

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»



Новосибирск
2021

Всероссийская научная
конференция молодых ученых,
посвященная году науки и технологий в России

НАУКА ТЕХНОЛОГИИ ИННОВАЦИИ

Сборник
научных трудов

Часть 4

г. Новосибирск, 06 – 10 декабря 2021 г.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

НАУКА ТЕХНОЛОГИИ ИННОВАЦИИ

**XV Всероссийская научная конференция молодых
ученых, посвященная Году науки и технологий в России
г. Новосибирск, 06-10 декабря 2021 г.**

**Сборник научных трудов
в 10-и частях**

Часть 4

НОВОСИБИРСК
2021

УДК 62(063)
ББК 72.5я431
Н34

Н34 НАУКА. ТЕХНОЛОГИИ. ИННОВАЦИИ: XV Всероссийская научная конференция молодых ученых, посвященная Году науки и технологий в России (г. Новосибирск, 06-10 декабря 2021 г.) // Сборник научных трудов в 10 ч. / Под ред. Соколовой Д.О. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2021.

ISBN 978-5-7782-4562-4

Часть 4: – 364 с.

ISBN 978-5-7782-4566-2

В сборнике опубликованы материалы научных исследований, представленных на XV Всероссийской научной конференции молодых ученых, посвященной Году науки и технологий в России.

В части 1 сборника представлены материалы по направлению «Информатика, автоматика, вычислительная и измерительная техника». В части 2 сборника представлены материалы по направлению «Информационные технологии математического моделирования и обработки данных». В части 3 сборника представлены материалы по направлению «Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств. Материаловедение, технологические процессы и аппараты». В части 4 сборника представлены материалы по направлению «Энергетика». В части 5 сборника представлены материалы по направлению «Электротехника, электромеханика и электротехнологии». В части 6 сборника представлены материалы по направлению «Электроника и биомедицинская техника». В части 7 сборника представлены материалы по направлению «Экономика и управление». В частях 8 и 9 сборника представлены материалы по направлению «Гуманитарные науки и современность». В части 10 сборника представлены материалы по направлению «Актуальные проблемы авиаракетостроения».

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Председатель Оргкомитета:

Батаев А.А., д.т.н., профессор, ректор НГТУ

Зам. председателя Оргкомитета:

Брованов С.В., д.т.н., доцент, проректор по научной работе НГТУ

Программный комитет:

Драгунов В.П., д.т.н., профессор, начальник ОПК ВК

Корель И.И., к.ф.-м.н., доцент, декан ФТФ

Осьмук Л.А., д.соц.н., профессор, директор ИСТР

Рева И.Л., к.т.н., доцент, декан АВТФ

Мелехина Е.А., к.п.н., доцент, декан ФГО

Саленко С.Д., д.т.н., профессор, декан ФЛА

Тимофеев В.С., д.т.н., доцент, декан ФПМИ

Овчинникова Н.Н. к.э.н., декан ФБ

Стрельцов С.А., к.т.н., доцент, декан РЭФ

Вильбергер М.Е., к.т.н., доцент, декан ФМА

Тюрин А.Г., к.т.н. доцент, декан МТФ

Русина А.Г., д.т.н. доцент, декан ФЭН

УДК 62(063)

ББК 72.5я431

ISBN 978-5-7782-4566-2 (Ч.4)

© Коллектив авторов, 2021

ISBN 978-5-7782-4562-4

© Новосибирский государственный
технический университет, 2021

Секция СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ,
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ
И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ЭНЕРГИИ
В РЕГИОНАХ РФ**

Ю.И. Богомолова, Е.М. Иванова
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, bogomolk007@gmail.com
Научный руководитель: Фролова Я.А., ст.преп.

Эффективным способом повышения топливной эффективности производства энергии в регионах является реконструкция котельных с переводом в мини-ТЭЦ. В работе предложены критерии выбора населенных пунктов, определены эффекты и рассчитана топливная эффективность.

An effective way to increase the fuel efficiency of energy production in the regions is the reconstruction of boiler houses by converting them to mini-CHP. The paper offers criteria for choosing settlements, identifies the effects and calculates fuel efficiency.

Введение. Развитие мировой энергетики определяется ресурсосбережением, уменьшением воздействием на экологию и увеличением энергоэффективности [1]. Наибольшее влияние на эффективность энергосистем оказывает процесс производства энергии. В данной работе для оценки эффективности производства энергии будет использоваться параметр топливной эффективности, который представляет собой отношение суммарной отпущенной энергии (тепловой (ТЭ) и электрической (ЭЭ)) к суммарным расходам топлива на их выработку. Увеличение данного параметра обуславливает ресурсосбережение и повышение эффективности производства энергии.

В последние 30 лет топливная эффективность производства ЭЭ и ТЭ снижается, т.к. тепловая нагрузка ТЭЦ уменьшается при неизменной или растущей электрической нагрузке, что вызвано увеличением числа котельных мощностью до 3 Гкал/ч [2, 3]. Этот процесс в литературе получил название котельнизация [4]. Удельный расход топлива на производство ЭЭ в конденсационном режиме работы ТЭЦ 400-500 г у.т./кВтч, в отличие от 150-200 г у.т./кВтч при теплофикационной выработке ЭЭ.

Переход от котельнизации к теплофикации является актуальной задачей, решение которой обеспечит повышение топливной эффективности систем тепло- и электроснабжения. В работе будет

производиться анализ энергоэффективности на примере Новосибирской области.

Показатель топливной эффективности, в общем виде, можно увеличить либо повышением доли нетопливных производств, либо увеличением доли комбинированного производства. С позиции наличия возобновляемых первичных источников энергии на территории НСО имеется низкий потенциал применения солнечной, ветровой генерации.

Учитывая высокую потребность региона в ТЭ (отношение тепловой мощности к электрической составляет 3,8:1), наиболее эффективной технологией является комбинированное производство энергии. Существующая система газоснабжения в регионе может стать основой широкого применения газопоршневых (ГПУ) и газотурбинных (ГТУ) установок в качестве когенерации. Удельный расход топлива на производство ЭЭ ГПУ и ГТУ составляет 140 – 180 г у.т./кВтч.

В Новосибирской области производство ЭЭ локализовано в г. Новосибирск, электроснабжение населенных пунктов осуществляется по ЛЭП высоких классов напряжения. Производство ТЭ в г. Новосибирск реализовано на ТЭЦ и котельных, в остальном регионе – только на котельных. Для обеспечения ресурсосбережения эффективным решением является реконструкция котельных с переводом в мини-ТЭЦ [5], это позволит снизить долю котельных и повысить объемы комбинированного производства ТЭ и ЭЭ.

Цель: повышение топливной эффективности производства тепловой и электрической энергии в регионах РФ на примере НСО.

Задачи:

- 1) Формирование критериев для выбора населенных пунктов, в которых целесообразно реконструировать котельные в мини-ТЭЦ;
- 2) Определение эффектов от перевода котельной в мини-ТЭЦ;
- 3) Сбор и анализ необходимых данных о населенных пунктах региона для выбора объектов по переводу котельных в мини-ТЭЦ;
- 4) Определение топливной эффективности производства ЭЭ и ТЭ населенного пункта при переводе выбранных котельных в мини-ТЭЦ.

Модели и методы. В работе предлагаются критерии выбора населенных пунктов, в которых целесообразна реконструкция котельных с переводом мини-ТЭЦ.

- 1) Производится отбор населенных пунктов, у которых в системе теплоснабжения есть отопительные котельные мощностью 20-100 Гкал/ч, использующие в качестве основного топлива природный газ, поступающий из газопровода. Отопительная котельная имеет в качестве основного продукта производства горячую воду, как и устанавливаемые при реконструкции ГПУ или ГТУ, таким образом, сохраняется

существующая система теплоснабжения. Диапазон мощностей определяется средним соотношением тепловой и электрической мощностей по РФ (4:1), так электрическая мощность мини-ТЭЦ не превысит 25 МВт [6];

2) Среди отобранных по предыдущему критерию выбираются населенные пункты с малой (менее 10%) или отсутствующей свободной мощностью ЦП. Появление дополнительного источника ЭЭ позволит разгрузить ЦП и обеспечить возможность подключения новых потребителей ЭЭ без реконструкции и дополнительного строительства сетей.

Появление мини-ТЭЦ в населенных пунктах регионов позволит получить **системные и локальные эффекты**:

1) Ресурсосбережение – обеспечивается уменьшением удельного расхода топлива на котельных путем перехода к комбинированному производству ТЭ и ЭЭ; снижением объемов реконструкции и строительства сетевой инфраструктуры;

2) Повышение надежности электроснабжения – обеспечивается появлением независимого источника энергии рядом с потребителем;

3) Повышение безопасности теплоснабжения – обусловлено тем, что возникновение резервного источника ЭЭ повышает надежность электроснабжения источников ТЭ;

4) Энергонезависимость – появление источников ЭЭ в регионе позволяет снизить локальные дефициты энергии и мощности;

5) Социально-экономическое развитие – появление мини-ТЭЦ позволит обеспечить доступность ЭЭ и ТЭ, возможность подключения новых потребителей или развитие существующих производственных и не производственных предприятий, что обеспечит новые рабочие места и сопутствующие эффекты;

6) Повышение качества ЭЭ – появление вблизи потребителя (с электрической точки зрения) синхронного генератора, как источника реактивной мощности позволит повысить показатели качества ЭЭ.

Для оценки эффекта ресурсосбережения от реконструкции котельной с переводом в мини-ТЭЦ в работе производился расчет величины топливной эффективности производства ЭЭ и ТЭ до и после реконструкции. Использовалась следующая математическая модель:

$$k = \frac{\sum W}{\sum B}$$

где $\sum W = W_{ээ} + W_{тэ}k$ – суммарная электрическая $W_{ээ}$ и тепловая $W_{тэ}$ энергия, отпущенная станцией; $k=1.163$ - коэффициент для пересчета

Гкал в МВтч; $\sum B$ - суммарное потребление топлива для производства $\sum W$ энергии, с учетом потерь на производство.

Результаты. На основе анализа систем производства электрической и тепловой энергии были определены следующие города НСО, для которых актуален перевод котельных: Бердск, Искитим, Обь, Тогучин [7-9]. При раздельном производстве ТЭ и ЭЭ для энергоснабжения населенных пунктов принято централизованное электроснабжение и теплоснабжение от котельной. Удельный расход топлива на производство ЭЭ принимается средним для ЕЭС: 302,6 г у.т./кВтч [10]. Удельный расход топлива на производство ТЭ на котельных был получен из схем теплоснабжения населенных пунктов. При переводе котельных в мини-ТЭЦ часть ЭЭ и ТЭ, необходимой населенному пункту, обеспечивалась мини-ТЭЦ, недостающий объем ЭЭ (если такой имеется) обеспечивается централизованно через имеющиеся ЦП, ТЭ – котельными. В таблице 1 приведены результаты расчета топливной эффективности.

Таблица 1 – Топливная эффективность производства энергии

Город	Производство	Потребление, МВтч*10 ³		Расход топлива, МВтч*10 ³			W/B, о.е.
		$W_{ЭЭ}$	$W_{ТЭ}$	$B_{Э}$	$B_{комб}$	$B_{кот}$	
Бердск	Раздел.	294	716	806	0	1 299	0,48
	Комб.	294	716	463	305	1 072	0,55
Обь	Раздел.	67	231	183	0	267	0,66
	Комб.	67	231	89	84	222	0,75

Заключение. В работе были сформированы критерии для определения населенных пунктов, в которых наиболее целесообразна реконструкция котельных с переводом в мини-ТЭЦ, определены локальные и системные эффекты, получаемые при реконструкции котельных в выбранных населенных пунктах.

По результатам анализа данных о системах производства энергии произведен выбор населенных пунктов (Бердск, Тогучин, Обь, Искитим) и котельных, подходящих для реконструкции. В НСО большая часть населенных пунктов была отсеяна по критерию установленной тепловой мощности котельных – почти все котельные имеют мощность менее 20 Гкал/ч.

Также было определено изменение топливной эффективности производства энергии при реконструкции котельных в г. Бердск и г.

Обь. Реконструкция котельных увеличила топливную эффективность на 14,5% и 13,6% в Бердске и Оби соответственно.

Литература:

1. Беляев Л.С., Лагереv А.В., Энергетика XXI века: Условия развития, технологии, прогнозы. – Новосибирск: Наука, 2004. – 386 с.
2. Кравченко В.М., Современное состояние отрасли теплоснабжения // Презентация – 2016.
3. Информационно-аналитический доклад о состоянии теплоэнергетики и централизованного теплоснабжения в Российской Федерации в 2019 году // Министерство энергетики Российской Федерации ФГБУ «Российское энергетическое агентство» Минэнерго России
4. Богданов А.Б. Котельнизация России – беда национального масштаба // Энергорынок. Профессиональный журнал – 03(28) март 2006. – С. 50-58
5. Филиппов С.П., Дильман М. Перспективы использования когенерационных установок при реконструкции котельных // Промышленная энергетика – 2014. – № 4. – С. 7-11.
6. Федеральный закон от 26.03.2003 № 35-ФЗ «Об электроэнергетике»
7. Схемы теплоснабжения населенных пунктов РФ
8. Карта «Загрузка центров питания АО «РЭС»»
9. Программы энергосбережения населенных пунктов РФ
10. Отчет о функционировании ЕЭС России в 2020 г. // Системный оператор единой энергетической системы

ИНДЕКС ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДЛЯ ОБОРУДОВАНИЯ 0,4-6(10) кВ ЭНЕРГООБЪЕКТОВ НЕФТЕДОБЫЧИ

Д.А. Боярова

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, zykova_diana@mail.ru

Научный руководитель: Левин В.М., д.т.н., доцент

Эксплуатация самого массового оборудования электрохозяйств напряжением 0,4–6(10) кВ по фактическому техническому состоянию связана с приоритезацией объектов при планировании вывода в ремонт. В статье предложена методика оценки индекса технического состояния (ИТС) электрооборудования указанного класса напряжения, согласованная с базовой

методикой Минэнерго для основного технологического оборудования и линий электропередачи напряжением 35 кВ и выше. Разработана цифровая модель для расчета фактических значений ИТС единицы оборудования.

