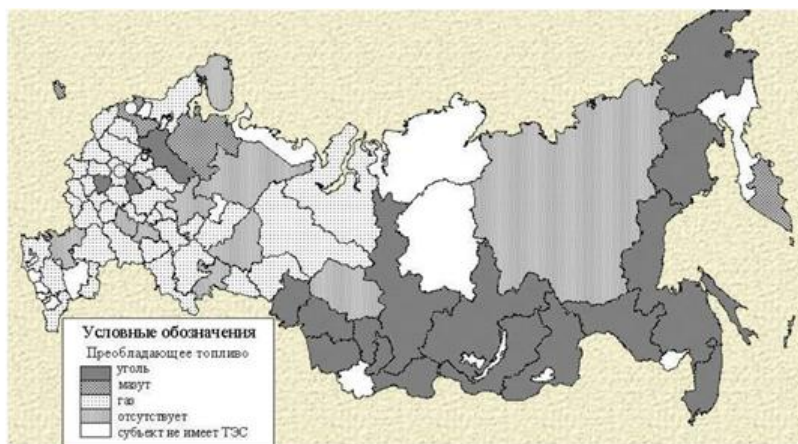


Рис. 2 – Преобладающее топливо на ТЭС в России

На сегодняшний день в Российской Федерации функционирует около 370 тепловых электростанций. Из них 7 имеют мощность свыше 2 500 МВт [4].

В данной статье представлена основная информация о ТЭС, расположенных в Республике Татарстан (таблица 1).

Таблица 1

Основная информация о ТЭЦ расположенных в Республике Татарстан

Название ТЭЦ	Установ- ленная электри- ческая/ тепловая мощность	Тип основного/ резервного топлива	Состав основного оборудования	Энергоснаб- жение и горячее водоснаб- жение	Тепловая схема
Нижнекамская ТЭЦ-1	880 МВт/3746 Гкал/ч	Газ/мазут	5хБКЗ-420-140, 1хПТ-60-130/13, 3хТ-100/120-130-3, 1хР-50-130/13	Население и промыш- ленные предприятия	С попереч-ными связями
Нижнекамская ТЭЦ-2	724 МВт/ 1580 Гкал/ч	Газ/мазут	11хТГМ-84, 2хПТ-50-130/13, 2хПТ-60-130/13, 2хР-35-130/21, 1хТ-50-130	Промыш- ленные предприятия	С попереч-ными связями
Набережночелнин- ская ТЭЦ	1180 МВт/4092 Гкал/ч	Газ/мазут	3хТП-230, 1хБКЗ-220-100, 1хТ-46-90, 1хПТ-25-90, 1хПР-23,7-90/10-0,9	Население и промыш- ленные предприятия	С попереч-ными связями

Источники

1. Рыжкин, В. Я. Тепловые электрические станции: Учебник для теплоэнерг. спец. вузов / В. Я. Рыжкин. – М.-Л.: Энергия, 1967. – 400 с.

2. Стерман, Л. С. Тепловые и атомные электрические станции. Учебник для вузов / Л. С. Стерман [и др.]. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 416 с.

3. Экономика России, цифры и факты. Часть 7 Энергетика // Портал трейдеров. – Режим доступа: <https://utmagazine.ru/posts/10560-ekonomika-rossii-cifry-i-fakty-chast-7-energetika> (Дата обращения: 04.04.2023).

4. Энергетика. ТЭС и АЭС. Все о тепловой и атомной энергетике. – Режим доступа: http://tesiaes.ru/?page_id=4525 (Дата обращения: 04.04.2023).

5. Мотыгина, С. А. Эксплуатация электрической части тепловых электростанций / С. А. Мотыгина. М.: Энергия, 1968. – 568 с.

6. Д.В. Григорьева, А.А. Калютик, Оценка эффективности методов снижения технологического минимума энергоблока ТЭЦ, Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетике, Том 19, № 7-8, 2017.

7. В.А. Петрущенко, И.А. Коршакова, Качественный и количественный анализ тепловой энергетике малых мощностей в России, Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетике, Том 22, № 5, 2020.

ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ ДОПОЛНЕННОЙ И ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

Силкина О.Ю.,¹ Сафина К.И.,²
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия
^{1,2} zarim3@rambler.ru

В данной статье рассматривается актуальность развития технологий виртуальной и дополненной реальности и их активное применение в учебных заведениях. В статье поднимается вопрос об использовании этих технологий в сфере образования, а также описываются преимущества и недостатки использования технологий в образовании.

Ключевые слова: виртуальная реальность, информационные технологии, дополненная реальность, VR/AR-технологии, образование, цифровизация.

VIRTUAL AND AUGMENTED REALITY IN EDUCATIONAL INSTITUTIONS

Silkina O.Y.,¹ Safina K.I.,²
^{1,2} FGBOU VO "KSPEU", Kazan, Republic of Tatarstan
^{1,2} zarim3@rambler.ru

This article discusses the relevance of the development of virtual and augmented reality technologies and their active application in educational institutions, as well as in many other areas. Without the simplest computer, laptop, smartphone and other digital devices, much is already unthinkable, including the everyday existence of a modern person.

Keywords: virtual reality, information technology, augmented reality, VR/AR technologies, education, digitalization.

Усвоение материала любой дисциплины в учебном заведении зависит от степени вовлеченности самого студента. Исследователями было ни раз доказано, что живому существу намного легче запомнить информацию, которая может воздействовать на несколько органов чувств [1].

Технологии дополненной и виртуальной реальности (VR/AR) могут применяться и в сфере образования [2]. Главная задача виртуальной реальности – обеспечить полное погружение в виртуальный мир.

Дополненная реальность – это компьютерно-опосредованная реальность, в которой реальный мир дополняется с помощью виртуальных изображений, анимаций, эффектов и титров.

Использование и применение виртуальной и дополненной реальности несёт большую пользу, когда альтернативные методы являются трудновыполнимыми, неэффективными или неинтересными [3]. Помимо этого имеется еще немало положительных аспектов использования VR/AR-технологий в процессе обучения студентов. Трёхмерная графика наглядно моделирует и показывает сложные процессы с нужной детализацией. Ещё одним преимуществом является то, что скорость процесс можно подстроить под себя. Использование технологий VR/AR в образовательном процессе поможет сделать обучение более наглядным и понятным [4]. Применение данных технологий в сфере высшего образования позволяет обучающимся более близко познакомиться с профессией и получить практические навыки, необходимые для будущей работы.

Доказательством того, что устройства виртуальной реальности – это необходимость в современном мире, является их использование в качестве тренажера для отработки сложных и опасных элементов без риска для здоровья обучающихся, например, при обучении электро- и теплоэнергетиков [5]. Эффект полного погружения на объекты энергетики позволяет проводить занятия в режиме виртуальной и дополненной реальности, что позволяет проводить обучение дистанционно. Тот или иной созданный виртуальный объект энергетики можно использовать безграничное количество раз без каких-либо затрат.

Результат использования виртуальных лабораторий заключается в том, что они снижают количество ошибок и повышают эффективность технологических процессов. В отличие от многих САПР, в виртуальной лаборатории с помощью VR/AR-технологий осуществляется интеграция человеческого интеллекта с программным обеспечением. Технологии VR/AR могут снизить применение печатных инструкций, позволят получать информацию в виде наглядной трёхмерной анимации. Такой подход позволит снизить требования к квалификации специалистов и уменьшить время на изучение рабочих инструкций и технологических процессов.

Безусловно, созданная виртуальная модель не сможет заменить и полностью искоренить реальный объект или процесс, но может позволить подготовиться к реальной ситуации с максимально возможной детализацией и без каких-либо потерь по времени и здоровью. Проекты

виртуального моделирования реальности все чаще внедряются в процесс обучения. Для этого пользователю необходимо взять манипуляторы и надеть очки VR. После можно отрабатывать приобретенные навыки на виртуальном энергетическом объекте. В итоге специальное программное обеспечение предоставляет аналитические сведения, по которым можно сделать выводы для совершенствования навыка и устранения проблем и неточностей. Доказано, что данные технологии позволяют существенно повышать рентабельность и качество обучения за счет возможности многократной практической отработки навыков без воздействия на обучающегося возможных в реальной жизни опасных факторов имитируемых ситуаций [6].

Перечислим основные преимущества внедрения технологий виртуальной и дополненной реальности: наглядность (возможность смоделировать любые сложные процессы); безопасность (нет риска навредить или подвергнуть кого-то опасности при обучении); фокусировка (смоделированное пространство можно посмотреть в диапазоне 360 градусов); возможность проведения виртуальных уроков.

Внедрение этих технологий в сферу образования также имеет и недостатки: длительные сеансы могут вызвать головные боли, а контрастные изображения и яркие вспышки могут спровоцировать приступ эпилепсии; не учитываются индивидуальные особенности зрения пользователя; оборудование для создания виртуальной реальности стесняют движения пользователя; риск получить травму в результате столкновения со стенами и предметами интерьера комнаты, в которой находится пользователь.

Таким образом, технологии виртуальной и дополненной реальности представляют собой эффективный инструмент, использование которого в образовательной сфере поможет сделать обучение более наглядным, а также поможет повысить интерес у обучающихся к различным дисциплинам.

Источники

1. Галиуллина Э.Р., Зарипова Р.С. Цифровые игры как способ обучения / Учёные записки ИСГЗ. 2019. Т.17. №1. С.126-129.
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. Андрушко Д.Ю. Применение технологий виртуальной и дополненной реальности в образовательном процессе: проблемы и перспективы / Научное обозрение. Педагогические науки. 2018. №6. С.5–10.

4. Пырнова О.А., Зарипова Р.С. Технологии виртуальной реальности в образовании / Приоритетные направления развития спорта, туризма, образования и науки: материалы международной научно-практической конференции. Нижний Новгород. 2021. С. 694-696.

5. Gizatullin Z.M., Gizatullin R.M., Nuriev M.G. Prediction of noise immunity of computing equipment under the influence of electromagnetic interference through the metal structures of building by physical modeling / Proceedings of the 2020 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, EIConRus 2020. 2020. С. 120-123.

6. Пырнова О.А., Зарипова Р.С. Будущее виртуальной реальности в образовании / Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве: материалы VI Национальной научно-практической конференции. Казань, 2020. С. 145-146.

7. Гизатуллин З.М., Гизатуллин Р.М., Нуриев М.Г., Назметдинов Ф.Р. Снижение электромагнитных помех и защита информации в вычислительной технике с помощью экранирующих стекол / Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2017. № 3 (35). С. 46-57.

8. Каримов, М. М. Применение ранжирования при модернизации оборудования подстанции с целью повышения надежности электроснабжения потребителей / М. М. Каримов, Д. М. Валиуллина // Электрические сети: надежность, безопасность, энергосбережение и экономические аспекты : Материалы международной научно-практической конференции, Казань, 22 апреля 2022 года / Редколлегия: В.В. Максимов (отв. редактор) [и др.]. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. – С. 156-162. – EDN QPZBOK.

9. Князева, Ю. В. Выбор конфигурации схемы электрической сети с применением реклоузеров / Ю. В. Князева, Д. М. Валиуллина // Электрические сети: надежность, безопасность, энергосбережение и экономические аспекты : Материалы международной научно-практической конференции, Казань, 22 апреля 2022 года / Редколлегия: В.В. Максимов (отв. редактор) [и др.]. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. – С. 170-178. – EDN MBEEJH.

10.Бык, Ф. Л. Эффекты интеграции локальных интеллектуальных энергосистем / Ф. Л. Бык, Л. С. Мышкина // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2022. – Т. 24. – № 1. – С. 3-15. – DOI 10.30724/19989903-2022-24-1-3-15. – EDN QZOPWN.

11.Савенко, А. Е. Использование и совершенствование автоматических систем для управления рассредоточенными источниками электроэнергии в локальных электрических системах / А. Е. Савенко, П. С. Савенко // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2022. – Т. 24. – № 4. – С. 105-115. – DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-4-105-115. – EDN JQUBTM.

12.Применение генетического алгоритма при разработке программного обеспечения для перебора материалов при оптимизации синхронных двигателей / Т. И. Петров, А. Р. Сафин, М. Ф. Низамиев, В. Р. Басенко // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2022. – Т. 14. – № 2(54). – С. 96-105. – EDN NMIGYA.

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

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

15.Шамарова, Н. А. Анализ методов оценки уровня заряда аккумуляторных батарей / Н. А. Шамарова // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2022. – Т. 14. – № 1(53). – С. 24-

LEARNING ANALYTICS КАК ИНСТРУМЕНТ ОЦЕНКИ КВАЛИФИКАЦИИ МОЛОДЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ

Сиразева А.Л.¹, Зарипова Р.С.²

^{1,2} ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

^{1,2} zarim3@rambler.ru

В последние годы использование Learning Analytics (LA) превратилось в мощный инструмент для понимания и оптимизации обучения студентов, позволяющий преподавателям принимать рациональные решения и поддерживать успех обучающихся. В статье рассмотрен вопрос использования LA в контексте образования, уделив особое внимание ее потенциалу для улучшения результатов обучения студентов.

Ключевые слова: Learning Analytics, образование, анализ данных, методы аналитики обучения.

LEARNING ANALYTICS AS A TOOL FOR ASSESSING THE SKILLS OF YOUNG PROFESSIONALS

Sirazeva A.L.¹, Zaripova R.S.²

^{1,2} FGBOU VO "KSPEU", Kazan, Republic of Tatarstan

^{1,2} zarim3@rambler.ru

In recent years, the use of Learning Analytics (LA) has emerged as a powerful tool for understanding and optimising student learning, enabling educators to make rational decisions and support student success. This article examines the use of LA in an educational context, focusing on its potential to improve student learning outcomes.

Keywords: Learning Analytics, education, data analytics, learning analytics methods.

Learning Analytics – это область исследований, которая включает сбор, анализ и представление данных об обучающихся и их окружении с целью понимания и оптимизации обучения и среды, в которой оно происходит. С ростом платформ онлайн-обучения и растущей доступностью данных университеты теперь имеют возможность собирать и анализировать огромные объемы данных об успеваемости и вовлеченности студентов [1]. Этот подход предполагает использование данных для поддержки и улучшения успеваемости обучающихся [2].

Интеллектуальный анализ образовательных данных является относительно новым методом, внедряемым для выявления областей совершенствования систем образования [3]. Собирая информацию о студентах и условиях, в которых они учатся с использованием образовательных технологий, учреждения могут лучше понять их текущую ситуацию обучения и определить лучший способ для их обучения [4].

Обычно собираемая информация включает в себя данные о студентах, которые получили доступ к определенной части информации, когда эта информация была просмотрена, как долго она отображалась на экранах их компьютеров. Интеллектуальный анализ образовательных данных также может собирать информацию об оценках учащихся [5].

Использование ЛА потенциально может обеспечить целый ряд преимуществ для студентов, преподавателей и учебных заведений. Некоторые из ключевых преимуществ включают:

1. Персонализированное обучение: использование ЛА может поддерживать развитие персонализированного опыта обучения путем сбора данных об индивидуальном поведении и предпочтениях студентов в процессе обучения. Эта информация может быть использована для разработки программ обучения, которые адаптированы для удовлетворения уникальных потребностей каждого учащегося, что приводит к большей вовлеченности студентов и улучшению результатов [6].

2. Улучшенные результаты студентов: отслеживая прогресс обучающихся с течением времени, ВУЗ может определить области, в которых обучающимся требуется дополнительная поддержка, и разработать стратегии для улучшения их результатов.

3. Усовершенствованные методы обучения. Аналитика обучения может дать представление об эффективности методов обучения, позволяя преподавателям принимать основанные на данных решения о том, как улучшить обучение учащихся.

4. Эффективное распределение ресурсов. Отслеживая данные об успеваемости учащихся, ВУЗ может принимать рациональные решения о том, как распределять ресурсы и поддерживать успехи учащихся.

5. Раннее вмешательство: предиктивная аналитика, подобласть ЛА, включает в себя использование данных и алгоритмов машинного обучения для прогнозирования будущего поведения и трудоспособности студентов. Эта информация может быть использована для выявления областей, где учащимся может потребоваться дополнительная поддержка, прежде чем

они отстанут от программы, что позволяет ВУЗу обеспечивать раннее вмешательство, т.е. раннюю поддержку успеваемости студентов.

б. Предложение дополнительных ресурсов. Отслеживая данные об успеваемости, преподаватели могут предлагать различные дополнительные ресурсы для изучения темы (учебные материалы, сайты и т.д.).

Используя различные методы аналитики обучения, учебные заведения могут раскрыть закономерности и тенденции в отношении многих проблем, вероятности события и советов о том, как справиться с определенными ситуациями. Это открывает целый мир возможностей для педагогов. LA поможет предсказать, какие студенты сдадут экзамены успешно, какие потерпят неудачу, их причины и проблемы. Когда студент собирается бросить университет и когда этот момент наступает? Эта информация позволяет преподавателям быть активными, предпринимая определенные действия (и избегая других), чтобы помочь студентам работать в меру своих возможностей.

При использовании технологии LA студенты получают в ответ обратную связь и конструктивную критику в надежде улучшить успеваемость, преподаватели – найти способы предложить дополнительный материал курса и план действий по отношению к студенту, дирекция – понимание результатов программ, учебных планов и подходов.

Хотя LA имеет потенциал для значительного улучшения обучения студентов и академической успеваемости, существуют также потенциальные проблемы, которые необходимо решить, такие как конфиденциальность и безопасность данных, качество данных, интерпретация данных и сопротивление изменениям. Решая эти проблемы и эффективно внедряя LA, учреждения могут улучшить результаты студентов и улучшить академическую успеваемость.

Источники

1. Зарипова Р.С., Халуева В.В. Анализ функционирования системы оценки знаний обучающихся / Russian Journal of Education and Psychology. 2019. Т. 10. №5. С. 31-35.

2. Алемасов Е.П., Зарипова Р.С. Информационно-коммуникационные технологии как фактор развития обучающихся / Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. 2020. № 4 (22). С. 39-41.

3. Кривоногова А.Е., Зарипова Р.С. Современные информационные технологии и их применение в сфере образования / Преподавание информационных технологий в Российской Федерации: Материалы Семнадцатой открытой Всероссийской конференции. 2019. С. 399-401.

4. Силкина О.Ю., Зарипова Р.С. Тенденции в развитии искусственного интеллекта / Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. 2020. № 3 (21). С. 63-65.

5. Алемасов Е.П., Зарипова Р.С. Модернизация образования посредством интеграции информационных технологий в процесс обучения / Приоритетные направления развития спорта, туризма, образования и науки: материалы международной научно-практической конференции. Нижний Новгород, 2021. С. 603-605.

6. Алемасов Е.П., Зарипова Р.С. Искусственный интеллект как способ модернизации образовательного процесса / Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. 2021. № 1 (23). С. 95-97.

7. Шкиндеров М.С., Нуриев М.Г., Гизатуллин З.М. Сквозное прогнозирование помехоустойчивости систем контроля и управления при внешних электромагнитных воздействиях / Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2016. № 2 (30). С. 26-37.

8. Сафиуллин, Б. М. Методы контроля воздушных линий электропередачи / Б. М. Сафиуллин, Н. В. Фатхелисламов, Д. М. Валиуллина // Тинчуринские чтения – 2021 «энергетика и цифровая трансформация»: Материалы Международной молодежной научной конференции. В 3 томах, Казань, 28–30 апреля 2021 года. – Казань: ООО ПК «Астор и Я», 2021. – С. 50-52. – EDN WYIAYV.

9. Хилажев, Т. И. Системы контроля качества электрической энергии / Т. И. Хилажев, Д. М. Валиуллина, Р. М. Хайретдинов // Тинчуринские чтения – 2021 «энергетика и цифровая трансформация»: Материалы Международной молодежной научной конференции. В 3 томах, Казань, 28–30 апреля 2021 года. – Казань: ООО ПК «Астор и Я», 2021. – С. 67-68. – EDN DLVJOZ.

10. Исследование влияния геометрии высокопористого ячеистого материала на значение энергетической эффективности / О. В. Соловьева, С. А. Соловьев, Ю. В. Ваньков [и др.] // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2022. – Т. 24. – № 3. – С. 55-66. – DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-3-55-65. – EDN FJFWES.

11. Гусева, Ю. В. Лабораторная модель ротора Савониуса / Ю. В. Гусева, С. А. Кострюков, А. Р. Васильев // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2022. – Т. 24. – № 3. – С. 83-90. – DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-3-83-90. – EDN TESZWI.

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

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

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

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЕМКОСТЕЙ ИЗОЛЯТОРОВ НА ПАРАМЕТРЫ РЕГИСТРИРУЕМЫХ ПЕРЕХОДНЫХ СИГНАЛОВ В ЛЭП

Смирнов Д.А.¹, Хузяшев Р.Г.²

^{1,2}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

¹99daniil1999@mail.ru, ²142892@mail.ru

В статье рассмотрена специфика распространения сигнала переходного процесса, вызванного ударом молнии в одну из фаз ЛЭП. Построена модель грозового перенапряжения в программе PSCAD. Представлены осциллограммы переднего фронта волны перенапряжения в различных узлах модели.

Ключевые слова: грозовое перенапряжение, PSCAD, переходный процесс.

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF INSULATOR CAPACITATIONS ON THE PARAMETERS OF REGISTERED TRANSITION SIGNALS IN PTL

Smirnov D.A.¹, Khuziashev R.G.²

^{1,2}FGBOU VO "KSPEU", Kazan, Republic of Tatarstan

¹99daniil1999@mail.ru, ²142892@mail.ru

The article considers the specifics of the propagation of a transient signal caused by a lightning strike into one of the phases of a power transmission line. A lightning overvoltage model was built in the PSCAD program. Oscillograms of the leading edge of the overvoltage wave for various nodes of the model are presented.

Keywords: lightning surge, PSCAD, transient process.

Большое распространение получили дистанционные методы определения ОЗЗ, а именно волновое ОМП [1]. Для увеличения информативности регистрируемой информации необходимо сопоставлять экспериментальные и модельные исследования по структуре сигнала переходного процесса (ПП), распространяющейся в неоднородной линии.

Целью данной работы является исследование зависимости формы и скорости распространения сигнала ПП от величины емкостей изоляторов и их количества при распространении грозового перенапряжения.

В качестве среды для моделирования выбран программный комплекс PSCAD. PSCAD является быстродействующим, точным и простым инструментом для моделирования работы энергосистем, который показал достаточно хорошую точность при исследовании сигналов переходных процессов [2].

Форма сигнала источника грозового перенапряжения описывается формулой

$$I = 1,02I_1 e^{-13000t} e^{-4,46 \cdot 10^6 t}, \quad (1)$$

где I — ток молнии, [A]; I_1 — максимальное значение тока, [A] (по умолчанию выбрано $I_1 = 10 \text{ кА}$); коэффициент $e^{-13000t}$ определяет длительность заднего фронта волны, [с]; коэффициент $e^{-4,46 \cdot 10^6 t}$ определяет длительность переднего фронта волны, [с].

Блок-схема построения модели и полученная осциллограмма приведены на рисунке 1.

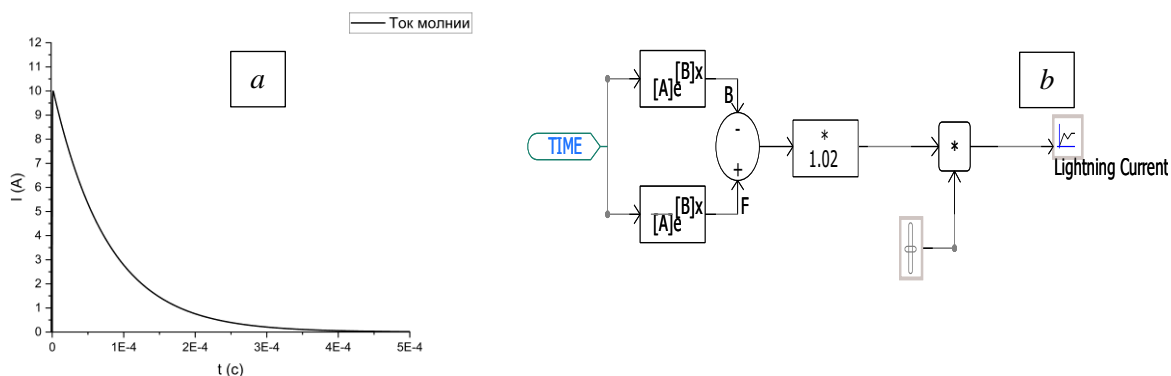


Рис. 1. Модель тока молнии (а – осциллограмма тока, б – блок-схема в Pscad)

Для однозначного определения влияния скорости распространения и формы сигнала перенапряжения от распределенных емкостей изоляторов по всей длине ЛЭП и CR-фильтра на конце поврежденной фазы принято решение рассмотреть линию электропередач длиной 1 км в нескольких вариациях (5 сегментов по 200 м и 2 сегмента по 500 м).

Модель 5-сегментной ЛЭП с установленным на фазе С CR-фильтром с параметрами $C_{\text{фил}} = 50 \text{ нФ}$ и $R_{\text{фил}} = 100 \text{ Ом}$ изображена на рис.2. Элементы Ea_1, Eb_1, Ec_1...Ec_6 соответствуют вольтметрам на каждом сегменте линии. Вольтметр Ef измеряет напряжение на резисторе фильтра. Удар молнии происходит в момент времени – 0 с. Интервал моделирования 0 – 5 мкс. Интервал дискретизации – 1 нс. Расчет происходит по частотно-зависимой модели линии с распределенными параметрами.

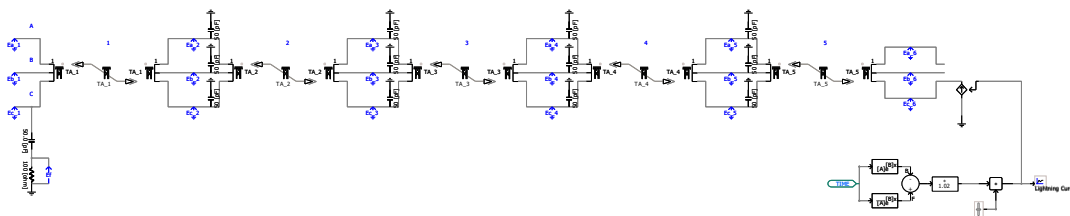


Рис. 2. Модель 5-сегментной ЛЭП

Результаты, приведенные в таблице 1 и 2 иллюстрируют одинаковое уменьшение скорости распространения сигнала ПП в неоднородной линии эквивалентных распределенных и сосредоточенной неоднородности. Использование CR-фильтра при регистрации сигнала ПП существенно повышает точность определения его начала.

Таблица 1.

Время регистрации сигналов для 1-4 вариантов модели ЛЭП

Фаза	5 сегментов		2 сегмента	
	Без изоляторов	C=50 пФ	Без изоляторов	C=200 пФ
A	3,69 мкс	3,77 мкс	3,69 мкс	3,78 мкс
B	3,69 мкс	3,77 мкс	3,69 мкс	3,78 мкс
C	3,36 мкс	3,39 мкс	3,36 мкс	3,38 мкс

Таблица 2.

Время регистрации сигналов для 5-8 вариантов модели ЛЭП

Фаза	5 сегментов		2 сегмента	
	Без изоляторов	C=50 пФ	Без изоляторов	C=200 пФ
A	3,71 мкс	3,79 мкс	3,70 мкс	3,79 мкс
B	3,71 мкс	3,79 мкс	3,70 мкс	3,79 мкс
C	3,37 мкс	3,79 мкс	3,37 мкс	3,79 мкс
Напряжение на резисторе CR-фильтра	3,37 мкс	3,42 мкс	3,37 мкс	3,42 мкс

Источники

1. Закурдаев Роман Юрьевич Применение волнового метода ОМП в распределительных электрических сетях // Проблемы науки. 2017. №1 (14). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-volnovogo-metoda-omp-v-raspredelitelnyh-elektricheskikh-setyah> (дата обращения: 04.04.2023).

2. Смирнов, Д. А. Моделирование в пакете PSCAD режима однофазного замыкания на землю / Д. А. Смирнов, Р. Г. Хузяшев // XVI

Всероссийская открытая молодежная научно-практическая конференция «Диспетчеризация и управление в электроэнергетике», Казань, 20–21 октября 2021 года. – С. 223-225. – EDN HJJJV.

3. Альзаккар, А. Оценка индекса нагрузки устойчивости напряжения электрических сетей на основе сети эхо-состояний с использованием единицы измерения фазора / А. Альзаккар, Н. П. Местников, И. М. Валеев // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2022. – Т. 14. – № 3. – С. 472-485. – DOI 10.21821/2309-5180-2022-14-3-472-485. – EDN MDQGWWE.

4. Разработка методики выбора силовых трансформаторов 35 кВ и выше для включения в план организационно-технических мероприятий по снижению потерь электроэнергии / Т. А. Мусаев, М. Н. Хабибуллин, И. М. Валеев [и др.] // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2021. – № 1(64). – С. 76-80. – EDN LZQODF.

5. 3D модель силового трансформатора для исследования его технического состояния по вибрационным параметрам / В. Р. Басенко, М. Ф. Низамиев, И. В. Ившин, О. В. Владимиров // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2022. – Т. 24. – № 3. – С. 130-143. – DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-3-130-143. – EDN TTLTLL.

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

7. Уколова, Е. В. Развитие метода backward/forward для исследования гибкости систем электроснабжения / Е. В. Уколова, Н. И. Воропай // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2020. Т. 12. № 2(46). С. 24-35.

8. 41. Голицына, Л. А. Особенности реализации регионального проекта "чистая вода" в Республике Татарстан / Л. А. Голицына, С. А. Голицын // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2020. Т. 12. № 2(46). С. 86-90.

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ГЕНЕРАЦИИ РОССИИ ДО 2035 ГОДА

Струмеляк А. В.¹, Яковкина Т. Н.², Устинов А.А.³

^{1,2,3} ФГБОУ ВО «Братский государственный университет», г. Братск, Россия

¹volandis@mail.ru, ²jatano@yandex.ru, ³ ystik.bsu2003@yandex.ru

В работе выполнен анализ перспектив развития гидроэнергетической генерации России до 2035 года методом оптимизации линейной экономико-математической модели с помощью симплекс метода. Результаты оптимизации позволяют определить проекты, обеспечивающие максимальный экономический эффект.

Ключевые слова: линейная экономико-математическая модель, оптимизация структуры генерирующих мощностей, симплекс метод.

ANALYSIS OF PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF HYDROPOWER GENERATION IN RUSSIA UNTIL 2035

Strumelyak A.V.¹, Jakovkina T.N.², Ustinov A. A.³

^{1,2,3} Bratsk State University, Bratsk, Russia

¹volandis@mail.ru, ²jatano@yandex.ru, ³ ystik.bsu2003@yandex.ru

The paper analyzes the prospects for the development of hydropower generation in Russia until 2035 by optimizing a linear economic and mathematical model using the simplex method. The optimization results allow us to identify projects that provide the maximum economic effect.

Keywords: linear economic and mathematical model, optimization of the structure of power generation, simplex method.

Проблема выбора путей развития гидроэнергетической генерации в России сохраняет свою актуальность. Это обуславливается как наличием неиспользованных гидроресурсов, так и принципиальной возможностью их использования. Действующая в настоящее время стратегия развития энергетики нашей страны [1] предполагает строительство гидрогенерирующих мощностей в отдельных регионах. Однако, в условиях развивающегося мирового финансового кризиса и вводимых странами Запада рестрикций [2], Россия однозначно столкнётся с серьёзным дефицитом

средств для реализации планов стратегии. Таким образом, возникает задача выбора объектов гидрогенерации, обеспечивающих наилучшие технико-экономические показатели.

Целью работы является решение задачи оптимального развития структуры гидроэнергетических мощностей в России до 2035 года, в рамках которого выделены следующие этапы:

- определение оптимизируемых параметров;
- разработка линейной экономико-математической модели;
- решение задачи симплекс методом;
- анализ результатов оптимизации и выработка рекомендаций по реализации проектов строительства гидрогенерации.

В работе предлагается использование классической постановки задачи линейного программирования, предполагающей поиск минимума целевой функции (1) при наличии уравнений ограничений вида (2-8).

$$Z = \sum_{i=1}^N C_i X_i + \sum_{jj'=1}^M C_{jj'} X_{jj'} \rightarrow \min \quad (1)$$

где Z – приведенные затраты; C_i – приведенные удельные затраты на гидростанции; $C_{jj'}$ – приведенные удельные затраты на линии электропередачи (ЛЭП); X_i – величина мощности вновь вводимых объектов гидрогенерации в энергосистеме (ЭС) i ; $X_{jj'}$ – величина перетока мощности между ЭС.

Для решения задачи оптимизации использована структура единой энергосистемы России, включающая в себя 7 энергосистем, 6 прямых и обратных перетоков мощности между ними (рис. 1.).