The operation of the most common equipment of the electric grid with a voltage of 0.4-6(10) kV according to the actual technical condition is associated with the prioritization of objects when repairs are planning. The article proposes a methodology for assessing the technical condition index (TCI) of electrical equipment of the noticed voltage class. Methodology does not contradict the basic methodology of the Ministry of Energy for the main technological equipment and power transmission lines with a voltage of 35 kV and higher. To calculate the actual values of the TCI of equipment unit a digital model has been developed.

Введение. Согласно нормативно-правовым и методическим документам [1,2] оценку текущего технического состояния основного технологического оборудования и линий электропередачи (ЛЭП) напряжением 35–110 кВ и выше предписано осуществлять расчетом интегрального критерия – ИТС. Значения ИТС функциональных узлов и единиц оборудования рассчитываются на основе данных проектной (конструкторской) документации, результатов применения методов неразрушающего контроля и технического диагностирования с периодичностью не реже одного раза в год. Таким образом, любой субъект энергетики, закрепивший за оборудованием стратегию технического обслуживания и ремонта (ТОиР) по техническому состоянию, обязан иметь в распоряжении достаточный парк средств диагностирования, квалифицированный персонал, а также адекватную методику расчета ИТС.

На сегодняшний день проблема, ограничивающая масштабный перевод электрооборудования напряжением 0,4–6(10) кВ на стратегию ТОиР по техническому состоянию, заключается в отсутствии утвержденной унифицированной методики расчета ИТС. Вместе с тем массовость объектов 0,4–6(10) кВ в распределительных сетях и системах электроснабжения придает значимость упущенным выгодам от такого перевода и требует проведение исследований по разработке адекватной и удобной методики для расчета ИТС энергообъектов.

Методика и модель для расчета ИТС. Расчеты фактических значений ИТС единицы основного технологического оборудования или ЛЭП базируются на ее представлении набором функциональных узлов, определении для каждого из них групп параметров состояния с привязкой к методам контроля и диагностирования, назначении весовых коэффициентов и балльных оценок [2]. Поскольку методика Минэнерго не распространяется на объекты до 35 кВ, необходима разработка указанных компонентов новой методики, как говорится, "с нуля".

Основными методами формирования диагностической информации об объекте обслуживания служат визуальный и инструментальный контроли, которые выполняются согласно корпоративному техническому регламенту с определенной периодичностью не реже 2 раз в год. Базой данных об обнаруженных, но не устраненных дефектах единицы оборудования (ЕО) являются лист осмотра и дефектная ведомость на объект. В них сосредоточен перечень актуальных дефектов ЕО с указанием их количества, степени критичности (стадии развития) и места расположения.

Важным компонентом методики расчета ИТС является система весовых коэффициентов функциональных узлов ФУ ($B_i, i = \overline{1, n}$) и групп контролируемых параметров ($b_{ji}, j = \overline{1, m}; i = \overline{1, n}$), которые

характеризуют важность последних с точки зрения надежности ЕО и в сумме равны единице. Одним из эффективных методов парного сравнения альтернатив, для принятия адекватных решений при управлении, является метод Саати [3]. Процедура метода, основанная на экспертных оценках, позволяет сформировать квадратную диагональную матрицу парных сравнений. По столбцам и строкам матрицы располагаются значимые факторы, в качестве которых последовательно фигурируют контролируемые параметры групп, группы контролируемых параметров ФУ, функциональные узлы ЕО. На пересечении строк и столбцов в соответствии с установленными правилами выставляются экспертные оценки сравнительной важности факторов. Контролируемые параметры в матрицу парных сравнений вносятся из листа осмотра ЕО определенного типа. Матрица заполняется экспертными оценками, принимающими одно из следующих значений: 0; 0,5; 1. Заполнение матрицы парных сравнений выполняется последовательно в следующем порядке:

1. Начиная с ячейки №1-1, производится сравнение важности контролируемых параметров, расположенных на пересечении 1-й строки и каждого i -го столбца ($i = \overline{1, n}$). При этом выставляются оценки: 1, если важность параметра 1-й строки выше, чем параметра i -го столбца; 0,5, если важность параметров соизмерима; 0, если важность параметра i -го столбца выше важности параметра 1-й строки.

2. Заполнение матрицы для каждой группы параметров ФУ выполняется построчно. В результате главная диагональ, как пересечение одноименных контролируемых параметров будет заполнена оценками, равными 0,5.

3. Производится суммирование всех оценок в каждой строке матрицы и заполняется крайний правый столбец с названием «Суммарная оценка параметра».

4. Выполняется процедура нормирования параметров. Определяется сумма значений в столбце «Суммарная оценка параметра», на которую делится содержимое каждой строки данного столбца. Таким образом, формируется новый столбец с правой стороны матрицы под названием «Весовой коэффициент параметра». Сумма всех элементов этого столбца равна единице.

Другим необходимым компонентом методики расчета ИТС ЕО является балльная оценка контролируемых параметров ($ОП_k, k = \overline{1, g}$). Балльные оценки должны назначаться из интервала от 0 (наихудшее состояние) до 1 (идеальное состояние) и учитывать соотношение наблюдаемых и предельно-допустимых, нормативных значений параметров (таблица 1). Балльная оценка группы параметров ($ОП_j, j = \overline{1, m}$) определяется как минимальная балльная оценка параметров, входящих в указанную группу:

$$ОП_j = \min_{k,j} \{ОП_k\} \quad (1)$$

Фактическое значение индекса технического состояния i -го ФУ (ИТСУ) рассчитывается следующим образом:

$$ИТСУ_i = 100 \cdot \sum_{j=1}^m (ОП_j \cdot b_{ji}) \quad (2)$$

Фактическое значение ИТС ЕО рассчитывается как сумма ИТСУ и изменяется от 1 (идеальное состояние) до 0 (аварийное состояние):

$$ИТСО = \sum_{i=1}^n (ИТСУ_i \cdot B_i) \quad (3)$$

Таблица 1 – Бальные оценки контролируемых параметров ФУ

Диапазон ОП _{k, g} $k = 1, g$	Стадия развития дефекта	Характеристика
≥ 0 и $< 0,25$	Аварийный	Измеренное значение параметра за пределами предельно допустимого значения или количество дефектов ≥ 10
$\geq 0,25$ и $< 0,5$	Критически развитый	Измеренное значение параметра на уровне предельно-допустимого, ФУ выполняет требуемые функции не в полном объеме или количество дефектов ≥ 7
$\geq 0,5$ и $< 0,75$	Развивающийся	Измеренное значение параметра в пределах нормативной документации, появляются первые признаки отклонения от выполнения требуемых функций ЕО или количество дефектов ≥ 3
$\geq 0,75$ и $< 1,0$	Начальный	Измеренное значение параметра в пределах значения, установленного нормами, появилась тенденция ухудшения параметра или количество дефектов ≥ 1
1	Норма	Отсутствует отклонение измеренного значения параметра от требований норм

Заключение. Предложенная методика расчета ИТС ФУ и ЕО соответствует базовым принципам, заложенным в подходе Минэнерго [2]. Она максимально адаптирована к практике эксплуатации оборудования распределительных электрических сетей 0,4 – 6(10) кВ нефтепромыслов в части перечня возможных неисправностей, их количества и степени критичности. Цифровая модель для расчета ИТСУ, ИТСО реализована в программной среде Excel и позволяет совмещать функции хранения и предобработки данных визуального и инструментального контроля с функцией вычисления их количественных значений.

Литература:

1. Правила организации технического обслуживания и ремонта объектов электроэнергетики. Утверждены Приказом Минэнерго России от 25.10.2017 № 1013. [Электронный ресурс] – URL:

<https://rulings.ru/acts/Prikaz-Minenergo-Rossii-ot-25.10.2017-N-1013>. (дата обращения: 12 ноября 2021).

2. Методика оценки технического состояния основного технологического оборудования и линий электропередачи электрических станций и электрических сетей. Утверждена Приказом Минэнерго России от 26.07.2017 № 676. [Электронный ресурс] – URL: <http://docs.cntd.ru/document/456088008>. (дата обращения: 12 ноября 2021).

3. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М.: Радио и связь – 1993. – 278 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ТРАНСФОРМАТОРА

Д.А. Григорьев, Е.С. Логинова

Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,

г. Северск, da.grigorevv@yandex.ru

Научный руководитель: Логинова Е.С., к.т.н., доцент

В данной статье рассмотрен вопрос определения остаточного ресурса трансформатора, влияние аварийных режимов работы на его остаточный ресурс, а также поднимается вопрос о проблеме расчета и определения остаточного ресурса трансформатора с учетом аварийных режимов работы.

In this paper, the issue of determining the residual life of the transformer, the influence of emergency modes of operation on its residual life is considered, as well as the problem of calculating and determining the residual life of the transformer taking into account emergency modes of operation is raised.

Силовые трансформаторы являются одним из основных элементов распределительных станций. От их работы зависит работоспособность всего распределительного устройства. В связи с этим надежность работы распределительного устройства будет зависеть от работоспособности трансформатора установленного на нем. Надежность является одной из основных характеристик электрического аппарата. В данной работе ключевое внимание уделяется ресурсу электрического аппарата. С точки зрения терминологии, согласно ГОСТ 27.002-2015, технический ресурс — это наработка объекта от начала его эксплуатации или возобновления эксплуатации после ремонта до наступления предельного состояния или капитального (среднего) ремонта. Так же ГОСТ 27.002-2015 регламентирует следующие термины:

Ресурс – суммарная наработка объекта от начала его эксплуатации или ее возобновления после ремонта до момента достижения предельного состояния

Остаточный ресурс – суммарная наработка объекта от момента контроля его технического состояния до момента достижения предельного состояния

Трансформатор представляет собой сложное инженерное высоковольтное электротехническое устройство. Согласно представленной статистике отказов трансформаторов, представленной в таблице 1 [2], наиболее уязвимыми узлами при работе трансформатора являются его обмотки и магнитопровод. Эти узлы являются одними из основных при эксплуатации трансформатора, поэтому вывод из работы данных узлов и их повреждение критическим образом сказывается на общем ресурсе трансформатора. Зачастую повреждение обмоток и магнитопровода приводят к выводу трансформатора из работы и проведению капитального ремонта для устранения неисправностей или возможно, полной замене этих узлов.

Таблица 1 – Статистика причин выхода из строя трансформаторов

Сборочная единица	Количество отказов в % к общему числу от воздействия фактора			Итого
	Электрического	Механического	Теплового	
Обмотка и изоляция	20,80	10,70	1,6	40,3
Вводы	28	-	5,17	33,17
РПН	5	0,83	8,3	14,13
Остов	-	-	8,3	8,3
Отводы	-	2,05	2,05	4,1
Всего	61	13,58	25,42	100

При этом нужно понимать, что для нормальной работы трансформатора необходимо соблюдение безаварийного режима работы. Аварийные режимы могут сильно повлиять на состояние изоляции и основных элементов трансформатора. К режимам, вызывающих снижение ресурса трансформатора можно отнести:

1. Режим перегрузки, для которого характерно отклонение заданных параметров нагрузки, температуры за пределы, установленные нормативными документами для нормального нагрузочного режима. При этом имеет место как систематическая перегрузка, при суточных изменениях графиков нагрузки, так и аварийная, которая наступает при отключении какого-либо из элементов электроснабжения.

2. Аварийный режим работы, при котором параметры трансформатора сильно отклоняются от номинальных. Является недопустимым режимом для трансформатора. Возникновение

аварийного режима может быть связано как с внутренними повреждениями, так и с внешними повреждениями в системе электроснабжения. Как итог, наиболее вероятными причинами повреждений являются: короткие замыкания (КЗ), возникающие в баке трансформатора из-за старения изоляции, КЗ по поверхности изоляции, повреждение магнитопровода, повреждения крепления обмоток, повреждения вводов трансформаторов, повреждения РПН, повреждения систем охлаждения трансформаторов, повреждения встроенных трансформаторов тока.

В настоящее время на практике применяется способ определения срока службы и остаточного ресурса трансформатора, находящегося в эксплуатации на основе изменения степени полимеризации бумажной изоляции. Этот способ так же используется только при условии отсутствия повреждений.

Согласно [1] срок службы трансформатора определяют по формуле:

$$L = \frac{1}{K} \left(\frac{1}{СП_0} - \frac{1}{СП_K} \right) \quad (1)$$

где L - срок службы, ч; K - коэффициент старения, зависящий от температуры и состояния бумажной изоляции; СП₀ - степень полимеризации бумажной изоляции неработавшего трансформатора; СП_K - степень полимеризации бумажной изоляции в конце срока службы трансформатора.

Остаточный ресурс трансформатора, проработавшего t часов, определяют по формуле:

$$L_{ост} = \frac{1}{K} \left(\frac{1}{СП_t} - \frac{1}{СП_K} \right) \quad (2)$$

где СП_t - степень полимеризации бумажной изоляции трансформатора, проработавшего t часов.

На рисунке 1 приведена зависимость коэффициента старения K от температуры и состояния бумажной изоляции и масла.

Оценку остаточного ресурса производят исходя из снижения степени полимеризации (далее СП) к концу срока службы трансформатора до 200-250. Для оценки остаточного ресурса необходимо определить СП наиболее нагретых зон твердой изоляции. Определение СП образцов изоляции должно производиться по методике, приведенной в ГОСТ 25438-82.

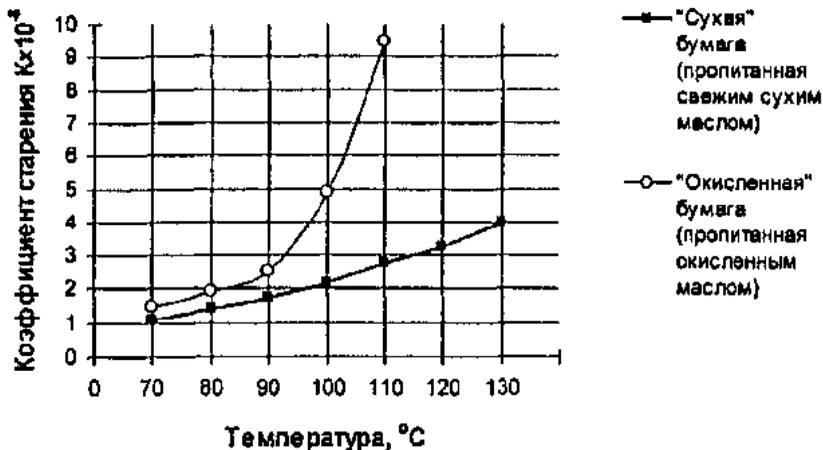


Рис. 1 - Зависимость коэффициента старения от температуры и состояния бумажной изоляции

В данной работе проведен анализа и определен ресурс трансформатора типа ТМГ-16-У1, производства завода АО «Электрощит».

Эксплуатация трансформатора производится при условии работы с окисленным маслом при температуре 100°C. При последней проверке трансформатора, находящегося в работе, показания СП были равны 700. Согласно рисунку 2, коэффициент старения $K=5 \cdot 10^{-8}$, при температуре 100 °C. Принимая СП к концу срока службы трансформатора 200, как для трансформатора, который не находится в эксплуатации, остаточный ресурс $L_{ост}$ согласно формуле 2 составит:

$$L_{ост} = \frac{1}{5 \cdot 10^{-8}} \left(\frac{1}{200} - \frac{1}{700} \right) = 71428,57 \text{ час}$$

Но что, если использование данного метода в этом случае некорректно? При оценке остаточного ресурса не учитывается факт возможной аварийной перегрузки, которая, возможно, происходила неоднократно и ее трудно идентифицировать при текущих осмотрах. Поэтому использование вышеприведенной формулы возможно только в том случае если режим перегрузки произошел одновременно. Стоит обратить внимание на то, что при работе трансформатора в режиме аварийной перегрузки, которая произошла одновременно, использование метода определения остаточного ресурса на основании степени полимеризации бумажной изоляции и формулы 2 имеет смысл

и даст приблизительно верные значения. Но при условии, что трансформатор работает в режиме систематической перегрузки и при этом если случались кратковременные воздействия аварийной перегрузки, то использование данного метода можно поставить под сомнение, так как определение коэффициента старения изоляции от температуры по графику зависимости, показанной на рисунке 2 вызывает сомнение. Формулы и графики не учитывают снижение срока службы трансформатора после того, как случаются аварийные ситуации и режимы работы. Эти режимы уменьшают срок службы трансформатора на неопределенное число часов и это должно учитываться при расчете остаточного ресурса трансформатора. Для более точного расчета остаточного ресурса необходимо математическое описание снижения ресурса трансформатора в случае возникновения режимов аварийной перегрузки. Необходимо учитывать все аспекты и все составляющие работы трансформатора, только тогда мы сможем получить более точные данные, результаты, на основании которых можно более экономически верно расценивать ресурс трансформатора, составлять более точные прогнозы по работе объектов электроснабжения и их модернизации.

Литература:

1. Всероссийский электротехнический институт имени В.И. Ленина. Методические указания по оценке состояния и продлению срока службы силовых трансформаторов, 2004. 23 с.
2. Ю.М. Савинцев. Оценка технического состояния энергоэффективных трансформаторов — базис цифровой парадигмы, 2019.
3. Савинцев Ю. М. «Цифровая парадигма и энергоэффективные трансформаторы». [Электронный ресурс]. (Дата обращения 26.10.2021).
4. ГОСТ 25438-82 Целлюлоза для химической переработки. Методы определения характеристической вязкости.
5. ГОСТ 27.002-2015 Надежность в технике. Термины и определения.

УПРАВЛЕНИЕ ПЕРЕХОДНЫМИ РЕЖИМАМИ В АВТОНОМНЫХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Н.В. Гришин

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, deednikl@mail.ru

Научный руководитель: Долгов А.П., к.т.н., доцент

В отличие от региональных ЭЭС автономные электроэнергетические системы (АЭЭС) имеют гораздо меньший опыт продолжительной эксплуатации и поэтому возможны случаи переноса основных технических решений, распространенных в ЭЭС, на практику эксплуатации автономных сетей без учета их особенностей. В итоге некоторые аварии развиваются по непредвиденному сценарию и дают неожиданные результаты. Указанные особенности нуждаются в изучении, разработки рекомендаций и накопления опыта промышленной эксплуатации.

Unlike regional power systems, autonomous power systems have much less experience in long-term operation, and therefore, cases of transfer of the main technical solutions common in power systems to the practice of operating autonomous networks without taking into account their features are possible. As a result, some accidents develop according to unforeseen scenarios and give unexpected results. These features require study, development of recommendations and the accumulation of experience in industrial operation.

При авариях работают комплексы релейной защиты и противоаварийной автоматики. При настройке автоматики в АЭЭС, безусловно, необходимо учитывать особенности данных систем, к которым относятся малые постоянные механической инерции агрегатов, сравнительно малые установленные мощности оборудования и малые пропускные способности электропередач и прочее. Должное внимание необходимо уделять автоматическому ограничению снижения частоты (АОСЧ).

Рассмотрим некоторую схему АЭЭС, которая привязана к нефтяному месторождению. Электроснабжение месторождения осуществляется от газотурбинной электрической станции (ГТЭС), работающей на попутном газе. Внешнего источника энергии у месторождения нет. Из этого следует, что при авариях, сопровождающихся снижениями частоты и напряжения, велик шанс полной остановки генераторов или их поломки, следовательно, месторождение лишается питания электроэнергией. Для избежания тяжёлых последствий при таких авариях, необходимо использование автоматики. В частности, предлагается использование автоматического ограничения снижения частоты. Из всех представленных в АОСЧ видов

автоматики наиболее эффективна автоматическая частотная разгрузка, так как автоматический частотный ввод резерва не подходит для АЭЭС потому, что на месторождении есть только дополнительный генератор в холодном резерве, и время ввода в рабочий режим данного генератора велико. Также АЭЭС не имеет связи с энергосистемой, следовательно, резерв не может быть обеспечен. Выделение отдельного генератора на питание собственных нужд принимается экономически не выгодным и приводит к повышению стоимости вырабатываемой электроэнергии. Частотное автоматическое повторное включение отключенных электроприемников или потребителей не востребовано. Из всего выше сказанного следует, что основное внимание следует остановить на настройке и работе АЧР.

Для создания и использования рабочей модели АЧР можно использовать ПВК MUSTANG. Для этого необходимо создать структурную схему АЭЭС, с расставленными узлами и ветвями. Количество узлов и ветвей можно сделать минимальными, так как основным контролируемым параметром будет частота, которая одинакова для всех узлов системы.

На следующем этапе необходимо определить объем отключаемой нагрузки, подключаемой к АЧР1 и АЧР2 [1,2]. Было принято, что уставки АЧР1 начинаются с 48.8 Гц, а АЧР2 начинаются с частоты 49.1 Гц и уставкой по времени 20 секунд. На рассматриваемом предприятии выработка и потребление электроэнергии зависят от температуры наружного воздуха и определяют число включенных агрегатов.

Мощность подключаемых к устройствам АЧР1 энергопринимающих установок потребителей в энергосистеме определяются величиной аварийного дефицита мощности с учетом запаса. Прогноз вырабатываемой мощности для 6 работающих агрегатов при температуре -30°C и ниже составляет 79.8 МВт. При аварийном отключении 5 агрегатов, так как наиболее тяжелая авария соответствует отключению 5 агрегатов, и оставшемся в работе 1 агрегате это значение возьмём равным 14.2 МВт, что является номинальной вырабатываемой мощностью. Таким образом, аварийный дефицит мощности для самой тяжелой аварии составит:

$$P_{\text{Ад}}=79.8-14.2=65.6 \text{ МВт}$$

Мощность подключаемых устройств к АЧР1 составит:

$$P(\text{АЧР1})=65.6+0.05*79.8=69.59 \text{ МВт}$$

Целесообразно применение совмещенной АЧР, при которой очереди с более низкими уставками по частоте совмещаются с очередями АЧР2 с большими уставками по времени. Общая мощность совмещения с АЧР1 – не менее 60 % суммарной мощности нагрузки, подключенной к АЧР1. Объем совмещенной АЧР1:

$$P(\text{АЧР1 совм.}) = 0.6 * P(\text{АЧР1}) = 0.6 * 69.59 = 41.75 \text{ МВт}$$

Объем несовмещенной АЧР1:

$$\begin{aligned} P(\text{АЧР1 несомв.}) &= P(\text{АЧР1}) - P(\text{АЧР1 совм.}) = \\ &= 69.59 - 41.75 = 27.84 \text{ МВт} \end{aligned}$$

По СТО 59012820.29.240.001-2010 [1] основной объем уставок АЧР1 располагается в диапазоне 48.8-46.5 Гц (возврат +0.1 Гц) с интервалами по частоте 0.1- 0.2 Гц. Но для того, чтобы обеспечить более долгий срок работы генераторов, диапазон уставок АЧР1 следует ограничить минимумом 48 Гц.

Уставки по частоте и диапазон выдержек времени АЧР2 совмещённой:

- 49.0 Гц, возврат +0.1 Гц, выдержки времени 5-20 секунд;
 - 48.9 Гц, возврат +0.1 Гц, выдержки времени 20-35 секунд;
 - 48.8 Гц, возврат +0.1 Гц, выдержки времени 35-50 секунд;
 - 48.7 Гц, возврат +0.1 Гц, выдержки времени 50-70 секунд.
- Интервалы между очередями - не более 5 секунд;

Очереди АЧР1 с более низкими уставками по частоте совмещаются с очередями АЧР2 с большими уставками по времени. Распределение нагрузки между ступенями по частоте – в равном соотношении. Приведенные результаты расчетов использовались для моделирования работы автоматики в ПВК MUSTNAG.

Следующим шагом является расчет действий АЧР1 наиболее тяжелой для системы аварии. В данном случае – это выход из строя пяти генераторов из шести. Главным контролируемым параметром будет частота, также будут проходить замеры напряжения на генераторном узле в относительных единицах.

В протоколе действий было указано, что за 0.46 секунды была отключена вся мощность нагрузки, кроме узла собственных нужд.

Моделирование работы АЧР2 выполним постепенным увеличением потребляемой мощности.

Расчёты переходных режимов аварийных ситуаций показали, что автоматическая частотная разгрузка успешно справляется со всеми

рассмотренными авариями и восстанавливает частоту в системе до допустимых значений. Частота не превышает 52 Гц более чем 20 секунд, а также не опускается ниже 48 Гц более чем на 20 секунд.

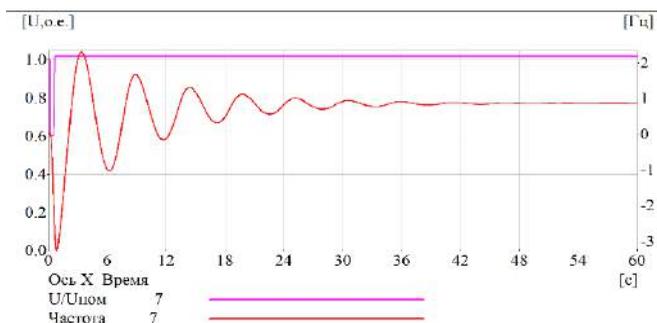


Рис. 1 - График изменения частоты и напряжения. Отключение 5 агрегатов при работе 6 до аварии. Работа АЧР1

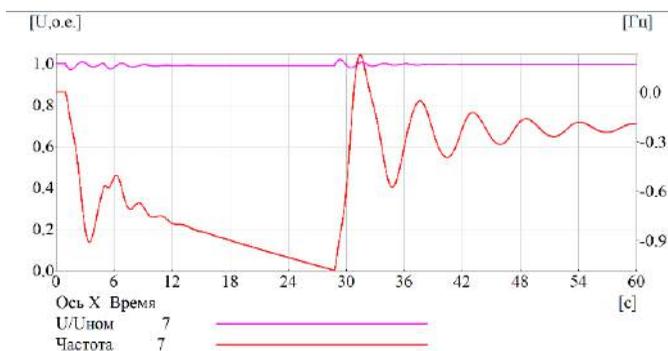


Рис.2 - График изменения частоты и напряжения. Постепенное нарастание мощности потребления. Работа АЧР2

Заключение. Автоматическая частотная разгрузка может минимизировать последствия аварийного режима, так как даже в самом тяжёлом случае, как отключение 5 генераторов из 6, оставалось питание собственных нужд. Благодаря чему обслуживающий персонал может восстановить питание в кратчайшие сроки. Необходимо анализировать состав оборудования для настройки уставок по частоте, так как агрегаты разных производителей отличаются по надёжности. Например: некоторые генераторы могут работать на частоте порядка 46 Гц несколько минут, а генераторы, рассматриваемые в данной работе, при

частоте ниже 48 Гц могут выйти из строя если их не отключить в течение 20 секунд.