Рис. 1. Структурная схема единой энергосистемы России для оптимизации планов строительства гидрогенерирующих мощностей

В качестве уравнений-ограничений использованы: условия баланса мощности узлов (2); ограничения по предельной мощности гидростанций (3);

ограничения по пропускной способности существующих и вновь вводимых ЛЭП (4); условие обеспечения спроса мощности в период максимальных нагрузок (5); условие ограниченности капитальных вложений (6):

$$(1 - \alpha_{CH})(P_i + X_i) + (1 - \alpha_{П})(X_{jj'} - X_{j'j}) \geq P_{ЭCi} \quad (2)$$

$$P_i + X_i \leq P_{\max i} \quad (3)$$

$$X_{jj'} - X_{j'j} \leq P_{jj'} \quad (4)$$

$$(1 - \alpha_{CH})(1 - \alpha_{PE3}) \sum_{i=1}^N (P_i + X_i) \geq (1 - \alpha_{П}) \sum_{i=1}^N P_{ЭCi} \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^N (k_i X_i) + \sum_{jj'=1}^N (k_{jj'} X_{jj'}) \leq k_{\max} \quad (6)$$

где α_{CH} , $\alpha_{П}$, α_{PE3} , – коэффициенты, определяющие расход энергии на собственные нужды, потери в ЛЭП и величину рекомендуемого резерва мощности; P_i – мощность существующих станций в ЭС i ; $P_{ЭCi}$ – мощность нагрузок в ЭС i ; $P_{\max i}$ – предельно допустимая мощность станций в ЭС i ; $P_{jj'}$ – предельная пропускная способность связи между ЭС; k_i , $k_{jj'}$ – удельные капитальные вложения в строительство гидростанций и межсистемных связей; k_{\max} – объём капитальных вложений до 2035 года.

Общее количество переменных в задаче оптимизации – 19, уравнений-ограничений – 28.

Результаты оптимизации симплекс методом [3,4] представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты оптимизации развития структуры гидрогенерации в России, ГВт

X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_{1-2}	X_{2-3}	X_{2-4}	X_{4-5}	X_{5-6}	X_{5-7}	Z, трлн. руб/год
5,5	2	28,66	30,26	6	11	5	0,3	3,9	6,85	5,13	0	0	1,5

Таким образом, сопоставив планы развития электроэнергетики России [1] с результатами выполненной в работе оптимизации (таблица 1), можно выделить наиболее перспективные проекты гидроэнергетической генерации с точки зрения оптимального развития генерирующих мощностей в условиях ограниченности капитальных вложений до 2035 года. В частности, к таким проектам относятся: Мокская ГЭС (1200МВт); Курская ГАЭС (465МВт); Нижне-Суаянская ГЭС (213МВт); Нижнее-Зейская ГЭС (400МВт)

Источники

1. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года [Электронное ресурс]. – Режим доступа: <http://static.government.ru/media/files/w4sigFOiDjGVDYT4IgsApssm6mZRb7wx.pdf> – Загл. с экрана. (дата обращения 03.04.2023)
2. Оценка устойчивости ключевых отраслей российской экономики к негативному влиянию изменившихся внешних условий [Электронное ресурс]. – Режим доступа: https://ratings.ru/files/research/corps/NCR_Resilience_150622.pdf – Загл. с экрана. (дата обращения 03.04.2023)
3. Гольдштейн, Е.Г. Линейное программирование: Теория, методы и приложения / Е.Г. Гольдштейн, Д.Б. Юдин. – М.: Наука, 1969. – 736 с.
4. Болотникова, О.В. Линейное программирование: симплекс метод и двойственность: учеб. Пособие / О.В. Болотникова, Д.В. Тарасов, Р.В. Тарасов. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2015. – 84 с.

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ

Тухфетуллоев И. Р.¹, Воркунов О. В.²
^{1,2} ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия
^{1,2} agal73rus@gmail.com

В условиях постоянно увеличивающегося количества абонентов энергокомпаний и заявленных ими мощностей, влияющего на изменение конфигурации электрической сети, возникают вопросы об оптимизации режимов работы электрических сетей. Необходимо рассматривать и учитывать нормальные режимы и главное учитывать влияние послеаварийных режимов на всех смежных абонентов распределительной сети с учетом обеспечения надежности и качества электроэнергии.

Ключевые слова: аварийность электрооборудования, оптимизация режимов работы электрических сетей, надежность электропитания потребителей, цифровая трансформация, секционирование сетей.

OPTIMIZATION OF OPERATION MODES OF ELECTRIC NETWORKS OF MEDIUM VOLTAGE

Tukhfetulloev I. R.¹, Vorkunov O. V.²
^{1,2} FGBOU VO "KSPEU", Kazan, Republic of Tatarstan
^{1,2} agal73rus@gmail.com

In the context of an ever-increasing number of subscribers of energy companies and their declared capacities, which affects the change in the configuration of the electrical network, questions arise about optimizing the modes of operation of electrical networks. It is necessary to consider and take into account normal modes and, most importantly, take into account the impact of post-emergency modes on all adjacent subscribers of the distribution network, taking into account ensuring the reliability and quality of electricity.

Key words: accident rate of electrical equipment, optimization of operating modes of electrical networks, reliability of consumer power supply, digital transformation, network partitioning.

Согласно ПУЭ 1.2.9 [1] в электрических сетях присутствуют термины нормальный и послеаварийный режимы. Последствия аварий в

электрических сетях приводят к выходу из строя электрооборудования, нарушению или изменению режимов работы электрической сети, отражающейся на потребителях электроэнергии. По данным Ростехнадзора с 1 января по 31 декабря 2021 года по направлению государственного энергетического надзора произошло 29 аварий [2]. За аналогичный период 2020 года произошла 21 авария (18 аварий на объектах электроэнергетики). Таким образом, отмечается значительный рост общего количества аварий на 47 % (10 аварий) по сравнению с аналогичным периодом 2020 года. Анализ показателей аварийности в динамике 2015-2021 гг. приведен на рисунке 1.

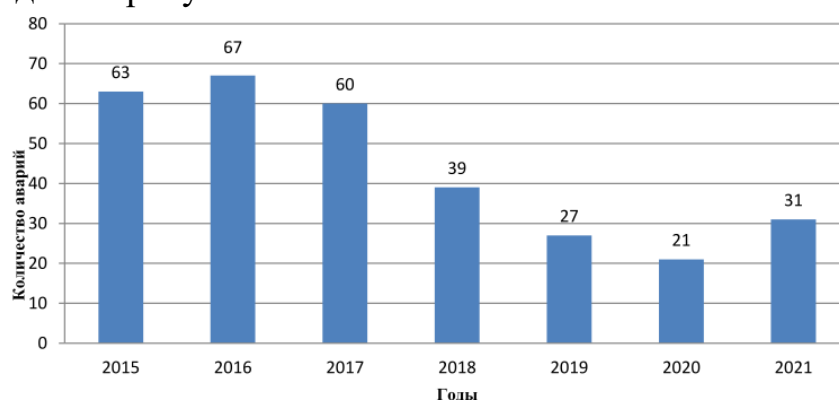


Рис. 1. Анализ показателей аварийности в динамике 2015-2021 гг [2].

На рисунке 2 показано распределение аварий (аварийных ситуаций), произошедших при эксплуатации электростанций, электрических сетей, в 2021 году по федеральным округам Российской Федерации.

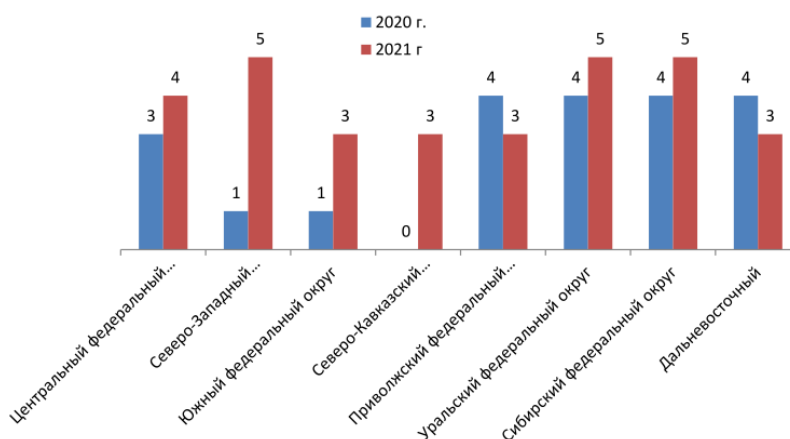


Рис. 2. Распределение аварий в 2021 году по федеральным округам Российской Федерации [2].

На рисунке 3 Представлены причины аварий классифицируемых по признакам за 2021 год.

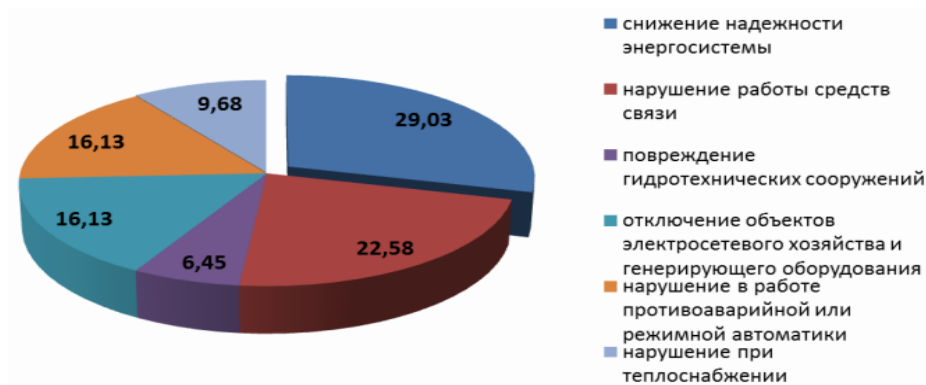


Рис. 3. Причины аварий классифицируемых по признакам за 2021 год [2].

С 1 января по 31 декабря 2021 года происходили аварии, классифицируемые по следующим признакам: 8 аварий (26,0%), в результате которых произошло отключение генерирующего оборудования или объекта электросетевого хозяйства, приводящее к снижению надежности энергосистемы; 7 аварий (22,5%), в результате которых произошло нарушение работы средств диспетчерского и технологического управления, приводящее к прекращению связи (диспетчерской связи, передачи телеметрической информации или управляющих воздействий противоаварийной или режимной автоматики) продолжительностью более 1 часа; 5 аварий (16,0%), в результате которых произошли нарушения в работе противоаварийной или режимной автоматики, в том числе обусловленные ошибочными действиями персонала, вызвавшие отключение объекта электросетевого хозяйства (высший класс напряжения 110 кВ и выше); 5 аварий (16,0%), в результате которой произошло отключение объектов электросетевого хозяйства (высший класс напряжения 110 кВ и выше),

прекращение электроснабжения продолжительностью более 30 минут.

Основными причинами аварий на электрооборудовании субъектов электроэнергетики за 12 месяцев 2021 года явились: неисправность релейной защиты и автоматики; износ оборудования в процессе длительной эксплуатации; неправильная работа средств режимной и аварийной автоматики из-за проектных ошибок, отклонений от проектов в процессе монтажа и эксплуатации оборудования; нарушение в работе противоаварийной или режимной автоматики, обусловленное ошибочными действиями персонала; низкое качество технического обслуживания, приводящее к последующими отказам оборудования из-за

сбоев в работе релейной защиты и автоматики, коротких замыканий, перекрытия фарфоровых изоляторов; производственные дефекты оборудования, приводящие к механическим повреждениям, разрушениям оборудования и возможному возгоранию [2].

Статистика аварийных ситуаций требует принятия неотложных мер в надежности функционирования электрооборудования и оптимизации режимов работы электрических сетей. Уменьшением числа аварийных режимов является оптимизация режимов работы электрических сетей, внедрение новых проектных решений. Возникает необходимость в ускорении исполнения пунктов внедренной ПАО «Россети» Концепции «Цифровая трансформация 2030», включающая в себя внедрение цифровых подстанций. ЦПС является основным элементом электрической сети. ЦПС – это высокоавтоматизированная ПС, функционирующая, без присутствия постоянного дежурного оперативного персонала, и оснащенная взаимодействующими в режиме единого времени цифровыми информационными и управляющими системами: автоматизации, контроля, мониторинга и диагностики состояния, учета, местного и удаленного управления технологическими процессами, связи, обеспечивающими единое информационное пространство и выполненными на основе единых протоколов передачи данных (SV-поток, GOOSE-сообщений, MMS). Отличительными характеристиками цифровой подстанции (ЦПС) являются: наличие интеллектуальных электронных устройств, применение локальных вычислительных сетей для коммуникаций, цифровой способ доступа к информации, её передаче и обработке, автоматизация работы подстанции и процессов управления ею. В числе целей создания цифровой подстанции являются: обеспечение наблюдаемости параметров функционирования ЛЭП, оборудования и устройств подстанции; унификация механизмов конфигурирования подстанции; формирование единой системы диагностики. Переход к выполнению удаленной функциональной диагностики; - переход к необслуживаемым подстанциям [3]. Важной частью является также увеличение надежности электроснабжения путем широкого применения дополнительного секционирования и автоматического резервирования ВЛ 6-35 кВ в том числе магистральные с помощью реклоузеров. Данное решение обязательно согласно СТО 34.01-21.1-001-2017 (с изменениями от 28.09.2021) ПАО «Россети» 9.9.2 9.9.5, А1.3, А2.3.2.2 и др [4]. Необходимо отметить также и о совершенствовании методологии оценки цифровой трансформации объединенной энергетической системы [5]. Применение реклоузеров, путем оптимизации режимов сети позволяет

значительно увеличить надежность и уменьшить влияние тяжелых последствий аварийных ситуаций [6]. Важным фактором для проектирования и расчета режимов электрических сетей является и учитывание влияния процессов происходящих в вакуумных выключателях (реклоузерах) при возникновении коммутационных перенапряжений, сказывающихся на качестве электроэнергии [7].

Внедрение проекта Концепции «Цифровая трансформация» подразумевает отсутствие человека на подстанции, но остаются вопросы пока нерегламентированные в связке с действующими стандартами: связанные с надежностью функционирования переключений при визуальном контроле состояния оборудования (особенно на мощных подстанциях с большим количеством оборудования), влияние второстепенных эффектов, фиксирование нестандартного шумового воздействия, размывание ответственности в случае нештатных ситуаций - переноса ответственности на не идеальность программного обеспечения в конечном итоге ведущего к снижению надежности и переноса финансовых издержек на потребителя.

Выводы на основании данных исследований и анализа:

1. При оптимизации режимов работы сети необходимо учитывать влияние измененных конфигураций сети (повышение надежности путем дополнительного секционирования и резервирования реклоузерами) внедряя пункты Концепции «Цифровая трансформация» в каждом конкретном регионе отдельно с учетом специфики и перспективы потребностей потребителей, атмосферных влияний.

2. В целях увеличения надежности и последующей оптимизацией режимов сети необходимо незамедлительно вводить изменения в положения и регламенты интегрированные с Концепцией «Цифровая трансформация», связанные с необходимым визуальным контролем функционирования оборудования и четко распределенной ответственностью за последствия от ошибочных действий «цифровых подстанций и сетей».

Источники

1. Правила устройства электроустановок. 7 издание. Издательство Моркнига. 2007. 584 с.

2. Официальный сайт Ростехнадзора. [Электронный ресурс]. <http://szap.gosnadzor.ru/activity/> (дата обращения: 20.03.2022).

3. Официальный сайт ПАО «Россети». Концепция «Цифровая трансформация 2030» . [Электронный ресурс]. <https://rosseti.ru/> (дата обращения: 5.03.2022).

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

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

6. Соловьев В.О., Воркунов О.В. Электрическая подстанция 35/10 кВ на реклоузерах. Молодой исследователь: вызовы и перспективы: сб. ст. по материалам СLI Международной научно-практической конференции «Молодой исследователь: вызовы и перспективы». Изд. «Интернаука», № 4(151). 2020. сс. 89-92

7. Воркунов О.В., Афанасьева Т.И. Физические процессы в вакуумных выключателях при возникновении коммутационных перенапряжений. Международный технико-экономический журнал. 2021. № 5, С. 7-17.

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

9. Яхин, Ш. Р. Вейвлет-анализ сигналов переходных процессов в электрической сети / Ш. Р. Яхин, Р. Г. Хузяшев, А. Г. Гумаров // Электрические сети: надежность, безопасность, энергосбережение и экономические аспекты : Материалы международной научно-практической конференции, Казань, 22 апреля 2022 года / Редколлегия: В.В. Максимов (отв. редактор) [и др.]. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. – С. 334-339. – EDN FLBLEG.

10. Хузяшев, Р. Г. Моделирование переходных сигналов при коммутациях в линиях электропередач / Р. Г. Хузяшев, И. Л. Кузьмин, И. А. Минаев // Электрические сети: надежность, безопасность, энергосбережение и экономические аспекты : Материалы международной

научно-практической конференции, Казань, 22 апреля 2022 года / Редколлегия: В.В. Максимов (отв. редактор) [и др.]. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. – С. 31-36. – EDN QASSZX.