Литература:

1. СТО 59012820.29.240.001-2010. Технические правила организации в ЕЭС России автоматического ограничения снижения частоты при аварийном дефиците активной мощности (автоматическая частотная разгрузка).

2. ГОСТ Р 58335-2018. Дата введения 2019-03-01. Утвержден и введен в действие Приказом федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 28 декабря 2018г. N 1181-ст.

ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСИИ СКОРОСТИ ВЕТРА НА ВЫРАБОТКУ МОЩНОСТИ ВЕТРОУСТАНОВКОЙ

В.В. Денисов

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, vladden.00@mail.ru**

Научный руководитель: Манусов В.З., д.т.н., профессор

В работе приведено исследование влияния скорости ветрового потока и его флуктуации на выработку активной мощности ветроэнергетической установки (ВЭУ), что особенно важно в автономных электроэнергетических системах, основанных на возобновляемых и альтернативных источниках энергии.

The article presents a research of the influence of the speed of the wind flow and its fluctuations on the generation of active power of a wind power plant (WPP), which is especially important in autonomous power systems based on renewable and alternative energy sources.

Ветроэнергетика является одним из наиболее перспективных направлений в альтернативной энергетике. Энергия ветра — это итог термических действий, которые происходят в атмосфере земли. Следовательно, во всех случаях генерирования энергии в ветроэнергетике первоисточником является кинетическая энергия ветра, которая преобразуется в нужный вид энергии, методом использования разных механических устройств [1].

Ветроэлектрическая станция - установка, которая преобразует кинетическую энергию ветра в электрическую энергию. Состоит она из ветродвигателя, генератора электрического тока, автоматического

устройства управления работой ветродвигателя и генератора, строений для их установки и обслуживания.

Формула определения мощности ветра

$$P = \frac{c_p A \rho}{2} V_0^3 \quad (1)$$

где, c_p - коэффициент мощности, который характеризует эффективность использования ветроколесом энергии ветрового потока, A - площадь ветроколеса, ометаемая ветром, ρ - плотность воздуха, V - скорость ветра.

Из формулы можно увидеть, что скорость ветра - одна из требуемых характеристик для оценки мощность ветроустановки исследуемой территории. На ветер оказывают воздействие метеорологическая обстановка, рельеф местности и относительная высота над уровнем моря, поэтому ветер никогда не находится в устойчивом состоянии [1].

Вероятностная формула определения мощности ветра

Формула (1) является детерминистической, так как она не учитывает колебания ветрового потока, которые имеют место в реальности. Стохастическая модель учитывает флуктуацию скорости ветра, а детерминистическая модель является ее частным решением.

С помощью начальных и центральных моментов случайной величины, в данном случае это скорость ветрового потока выполним разработку новой математической модели для оценки мощности ветроустановки.

Начальный момент k -го порядка- это математическое ожидание ($M[X]$) величины X^k . Начальные моменты для первого порядка и второго порядка соответственно равны $v_1=M[X]$; $v_2=M[X^2]$.

Центральный момент - k -го порядка- это математическое ожидание ($M[X]$) величины $[X-m_x]^k$. Центральные моменты для первого порядка и второго порядка соответственно равны $\mu_1=M[X-m_x]=0$, $\mu_2=M[X-m_x]^2=D[X]$

Центральный момент третьего порядка:

$$\mu_3 = M[X - m_x]^3 = v_3 - 3v_2v_1 + 2v_1^3 = 2v_1^3 - 2v_2v_1 \quad (2)$$

Математическое ожидание мощности, вырабатываемой ВЭУ, в вероятностной постановке:

$$M[X^3] = v_2v_1 + K_{x^2x} \quad (3)$$

где, K_{X^2X} - корреляционный момент - математическое ожидание произведения отклонений этих величин.

$$K_{X^2X} = M[(X^2 - m_X^2)(X - m_X)] = \mu_3 + 2v_2v_1 - v_1^3 \quad (4)$$

В итоге для величины третьего порядка, в данном случае – это скорость ветрового потока (V^3), получим математическое ожидание случайной величины. Учтем, что $v_1=M[V]=\bar{V}$ и $v_2=D[X]=\sigma_v^2$, вероятностная модель для V^3 принимает вид:

$$M[V^3] = \bar{V}^3 + \bar{V}\sigma_v^2 \quad (5)$$

Следовательно, стохастическая модель мощности ветроэнергетической установки имеет вид:

$$P_{\text{стох}} = \frac{c_p A \rho}{2} (\bar{V}^3 + \bar{V}\sigma_v^2) \quad (6)$$

При учете колебания скорости ветра прогноз генерируемой мощности возрастает, что возникает в результате нелинейной зависимостью мощности от скорости ветра [2].

Пример

В качестве примера рассмотрена ситуация использования двух ветроустановки одной модели AN Wopus 1000/54 мощностью 1 МВт и математическим ожиданием 15 м/с, имеющих разные среднеквадратические отклонения.

Данная модель ветроустановки имеет площадь ометаемой поверхности $A = 2300 \text{ м}^2$, коэффициент мощности $c_p = 0.21$ (при скорости ветра 15 м/с). Плотность воздуха (ρ) принимаем равным 1.27 кг/м^3 [3].

Для первой это будет $\sigma_{v1} = 20, 40$ и 60% от математического ожидания $M[x]$, для второй $\sigma_{v2} = 25, 50$ и 75% от $M[x]$ соответственно.

Раскрывая скобки в формуле (6) получаем, что стохастическая мощность есть не что иное, как сумма детерминированной и добавленной мощностей. Детерминированная мощность для всех случаев равна 1 МВт.

Определим зависимость добавленной мощности от среднеквадратического отклонения. Сведем в таблицу 1 добавленные и стохастические мощности для ветроустановки 1 и 2.

Таблица 1 – Расчет добавленной и стохастической мощности ветроустановок 1 и 2

σ_{v1} , м/с	$P_{доб1}$, МВт	$P_{стох1}$, МВт	σ_{v2} , м/с	$P_{доб2}$, МВт	$P_{стох2}$, МВт
3	0.041	1.041	3.75	0.065	1.065
6	0.166	1.166	7.5	0.260	1.260
9	0.373	1.373	11.25	0.582	1.582

Рассчитаем суммарную добавленную и стохастическую мощности. Расчет сведем в таблицу 2.

По полученным данным построим график, на котором по оси ординат будет отношение добавленной мощности к номинальной, выраженное в процентах, по оси абсцисс отложены значения среднеквадратического отклонения.

Таблица 2 – Расчет суммарной добавленной и стохастической мощности ветроустановок 1 и 2

$\sigma_v = \sigma_{v1} + \sigma_{v2}$, м/с	$P_{доб} = P_{доб1} + P_{доб2}$, МВт	$P_{стох} = P_{стох1} + P_{стох2}$, МВт
6.75	0.106	2.106
13.5	0.424	2.424
20.25	0.955	2.955

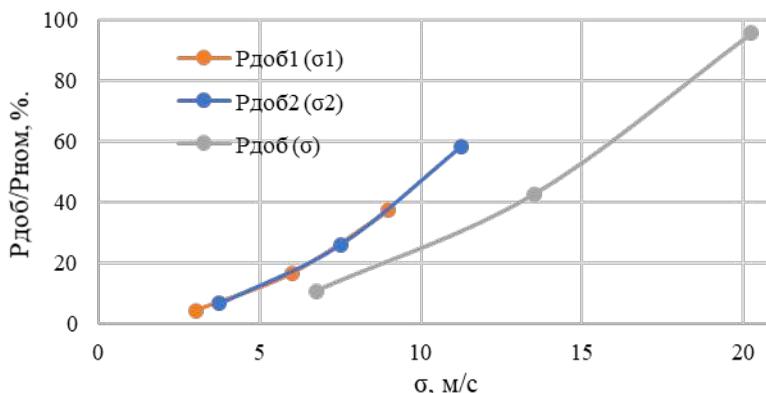


Рис. 1 – Зависимость генерации добавленной мощности ветроустановки от среднеквадратического отклонения скорости ветра

Заключение. Показано, что в предположении нормального закона распределения скоростей ветра, что подтверждается статистической обработкой ретроспективных данных, учет дисперсий отклонений скорости ветрового потока от ее математического ожидания позволяет

уточнить мощность, вырабатываемую ветроэнергетической установкой. На примере одно мегаваттной ВЭУ и среднеарифметической скорости ветра 15 м/с при среднеквадратическом отклонении 75% дополнительно вырабатываемая мощность может составить более 50% номинальной мощности ВЭУ. Обоснована вероятностная модель определения генерируемой мощности ВЭУ, в рамках которой детерминистическая модель, принятая в настоящее время является частным случаем.

Литература:

1. Удалов С.Н., Манусов В.З. Моделирование ветроэнергетических установок и управление ими на основе нечеткой логики: монография. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2013. – С. 11-15
2. Манусов В.З., Хасанзода Н., Матренин П.В. Применение методов искусственного интеллекта в задачах управления режимами электрических сетей Smart Grid: монография. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2019. – С. 117-121
3. Wind turbines model – AN Bonus 1000/54 URL: <https://en.wind-turbine-models.com/turbines/396-an-bonus-1000-54#powercurve>. (Дата обращения: 10.11.2021).

АНАЛИЗ ГАРМОНИЧЕСКОГО СОСТАВА НАПРЯЖЕНИЯ В НАГРУЗОЧНОМ УЗЛЕ С АСИНХРОННЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ

И.В. Дулов, Р.М. Хатыленко, Я.А. Фролова
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, dulov.96@mail.ru

Рассмотрено влияние различных режимов работы асинхронного двигателя на качество электроэнергии. Разработана модель для анализа гармонического состава напряжения при работе асинхронного электродвигателя. Представлен гармонический анализ напряжения без учета насыщения и с учетом насыщения стали двигателя.

The influence of the various operation modes of an induction motor on the electric power quality has been reviewed. To analyze the harmonic composition of the voltage during operation of an induction motor the model has been developed. The harmonic analysis of the voltage with and without saturation of the motor steel is presented.

Асинхронные двигатели являются наиболее энергоемкими потребителями электроэнергии. Для ввода в работу асинхронных двигателей применяются различные устройства, позволяющие снизить

негативное влияние пусковых режимов на электрооборудование как в смежных узлах, так и на энергосистему в целом. Наиболее широкое применение получили устройства планового пуска (УПП) и частотные преобразователи. Использование таких устройств позволяет добиться высокого уровня энергоэффективности и снизить значения пусковых токов двигателей. В то же время существует достаточное количество сфер применения асинхронных двигателей, в которых выполнять частотный или плавный пуск нецелесообразно. В этих случаях отдаётся предпочтение прямому пуску асинхронного двигателя как наиболее быстрому, надежному и дешевому способу пуска, который, с другой стороны, сопровождается значительными пусковыми токами.

На рисунке 1 представлена цифровая модель нагрузочного узла энергосистемы, реализованная в программном комплексе Simulink.

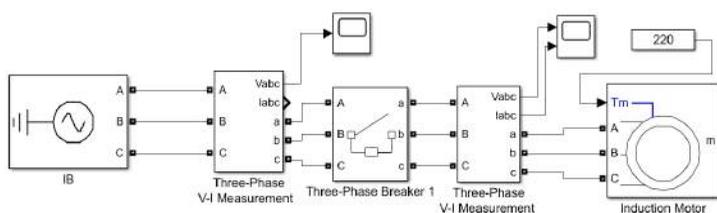


Рис. 1 – Цифровая модель нагрузочного узла энергосистемы

Источником электроэнергии в исследуемой системе служат шины бесконечной мощности напряжением 400 В. В качестве нагрузки использован асинхронный двигатель с варьируемым значением механического момента. На рисунке 2 приведена осциллограмма режимных параметров в процессе прямого пуска и установившемся режиме работы асинхронного двигателя без учета насыщения. В соответствии с действующим ГОСТ 32144-2013 при анализе уровня гармонических искажений регламентируется рассматривать кривую напряжения [1].

Для анализа гармонического состава напряжения был использован встроенный программный блок FFT Analysis. На рисунке 3 приведен гармонический анализ кривой напряжения в процессе пуска и выхода на установившийся режим работы асинхронного двигателя. Гармонический анализ представлен без учета первой гармоники и постоянной составляющей напряжения. Из приведенной гистограммы видно, что при учете насыщения гармонический состав существенно изменяется, а амплитуда большей части гармоник возрастает.

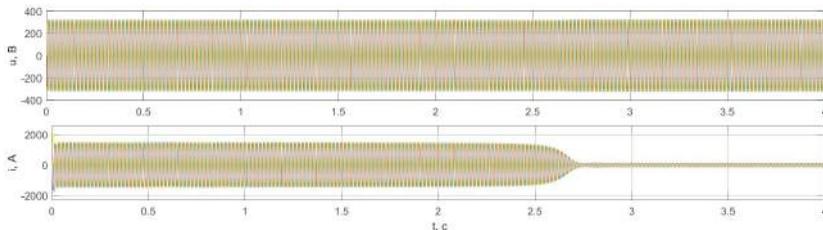


Рис. 2 – Режимные параметры в процессе пуска и в установившемся режиме работы двигателя

При использовании разработанной цифровой модели был проведен ряд экспериментов при различных значениях механической нагрузки на валу асинхронного двигателя с введением и без учета насыщения. На рисунке 4 приведена зависимость коэффициента искажения напряжения (ТНД) от механического момента в процессе пуска асинхронного двигателя. Из полученных результатов следует, что с увеличением механического момента снижается искажение кривой напряжения при пусковом процессе.

На рисунке 5 приведена зависимость коэффициента искажения напряжения (ТНД) от механического момента при рассмотрении процесса пуска асинхронного двигателя с выходом на установившийся режим работы. Из рисунка 5 видно, что суммарный коэффициент искажения напряжения зависит от длительности пуска асинхронного двигателя. Чем больше продолжительность пускового процесса, тем больше величина коэффициента гармонических искажений.

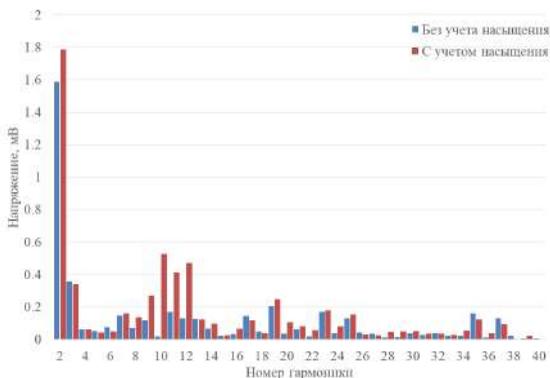


Рис. 3 – Гармонический анализ кривой напряжения в процессе пуска и выхода на установившийся режим работы двигателя

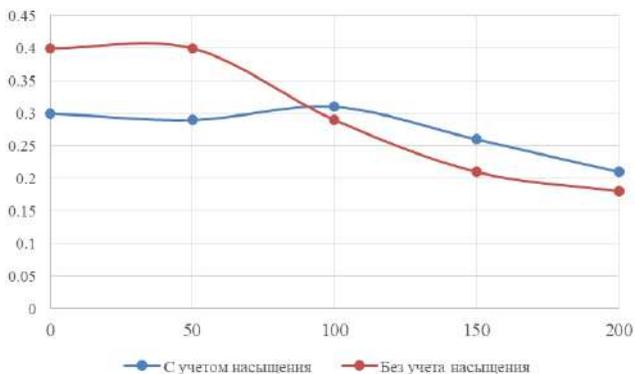


Рис. 4 – Зависимость коэффициента искажения напряжения (ТНД) от механического момента в процессе пуска двигателя

УПП являются наиболее доступными устройствами для снижения пусковых токов асинхронного двигателя. В связи с чем, в созданную цифровую модель был добавлен блок УПП. На рисунке 6 приведен гармонический анализ кривой напряжения в процессе пуска и выхода на установившийся режим работы асинхронного двигателя. Коэффициент гармонических искажений составил 54,7 %, что связано со спецификой работы силовой электроники [2].

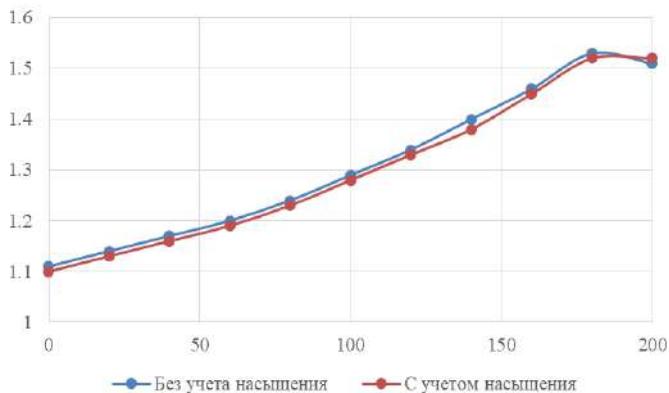


Рис. 5 – Зависимость коэффициента искажения напряжения (ТНД) от механического момента при рассмотрении полного процесса

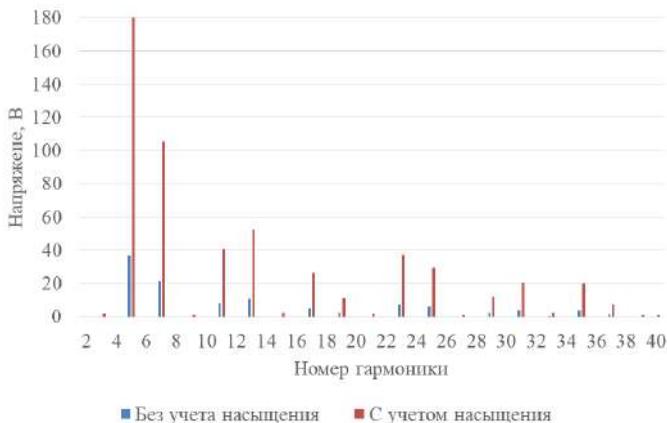


Рис. 6 – Гармонический анализ работы асинхронного двигателя с УПП

При прямом пуске асинхронного двигателя с выходом на установившийся режим работы существенных гармонических искажений не выявлено, коэффициент гармонических искажений для рассматриваемого двигателя варьируется в пределах от 0.15 до 1.5 %. При пуске асинхронного двигателя с использованием УПП значение коэффициента гармонических составляющих составляет 54,7 %, что может оказать значительное влияние на срок эксплуатации как самого двигателя, так и являться причиной изменения моментно-скоростных характеристик двигательной нагрузки в смежных узлах энергосистемы [3], [4]. При учете насыщения в цифровой модели гармонический состав напряжения существенно изменяется, а амплитуды гармоник возрастают.

Литература:

- ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения = Electric energy. Electromagnetic compatibility of technical equipment. Power quality limits in the public power supply systems. – Введ. 2014-07-01. – М. : Стандартинформ, 2014. – 20 с.
- Beleiu HG, Maier V, Pavel SG, Birou I, Pică CS, Dărab PC. Harmonics Consequences on Drive Systems with Induction Motor. Applied Sciences. 2020; 10(4):1528. <https://doi.org/10.3390/app10041528>
- Планков, А. А. Учет высших гармоник при исследовании динамической устойчивости узлов электроэнергетических систем с

асинхронной нагрузкой / А. А. Планков // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 5. – С. 23.

4. Е. А. Шумилов Оценка влияния несинусоидальности питающего напряжения на напряжения смятия зубцов асинхронных двигателей / Е. А. Шумилов, С. К. Гнутов, А. В. Тамьяров, Ю. Б. Казаков // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2017. – № 1. – С. 33-39. – DOI 10.17588/2072-2672.2017.1.033-039.

ГИБРИДНЫЕ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ: МИРОВАЯ И ОТЕЧЕСТВЕННАЯ ПРАКТИКИ

Е.С. Жукова

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, zhukova0806@gmail.com**

Научный руководитель: Мышкина Л.С., к.т.н., доцент

Гибридные электроэнергетические системы на сегодняшний день показывают свою эффективность и являются одним из самых быстроразвивающихся сегментов электроэнергетики в мире. Это обусловлено общемировыми тенденциями, направленными на повышение доступности и надежности электроснабжения, политикой декарбонизации и сокращения углеродного следа, снижением стоимости установок ВИЭ, а также ограниченностью ископаемого топлива.

Hybrid power systems have already proven their effectiveness today and are one of the fastest growing segments of the power industry in the world. This is due to global trends aimed at increasing the availability and reliability of electricity supply, decarbonization policies, reducing the cost of renewable energy plants, as well as the limited availability of fossil fuels.

В мировой практике на сегодняшний день создание гибридных систем энергоснабжения с возрастающей долей ВИЭ в структуре генерации наиболее актуально на отдаленных и изолированных территориях, а также для электроснабжения промышленности, в первую очередь горнорудной и добывающей промышленности. Такие системы позволяют экономить топливо (и транспортные расходы по его доставке), что в свою очередь позволяет снизить стоимость электрической энергии для конечных потребителей, и при этом улучшают местную экологию. Одним из лидеров в данной области применения гибридных энергосистем является Африка.

Однако всё чаще в странах Европы, а также в США и Канаде появляются реализованные проекты гибридных систем электроснабжения, реализованные в крупных городах, обеспечивающие общественные и коммерческие нужды, например, зарядные станции электромобилей, школы, кампус университетов и пр.

В Германии популярность приобретает совместная установка домашних накопителей энергии в паре с солнечной электростанцией мощностью до 15 кВт. Уже около 90% всех новых гибридных домашних энергосистем состоят из фотоэлектрических элементов и системы хранения энергии [1].

Примеры введенных в эксплуатацию проектов в разных странах мира и получаемые эффекты приведены в таблице 1.

По данным Data Bridge Market Research среднегодовой темп роста рынка гибридных энергосистем в мире составит 7,6% в прогнозируемый период 2021-2028 гг. Рыночная стоимость гибридных энергосистем к 2028 году вырастет на 1 149,85 миллионов долларов США [2].

Несомненно, создание гибридных систем электроснабжения является одним из основных мировых трендов развития энергетики.

Появление гибридных энергетических систем на территории РФ в первую очередь связано с наличием большого количества районов, удаленных от централизованной системы электроснабжения. Около 65% территории России находится в зоне изолированного электроснабжения и обеспечивается в основном электроэнергией от дизельных электростанций, работающих на привозном топливе.

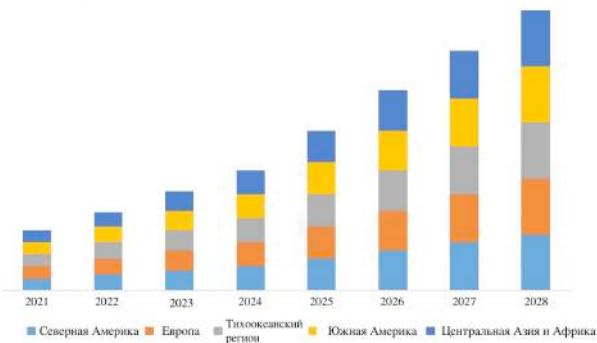


Рис.1 – Динамика роста мирового рынка гибридных энергосистем

В то же время в этих зонах велик потенциал ветровой и солнечной энергии, которая может быть успешно использована путем создания эффективных гибридных энергосистем, обеспечивающих высокую долю замещения дизельного топлива.

Таблица 1 – Реализованные проекты гибридных энергосистем

	Страна	Потребители	Состав системы	Устан. Мощ-ть, МВт	Полученные эффекты
Электроснабжение удаленных районов	США, Аляска	Поселение Уналакит	ДЭС	0,7	Снижение стоимости эл/э; Экономия топлива 54%
			ВЭС	2,5	
			СНЭ	0,027	
	Антарктида	Полярная станция	ДЭС	0,55	Экономия топлива до \$263 тыс. в год
ВЭС			0,6		
Электроснабжение промышленных и сельскохозяйственных потребителей	Австралия	Медно-золотое месторождение	СЭС	19	Экономия топлива 5 млн л (20% от прежнего потребления); Сокращение выбросов на 12000 т в год
			ДЭС	10,6	
			СНЭ	4	
	Мадагаскар	Добыча ильменита	СЭС	8	Снижение затрат на топливо
			ВЭС	12	
			СНЭ	8,25	
	Канада	Добыча алмазов	ВЭС	9,2	Экономия 3,5 млн л топлива в год; Снижение выбросов CO ₂ на 12000 т в год
			ДЭС	46,2	
	Германия	сельскохозяйственный потребитель	Биогаз	4,3	Снижение выбросов CO ₂ на 4000 т в год; Снижение стоимости эл/э
			Накопление тепла	40600 кВт*ч	
Островное электроснабжение	США, Аляска	о. Кадьяк	ДЭС	33	Снижение расходов на эл/э на \$4 млн в год
			ВЭС	30	
			Мини-ГЭС	9	
			СНЭ	4	
	Фолклендские острова	Поселение	ДЭС	6,6	Снижение стоимости эл/э с 0,42 \$/кВт*ч до 0,3 \$/кВт*ч
ВЭС			2		
Общественные объекты	США, Сан-Диего	Офисное здание: электроомбили	СЭС	0,391	Снижение стоимости эл/э
			СНЭ	0,280	
	США, Массачусетс	Фермы и местные школы	СЭС	20	Снижение выбросов CO ₂ ; Повышение доступности
			СНЭ	24	
Примечание — ДЭС – дизельная электростанция; ВЭС – ветряная электростанция; СЭС – солнечная электростанция; СНЭ – системы накопления энергии.					

Наиболее перспективными регионами для появления таких энергосистем является Дальний Восток и Сибирь. Появление

гибридных энергосистем в этих регионах позволило частично решить такие проблемы энергоснабжения, как:

- Ежегодный завоз топлива для автономных ДЭС в рамках «северного» завоза составляет около 1,0 млн. тонн без учета завоза для объектов Министерства обороны;

- Многие ДЭС имеют устаревшее оборудование, многие давно выработали свой моторесурс, в результате снижается надежность энергоснабжения, есть необходимость значительного «горячего» резерва, что приводит к очень высокому расходу топлива;

- Себестоимость производимой энергии на ДЭС для автономных регионов находится в диапазоне 15–150 руб. за 1 кВт•ч. Это вынуждает осуществлять субсидирование, особенно бытового потребления, из бюджетов разных уровней до 600 млрд.руб./год;

- Наносится значительный ущерб окружающей среде выбросами продуктов сгорания топлива (40 млн.т. CO₂, 80 тыс.т SO_x, 600 тыс. т NO_x), а также беспорядочным хранением бочек из-под топлива.

Лидером по созданию гибридных энергосистем является ПАО «РусГидро». Проекты гибридных энергосистем РусГидро реализует на базе солнечной или ветровой энергетики, дизельных установок и накопителей энергии.

На 2021 год РусГидро планирует строительство 6 новых гибридных энергосистем в городе Верхоянске (СЭС – 1000 кВт с накопителем), поселках Табалах Верхоянского улуса (мощность ДЭС 600 кВт, СЭС – 330 кВт с накопительной системой), Мома (ДЭС – 3300 кВт, СЭС – 1500 кВт с накопительной системой), Сасыр (ДЭС – 600 кВт, СЭС – 215 кВт с накопительной системой), Тебюлях (ДЭС – 250 кВт, СЭС – 90 кВт с накопительной системой), Кулун-Елбют Момского улуса (ДЭС – 250 кВт, СЭС – 90 кВт с накопительной системой) [3]. Они придут на замену выработавшим свой нормативный ресурс дизельным электростанциям, значительно уступающим по параметрам надёжности, энергоэффективности и экономичности.