11.Генерация критических акустических импульсов в высоковольтных изоляторах посредством индуцированных полей частичных разрядов / В. А. Голенищев-Кутузов, А. В. Голенищев-Кутузов, А. В. Семенников [и др.] // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2023. – Т. 25, № 1. – С. 154-165. – DOI 10.30724/1998-9903-2023-25-1-154-165. – EDN PPEKFS.

12.Калайда, М. Л. Современная гидрологическая характеристика Куйбышевского водохранилища как основа для развития водных биоресурсов / М. Л. Калайда, Р. Г. Шарафутдинов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2023. – Т. 25, № 1. – С. 166-183. – DOI 10.30724/1998-9903-2023-25-1-166-183. – EDN EZTZXR.

13.Разработка автоматической системы контроля кабелей с помощи квази-распределенных волоконно-оптических датчиков / А. Д. Алькина, А. В. Юрченко, А. Д. Мехтиев [и др.] // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2023. – Т. 15, № 1(57). – С. 125-143.

14.Пассивные фильтры для компенсации гармоник в линиях электропередачи высокого напряжения / Н. П. Боярская, В. П. Довгун, Д. Э. Егоров, А. Ф. Синяговский // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2023. – Т. 15, № 1(57). – С. 144-151.

15.Колибаба, В. И. Оценка влияния тарифного регулирования на устойчивое функционирование и развитие энергокомпаний РФ / В. И. Колибаба, А. С. Тарасова // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2023. – Т. 15, № 1(57). – С. 152-172.

16.Антонов, В. С. Разработка структуры формализованной модели управления всеобщим ресурсосбережением / В. С. Антонов // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2023. – Т. 15, № 1(57). – С. 173-188.

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ МОНИТОРИНГ СОЕДИНИТЕЛЬНЫХ КОНТАКТОВ КОММУТАЦИОННЫХ АППАРАТОВ

Феоктистов Д. И.¹, Воркунов О. В.²

^{1,2} ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

¹feoktistov.dima@list.ru, ²vorcunov_oleg@mail.ru

Значительное число отказов электрооборудования связано с качеством контактных соединений, которое со временем может ухудшаться вследствие частых коммутаций и прочих дефектов. Поэтому актуальной задачей является разработка методов и средств контроля нагрева соединительных контактов для исключения отказов электроустановок. Особенно важно осуществлять такой контроль для электроустановок среднего и высокого напряжения.

Ключевые слова: соединительные контакты, мониторинг, датчики нагрева, электрический контакт, электрооборудование.

CONTROL OF HEATING OF CONNECTING CONTACTS IN ELECTRICAL INSTALLATIONS

Feoktistov D. I.¹, Vorkunov O. V.²

^{1,2} FGBOU VO "KSPEU", Kazan, Republic of Tatarstan

¹feoktistov.dima@list.ru, ²vorcunov_oleg@mail.ru

A significant number of failures of electrical equipment is associated with the quality of contact connections, which may deteriorate over time due to frequent switching and other defects. Therefore, an urgent task is to develop methods and means for controlling the heating of connecting contacts in order to eliminate failures in electrical installations. It is especially important to carry out such control for electrical installations of medium and high voltage.

Keywords: connecting contacts, monitoring, heating sensors, electrical contact, electrical equipment.

Оценка нагрева контактных соединений является актуальной задачей при эксплуатации электроустановок. Ввиду нагрева развиваются дефекты, которые могут приводить к возникновению технологических нарушений при эксплуатации, что приводит к повреждению электрооборудования, а так же к нарушениям работы соседних ячеек, возгораниям и пожарам[1].

Электрический контакт является дополнительным источником тепла, так как имеет переходное сопротивление. Переходное сопротивление контактов – сопротивление, возникающее в зоне соприкосновения контактных поверхностей, при преодолении током точек касания.

Переходное сопротивление контактного соединения зависит от температуры нагрева контактных деталей, степени его окисления от обработки его поверхности. Шлифованная поверхность контакта имеет более пологие выступы с большим сечением. Из-за этих выступов сопротивление шлифованных контактов выше, чем контактов с более грубой обработкой. Наличие окислений приводит к тому, что при малом напряжении коммутируемой установки, протекание электрического тока становится практически невозможным. В связи с этим, соединения на малые токи или на малые усилия нажатия изготавливаются из редкоземельных металлов. В контактах, рассчитанных на большие токи, оксидная плёнка разрушается либо благодаря большим усилиям нажатия, либо путём самозачистки при включении за счёт проскальзывания одного контакта относительно другого. В данном случае площадь реального соприкосновения уменьшается, а выделение тепла на данном участке возрастает. На участке начинается сильный нагрев, что в итоге может привести к оплавлению изоляции конструкций и к отгоранию контакта, что в конечном итоге, может стать причиной отказа электрооборудования или возгорания в электроустановке. Опасность больших переходных сопротивлений усугубляется тем, что их трудно обнаружить. Обнаруживают такие сопротивления обычно уже тогда, когда они приводят к отказу оборудования, поэтому особое значение приобретают мероприятия, направленные на то, чтобы не допустить их появления. Это возможно при их своевременном обнаружении в наблюдаемой электроустановке[2]. Разрабатываются множество средств и методов диагностики, позволяющих осуществлять температурный мониторинг контактных соединений в электроустановках.

Методы температурного мониторинга контактов.

Тепловизионный контроль состояния электрооборудования. Метод обследования, который основан на дистанционном измерении тепловизором температур на поверхности контактных соединений. Этот метод, позволяет проводить оценку технического состояния электрооборудования в процессе его работы. Но, несмотря на высокую точность данного метода, в таком случае нужен тот, кто будет постоянно или периодически делать осмотры в электроустановках на наличие опасного нагрева контактов[3].

Контактные датчики. Они хорошо распространены ввиду небольшой стоимости, но для измерения температуры нагрева контактных соединений требуют специальных схем подключения к модулю сбора и отправки данных. Для использования этих средств в электроустановках требуется обеспечить их изоляцию, крепление в электроустановках. Такая система датчиков не является универсальной и подойдет не для всех видов электроустановок[4].

Химические термоиндикаторы. По принципу действия они делятся на термонаклейки, изменяющие цвет при определенной температуре, и термонаклейки, которые при нагреве способны выделять газ, который в свою очередь улавливает газовое реле. Несмотря на такие их достоинства, как простота их применения и малую стоимость, мониторинг перегрева контактов в электронных устройствах с их помощью ограничено[5,6].

Указатели перегрева однократного действия. Состоят из двух частей, которые способны перемещаться одна относительно другой, сплавляются легкоплавким припоем, температуру которого выбирают с учетом допустимого нагрева контакта рабочим током и током короткого замыкания. При нагреве контакта до температуры, превышающей температуру плавления припоя, одна из частей указателя под действием силы тяжести отпадает. Чтобы привести указатель в рабочее положение необходимо вновь припаять отпавший элемент. В случаях короткого замыкания возможны случаи разбрызгивание припоя, что может повлечь за собой появление электрической дуги.

Несмотря на разнообразие разработанных способов и методов температурного контроля электрооборудования, по различным техническим и экономическим причинам они не нашли широкого применения на практике. На сегодняшний день самыми распространенными методами являются обходы/осмотры с пирометром по наличию почернения и обгорания изоляции вместе с ручной обтяжкой всех контактов. Иногда обслуживающий персонал пренебрегает данными операциями, что может привести к аварийной ситуации. Конечно, на данный момент не стоит контролировать контактные соединения всех электроустановок, так как наибольший «интерес» представляют соединительные контакты высоковольтных электроустановок. Например, контакты высоковольтного выключателя, так как при частых коммутационных перенапряжениях они наиболее подвержены температурным перепадам.

Одним из путей решения этой проблемы может стать разработка автоматизированной системы мониторинга нагрева контактных

соединений, для которой следовало бы разработать более простой и универсальный датчик, с помощью которой можно будет судить, сильно ли нагрелся контакт, и следует ли применять какие-либо меры для устранения нагрева контактов.

Таким может стать волоконно-оптический датчик, так как он обладает весомыми преимуществами:

- невосприимчивость к электромагнитным помехам,
- значительная чувствительность обработки,
- возможность связи с телекоммуникационными системами из-за того, что оптический сигнал является неэлектрическим выходным сигналом,
- возможность работать в опасных и неблагоприятных средах,
- компактные размеры,
- высокая чувствительность, точность и надежность,
- умение работать без прикосновения,
- широкая полоса пропускания, обеспечивающая очень быструю передачу информации.

Источники

1. Солдатов Д.А., Солдатова Е.С., Костина М.А., Шульгин Е.М. Диагностика электрических контактных соединений // Решетневские чтения. 2018. [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/diagnostika-elektricheskikh-kontaktnyh-soedineniy> (дата обращения: 03.03.2023).

2. Леонов Андрей Петрович, Болгова Вероника Андреевна Визуализация мест локального перегрева изоляции кабелей // Вестник евразийской науки. 2014. №2. [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vizualizatsiya-mest-lokalnogoperegrev-izolyatsii-kabeley> (дата обращения: 03.03.2023).

3. Бажанов С. А. Тепловизионный контроль электрооборудования в эксплуатации. М. : НТФ Энергопрогресс, 2005. 144 с.

4. Федотов А.И., Вагапов Г.В., Абдуллазянов А.Ф., Шаряпов А.М. Цифровая система мониторинга повреждений на линиях электропередачи. Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021;23(1):146-155. [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2021-23-1-146-155>

5. Грачева Е.И., Сафин А.Р., Садыков Р.Р. ИССЛЕДОВАНИЕ И ОЦЕНКА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ НИЗКОВОЛЬТНЫХ АППАРАТОВ. Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2018;20(5-6):13-21. [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2018-20-5-6-13-21>

6. Аль-Аомари О., Ваньков Ю.В., Костылева Е.Е., Валиев Р.Н. Методика обработки результатов тепловизионных обследований высоковольтного оборудования. Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2015;(11-12):80-86. URL: [Электронный ресурс].<https://doi.org/10.30724/1998-9903-2015-0-11-12-80-86>

7. Минегалиев, И. М. Обнаружение сигнала переходного процесса с помощью применения квазиоптимальных алгоритмов / И. М. Минегалиев, Д. В. Егуданов, Р. Г. Хузяшев // XXV Всероссийский аспирантско-магистерский научный семинар, посвященный Дню энергетика : Материалы конференции. В 3-х томах, Казань, 07–08 декабря 2021 года / Под общей редакцией Э.Ю. Абдуллазянова – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. – С. 22-25. – EDN BRJBRU.

8.Смирнов, Д. А. Моделирование в пакете PSCAD режима однофазного замыкания на землю / Д. А. Смирнов, Р. Г. Хузяшев // XVI Всероссийская открытая молодежная научно-практическая конференция «Диспетчеризация и управление в электроэнергетике», Казань, 20–21 октября 2021 года. – Казань: Общество с ограниченной ответственностью "Издательско-полиграфическая компания "Бриг", 2022. – С. 223-225. – EDN NIJJJV.

9.Аракелян, Э. К. Пути повышения маневренных характеристик ПГУ при работе в режимах регулирования нагрузки (на примере ПГУ-450) / Э. К. Аракелян // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2023. – Т. 25, № 1. – С. 58-73. – DOI 10.30724/1998-9903-2023-25-1-58-73. – EDN ZWGVXM.

10.Соловьева, О. В. Обзор современных керамических ячеистых материалов и композитов, применяемых в теплотехнике / О. В. Соловьева, С. А. Соловьев, Р. З. Шакурова // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2023. – Т. 25, № 1. – С. 82-104. – DOI 10.30724/1998-9903-2023-25-1-82-104. – EDN DNLCCK.

11.Оленцевич, В. А. Проблемы организации работы энергосистемы объектов железнодорожного транспорта Восточного полигона в условиях прироста грузопотока / В. А. Оленцевич, Е. А. Гусева, М. В.

Константинова // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2023. – Т. 15, № 1(57). – С. 23-36.

12.Столярова, Е. Ю. Экспериментальные гидравлические и тепломассообменные характеристики пленочной градирни с комбинированными насадками / Е. Ю. Столярова, Е. А. Лаптева, А. Г. Лаптев // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2023. – Т. 15, № 1(57). – С. 37-47.

13.Валиуллин, Б. Р. Режимные параметры системы пылеприготовления для газогенераторов поточного типа / Б. Р. Валиуллин, Г. Р. Мингалеева // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2023. – Т. 15, № 1(57). – С. 48-57.

14.Петров, Т. И. Особенности проектирования синхронных двигателей с постоянными магнитами при помощи комплексной топологической оптимизации / Т. И. Петров, А. Р. Сафин, R. K. Vehera // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2023. – Т. 15, № 1(57). – С. 58-67.

О НЕКОТОРЫХ ВОПРОСАХ СОВМЕСТНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНО - ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

Ходжиев А. А.

Политехнический Институт Технического Университета Таджикистана имени М.

С. Осими, г. Худжанд, Таджикистан

hojiev.anvar@bk.ru

В данном тезисе исследуются вопросы потенциала энергетического комплекса, наличия значительного количества топливно-сырьевых и гидравлических ресурсов стран Центральной Азии, прогнозирования стратегии и перспектив развития их энергетического сотрудничества.

Ключевые слова: энергетический комплекс, инвестиции, сотрудничество, гидроэнергетические ресурсы, энергетическая безопасность, экономическое развитие.

ON SOME ISSUES OF JOINT USE OF THE WATER AND ENERGY COMPLEX OF CENTRAL ASIA

Khodzhiev A. A.

Polytechnic Institute of the Technical University of Tajikistan named after M. S.

Osimi, Khujand, Tajikistan

hojiev.anvar@bk.ru

This thesis examines the issues of the potential of the energy complex, the availability of a significant amount of fuel and raw materials and hydraulic resources of the countries of Central Asia, forecasting the strategy and prospects for the development of their energy cooperation.

Keywords: energy complex, investments, cooperation, hydropower resources, energy security, economic development.

Успешная реализация интеграционных проектов в рамках Центральной Азии во многом определяется не только стремлениями стран региона налаживать взаимовыгодное энерго-экономическое сотрудничество и объединиться против общих внешних и внутренних угроз, но и в значительной мере зависит от степени участия в них крупных держав, имеющих свои интересы в регионе. Об этом свидетельствует возрастающая активность быстроразвивающихся региональных держав и,

следовательно, крупных потенциальных импортеров электроэнергии (Индия, Иран, Пакистан), которая связана не только с необходимостью удовлетворения ими собственных потребностей в энергоресурсах, но и с желанием быть реальным участником в освоении огромного гидроэнергетического потенциала рек Центральной Азии на долгосрочной основе. Это значительно повышает инвестиционную привлекательность гидроэнергетического сектора региона, прежде всего горных стран (Таджикистан, Кыргызстан). Более того, приход этих стран с колоссальными инвестициями в гидроэнергетический сектор Таджикистана мог бы многократно усилить интеграционные процессы не только среди стран региона, но и между Центральной Азией и других стран – членов СНГ в целом.

Усиление водно – энергетической интеграции стран Центральной Азии на базе строительства крупных гидроэнергетических сооружений в горных странах региона имеет два аспекта, связанные с учетом внешних и внутренних интересов стран региона, особенно стран, расположенных в верховьях основных рек Аральского бассейна.

Внешние аспекты исходят из необходимости формирования в ближайшем будущем единого регионального рынка энергетических ресурсов с участием практически всех стран региона. Дело в том, что речь идет о разделе и перераспределении рынка электроэнергии с вовлечением на этот рынок потребителей из стран ближнего зарубежья (Афганистана, Пакистана, Индии, Ирана и др.). Электроэнергетика долинных стран региона базируется на использование сжигаемых энергетических ресурсов, запасы которых, как известно, не безграничны и стремительно истощаются. Это обстоятельство ставит долинные страны в затруднительное положение. Ситуация на этом рынке может сильно измениться с вводом в действие крупных гидроэлектростанций в горных странах. Дело в том, что электроэнергия, вырабатываемая такими станциями, в среднем гораздо дешевле, чем та, которая вырабатывается тепловыми и другими электростанциями. Это ставит производителей электроэнергии из соседней республики в положение, во- первых, очень трудное в плане воспроизводства и сохранения перспективных параметров развития этой отрасли, и, во- вторых, невыгодное – в плане сохранения конкурентоспособности отрасли на региональном рынке электроэнергии по сравнению с таджикскими партнерами. Таджикская электроэнергия по всем параметрам (прежде всего, дешевизна, экологическая чистота, низкая цена, минимальный объем потери воды и др.) может стать самым конкурентоспособным товаром на региональном энергетическом рынке.

Огромные и постоянно растущие потребности соседних стран (Афганистана, Пакистана, Индии, Ирана и др.) многократно усиливают конкурентную борьбу и, соответственно, способствуют росту инвестиционной привлекательности гидроэнергетической отрасли Таджикистана.