С учетом уже поучаемых эффектов от создания гибридных систем электроснабжения и тем, что со временем технологии ВИЭ будут становиться доступнее, заинтересованность в создании данных систем на территории РФ будет только увеличиваться.

В силу разнообразия применяемых в гибридных энергосистемах технологий, актуальна разработка методик их выбора, которая будет основываться на территориальных, климатических и схемно-режимных условиях.

Литература:

1. EuPD Research [Электронный ресурс]. URL: <https://www.eupd-research.com/2020/04/21/ende-2019-sind-gut-200-000-heimspeicher-in-deutschland-installiert-sonnen-und-byd-als-fuehrende-anbieter/>. (Дата обращения: сентябрь 2021).
2. Global Hybrid Power Systems Market [Электронный ресурс]. URL: <https://www.databridgemarketresearch.com/reports/global-hybrid-power-systems-market>. (Дата обращения: октябрь 2021).
3. РусГидро [Электронный ресурс]. URL: <http://www.rushydro.ru/press/holding-news/113216.html> (Дата обращения: октябрь 2021).

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ИЗМЕРЕНИЯ ЧАСТОТЫ И ГАРМОНИЧЕСКОГО СОСТАВА НАПРЯЖЕНИЯ

А.С. Захарченко

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, onirs@corp.nstu.ru

Научный руководитель: Армеев Д.В., к.т.н., доцент

В статье рассматривается гармонический состав напряжения. Приведен блок алгоритма, отвечающий за спектральный анализ сигнала, а также модель программы, разработанная в Simulink MATLAB, выделяющая основную гармонику. Представлены показательные осциллограммы сигнала.

The article deals with the harmonic composition of the voltage. The block of the algorithm responsible for the spectral analysis of the signal, as well as the model of the program developed in Simulink MATLAB, which selects the fundamental harmonic, is presented. Representative waveforms of the signal are presented.

В современном мире всё чаще применяются технологии микрогенерации, в состав которой входят преобразователи и регуляторы. Они, в свою очередь, являются источниками гармоник в сети и сильно искажают напряжение.

Целью работы является анализ гармонического состава напряжения, разработка алгоритма для его измерения и оценка эффективности его работы на основе экспериментов.

Для достижения данной цели решаются следующие задачи:

1. Теоретический анализ гармонического состава напряжения;
2. Проведение лабораторного эксперимента для измерения частоты и напряжения;

3. Разработка и тестирование алгоритма измерения частоты и гармонического состава напряжения.

Понятие «гармоника» происходит из теоремы Фурье и определяет, что при определенных аналитических условиях любую периодическую функцию можно считать интегрированной суммой синусоидальных функций, включая постоянный член в случае асимметрии относительно оси абсцисс [1].

Для определения фазного напряжения, а также спектрального анализа, на основе ряда Фурье был разработан алгоритм в среде MATLAB. Блок, отвечающий за спектральный анализ сигнала, представлен ниже.

```
T=0:1/Fd:Tm;  
Signal1=out.V1;  
FftSA=abs(fft(Signal1,FftL));  
FftSA=2*FftSA./FftL;  
FftSA(1)=FftSA(1)/2;  
%% Построение графиков  
F=0:Fd/FftL:Fd/2-1/FftL;  
plot(F,FftSA(1:length(F)))
```

Модель программы, разработанная в Simulink MATLAB, состоит из двух частей, представленных на рис. 1 и 2.

В ходе эксперимента с установленным фильтром было получено несинусоидальное симметричное напряжение. Исходный сигнал и выделенная основная гармоника представлены на рис. 3.

Из спектров сигнала фаз А, В, С (рис. 4) видно, что основной гармоникой является первая, т.е. частота 50 Гц.

Напряжение фазы А (рис. 5) имеет наибольшую амплитуду у 2, 8 и 4 гармоники (это соответствует частотам в 100, 400 и 200 Гц). При этом вторая гармоника составляет 2,7% от основной, остальные гармоники – меньше 2%. Спектр сигнала фазы В и С идентичен. Их гармонический состав напряжения максимален у 2, 8 и 7 гармоник (100, 400 и 350 Гц соответственно). Если рассматривать процентное соотношение, то 2-ая гармоника составляет 3,3% от основной, а остальные – менее 2,5%.

Был разработан алгоритм решения вопроса о гармоническом составе напряжения. В ходе работы был проведён спектральный анализ полученного лабораторным путём напряжения, а также выделена основная гармоника. Для достижения данного результата использовался пакет программ MATLAB, в том числе Simulink. Вычисления проводились на основе математической теоремы и функции, такой как быстрое преобразование Фурье.

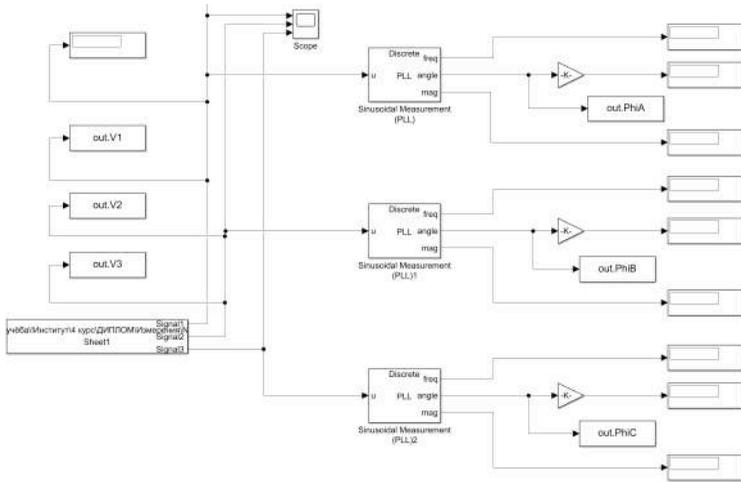


Рис. 1 – Часть модели, отвечающая за показ осциллограммы входного напряжения, значений частоты, фазового угла и величины отдельных фаз

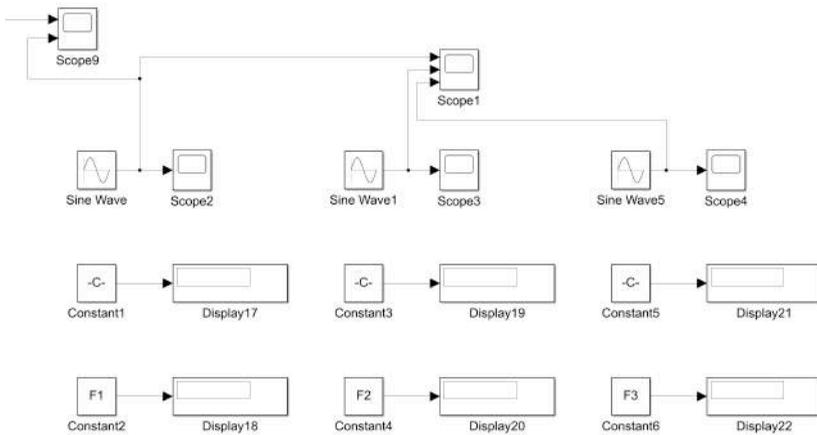


Рис. 2 – Часть модели, отвечающая за вывод осциллограммы основной гармоники

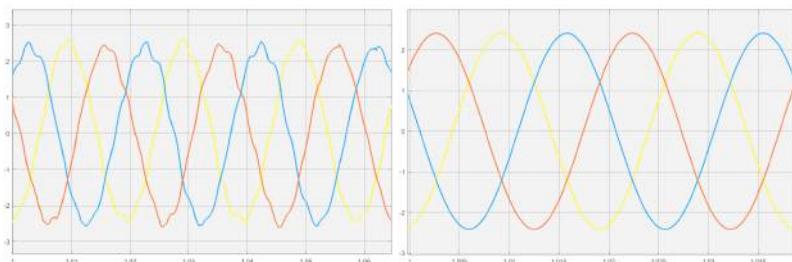


Рис. 3 – Входное напряжение и основная гармоника по фазам А, В, С

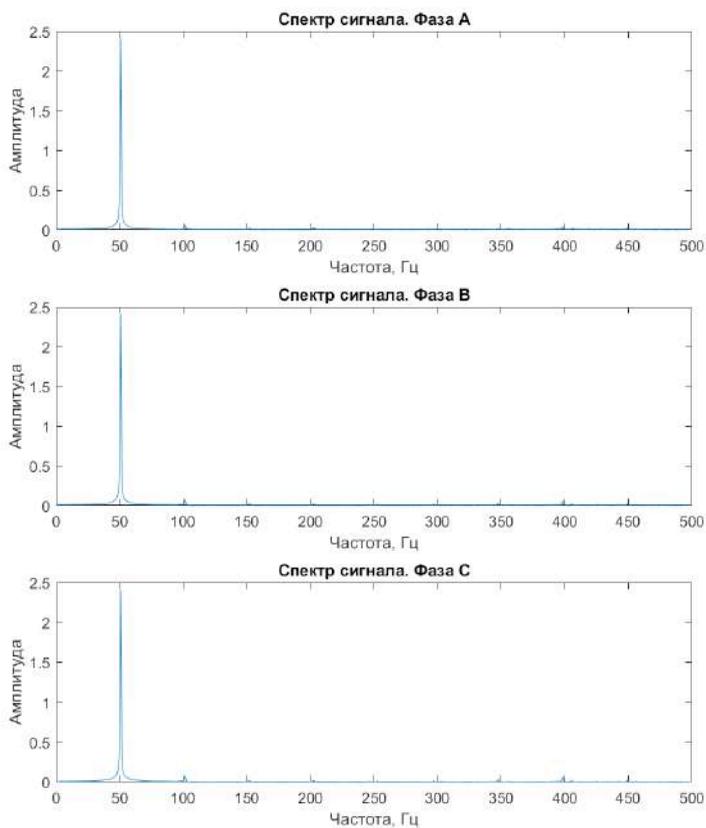


Рис. 4 – Напряжение и спектр сигнала фаз А, В, С

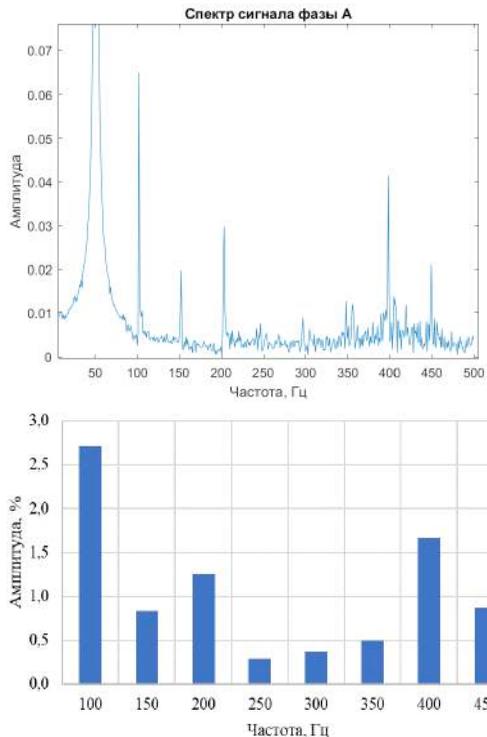


Рис. 5 – Спектр сигнала фазы А

Литература:

1. ABB. Guida applicative. Le armoniche nelle applicazioni HVAC, 2019. – P. 16.
2. Нуссбаумер Г. Быстрое преобразование Фурье и алгоритмы вычисления свертки: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1985. – 248 с.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНИЧНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ РАСТВОРЕННЫХ В МАСЛЕ ГАЗОВ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

А.А. Зеленских

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, zelenskihaleksandr7@gmail.com**

Научный руководитель: Танфильева Д.В., к.т.н., доцент

В данной статье представлен обзор существующих способов установления граничных значений измеряемых параметров, а также предложен подход определения граничных концентраций газов в масле трансформатора по методу минимального риска.

The article provides an overview of the existing methods for setting the boundary values of the measured parameters, as well as proposes an approach for determining the boundary gas concentrations in transformer oil using the minimum risk method.

Хроматографический анализ растворенных газов (ХАРГ) в масле является основным методом диагностирования при оценке технического состояния силовых трансформаторов (СТ) и прогнозировании возможных отказов при развитии зародившихся дефектов. В настоящее время существует три нормативно-утвержденных документа, устанавливающие значения граничных концентраций измеряемых газов, по которым производится отбраковка СТ: РД 153-34.0-46.302-00 [1], СТО 31.01-23-003-2019 [2] – используемые в РФ, а также международный стандарт ИЕС 60599 [3]. Данные стандарты регламентируют различные граничные значения газов.

Помимо проведения периодических замеров концентраций, в зависимости от категорий потребителей и степени ответственности оборудования, внедряются системы непрерывного мониторинга ХАРГ, позволяющие отслеживать скорость нарастания газов и прогнозировать событие – превышение граничного значения измеряемых параметров. Существующие системы мониторинга [4-7] характеризуются разными архитектурами, базами данных, правилами принятия решений, в том числе и значениями граничных концентраций, а также математическими моделями по оценке качества входной информации (однородность, достоверность, отсутствие выбросов). Кроме того, варьируется количество измеряемых газов от 3 до 9 (согласно РД [1] и СТО ФСК [2] контролируется 7 газов, но могут быть добавлены азот N_2 и кислород O_2), что непременно сказывается на точности постановки диагноза.

Таким образом, актуальной является задача по оценке граничных концентраций газов силовых трансформаторов, с учетом условий эксплуатации с целью минимизации риска отказа.