Важно учесть, что значительный рост инвестиционной привлекательности гидроэнергетического сектора страны, прежде всего строительства Рогунской ГЭС, позволяющего обеспечить интеграционное сочетание водных, аграрных и гидроэнергетических отраслей стран региона, прежде всего, горных стран, а также перспективы формирования единого аграрного и энергетического рынка тесно связаны с теми преимуществами, которыми обладают эти сектора. Среди них наиболее важными являются следующие:

- низкая себестоимость выработки электроэнергии. Этот фактор является важнейшим условием высокой конкурентоспособности гидроэнергетической отрасли Таджикистана не только в Центральной Азии, но и в СНГ в целом. Так, себестоимость электроэнергии, вырабатываемой на гидроэлектростанциях Таджикистана в 4 – 5 раз ниже себестоимости только топливной составляющей тепловых электростанций, расположенных в долинных государствах региона;

- экологическая чистота вырабатываемой гидроэлектростанциями энергии. Так, гидроэнергетика базируется на использовании возобновляемых природных ресурсов и не сопровождается выбросами загрязняющих веществ. По некоторым оценкам, в настоящее время функционирование гидроэнергетической отрасли Таджикистана равносильно экономии 1,86 млн. тонн условно- ископаемого топлива, а при росте гидроэнергетического потенциала в 2 раза она может составить примерно 4- 5 млн. т/ год;

- минимальная площадь затопления продуктивных земель и зеркала водохранилища при строительстве гидроэлектростанции в узких и глубоких горных ущельях с меньшим испарением воды. Так, строительство гидроузлов на равнинных реках сопровождается затоплением сотен тысяч гектаров продуктивных и других земель, нарушением режима водотока, ухудшением условий рыбоводства и др.;

- возможность накопления и сохранения воды в водохранилищах при гидроэлектростанции в целях сезонного и круглогодичного регулярного стока рек для расширения зоны имеющих и освоения новых орошаемых массивов, развития других водоемких

отраслей национальной экономики и т.д., а также для стабильной передачи соседним странам для удовлетворения их потребностей в водных ресурсах;

- возможность получения выгоды от совместного преодоления угроз продовольственной безопасности на базе формирования единого регионального аграрного и сельскохозяйственного рынка;

- межгосударственный характер значительной части водохозяйственных объектов и сооружений, расположенных в горных странах.

В целом, обеспечение приоритетного развития гидроэнергетической отрасли Таджикистана и углубление водно-энергетической интеграции в Центральной Азии является важнейшим направлением устойчивого развития региона, оптимизации регионального природопользования, позволяющего максимально учесть интересы стран региона как в плане сохранения национальных экосистем, так и в плане получения наибольшей выгоды от организации межгосударственного водно-энергетического сотрудничества. Водно-энергетическая интеграция направлена, прежде всего, на создание необходимых предпосылок для реализации проектов по совместному использованию регионального природно-ресурсного капитала и достижению на этой основе продовольственной и энергетической безопасности стран региона, прежде всего, стран, расположенных в горной части Центральной Азии.

Таким образом, страны Центральной Азии могут оказывать содействие друг другу в освоении громадного водно-энергетического потенциала, развитии гидроэнергетической индустрии, оптимизации трансграничного водопользования, улучшения функционирования водохозяйственного комплекса, а также развитию современных ирригационных-мелиоративных технологий с целью расширения взаимовыгодного сотрудничества и обеспечения устойчивого интеграционного развития региона.

Источники

1. Винокуров Е. Инвестиции и сотрудничество в гидроэнергетике Центральной Азии // Континент партнерства. 2007. Сентябрь.

2. Коммерсантъ, Россия переоценила свой вклад в Киргизию. 26.03.2012.

3. Азиатские энергетические сценарии 2030: монография. – М.: Магистр, 2012.

4. Винокуров Е., Ахунбаев А., Усманов Н., Цукарев Т., Сарсембеков Т. Инвестиции в водно-энергетический комплекс Центральной Азии. Доклады и рабочие документы 21/3. Алматы, Москва: Евразийский банк развития. 2021.

5. Зырянов А.Г. Состояние и проблемы совместного использования водных и энергетических ресурсов бассейна реки Сырдарья. Специальная программа ООН для экономик ЦА. 15- ая сессия Проектной рабочей группы по водным и энергетическим ресурсам. Бишкек, Кыргызстан. 14 – 15 ноября 2007.

6. Норматов И.Ш., Петров Г.Н. Экономические вопросы развития гидроэнергетики Таджикистана. Республиканский пресс- центр. Душанбе.2007.

7. Петров Г.Н., Халиков Ш.Х. К вопросу о развитии гидроэнергетики Таджикистана. Экономика Таджикистана: стратегия развития. Душанбе. №3. 2007.

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ УСТАНОВОК АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГИИ

Ходжиев А. А.

Политехнический Институт Технического Университета Таджикистана имени М.

С. Осими, г. Худжанд, Таджикистан

hojiev.anvar@bk.ru

В данном тезисе исследуется актуальность и эффективность работы комбинированных установок альтернативной энергии, пути рационального определения участников, из которых состоит энергетический комплекс.

Ключевые слова: энергетический комплекс, энергия, оптимизация, автономность, источник, ресурс, режим работы.

SOME ISSUES OF THE USE OF COMBINED ALTERNATIVE ENERGY INSTALLATIONS

Khodzhiev A. A.

Polytechnic Institute of the Technical University of Tajikistan named after M. S.

Osimi, Khujand, Tajikistan

hojiev.anvar@bk.ru

This thesis examines the relevance and efficiency of combined alternative energy installations, ways to rationally determine the participants that make up the energy complex.

Keywords: energy complex, energy, optimization, autonomy, source, resource, mode of operation.

Энергетические комплексы, в которые включены несколько установок возобновляемых источников энергии, предназначены для одновременного использования нескольких видов альтернативной энергии.

В зависимости от первичных источников энергии, назначения и целого ряда других факторов, энергокомплексы могут быть различного исполнения. В настоящее время энергокомплексы классифицируются по следующим основным признакам:

- по виду вырабатываемой энергии;
- по критерию автономности;

- по методу аккумуляции.

На сегодняшний день существуют различные системы для аккумуляции энергии. На данный момент разработаны и реализованы на практике многие варианты исполнения энергокомплексов на базе возобновляемых источников энергии.

По ресурсам возобновляемой энергии и их доступности, по изученности потенциала, по наличию производственно-технической базы и уровню развития научно-технической базы, в Таджикистане наиболее приемлемо использование гидравлической и солнечной энергии. Остальные виды источников энергии на сегодняшний день по вышеупомянутым признакам отходят на второй план.

При создании автономных энергокомплексов одним из наиболее важных вопросов считается рациональное определение участников, из которых состоит энергетический комплекс. Поэтому при формировании энергокомплексов на базе возобновляемых источников энергии необходимо придерживаться следующих этапов:

- определение структуры и состава энергокомплекса добавлением и исключением источников ВИЭ. Первый этап предполагает изучение и оценку ресурсов возобновляемых источников энергии местности, определение источников ВИЭ, соответствующих энергетическим потребностям;

- при неизменной структуре энергокомплекса в целом, изменение удельного веса его составляющих. На этом этапе в основном формируется основной состав энергокомплекса, параметры, которого должны удовлетворять графики нагрузки;

- при постоянном наборе составляющих энергокомплекса, изменение технологических схем преобразования возобновляемых источников энергии. Третий этап предполагает расчёт параметров всех участников энергокомплекса с учетом максимальной выработки энергии;

- оптимизация энергокомплекса. Последний этап предполагает при условии удовлетворенном графика нагрузки оптимизировать энергокомплекс и минимизировать тем самым его стоимость и стоимость производимой им энергии.

Известно, что режимы работы солнечной фотоэлектрической электростанции прежде всего зависят от прихода солнечной радиации, а режимы работы малой гидроэлектростанции от поступления потока воды. Это означает, что комплекс сам по себе не способен отвечать требованиям надежности по бесперебойности питания потребителя. Таким образом, при включении аккумуляторного устройства в систему энергокомплекса,

аккумулятор становится гарантом надежного электроснабжения и берет на себя ответственность за бесперебойность питания.

При проектировании аккумуляторной системы обычно встречаются следующие случаи:

- аккумуляторная система работает в составе крупной энергосистемы;
- аккумуляторная система функционирует в составе автономного энергетического комплекса.

При работе в большой энергосистеме мощность энергосистемы многократно превышает мощность самого аккумулятора, а при работе в автономной системе мощность аккумулятора соизмерима с мощностью этой автономной системы. При подключении аккумулятора к системе с большей мощностью, не должен нарушаться баланс мощности в системе.

Как правило, аккумуляторные системы не должны разряжаться до нуля, то есть имеют некоторый наименьший уровень, который считается минимальным уровнем зарядки. Кроме минимального уровня, согласно требованиям к аккумуляторной системе, аккумулятор должен иметь достаточную емкость для правильного функционирования в аварийных ситуациях. Это означает, что аккумулятор должен еще иметь аварийную емкость.

С учетом вышесказанного, полная емкость аккумулятора быть равна:

$$\mathcal{E}_{\Sigma\text{АК}} = \mathcal{E}_{\text{АК}} + \mathcal{E}_{\text{мин}} + \mathcal{E}_{\text{авар.}} \quad (1)$$

где $\mathcal{E}_{\text{авар.}}$ - емкость аккумулятора, отведенная для работы в аварийных ситуациях;

$\mathcal{E}_{\text{мин}}$ - минимальная допустимая емкость аккумулятора, определяемая по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{мин}} = \mathcal{E}_{\Sigma\text{АК}} - \mathcal{E}_{\text{АК}} \quad (2)$$

Причем должно выполняться условие:

$$\mathcal{E}_{\Sigma\text{АК}} \geq \mathcal{E}_{\text{АК}} \quad (3)$$

При работе аккумуляторной системы в большой энергосистеме, ее параметры и режим работы должны выбираться в первую очередь исходя из графика потребления нагрузки, периодов дефицита и избытка энергии в этой системе.

К аккумулятору, работающему в автономной сети, предъявляются дополнительные требования. Одним из важных требований к аккумуляторам автономных систем является то, что энергоемкость аккумулятора должна осуществлять регулирование и формирование частоты в системе. Исходной информацией для решения этой задачи служит график потребления и генерации электроэнергии, на основе которого в каждый момент времени составляется баланс энергии в системе по формуле:

$$\Delta N_i = N_{\text{потреб.}i} - N_{\text{генер}i} \quad (4)$$

Для автономных энергокомплексов на базе возобновляемых источников энергии с аккумуляторной системой, при использовании уравнения (4) обычно встречаются следующие возможные случаи:

1. Если результат расчета по формуле (4) даст результат $\Delta N_i \leq 0$, это означает, что существует избыток энергии в системе. Избыточная энергия запасается аккумулятором, при этом возможны следующие случаи:

а) при $\Delta N_i \geq N_{\text{АК}}^{\text{макс}} + N_{\text{АК}i}$ система аккумуляирования запасает энергию равную $N_{\text{АК}i+1} = N_{\text{АК}}^{\text{макс}}$;

б) при $\Delta N_i \leq N_{\text{АК}}^{\text{макс}} + N_{\text{АК}i}$ система аккумуляирования запасает энергию равную $N_{\text{АК}i+1} = N_{\text{АК}i} - \Delta N_i$;

2. Если результат расчета по формуле (4) даст результат $\Delta N_i \geq 0$, это означает, что существует дефицит энергии в системе энергокомплекса. При этом целесообразно различать следующие варианты:

а) при $\Delta N - \eta_{\text{АК}}(N_{\text{АК}i} - N_{\text{АК}}^{\text{мин}}) \geq 0$ система аккумуляирования не способна полностью обеспечить потребителя, в таком случае аккумулятор расходует всю запасенную энергию до минимально допустимого уровня. Это означает, что в системе остается непокрытая нагрузка. Непокрытая нагрузка в таком случае может покрываться за счет применения дополнительного источника питания специально предназначенного для таких случаев. Однако, применение дополнительного источника питания, что влечет за собой дополнительные денежные затраты и прежде всего зависит от категории потребителя по надежности;

б) при $\Delta N - \eta_{\text{АК}}(N_{\text{АК}i} - N_{\text{АК}}^{\text{мин}}) \leq 0$ энергокомплекс не способен полностью удовлетворять потребности в энергии. Не покрытая часть нагрузки покрывается аккумуляторной системой, т.е. аккумулятор при этом способен полностью погасить дефицит энергии в автономной сети.

Обобщенную математическую модель аккумуляторной системы, рассмотренной выше, можно применять для расчета всех типов аккумуляторных систем.

Источники

1. Тошходжаева М.И., Комилова М.Е. Формирование оптимальной структуры источников распределенной генерации в региональной энергосистеме. Вестник ПИГТУ имени академика М.С.Осими. 2022. № 2 (23). с. 25 – 33.
2. Тошходжаева М.И., Комилова М.Е. Проблемы совместной работы малых источников с энергосистемой. В сборнике: Проблемы и перспективы развития энергетики, электротехники и энергоэффективности. Материалы V Международной научно-технической конференции. Чебоксары, 2021. с. 289 – 293.
3. Тошходжаева М.И., Ходжиев А.А., Одирматова У.Б. Системы распределенной генерации и их экономическая составляющая. В сборнике: Электрические сети: надежность, безопасность, энергосбережение и экономические аспекты. Материалы Международной научно-практической конференции. Казань, 2022. с. 249 – 256.
4. Тошходжаева М.И., Расулов Х.И. Внедрение источников распределенной генерации: технико - экономические аспекты. Материалы XV11 Всероссийской открытой молодежной научно-практической конференции. Казань, 2022. с. 335 – 340.
5. Бляшко Я.И. Научно-технические проблемы создания объектов малой гидроэнергетики./ 8-я Международная конференция «Возобновляемая и малая энергетика 2011». - Санкт Петербург.
6. Друзь Н., Борисова Н., Асанкулова А., Раджабов И., Захидов Р. Таджиев У. Положение дел по использованию возобновляемых источников энергии в Центральной Азии. Перспективы их использования и потребности в подготовке кадров. /ОБЗОР/. - ЮНЕСКО, - Алмата: - 2010.
7. Бальзанников М.И., Елистратов В.В. Возобновляемые источники энергии. Аспекты комплексного использования. – Самара: ООО «Офорт», СамГАСУ, 2008. □

АНАЛИЗ СХЕМОТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ РАБОТУ ВОЗДУШНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ 10 КВ В УСЛОВИЯХ ОДНОФАЗНОГО ПОВРЕЖДЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ

Чернышов В.А.¹, Головин Р.А.²

^{1,2} ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева», г. Орел, Россия

¹blackseam78@mail.ru, ²golowin.roma2010@yandex.ru

В статье рассматриваются различные схемотехнические решения, обеспечивающие возможность функционирования воздушных сетей 10 кВ при однофазных повреждениях изоляции. Критический анализ рассмотренных способов, показал необходимость отыскания новых решений, направленных на повышения эффективности функционирования сетей данного класса напряжения. Обосновывается целесообразность использования альтернативного варианта – однопроводной системы электроснабжения.

Ключевые слова: воздушные электрические сети, однофазные замыкания на землю, изолированная нейтраль, компенсация ёмкостного тока, однопроводная система электроснабжения.

ANALYSIS OF CIRCUIT ENGINEERING SOLUTIONS PROVIDING OPERATION OF 10 KV OVERHEAD ELECTRIC NETWORKS UNDER CONDITIONS OF SINGLE-PHASE INSULATION DAMAGE

Chernyshov V.A.¹, Golovin R.A.²

^{1,2} I.S. Turgenev OSU, Orel, Russia

¹blackseam78@mail.ru, ²golowin.roma2010@yandex.ru

The article discusses various circuit solutions that provide the possibility of functioning of 10 kV overhead networks in case of single-phase insulation damage. A critical analysis of the considered methods showed the need to find new solutions aimed at improving the efficiency of networks of this voltage class. The expediency of using an alternative option - a single-wire power supply system is substantiated.

Keywords: overhead electrical networks, single-phase earth faults, isolated neutral, capacitive current compensation, single-wire power supply system.

На территории Российской Федерации большая часть воздушных электрических сетей 10 кВ выполнена с изолированной нейтралью. Опыт эксплуатации данных типов сетей показал, что наиболее частым видом повреждений в них являются однофазные замыкания на землю. Согласно статистическим данным на однофазные замыкания на землю приходится до 75 % всех аварийных ситуаций. При пересчете на длину линий, в зависимости от климатических условий, этот показатель может составлять от 6 до 15 аварийных отключений на 100 км линий в год [1-3].

Среди основных причин, обуславливающих большое количество однофазных замыканий на землю в электрических сетях 6-10 кВ, можно выделить следующие: значительный износ всех элементов эксплуатируемых линий (основной процент воздушных линий имеет срок эксплуатации в диапазоне от 35 до 50 лет – более 65 % [4, 5]); низкий уровень обслуживания; влияние погодных условий; обрыв проводников и тросов; повреждение или загрязнение изоляции и т.д.

Последствия однофазных замыканий на землю могут быть следующими [6 - 8]: ускорения процесса старения изоляционных материалов; возникновение перенапряжения, которое может привести к пробое изоляции или выходу из строя отдельных элементов сети (как трансформаторов напряжения, так и силовых трансформаторов в случае их малой загруженности); возникновение пожаров в ячейках распределительных устройств, при несрабатывании защит от однофазных замыканий на землю; возникновение опасности для жизни и здоровья людей.

Следует отметить, что однофазное замыкание в сетях с изолированной нейтралью имеет ряд особенностей, в числе которых следует выделить то, что замыкание фазы на землю происходит через емкости двух других фаз (рис. 1). Величина тока, возникающего при аварийной ситуации, незначительна и зависит от емкости оставшихся фаз. Данный тип аварии не требует незамедлительного отключения участка сети, однако длительная эксплуатация объекта в таком режиме может привести к развитию аварийных ситуаций. Одной из причин развития аварии является возникновение несимметрии напряжений. В поврежденной фазе напряжение падает до нуля, а в рабочих фазах возрастает до уровня линейного напряжения.

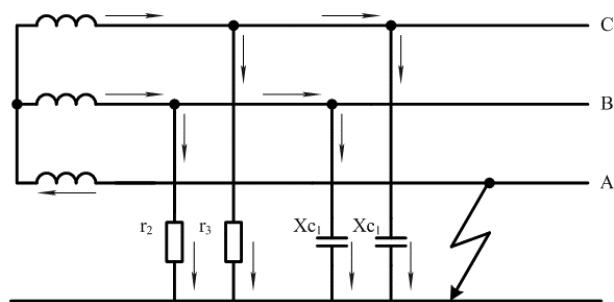


Рис. 1. Схема трехфазной электрической сети с изолированной нейтралью при возникновении однофазного замыкания на землю

Согласно ПУЭ эксплуатация электрической сети изолированной нейтралью при возникновении однофазного замыкания на землю возможна в течении 2 часов. Для уменьшения негативного влияния однофазного замыкания на сеть и развития аварии необходимо уменьшить емкостной ток, обусловленный распределенными вдоль линии электропередач емкостями. В ПУЭ установлены предельные значения емкостных токов, при превышении которых требуется компенсация. Так, например, для сети 10 кВ значение емкостного тока не должно превышать 20 А.

Среди других способов компенсации емкостного тока в электрических сетях можно выделить следующие:

1. Применение защитного шунтирования.

При возникновении однофазного замыкания срабатывает автоматика и замыкает поврежденный участок электрической сети на шунтовое сопротивление, что позволяет ограничить протекающий в сети ток [9].

Достоинствами данного способа является возможность ограничения полного значения тока однофазного замыкания на землю, а также отсутствие влияния на работу сети. Основными недостатками данного способа являются эффективность компенсации тока однофазного замыкания от фактических параметров сети и расстояния от шунта до участка аварии; отсутствие возможности уменьшения тока замыкания до нуля вследствие наличия сопротивлений заземлителей и линий; а также необходимость использования высоковольтной коммутирующей аппаратуры.

2. Применение дугогасящего реактора.

Дугогасящий реактор подключается к нейтрали силового трансформатора (рис. 2) и настраивается в токовый резонанс с емкостью электрической сети, уменьшая составляющую тока, обусловленную емкостной проводимостью сети. Ток, создаваемый дугогасящим реактором, уменьшает возникающий емкостной ток.

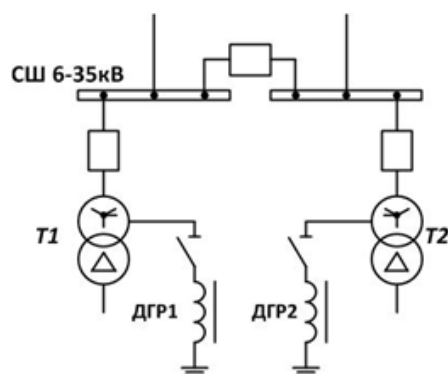


Рис. 2. Схема подключения реактора к нейтрали силового трансформатора

При выборе дугогасящего реактора должно быть выполнено условие равенства его индуктивной проводимости суммарной емкости сети, что позволит компенсировать емкостной ток до минимальных значений [10, 11].

К достоинствам данного метода можно отнести его простоту, высокую эффективность и уменьшение значений кратковременных перенапряжений.

Среди недостатков можно выделить возникновение больших значений напряжений при несимметрии проводимостей фазных проводов. Для устранения данного недостатка могут быть применены реакторы, соединенные по схеме «зигзаг».

3. Применение трансформаторного источника совместно с реактором [12].

Для компенсации полного тока сети могут быть применены трансформаторные источники, которые создают в нейтрали ток, противоположный активной составляющей тока однофазного замыкания на землю, для компенсации реактивной составляющей используется реактор (рис. 3).

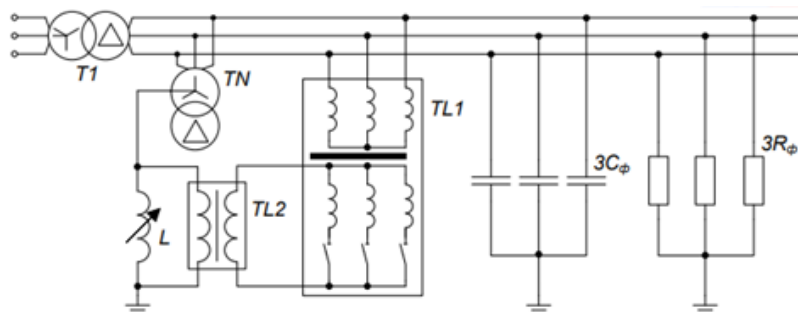


Рис. 3. Схема с применением трансформаторного источника

Трансформатор TL1 служит для выбора фазы, а TL2 выступает в роли согласующего трансформатора.

Достоинствами данного способа являются простота и надежность, а также возможность компенсации полного значения тока КЗ.

Недостатками – возможность регулировки тока в малом диапазоне, генерация тока только на частоте питающей сети, низкий коэффициент загрузки трансформатора TL1.

4. Применение тиристорного источника совместно с реактором [13].

Для устранения недостатков метода с применением трансформаторного источника была предложена схема с тиристорным источником (рис.4).

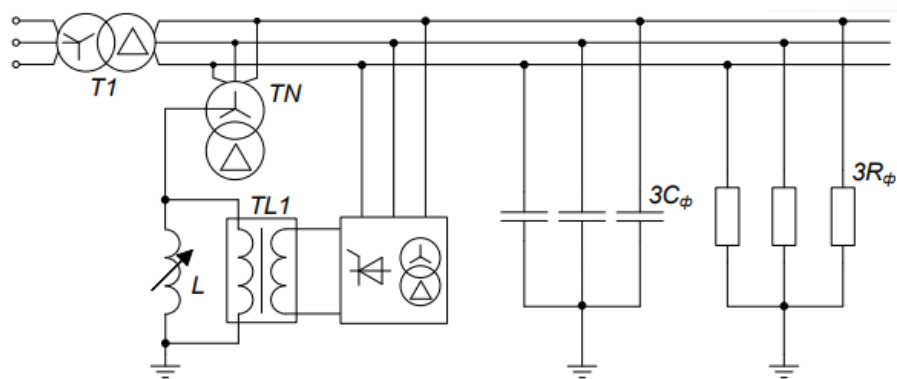


Рис. 4. Схема с применением тиристорного источника

Принцип работы аналогичен рассмотренной выше методике. Данный метод отличается возможностью регулирования значений генерируемого тока в широком диапазоне. Изменение тока осуществляется путем изменения угла коммутации тиристоров. Однако, данный метод не позволяет компенсировать составляющие тока, обусловленные частотами, отличными от частоты питающей сети.

Проведенный анализ показал, что все рассмотренные схемотехнические решения позволяют лишь уменьшать влияние токов замыкания на землю в воздушных электрических сетях 10 кВ, при этом все они характеризуются высокой стоимостью реализации. Данное обстоятельство не позволяет полномасштабно решать проблему надежности функционирования данных сетей в условиях возникновения однофазных замыканий на землю.

По мнению авторов, весьма простым, но вместе с этим весьма эффективным решением в данной ситуации, может стать применение однопроводной системы электропередачи, развертываемой на участке

воздушной линии электропередачи, имеющей повреждение изоляции. Особенность однопроводной системы электропередачи состоит в том, что она использует в качестве одного из токопроводов землю, при этом линия подключается к источнику питания через разделительный трансформатор и (рис.5).

Предлагаемое схемотехническое решение может быть рекомендовано электросетевыми предприятиям, т.к. оно позволяет на 67 % сократить расход провода марки АС и изоляторов марки ШС(ШФ)-10, а в случае использования изолированного провода, полностью отказаться от применения изоляторов, что в условиях чрезвычайных ситуаций позволит оперативно восстанавливать утраченное электроснабжение с минимальными трудовыми и материальными затратами [14, 15].

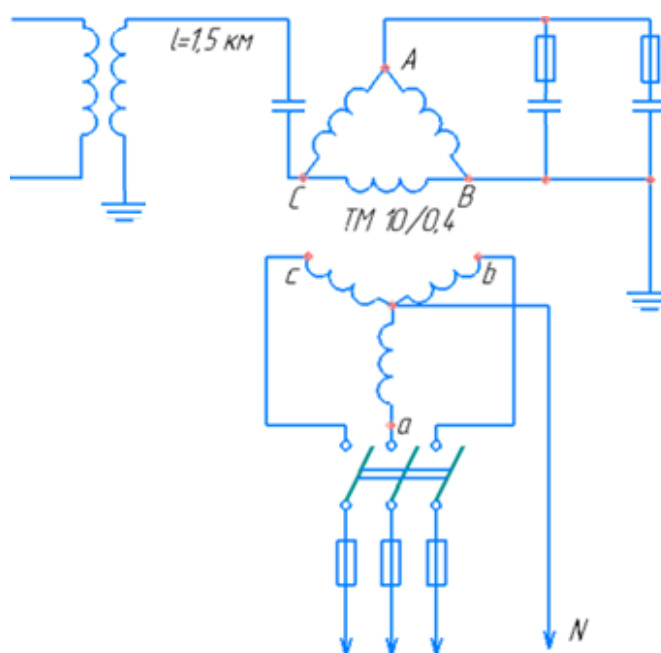


Рис. 5. Однопроводная система электроснабжения 10 кВ

Источники

1. Арцишевский, Я.Л. Определение мест повреждения линий электропередачи в сетях с изолированной нейтралью. М.: Высшая школа, 1989
2. Хабибулин, Р.М. Мониторинг линий воздушных линий электропередачи / Р.М. Хабибулин Р.М., О.В. Воркунов // Электрические сети: надежность, безопасность, энергосбережение и экономические аспекты. 2022. С. 277–281.

3. Секретарев, Ю.А. Оценка влияния на надежность системы электроснабжения различного рода дефектов ее основных элементов / Ю.А. Секретарев, В.М. Левин // Вестник КГЭУ, 2019, № 4 (44), сс. 55-63.
4. Сазыкин, В.Г. Анализ технического состояния электрооборудования распределительных сетей напряжением 6–10 кВ АПК / В.Г. Сазыкин В.Г., А.Г Кудряков // Успехи современной науки и образования. 2017. Т. 1. № 1. С. 97–102.
5. Грачева, Е.И. Исследование вероятностных характеристик систем электроснабжения / Е.И. Грачева, Р.Р. Садыков // Известия высших учебных заведений. Проблемы Энергетики. 2017. Т.19.№ 1-2. С. 95-10.
6. Рахимов, О.С. М.И. Влияние систем распределительной генерации на устойчивость энергосистем / О.С. Рахимов, М.И. Тошходжаева // Электрические сети: надежность, безопасность, энергосбережение и экономические аспекты. 2022. С. 18–24.
7. Сазыкин, В.Г. Проблема и виды износа электрооборудования / В.Г. Сазыкин, А.Г. Кудряков // Путь науки. 2015. № 2 (12). С. 36–38.
6. Лихачёв, Ф.А. Защита от внутренних перенапряжений установок 3- 220 кВ / Ф.А. Лихачёв – М.: Энергия, 1968. – 103 с.
8. Бык, Ф.Л. Фактор надежности при проектировании распределительной сети / Ф.Л. Бык, Ю.В. Какоша, Л.С. Мышкина // Проблемы энергетики, 2020, том 22, № 6, сс. 43-54.
9. Лизунов, И.Н. Технологии передачи данных в современных системах релейной защиты и автоматики и их показатели качества / И.Н. Лизунов, А.Н. Васев, Р.Ш. Мисбахов, В.В. Федотов, Э.А. Хузиахметова // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2017. Т.19.№ (1-2). С 52-63. doi.org/10.30724/1998-9903-2017-19-1-2-52-63.
10. Вайнштейн, Р.А. Защита от замыканий на землю в компенсированных сетях 6-10 кВ / Р.А. Вайнштейн, С.И. Головкин, В.С. и др. // Электрические станции. – 1998. – № 7. – С. 26-30.
11. Валеев, Г.С. Расчет дугогасящего реактора с дискретным регулированием индуктивности по методу подобия / Г.С. Валеев // Автоматизация энергосистем и энергоустановок промышленных предприятий. – Челябинск Издво ЧПИ, – 1977. – Вып. 191. – С. 22-29.
12. АС №534006 СССР, кл. Н 02Н 3/16, Н 02J 3/18. Устройство для компенсации активного и емкостного тока замыкания на землю // Никифоровский Н.Н., Брунав Я.П.; Заявлено 17.06.1974; Опубликовано 30.10.1976

13. АС № 813587, кл. Н 02 J 3/18. Устройство для компенсации полного тока однофазного замыкания на землю // Обабков В.К., Целуевский Ю.Н.; Заявлено 07.06.1979; Опубликовано 15.03.1981.

14. Голенищев-Кутузов, А.В. Дистанционный контроль технического состояния фарфоровых высоковольтных изоляторов / А.В. Голенищев-Кутузов, В.А. Голенищев-Кутузов, Д.А. Иванов, Г.Д. Марданов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2018. Т.20.№ (3-4). С 99-107. doi.org/10.30724/1998-9903-2018-20-3-4-99-107

15. Чернышов, В.А. Обоснование целесообразности применения систем временного электроснабжения по однопроводным воздушным линиям электропередачи 10 кВ в условиях чрезвычайных ситуаций / В.А. Чернышов, Р.А. Головин // Энерго- и ресурсосбережение - XXI век. 2023. С. 81–84

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ ТАНГЕНС УГЛА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ МАСЕЛ РАЗНОЙ СТЕПЕНИ ДЕГРАДАЦИИ В ПРОЦЕССЕ ВЛИЯНИЯ АДСОРБЦИОННОЙ ОЧИСТКИ

Шарипова А. Р.¹, Воркунов О. В.², Гарифуллин М. Ш.³

^{1,2,3} ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

¹aygul.sharipova.99@list.ru, ²vorcunov_oleg@mail.ru, ³g_marsels@mail.ru

Силовые трансформаторы являются наиболее важной составляющей энергосистемы в целом. Традиционно минеральное (трансформаторное) масло используется в качестве изолирующего хладагента для силовых трансформаторов. В данном исследовании проведены опыты по определению степени деградации трансформаторного масла от его характеристики ($\text{tg}\delta$). Представлены результаты измерения $\text{tg}\delta$ в зависимости от температуры четырех проб трансформаторного масла и определены их степени деградации.

Ключевые слова: трансформаторное масло, степень деградации, тангенс угла диэлектрических потерь.

DETERMINATION OF THE VALUES OF THE TANGENT OF THE DIELECTRIC LOSS ANGLE OF TRANSFORMER OILS OF VARYING DEGREES OF DEGRADATION DURING THE INFLUENCE OF ADSORPTION PURIFICATION

Sharipova A.R.¹, Vorkunov O. V.², Garifullin M. S.³

^{1,2,3} FGBOU VO "KSPEU", Kazan, Republic of Tatarstan

¹aygul.sharipova.99@list.ru, ²vorcunov_oleg@mail.ru, ³g_marsels@mail.ru

Power transformers are the most important component of the power system as a whole. Traditionally, mineral (transformer) oil is used as an insulating refrigerant for power transformers. In this study, experiments were conducted to determine the degree of degradation of transformer oil from its characteristics ($\text{tg}\delta$). The results of measuring $\text{tg}\delta$ depending on the temperature of four transformer oil samples are presented and their degradation degrees are determined.