Существуют различные способы установления граничных значений измеряемых параметров: методы искусственного интеллекта (машины опорных векторов, метод К-ближайших соседей и т.д.) и модели на основе статистической теории распознавания образов - Байесовское решающее правило с различными вариациями (метод минимального риска, максимального правдоподобия, минимального значения вероятности ложного обнаружения дефектов и ложного пропуска дефектов). Последние указанные методы обладают большей достоверностью в принятии решения [4], т.к. при использовании решающего правила необходимо проводить анализ входной информации, оценивать принадлежность эмпирических законов распределения к теоретическим, и их числовые характеристики.

Базовым критерием проверки принадлежности эмпирического закона распределения является $n\omega^2$ Крамера-Мизеса-Смирнова. Применение данного критерия сводится к построению эмпирической и теоретической функции распределения, получения суммарной величины критерия (1) на заданном интервале, с последующим сравнением критического значения статистики $n\omega^2$ в зависимости от уровня значимости α .

На рисунке 1, в качестве примера, представлено распределение водорода, а также функция распределения Вейбулла (2) по статистической базе данных протоколов измеренных концентраций газов для силовых трансформаторов 110 кВ предприятия электрических сетей 1 (ПЭС1). База данных содержит порядка 3500 протоколов семи концентраций газов за 12 лет эксплуатации.

$$n\omega^2 = \frac{1}{12n} + \sum_{i=1}^n \left[F(x_i) - \frac{i-0,5}{n} \right]^2 \quad (1)$$

Как видно из рисунка 1, а также из таблицы 1, граничные концентрации газов весьма отличаются, в зависимости от применяемого регламентирующего руководящего документа. При наличии представительной статистической базы данных рекомендуется переопределять граничные концентрации, однако метод основан на построении эмпирической функции распределения и установлении предельного значения при $F(A(C_xH_y))=0,90$. Значение граничной концентрации в большей степени зависит от интервала разбиения и количества протоколов, но не отображает количества проведенных

восстановительных ремонтов, осушения или замены масла и прочих эксплуатационных факторов.

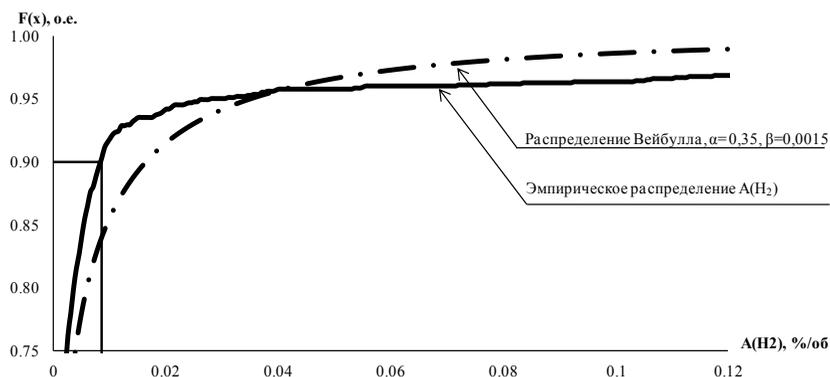


Рис.1 – Определение граничной концентрации водорода при уровне эмпирической функции распределения 0,9

Таблица 1 – Сравнительная характеристика величин граничных концентраций измеряемых газов по различным стандартам

Стандарт	Концентрации газов, %об						
	H_2	CH_4	C_2H_2	C_2H_4	C_2H_6	CO	CO_2
РД	0,01	0,01	0,001	0,01	0,005	0,06	0,4
СТО ФСК	0,002	0,001	0,002	0,008	0,002	0,039	0,43
ИЕК	0,01	0,01	0,001	0,01	0,005	0,05	0,4
Граничные концентрации СТ 110 кВ по базе данных	0,008	0,0019	0,0003	0,0128	0,0046	0,0215	0,208

Альтернативным способом определения граничного значения измеряемых газов можно получить с помощью методов теории распознавания образов, а именно – метод минимального риска [5]. Применение данного подхода подразумевает использование отношения правдоподобия (2), наличие двух классов состояний, подчиняющихся определенному теоретическому закону распределения, значение рисков и вероятностей принадлежности к j -му классу.

$$\frac{f(A/C_1)}{f(A/C_2)} = \frac{R_{12} - R_{22}}{R_{21} - R_{11}} \frac{P_2}{P_1}, \quad (2)$$

где R_{11} , R_{22} – стоимость правильного отнесения текущего газа к классу состояний (наличие/отсутствие развивающегося дефекта), как правило, не учитывается; R_{12} – стоимость пропуска дефекта; R_{21} – цена ложного обнаружения дефекта.

Исходные распределения газов двух классов подчиняются закону распределения Вейбулла, следовательно, отношение правдоподобия может быть представлено следующим образом:

$$\lambda = \frac{\frac{b_1}{a_1} \left(\frac{x}{a_1} \right)^{b_1-1} \cdot e^{-\left(\frac{x}{a_1} \right)^{b_1}}}{\frac{b_2}{a_2} \left(\frac{x}{a_2} \right)^{b_2-1} \cdot e^{-\left(\frac{x}{a_2} \right)^{b_2}}} \quad (3)$$

Граничные концентрации можно определить исходя из численного способа решения выражения (3), при известных параметрах распределения.

Таким образом, имея значительную базу данных протоколов ХАРГ за некоторый период эксплуатации (не менее 5 лет, количество протоколов не менее 1000), а также реальные акты ремонтов, по результатам которых подтверждаются выявленные дефекты, можно сформировать собственные граничные концентрации, которые будут отображать реальное состояние силовых трансформаторов.

Литература:

1. Методические указания по диагностике развивающихся дефектов трансформаторного оборудования по результатам хроматографического анализа газов, растворенных в масле : РД 153-34.0-46.302-00: утв. Департаментом научно-технической политики и развития РАО ЕЭС «России» 12.12.2000.: введ. в действие с 01.01.2001. – М.: НЦ ЭНАС, 2001.
2. Методические указания по техническому диагностированию развивающихся дефектов маслонаполненного высоковольтного электрооборудования по результатам анализа газов, растворенных в минеральном трансформаторном масле: СТО 34.01-23-003-2019: утв. Распоряжением ПАО «Россети» 17.04.2019.: введ. в действие с 17.04.2019. – М.: НЦ ЭНАС, 2019.
3. IEC 60599:2015 Mineral oil-filled electrical equipment in service - Guidance on the interpretation of dissolved and free gases analysis (Электрооборудование с заполнением минеральным маслом при

эксплуатации – руководство по интерпретации результатов анализа растворенных и свободных газов).

4. Хайкин, С. Нейронные сети: полный курс [Текст]: пер. с англ. / С. Хайкин. – М.: Вильямс, 2008. – 1104 с.

5. Биргер, И. А. Техническая диагностика [Текст] / И. А. Биргер. – М.: Машиностроение, 1978. – 240 с.

ОБОСНОВАНИЕ РАЗВИТИЯ МАЛОЙ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ КОГЕНЕРАЦИИ НА ПРИРОДНОМ ГАЗЕ В РОССИИ

Е.М. Иванова, Ю.И. Богомолова

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, lizai2000@mail.ru

Научный руководитель: Фролова Я.А., ст.преподаватель

Проводить единую техническую политику развития энергетики для всех регионов России из-за различных климатических условий невозможно. В работе предложены критерии выбора регионов для обоснования целесообразности разработки программ развития распределенной энергетики на природном газе.

It is impossible to pursue a unified technical policy for energy development for all regions of Russia due to different climatic conditions. The paper offers criteria for choosing regions to substantiate the feasibility of designing programs for distributed energy development operating natural gas.

Развитие энергетики во всем мире направлено на рост эффективности энергоснабжения и повышение экологичности производства энергии. Западными странами был выбран путь развития альтернативной энергетики на возобновляемых источниках энергии, что объясняется борьбой за экологию, энергонезависимость и энергобезопасность. В России из-за высокой потребности в тепловой энергии на большинстве территорий в холодное время года наиболее эффективной технологией является комбинированное производство. Поэтому ТЭЦ получили широкое распространение в системах производства тепловой и электрической энергии крупных городов.

За последние 20 лет в энергетике России происходит увеличение количества котельных, и, как следствие, снижение теплофикационного и увеличение конденсационного производства электрической энергии. Этот процесс эксперты называют котельнизацией [1]. В итоге, указанное привело к увеличению удельного расхода топлива и снижению эффективности производства электроэнергии.

Эффективным решением проблемы котельнизации является реконструкция котельных с переводом в мини-ТЭЦ[2]. Под мини-ТЭЦ понимается электростанция установленной электрической мощностью до 25 МВт, в качестве основного электрогенерирующего оборудования применяются когенерационные установки (газопоршневые или газотурбинные), работающие на природном газе, вторичных продуктах производства, попутном нефтяном газе или биотопливе. По оценкам ПАО «Газпром» уровень газификации России в 2021 году составляет 71,4%, что позволяет говорить о доступности использования природного газа в качестве топлива. Эффективность использования когенерации при производстве энергии в 1,5 раза выше, чем при раздельном [3].

На данный момент в России отсутствуют единые программы развития распределенной энергетики регионов, что делает невозможным учет объектов распределенной энергетики в процессе перспективного планирования и при управлении развитием энергетики. Современные темпы развития распределенной энергетики в виде когенерации в России свидетельствуют об актуальности разработки таких программ. Целесообразность развития когенерации в различных субъектах России неодинакова, что демонстрирует необходимость оценивать потенциал каждого региона по определенным критериям.

Цель: Обоснование целесообразности разработки программ развития распределенной энергетики на природном газе в регионах России.

Задачи:

1. Формирование критериев выбора регионов России для обоснования развития распределенной энергетики на природном газе;
2. Сбор и анализ необходимых данных о системах тепло-, электро- и газоснабжения регионов для применения критериев;
3. Систематизация регионов России для повышения обоснованности разработки программ развития распределенной энергетики регионов на природном газе.

Метод. Для обоснования актуальности развития распределенной когенерации (далее РКГ) в регионах был применен системный подход и сформированы критерии выбора. В данной работе предложены исключающие и комплексные критерии.

Исключающие критерии позволяют отсеять регионы с низким потенциалом реконструкции котельных с переводом в мини-ТЭЦ.

1. «Отсутствие газовых котельных». Необходимым и обязательным условием для реконструкции котельных является наличие газовых котельных в регионе. В рамках данной работы принято, что

газификация регионов обуславливает наличие газовых котельных. Таким образом исключаются регионы, где отсутствуют газовые котельные.

2. «Низкая потребность в тепловой энергии». Когенерация – это технология, подразумевающая полезное использование тепловой энергии, полученной при выработке электроэнергии. Для обеспечения эффективности применения когенерации необходим достаточный объем тепловой нагрузки. Таким образом исключаются регионы с низким соотношением тепловой к потребленной электрической энергии, что свидетельствует о низкой потребности в тепловой энергии.

Комплексные критерии выбора позволяют определить регионы с наибольшим потенциалом развития РКГ.

1. «Структура теплоснабжения». Определены регионы с высокой долей (более 30%) отпуска тепловой энергии котельными. Наличие большей доли котельных в структуре производства тепловой энергии региона позволяет сделать вывод о высокой актуальности реконструкции котельных с переводом в мини-ТЭЦ. Это позволит увеличить долю комбинированной выработки и эффективность производства тепловой и электрической энергии.

2. «Баланс электрической энергии». Определены регионы дефицитные по электрической энергии. Реконструкция котельных в мини-ТЭЦ в дефицитных регионах позволит снизить дефицитность, обеспечить энергонезависимость и снизить объем сетевого строительства. В избыточных и самобалансных регионах развитие РГ приведет к увеличению избыточности и увеличению сетевого строительства, что не исключает применения РГ локально.

3. «Доступность тепловой и электрической энергии». Определены регионы с низкой доступностью тепло- и электроэнергии. Доступность тепловой и электрической энергии определяется из соотношения тарифов и средней заработной платы по региону. Если в регионе низкая доступность, то можно сделать вывод об актуальности внедрения РКГ. Повышение доступности энергоснабжения путем снижения тарифов ведет к развитию социально-экономического потенциала региона.

Применение критериев. На основе анализа документов [4-5], а также СИПРов и схем теплоснабжения субъектов РФ, была получена информация, к которой применялись предложенные критерии. В результате рассмотрения критерия 1.1. были исключены: Республики Бурятия, Татарстан и Хакасия; Красноярский, Камчатский и Забайкальский края; Иркутская, Костромская, Магаданская, Мурманская, Свердловская и Челябинская области; Еврейская автономная область; Ненецкий и Чукотский автономные округа. По

критерию 1.2. были исключены субъекты, входящие в состав Южного и Северо-Кавказского Федеральных округов, как субъекты с малой потребностью в тепловой энергии. Дальнейший выбор регионов с наибольшим потенциалом развития распределенной энергетики производился на основе комплексных критериев.

Применение критериев 2.1.-2.3. позволило выделить 4 типа регионов:

1. С высоким потенциалом развития РГК;
2. С низким потенциалом развития РГК в виду избыточного баланса по электроэнергии;
3. С низким потенциалом развития РГК в виду отсутствия газовых котельных;
4. С неоднозначными результатами и необходимостью проведения дополнительных исследований.



Рис. 1 – Систематизированная карта регионов России

Результаты:

1. Сформированы критерии позволяющие выбрать регионы России для обоснования развития распределенной когенерации на природном газе;
2. Определены регионы с высоким и низким потенциалом развития распределенной энергетики на природном газе для повышения обоснованности разработки программ развития распределенной энергетики регионов на природном газе;

3. Выявлены регионы, для которых невозможно дать однозначный ответ о потенциале развития распределенной когенерации, требуются дополнительные исследования, что не исключает локального применения распределенной энергетики.