Key words: transformer oil, degree of degradation, the tangent of the dielectric loss angle.

Трансформаторное масло играет одну из наиболее важных ролей в правильном функционировании трансформатора и служит эффективным охладителем и изоляцией. В соответствии с назначением, а также для длительной и безопасной работы маслonaполненного оборудования трансформаторное масло должно обладать следующим качеством - быть хорошим диэлектриком, то есть иметь высокое значение пробивного напряжения и низкое и стабильное значение тангенса угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$ [1].

Повышение тангенса угла диэлектрических потерь трансформаторного масла может привести к ухудшению всех изоляционных характеристик трансформатора [2]. Поэтому, при повышении диэлектрических потерь масла сверх нормируемого предела нужно принять меры к его снижению или заменить масло, так как идут быстрые деградационные процессы. В результате старения трансформаторного масла происходит повышение $\text{tg}\delta$, обусловлено это растворением в них компонентов плохо запеченных лаков трансформатора, сопровождающимся, как правило, повышением кислотного числа, а также влиянием ароматических соединений и способностью масла образовывать осадок в процессе старения.

Для определения диэлектрических потерь трансформаторного масла для нескольких образцов с разной степенью деградации, была использована автоматизированная установка измерения диэлектрических потерь трансформаторного масла «Тангенс 3М» (рис. 1). Преимущество данного прибора заключается в максимально быстром и эффективном анализе масла [3].



Рис.1 Установка «Тангенс 3М»

Результат измерения $\text{tg}\delta$ в зависимости от температуры для четырех проб трансформаторного масла представлен на рис. 2. Полученные значения измерений приведены в таблице 1.

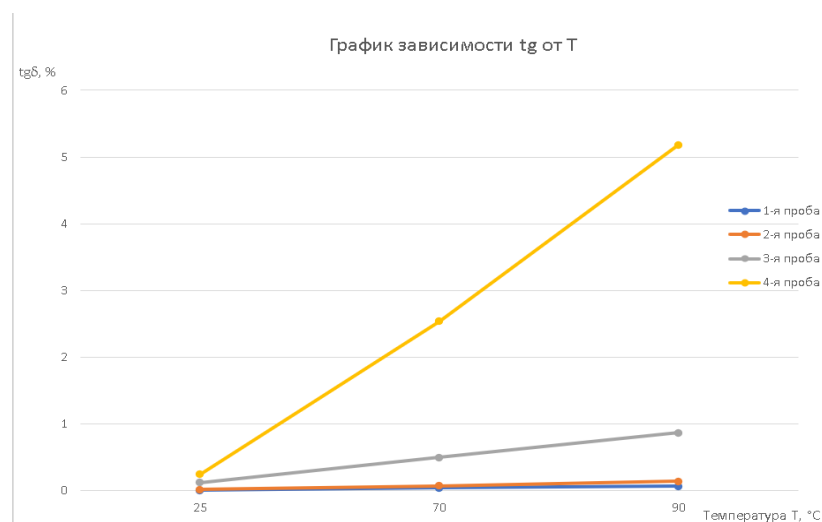


Рис.2 График зависимости tgδ от T для четырех проб масла

Таблица 1

Значения измерений проб трансформаторного масла

tgδ, %/ T, °C	25	70	90
tgδ 1-й пробы	0,008	0,045	0,066
tgδ 2-й пробы	0,019	0,076	0,142
tgδ 3-й пробы	0,123	0,501	0,871
tgδ 4-й пробы	0,246	2,537	5,185

Исходя из этих значений, пробы масел располагаются в порядке возрастания степени деградации: №1-№2-№3-№4. Из этого следует, что первая проба – наиболее свежая и незагрязненная, а четвертая проба соответственно самая деградированная и необходима очистка. Как видно из графика пробы масел №3 и №4 подлежат немедленной замене, а другие пробы (№1, №2) могут далее эксплуатироваться в маслonaполненном оборудовании.

Для нахождения значений tgδ разных видов трансформаторных масел в процессе влияния адсорбционной очистки на протяжении 120 ч. был использован прежний прибор «Тангенс 3М».

Проба №4 с предыдущего измерения и проба №5, масло отработавшее свой срок на заводе, оставленные на 120ч. при очистке силикагелем представлены для наглядности на рис. 3. Полученные значения измерений приведены в таблице 2.



Рис. 3 Пробы масла с силикагелем;
слева - №4 проба масла, полученная лабораторным методом, справа - №5 проба масла, отработавшее на заводе

Таблица 2

Значения $tg\delta$ ТМ при использовании силикагеля

t, ч. после исп. силикагеля	$tg\delta$	
	№4 проба (лабораторное масло)	№5 проба (окисленное масло с завода)
0 ч. (до исп. силикагеля)	0,246	0,639
1 день (24 ч.)	0,079	0,406
2 день (48 ч.)	0,049	0,313
3 день (72 ч.)	0,037	0,261
4 день (96 ч.)	0,029	0,212
5 день (120 ч.)	0,025	0,184

Контроль степени деградации ТМ позволяет своевременно предпринимать меры по улучшению качества трансформаторного масла и, следовательно, увеличению срока службы ТМ и самого трансформатора.

Источники

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

2. Механизмы деградации трансформаторных масел / В. К. Козлов, Д. М. Валиуллина, О. А. Туранова, А. Н. Туранов // Электрические станции. – 2022. – № 2(1087). – С. 41-44. – EDN FCLUNX.

3. Определение степени старения трансформаторного масла по тангенсу угла диэлектрических потерь / В. К. Козлов, Д. М. Валиуллина // Наука и образование в условиях мировой нестабильности: проблемы, новые этапы развития: Материалы II международной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 30 апреля 2022 года. – г. Ростов-на-Дону: Общество с ограниченной ответственностью "Манускрипт", 2022. – С. 295-308. – EDN QRITLL.

4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022614500 Российская Федерация. Программа определения параметров сигнала переходного процесса, регистрируемого в электрической сети : № 2022612595 : заявл. 28.02.2022 : опубл. 23.03.2022 / И. И. Иркагалиева, С. М. Тукаев, Р. Г. Хузяшев, И. Л. Кузьмин ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный энергетический университет». – EDN VWAYJO.

5. Wavelet analysis of transient signals caused by commutations in power lines / R. G. Khuziashev, I. L. Kuzmin, I. I. Irkagalieva, I. A. Minaev // Proceedings of the 2022 4th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering, REEPE 2022 : 4, Moscow, 17–19 марта 2022 года. – Moscow, 2022. – DOI 10.1109/REEPE53907.2022.9731377. – EDN NEMHIL.

6. Богомолова, Т. В. К вопросу о создании оптимальной последней ступени мощных паровых турбин АЭС / Т. В. Богомолова, Г. А. Ахмадзадех // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2023. – Т. 25, № 1. – С. 14-23. – DOI 10.30724/1998-9903-2023-25-1-14-23. – EDN CRDKZK.

7. Биодизельное топливо. Часть III. Квантово-химическое исследование и моделирование процесса / С. В. Мазанов, Ф. М. Гумеров, А. И. Курдюков [и др.] // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2023. – Т. 25, № 1. – С. 24-44. – DOI 10.30724/1998-9903-2023-25-1-24-44. – EDN LMEYDB.

8. Сайтов, С. Р. Прогнозирование пиковых часов энергосбытовых компаний, входящих в реестр гарантирующих поставщиков АО "АТС" / С. Р. Сайтов, Б. Р. Карачурин, М. В. Сидоров // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2022. – Т. 14, № 4(56). – С. 59-68. – EDN VWRWPG.

9. Куницкий, В. А. Исследование нестационарных режимов работы утилизационного теплообменного устройства на основе математического моделирования / В. А. Куницкий, С. В. Лукин // Вестник Казанского

государственного энергетического университета. – 2022. – Т. 14, № 4(56). – С. 69-79. – EDN QRWLNO.

10. Энергокомплекс для энергообеспечения энерготехнологических процессов / З. Ш. Юлдашев, Р. З. Юлдашаев, Л. С. Касобов [и др.] // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2022. – Т. 14, № 4(56). – С. 80-90. – EDN PEAGBO.

11. Способ интенсификации теплообмена на основе интеллектуального управления режимными характеристиками теплообменного оборудования / К. Х. Гильфанов, Р. А. Шакиров, Р. Н. Гайнуллин, Ф. В. Коннов // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2022. – Т. 14, № 4(56). – С. 91-102. – EDN RKNVKW.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РЫНКА ЭЛЕКТРОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА В РОССИИ

Шорохов И. Р.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

igor.shorohov99@yandex.ru

В данном тезисе исследуется актуальность развития сети зарядных станций для электромобилей и тенденции развития рынка электромобильного транспорта в России.

Ключевые слова: электромобиль, зарядное устройство, зарядная станция.

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF THE ELECTRIC VEHICLE TRANSPORT MARKET IN RUSSIA

Shorohov I. R.

FGBOU VO "KSPEU", Kazan, Republic of Tatarstan

igor.shorohov99@yandex.ru

This thesis examines the relevance of the development of a network of charging stations for electric vehicles and trends in the development of the electric vehicle transport market in Russia.

Keywords: electric car, charger, charging station.

Основной тенденцией развития рынка автомобилестроения является повсеместный и постепенный отказ от использования в своих наработках двигателей внутреннего сгорания. Наиболее ярким примером наступления «Новой эры» автомобилестроения является инициатива стран Европейского союза, согласно которой выбросы углекислого газа в атмосферу, применительно ко всем новым моделям легкового и грузового транспорта, поступающего в продажу на территории Европейского союза, будут сведены к нулю к 2035 году [7]. Достижение данных показателей становится возможным благодаря не только законодательной основе, которая была одобрена, но и стратегиям развития крупных автомобильных брендов Европы и Америки, всесторонне поддерживающим данную инициативу.

Как отмечает агентство Bloomberg, инициатива ЕС фактически предвещает конец эры двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Агентство считает вероятным, что многим автомобильным компаниям придется к 2035 году перейти на производство электромобилей [1]. Полный запрет на продажу автомобилей с двигателями внутреннего сгорания является частью стратегического плана Еврокомиссии, в том числе, в целях которого числится и достижение климатически нейтральной экономики к середине XXI века [6].

Автомобильный рынок России, наравне с мировым, претерпевает постоянные изменения, среди которых одним из важнейших является принятие Распоряжения Правительства Российской Федерации от 23 августа 2021 г. № 2290 – р, в котором была утверждена Концепция по развитию производства и использования электрического автомобильного транспорта в Российской Федерации до 2030 года, согласно которой :

- к 2024 году в России планируется выпустить не менее 25 тыс. электромобилей и открыть более 9 тыс. зарядных станций для них [2];
- поставлена задача развития производственной базы и наращивания компетенций, необходимых для создания, выведения на рынок и обслуживания принципиально новых технологий;
- подчеркивается необходимость реформ в области организации и проектирования парковочных пространств;
- утверждаются направления работы по разработке программ поддержки производства электромобилей и стимулирования спроса на них;
- признается необходимость создания разветвленной сети зарядных устройств, как условие для более активного развития электрического транспорта.

По данным МВД РФ, на момент декабря 2022 года в России было зарегистрировано порядка 23,4 тысяч электромобилей, при этом, согласно отчетам Минэкономразвития РФ, количество зарегистрированных в России электромобилей в среднем увеличивается на 130 единиц в неделю.

Согласно статистической информации аналитического агентства «АВТОСТАТ» со ссылкой на данные АО «Паспорт промышленный консалтинг» в период с января по октябрь 2022 года в России был замечен существенный рост количества электрокаров, который составил 34%, что в количественном выражении позволяет говорить о 2090 новых электромобилей, используемых гражданами страны в личном пользовании. Также замечен двукратный рост участников на рынке, если в прошлом

году этот сегмент состоял из 41 модели 24 различных марок, то теперь их стало практически вдвое больше – 82 модели 43 брендов [3].

Лидером продаж автомобилей на электротяге остается марка Tesla, доля продаж которой традиционно высока и составила 39% всех проданных автомобилей в отчетном периоде, основную долю американского бренда представляет Tesla Model Y.

Несмотря на то, что общая тенденция продаж электромобилей в России является положительной, невозможно обойти стороной отрицательную динамику, которую рынок демонстрировал с апреля по август 2022 года.

Важным моментом, который повлиял на рост импорта электромобилей в страну в начале года, является отсутствие намерений ЕАЭС в области продления льготного режима ввоза электромобилей, при котором была достигнута нулевая ставка пошлины, начиная с 2022 года, ставка пошлины достигла нормативных значений в 15% [4]. На данный момент ситуация с ввозом электромобилей была стабилизирована благодаря возможности применения механизмов параллельного импорта в страну, легализованного Правительством Российской Федерации в мае 2022 года.

Говоря о развитии собственного производства, можно отметить, что 17 января 2022 года стало известно о результатах проводимого Минпромторгом РФ конкурса на заключение СПИКа для производства электромобилей, в рамках которого были поданы заявки от ООО «Моторинвест» (Липецкая область) и ООО «Электромобили Мануфэкчуринг Рус» (Санкт-Петербург).

Уже в марте 2022 года между ООО «Моторинвест», Министерством промышленности и торговли Российской Федерации и администрацией Липецкой области был заключен специальный инвестиционный контракт, в рамках которого будет реализован проект по серийной сборке китайских электромобилей на предприятии компании, в том числе и по локализации производства, выпуске автомобилей под собственным брендом Evolute.

28 сентября 2022 года стало известно о том, что компания «Электромобили Мануфэкчуринг Рус» стала резидентом особой экономической зоны «Технополис Москва» и готовится к открытию завода по производству электрических грузовиков. Инвестиции в проект превышают 300 млн рублей.

В свою очередь ООО «Электромобили Мануфэкчуринг Рус» также при непосредственном участии и совместно с Минпромторгом РФ был заключен СПИК, по условиям которого компания обязуется реализовать

инвестиционный проект по разработке и производству электромобилей, сопутствующего оборудованию к ним в течение четырех с половиной лет, в то время как государство является гарантом стабильности ведения бизнеса.

16 июня 2022 года министром промышленности и торговли Российской Федерации Мантуровым Денисом Валентиновичем было объявлено о принятии Правительством РФ решения о выделении 20,7 млрд рублей на поддержку спроса на электромобили в 2022 году, часть из которых пойдет на скидки при продаже электрического транспорта.

На современном этапе развития российской экономики, в условиях ужесточающихся санкций со стороны западных стран важно уделить особое внимание проблеме с поставками комплектующих и развитию отечественных технологий в области автомобилестроения [5]. Главной тенденцией на данном этапе является наладка локализация производства автомобилей китайских брендов внутри страны под отечественными брендами и обмен опытом с зарубежными партнерами.

Согласно прогнозам развития рынка электромобилей ожидается постепенный рост вовлеченности промышленности в выпуск автомобилей без использования двигателей внутреннего сгорания, а также рост заинтересованности граждан в покупке электромобилей благодаря принятию законодательных инициатив, принимаемых в сфере льготного кредитования для покупки транспорта с нулевыми выбросами CO₂.

Источники

1. Совет ЕС одобрил инициативу выпуска с 2035 года только автомобилей, не производящих CO₂ [Электронный ресурс] – URL: <https://tass.ru/ekonomika/15064717>

2. Правительство утвердило Концепцию по развитию производства электрического автотранспорта [Электронный ресурс] – URL: <http://government.ru/docs/43060/>

3. Рынок новых электромобилей за 10 месяцев 2022 года вырос на треть [Электронный ресурс] – URL: <https://www.autostat.ru/infographics/53166/>

4. СМИ сообщили о возвращении пошлины на ввоз электромобилей в Россию [Электронный ресурс] – URL: <https://www.rbc.ru/economics/20/05/2021/60a5d23c9a7947720bab86f9>

5. Ростовский, Й. К. Экономический анализ рынков электромобилей в мире и крупнейших странах и регионах / Й. К. Ростовский // Научные

труды: Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН. – 2020. – № 18. – С. 201-218.

6. Вильчицкая, А. А. Мировой рынок электромобилей: состояние и перспективы развития / А. А. Вильчицкая // 77-я научная конференция студентов и аспирантов Белорусского государственного университета : материалы конференции в 3 частях, Минск, 11–22 мая 2020 года. – Минск: Белорусский государственный университет, 2021. – С. 423-426.

7. Состояние и перспективы развития рынка электромобилей в РФ / Н. Л. Кетоева, И. Д. Сазонова, М. Т. Заргарян, М. А. Киселева // Муниципальная академия. – 2022. – № 3. – С. 74-85.

8. Тухфатуллин, И. Р. Параметры переходного сигнала в линии с распределенными параметрами и в эквивалентном RLC контуре / И. Р. Тухфатуллин, Р. Г. Хузяшев // Электрические сети: надежность, безопасность, энергосбережение и экономические аспекты : Материалы международной научно-практической конференции, Казань, 22 апреля 2022 года / Редколлегия: В.В. Максимов (отв. редактор) [и др.]. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. – С. 256-261. – EDN GKXBIZ.

9. Хафизов, Л. А. Визуализация параметров переходного сигнала возникающих в одноконтурной RLC-цепи / Л. А. Хафизов, Р. Г. Хузяшев // Электрические сети: надежность, безопасность, энергосбережение и экономические аспекты : Материалы международной научно-практической конференции, Казань, 22 апреля 2022 года / Редколлегия: В.В. Максимов (отв. редактор) [и др.]. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. – С. 286-292. – EDN LBLCAD.

10. Васильев, Д. А. Оптимизации режима работы асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором / Д. А. Васильев, Л. А. Пантелеева, Е. И. Грачева // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2022. – Т. 24, № 6. – С. 92-101. – DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-6-92-101. – EDN KKLFSZ.

11. Иванов, И. Ю. Современное состояние проблем функционирования комплексов релейной защиты и автоматики, применяемых в активно-адаптивной сети / И. Ю. Иванов, В. В. Новокрещенов, В. Р. Иванова // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2022. – Т. 24, № 6. – С. 102-123. – DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-6-102-123. – EDN HNOOUJ.

12. Перспективы развития водородной энергетики и рынка транспортных средств на водородном топливе / С. В. Корнилов, Э. Р. Зверева, А. А. Федорова [и др.] // Вестник Казанского государственного

энергетического университета. – 2022. – Т. 14, № 4(56). – С. 3-18. – EDN SAJDAV.

13. Методы повышения эффективности работы систем электроснабжения железных дорог Восточного полигона / И. Н. Шушпанов, Д. Н. Пермякова, В. Ю. Конюхов, Т. А. Опарина // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2022. – Т. 14, № 4(56). – С. 19-29. – EDN FNVMID.

14. Рахмонов, И. У. Автоматизированная система управления электропотреблением промышленных предприятий / И. У. Рахмонов // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2022. – Т. 14, № 4(56). – С. 30-38. – EDN QZJHFV.

15. Карпилов, И. Д. Исследование нестационарного процесса паровой конверсии метана при регенеративном подогреве каталитической вставки / И. Д. Карпилов // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2022. – Т. 14, № 4(56). – С. 39-49. – EDN BUOSSC.

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ДАННЫХ КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕПОДАВАНИЯ ДИСЦИПЛИН

Юсупова Р. И.¹, Зарипова Р.С.²

^{1,2} ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

^{1,2} reginayusupova2805@gmail.com

В статье рассмотрены перспективы использования информационных технологий для визуализации данных в образовательном процессе. Данная статья посвящена дидактическому вопросу – повышению эффективности использования средств наглядности для стимулирования когнитивных процессов обучающихся и повышения осознанности получаемых знаний. Представлены результаты положительного влияния использования визуализации данных.

Ключевые слова: визуализация, образование, информационные технологии.

DATA VISUALISATION AS A TOOL TO IMPROVE THE EFFECTIVENESS OF TEACHING DISCIPLINES

Yusupova R. I.¹, Zaripova R.S.²

^{1,2} FGBOU VO "KSPEU", Kazan, Republic of Tatarstan

^{1,2} reginayusupova2805@gmail.com

The article discusses the prospects of using information technologies for data visualization in the educational process. This article is devoted to the didactic issue - increasing the efficiency of using visualization means for stimulating cognitive processes of students and increasing consciousness of the received knowledge. Results of positive effect of using data visualization are presented.

Keywords: visualization, education, information technology.

Повышение эффективности преподавания является актуальной задачей, решение которой можно найти в различных способах использования визуализации информации [1]. Визуализация – это процесс передачи информации через изображения, картинки, графики и другие методы [2].

Рассмотрим популярные методы и технологии визуализации.

1. Скрайбинг является методом передачи информации с помощью графических символов, которые легко и понятно отображают ее

содержание и связи между элементами. Данный метод могут использовать люди с разным уровнем образования и знаний, так как он нацелен на простое и быстрое восприятие информации. В случае, когда необходимо создать визуализацию для более наглядного и понятного представления информации, можно воспользоваться онлайн сервисами скрайбинга: GoAnimate, VideoScribe, Moovly, Tawe, Powtoon и другими. Они предоставляют широкий выбор графических элементов для создания анимированных и интерактивных иллюстраций, которые могут быть использованы в презентациях, видеороликах, обучающих изданиях и др. [3].

2. Электронные доски – один из наиболее эффективных методов визуализации информации, позволяющий демонстрировать информацию, создавать визуальные примеры, применять интерактивные методы обучения (игры). С помощью электронных досок преподаватели могут показать обучающимся, как использовать различные онлайн-инструменты.

3. Ментальная карта (Mind map) – это техника визуализации текста в форме радиальной схемы, которая обеспечивает более яркое и понятное представление информации. Благодаря такой организации записи легко выделяются ключевые моменты и связи между ними, что позволяет сфокусироваться на главном и опустить детали. Существует много ресурсов, которые предлагают инструменты для создания ментальных карт.

4. Лента времени – эффективный инструмент для наглядной демонстрации хронологической последовательности событий. Ее использование позволяет не только визуально усвоить порядок событий, но и обнаруживать новые связи и взаимосвязи в этой цепочке.

5. Применение мультимедийных материалов, в частности видео, может способствовать лучшей концентрации учащихся на главных концепциях и терминах дисциплины. Видео может служить для демонстрации работы электронных средств или программного обеспечения.

6. Инфографика – это наиболее популярный метод визуализации информации на сегодняшний день. Она позволяет организовать большие объемы данных в удобочитаемой форме [4]. Хорошо созданная инфографика – это законченный блок информации, который можно изучать самостоятельно, без дополнительной помощи. При помощи данного метода обучающиеся могут получить различные виды информации, такие как инструкции, памятки, плакаты, путеводители и статистические данные.

Отметим преимущества применения стратегий визуализации данных в процессе обучения: визуализация включает в себя использование графических элементов, таких как диаграммы, схемы, рисунки и карты памяти, которые способствуют правильной организации и анализу информации. Визуализация развивает критическое мышление, поскольку при работе с графическими элементами учащиеся вынуждены анализировать, оценивать и сравнивать различные аспекты информации. Визуализация помогает обучающимся интегрировать новые знания, которые они получают на уроках. Визуализация позволяет связывать полученную информацию в целостную картину о том или ином явлении или объекте. Благодаря визуализации, учащиеся могут увидеть общую картину и понимать, как отдельные факты и детали связаны между собой.

В настоящее время достигнуты значительные успехи применения различных информационных технологий в образовательном процессе. Применение технологий визуализации значительно повышает эффективность преподавания дисциплин. Преподаватели, используя технологии визуализации, могут значительно усовершенствовать процесс обучения, тем самым повышая успеваемость обучающихся.

Источники

1. Шакиров А.А., Зарипова Р.С. Внедрение инновационных технологий в учебный процесс / Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве: материалы VI Национальной научно-практической конференции. Казань, 2020. С. 161-163.

2. Алемасов Е.П., Зарипова Р.С. Модернизация образования посредством интеграции информационных технологий в процесс обучения / Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве: материалы VI Национальной научно-практической конференции. Казань, 2020. С. 130-132.

3. Ильина Д.И., Зарипова Р.С. Применение информационных технологий в обучении как средство повышения качества образования / Преподавание информационных технологий в Российской Федерации: материалы Девятнадцатой открытой Всероссийской конференции. Москва, 2021. С. 491-492.

4. Кривоножкин К.Е., Зарипова Р.С. Особенности применения компьютерной графики в учебном процессе / Энергетика,

инфокоммуникационные технологии и высшее образование: материалы Международной конференции. Казань, 2023. Т. 3. С. 402-404.

5. Шкиндеров М.С., Нуриев М.Г., Гизатуллин З.М. Сквозное прогнозирование помехоустойчивости систем контроля и управления при внешних электромагнитных воздействиях / Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2016. № 2 (30). С. 26-37.

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

Вахобов О.И.	
Магнитные жидкости на основе трансформаторного масла	3
Зарипов Д. К., Закиров Д. Ф., Захаров А. В.	
Влияния нагрузки на развитие разрядов в высоковольтной изоляции воздушной линии	8
Иксанова Э. Р., Валиуллина Д. М., Козлов В. К.	
Диагностика трансформаторного масла	14
Качанов А. Н., Миронов Е. А.	
Особенности индукционной закалки рабочих валков прокатных станков с учетом электрофизических свойств материалов	17
Качанов А.Н., Чернышов В.А., Королева Т.Г.	
Автоматический перевод двойных замыканий на землю в однофазные как способ повышения эффективности функционирования сетей 6-10 кв	22
Рахимов О.С., Тошходжаева М.И.	
Интегральный показатель систем с источниками распределенной генерации	30
Хузяшев Р. Г., Тухватуллин И. Р., Смирнов Д. А.	
Определение места повреждения в распределительных электрических сетях среднего напряжения	34
Юровская В.Д., Кижин В.В.	
Перспективы реализации цифрового отопления	39

СЕКЦИОННЫЕ ДОКЛАДЫ МАТЕРИАЛОВ КОНФЕРЕНЦИИ

Абдреев К. А.	
Расчёт электроснабжения частного дома в условиях Татарстана от солнечных панелей	44
Азимов Н. С.	
Моделирование процесса нахождения приближенного вычисления определенного интеграла методом Симпсона	49
Александрова А. А., Симачкова М. С., Дулепова Ю. М.	
Совершенствование конструкции энергосберегающего устройства для нагрева воды за счет солнечной энергии	54
Валеев А.А., Валлиулина Д.М., Козлов В.К., Мустафин Т.А.	
Трансформаторное масло марки ТКП и его характеристики	58
Валеев А.А., Валлиулина Д.М., Козлов В.К., Мустафин Т.А.	
Определение тангенса диэлектрических потерь и его значение для трансформаторного масла	63
Васинкин К.А., Кашаев Р.С.	
Автоматизация процессов измерения влажности и примесей релаксометром протонного магнитного резонанса (ПМР)	67
Воробьев Д. С.	
Особенности промышленного производства отечественных и зарубежных трансформаторных масел с учетом современных технологий	72
Гадельшина В.Р.	
Расчет коэффициента естественной освещенности	77

Галиев И.Ф., Гарифуллин М. Ш., Гизатуллин А. Р., Рахманкулов Ш.Ф., Гараев А. А., Фаррахова А.М., Галиев Р.И.	
Разработка кластерной структуры базы данных для интегрированной экспертной системы диагностики оборудования распределительной сети на основе СУБД POSTGRESQL	81
Галиев И.Ф., Маклецов А. М., Гарифуллин М. Ш., Владимиров О.В., Алексеев И. П., Казка М. В., Пигалин А. А., Соломонов И. И.	
Разработка аппаратно-программного комплекса экспертной системы диагностики оборудования распределительной сети	90
Гайнутдинова А.Р., Валеев А. А., Мухаметшин А. И.	
Разработка автоматизированной системы управления рыбоводно-аквапониическим комплексом	104
Гладков О.Б., Сорокин Н.С., Беликов Р.П.	
Иммерсионное двухфазное охлаждение для светодиодной осветительной аппаратуры	108
Глоткина Л. А.	
Системы накопления энергии в изолированных районах России	113
Губарев Н.А., Яхин Ш.Р. Сабитов А.Х.	
Методика инфракрасного обследования электрических двигателей системы охлаждения трансформаторов роботизированным комплексом «ИНСПЕКТОР»	118
Долматов Е.Н., Суворов А.А., Мухаметжанов Р.Н., Салихов Р.Р.	
Прогнозирование потребления электроэнергии в Республике Татарстан	123
Зарипов Д. К. , Закиров Д. Ф., Захаров А. В.	
Влияния нагрузки на развитие разрядов в высоковольтной изоляции воздушной линии	130
Зарипов Д. К. , Закиров Д. Ф. , Захаров А. В.	
Исследование работы повесного полимерного изолятора при загрязнении	134
Зиангиров А. Ф., Сабитов А.Х.	
Анализ расхода электроэнергии на собственные нужды электростанции	138
Зиангиров А. Ф., Сабитов А.Х.	
Исследование влияния различных схем соединения обмоток трансформатора на напряжения в зависимости от видов нагрузок	143
Качанов А.Н., Гришин В.А.	
Проблемы и технические возможности использования вакуумно-диэлектрического способа сушки древесины	148
Папулова Д.А., Кижин В.В.	
Повышение экологической эффективности при работе тепловых электростанций с применением аммиачных методов удаления оксидов азота	151
Кудакаев А. Р. , Эшелиоглу Р. И.	
Применение технологии интернета вещей для управления системами энергосбережения в быту	156
Кудакаев А. Р. , Эшелиоглу Р. И.	
Применение онлайн-курсов и дистанционных технологий в подготовке кадров по электротехнике	160
Джураев Д.С.	
Обработка и обобщение экспериментальных данных теплофизических свойств коллоидных магнитных жидкостей на основе трансформаторного масла	165

Джураев Д.С. Электрофизические свойства магнитных жидкостей на основе трансформаторного масла	174
Минкин А.С. Допустимые значения толщины стенки гололеда на проводах высоковольтной линии электропередачи при наличии ветровых нагрузок	178
Мирхаликова Д. С. Влияние качества электроэнергии на работу насосных станций	183
Мирхаликова Д. С. Исследование насосных станций Согдийской области с учетом отклонение напряжения сети	187
Насуллоев У. У. Выбор ветровых генераторов и их использование для гибридных систем электроснабжения на примере города Худжанда	192
Полетаев Д.А., Соколенко Б.В. Инновационная система предоставления доступа кэлектрической сети . . .	200
Пряшников П.Ф Моделирование режимов сложнзамкнутыхэлектрических сетей	203
Рахимов.Х.Ш., Бахтиёр М.Н., Кадиров. А.А., Бадалов А.Б. Прогноз развития рынка сурьмы Таджикистан до 2025 г.	207
Родионов О. В., Денисова А.Р. Существующие возможности применения детандер-генераторных установок для выработки электроэнергии	213
Сайфутдинова А.И., Сайфутдинов З. Г., Башмаков Д. А. Исследование и анализ выработки мощностей тэц, расположенных в Республике Татарстан	218
Силкина О.Ю., Сафина К.И. Образовательные возможности технологий дополненной и виртуальной реальности	221
Сиразева А.Л. LEARNING ANALYTICS как инструмент оценки квалификации молодых специалистов	226
Смирнов Д.А., Хузяшев Р.Г. Исследование влияния емкостей изоляторов на параметры регистрируемых переходных сигналов в ЛЭП	231
Струмеляк А. В., Яковкина Т. Н., Устинов А.А. Анализ перспектив развития гидроэнергетической генерации России до 2035 года	235
Тухфетуллоев И. Р., Воркунов О. В. Оптимизация режимов работы электрических сетейсреднего напряжения .	239
Феоктистов Д. И., Воркунов О. В. Температурный мониторинг соединительныхконтактов коммутационных аппаратов	246

Ходжиев А. О некоторых вопросах совместного использования водно -энергетического комплекса центральной Азии	252
Ходжиев А. Некоторые вопросы использования комбинированных установок альтернативной энергии	257
Чернышов В.А., Головин Р.А. Анализ схмотехнических решений, обеспечивающих работу воздушных электрических сетей 10 кВ в условиях однофазного повреждения изоляции	262
Шарипова А. Р., Воркунов О. В.,Гарифуллин М. Ш. Определение значений тангенс угла диэлектрических потерь трансформаторных масел разной степени деградации в процессе влияния адсорбционной очистки	270
Шорохов И. Р. Перспективы развития рынка электромобильного транспорта в России ...	276
Юсупова Р. И. Визуализация данных как средство повышения эффективности преподавания дисциплин	282

Научное издание

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ: НАДЕЖНОСТЬ, БЕЗОПАСНОСТЬ,
ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Международная научно-практическая конференция

19 апреля 2023 г.

Составитель: Воркунов О.В.

Редактор Максимов В.В.

Компьютерная верстка Д.В. Мачан,

К.Д. Разживина, К.Д. Разживина

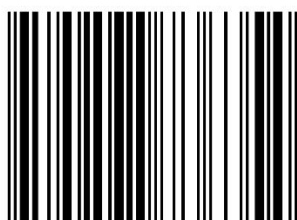
Дизайн обложки Воркунов О.В.

Электронное издание

Центр публикационной активности КГЭУ. 420066, Казань,

Красносельская, 51

ISBN 978-5-89873-635-4



9 785898 736354 >