4. Повышена обоснованность разработки программ развития распределенной энергетики регионов России на природном газе.

Литература:

1. Богданов А.Б. Котельнизация России – беда национального масштаба // Энергорынок. Профессиональный журнал – 03(28) март 2006. – С. 50-58

2. Филиппов С.П., Дильман М. Перспективы использования когенерационных установок при реконструкции котельных // Промышленная энергетика – 2014. – № 4. – С. 7-11.

3. Чурашев В. Н., Маркова В. М. Малая распределенная энергетика – новый вектор развития генерации в сибирских регионах // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2017. – №2.

4. Информационно-аналитический доклад о состоянии теплоэнергетики и централизованного теплоснабжения в Российской Федерации в 2019 году // Министерство энергетики Российской Федерации ФГБУ «Российское энергетическое агентство» Минэнерго России

5. Отчет о функционировании ЕЭС России в 2020 г. // Системный оператор единой энергетической системы

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ СИНХРОННЫХ МАШИН ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

А.Е. Курбатова

**Новосибирский Государственный Технический Университет,
г. Новосибирск, arina.curbatova@yandex.ru**

Научный руководитель: Фролов М.Ю., к.т.н., доцент

Интеллектуальные системы управления сегодня являются одним из приоритетных векторов развития современной электроэнергетики. Целью работы является разработка метода идентификации параметров синхронных машин в эксплуатационных режимах методом наименьших квадратов, используя упрощенные уравнения Парка – Горева. Было найдено значение синхронного реактивного сопротивления по продольной оси x_d на цифровой и

физической моделях и сравнено с паспортными данными. В результате был получен удовлетворительный результат, который доказывает, что разработанный метод можно применять в эксплуатационных режимах.

Intelligent control systems are one of the priority vectors of the development of modern electric power industry today. The aim of the work is to develop a method for identifying parameters of synchronous machines in operational modes by the least squares method using simplified Park-Gorev equations. The value of synchronous reactance along the longitudinal axis x_d was found on digital and physical models and compared with passport data. As a result, a satisfactory result was obtained, which proves that the developed method can be used in operational modes.

На сегодняшний день наблюдается активное развитие интеллектуальных систем управления. Одна из целей национально-технологической инициативы в рамках мероприятий «Энерджинет» является достижение к 2035 году 3-6% интеллектуальной распределенной энергетики. И такое внимание данным системам вполне закономерно коррелируется с развитием науки [1].

Средствами управления и вычисления послужат датчики параметров и оборудования сети, системы обработки и передачи информации в режиме реального времени, широко использующиеся технологии векторного измерения (PMU) в таких интеллектуальных энергосистемах и многое другое.

Целью управления ИЭС ААС (интеллектуальные энергетические системы с активно-адаптивной сетью) является обеспечение реализации адаптивной реакции энергосистемы в режиме реального времени на основе сочетания централизованного и локального режимного и противоаварийного управления [2].

Именно таким системам, параметры и характеристики которых изменяются в зависимости от режима работы, необходимы достоверные данные о параметрах оборудования. Одним из путей решения данной задачи является параметрическая идентификация. Другими словами, система идентификации необходима для обслуживания всей автоматики, которая заложена в систему управления.

Такой принцип работы можно проследить на примере работы комплекса ЦСПА. Анализируя поступившую информацию, система формирует расчетную модель и уже как следствие подбирает управляющие воздействия для их реализации на нижнем уровне.

Алгоритм реализации работы системы, следующий:

1) Верхний уровень ЦСПА

Прием и обработка телеметрической информации

2) Оценивание состояния электрического режима

3) Формирование расчетной модели

4) Расчет управляющих воздействий для каждого расчетного аварийного возмущения

5) Низовой уровень ЦСПА (ЛАПНУ)

Как видно из вышеприведенной схемы одним из этапов работы системы является построение математической модели.

Для решения широкого спектра задач в электроэнергетике активно используются приемы моделирования.

При идентификации предполагается экспериментальное изучение и сопоставление входных и выходных процессов. Задача идентификации состоит в выборе соответствующей математической модели. Нельзя управлять системой, если она не идентифицирована либо заранее, либо в процессе управления.

В настоящее время основными источниками энергии на многих станциях являются синхронные машины. В данной статье будет рассмотрена разработка метода идентификации параметров синхронных машин в эксплуатационных режимах. Целью исследования является нахождение реактивного сопротивления продольной оси x_d , методом параметрической идентификации.

В качестве метода идентификации был выбран метод наименьших квадратов, суть которого заключается в выборе в качестве «меры близости» суммы квадратов отклонений левых и правых частей.

Основным уравнением для нахождения сопротивления было принято упрощенное уравнение Парка-Горева, при этом пренебрегли влиянием демпферных обмоток, а также активным сопротивлением машины, в связи с его малым значением. Также стоит обратить внимание, что расчет ведется для установившегося режима. [3]

Данное уравнение представлено ниже

$$E_Q = I_d x_d + U_Q \quad (1)$$

Однако, чтобы не переходить к осям q, d в уравнение были приняты ток и напряжение генератора и с учетом векторной диаграммы разложено следующим образом

$$E_Q \cos \delta = I_r \sin \varphi x_d + U_r \quad (2)$$

$$E_Q \sin \delta = I_r \cos \varphi x_d \quad (3)$$

Итоговое уравнение для нахождения сопротивления x_d будет записано в следующем виде:

$$x_d = \frac{\sum_{i=1}^n (i_f x_{ad} - U_{\Gamma})}{\sum_{i=1}^n I_{\Gamma} \sin \varphi} \quad (4)$$

Для исследования метода была разработана цифровая модель в программно-аппаратной среде SIMULINK MATHLAB. На рис. 1 представлена принципиальная схема.

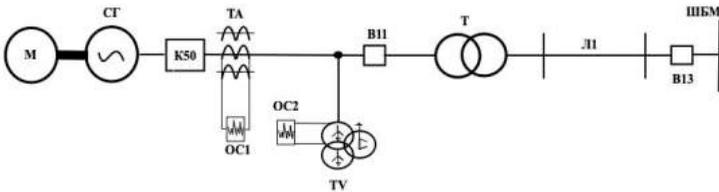


Рис.1 – Принципиальная схема

Обработав полученные осциллограммы, взяв частные производные вышеупомянутых уравнений и приравняв их к нулю, нашли сопротивление равное 2,19 о.е. Заданное значение сопротивления составило 2,24 о.е. Погрешность составила 2,23 %.

На рис. 2 представлена осциллограмма тока возбуждения, снятая с цифровой модели.

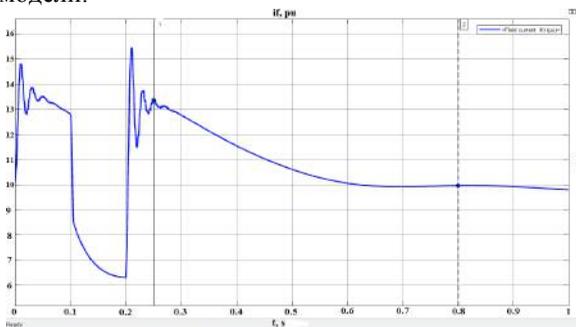


Рис. 2 –Осциллограмма тока возбуждения генератора

Однако, чтобы говорить о том, что данный метод, действительно, адекватный и применим для идентификации параметров в эксплуатационных режимах, необходимо оценить его достоверность на физической модели.

Расчет на физической модели показал, что сопротивление равняется 1,257 о.е, что с погрешностью в 1,2 % отличается от паспортных

данных. В таблице 1 представлены полученные значения с погрешностями по двум моделям.

Таблица 1 – Обобщенные данные исследования

Модель	Исследование, о.е.	Паспортные данные, о.е.	Погрешность, %
Цифровая	2,19	2,24	2,23
Физическая	1,257	1,241	1,2

На основании проделанной работы можно заключить, что предложенный метод идентификации оказался адекватным и на основании полученных значений параметров с учетом погрешностей, его можно использовать в эксплуатационных режимах для решения различных задач, в том числе связанных с управлением автоматикой интеллектуальных систем.

Литература:

1. План мероприятий («дорожная карта») «Энерджинет» Национальной Технологической инициативы [Электронный ресурс]. – Дата публикации в Интернет: 29.09.2016. – 141 с.- URL: https://fasie.ru/upload/docs/DK_energynet.pdf (дата обращения 13.11.21).

2. *Кобец Б.Б., Волкова И.О.* Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции SMART GRID. – Москва: ИАЦ Энергия, 2010.–208 с.

3. *Жданов, П. С.* Вопросы устойчивости электрических систем/ П. С. Жданов. – М.: Энергия, 1979. – 456 с.

ПОВЫШЕНИЕ СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ АВТОНОМНОЙ ЭЭС

А.И. Лактионов

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, laktionovla@mail.ru**

Научный руководитель: Долгов А.П., к.т.н., доцент

В статье рассмотрены меры повышения статической устойчивости автономной ЭЭС «Чашкино». Рассматриваемая энергосистема имеет слабую связь с Пермской ЭЭС для выдачи избытка или приема дефицита электроэнергии.

The article discusses measures to improve the static stability of the autonomous electric power system "Chashkino". The considered power system has a weak connection with the Perm electric power system for generating surplus or receiving power shortages.

Рассматриваемая электроэнергетическая система с установленной мощностью генераторов 16 МВт расположена на Урале, входит в состав Пермской ЭЭС. Возможен обмен мощностью с Пермской ЭЭС. Связь осуществляется через ПС «Чашкино» по двум линиям 110кВ. На ПС «Чашкино» установлены два трансформатора ТДТН 16000/110 У1. ПС «Чашкино» по сети 110кВ связана с Яйвинской ГРЭС, Соликамской ТЭЦ, Березниковскими ТЭЦ 2 и ТЭЦ 4, расположенными на значительном удалении. В процессе эксплуатации зафиксировано нарушение статической устойчивости при выводе трансформатора Т-1 в ремонт. Реальные осциллограммы событий на ПС «Чашкино» свидетельствуют о том, что нарушение устойчивости произошло в виде колебаний, нарастающих по амплитуде.

Принципиально рассмотрение процесса нарушения устойчивости возможно методами физического и математического моделирования. В настоящее время наибольшее распространение получил метод математического моделирования. Существует два подхода.

Метод малых колебаний.

Численное интегрирование дифференциальных уравнений.

В первом случае об устойчивости судят по расположению корней характеристического уравнения на комплексной плоскости. Если все корни характеристического уравнения, расположены на комплексной плоскости слева от мнимой оси, то система устойчива [2,3]. Если один корень характеристического уравнения расположен справа от мнимой оси комплексной плоскости, нарушение устойчивости носит аperiодический характер, два корня – колебательный характер.

Например, для системы станция-шины характеристическое уравнение имеет вид [1]:

$$T_j p^2 \Delta\delta + K_\delta p \Delta\delta + C_1 \Delta\delta = 0$$

Его корни:

$$P_{1,2} = \frac{-K_\delta \pm \sqrt{K_\delta^2 - 4T_j C_1}}{2T_j} = \pm \sqrt{-\left[\frac{C_1}{T_j} - \left(\frac{K_\delta}{2T_j}\right)^2\right]} + \frac{-K_\delta}{2T_j} = \pm j\gamma + \alpha \quad (1)$$

$$C_1 = \left(\frac{dP}{d\delta}\right)_{\delta=\delta_0} = P_{max} \cos \delta_0 = E_{q0} \left(\frac{U_c}{X_{d\Sigma}}\right) \cos \delta_0 \quad (2)$$

где: K_δ – коэффициент демпфирования.

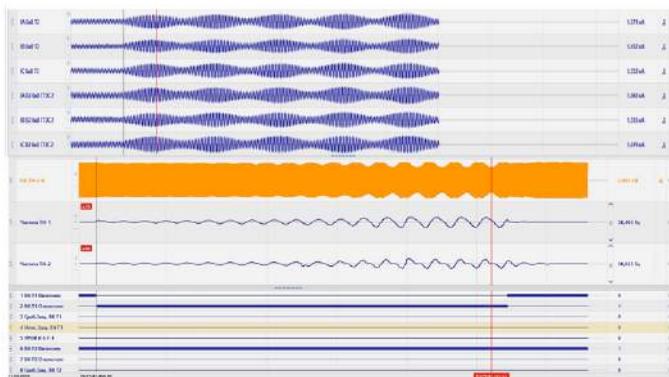


Рис. 1 – Осциллограммы событий на ПС «Чашкино», переданные ООО Пермское Региональное Управление «Лукойл-Энергосети»

Система устойчива, если корни не имеют положительных вещественных частей; для рассматриваемого случая система устойчива

$$\text{при } \frac{C_1}{T_j} = \left(\frac{K_d}{2T_j} \right)^2.$$

Во втором случае предполагается компьютерное моделирование и применение специализированных программ расчета устойчивости (Мустанг, Рустаб, Евростаг). Этот подход предпочтительнее, так как дает возможность не только указать на сохранение или нарушение устойчивости, но и позволяет проанализировать режимные параметры и параметры схемы замещения, которые могут привести к нарушению устойчивости. К тому же указанные программные комплексы дают возможность достаточно легко учитывать исходный установившийся режим, регуляторы возбуждения и скорости, представлять результаты в удобном виде (таблицы, графики).

Анализ полученных результатов расчетов по исследуемой энергосистеме и реальных осциллограмм токов и напряжений дает возможность говорить об их качественном совпадении. Для получения идеального количественного совпадения с реальными осциллограммами необходимо уточнение начальных реальных условий всей энергосистемы, таких как:

1. Коэффициент трансформации трансформатора.
2. Напряжение на ближайших станциях.
3. Реактивное сопротивление реактора.
4. Активное сопротивление кабеля.

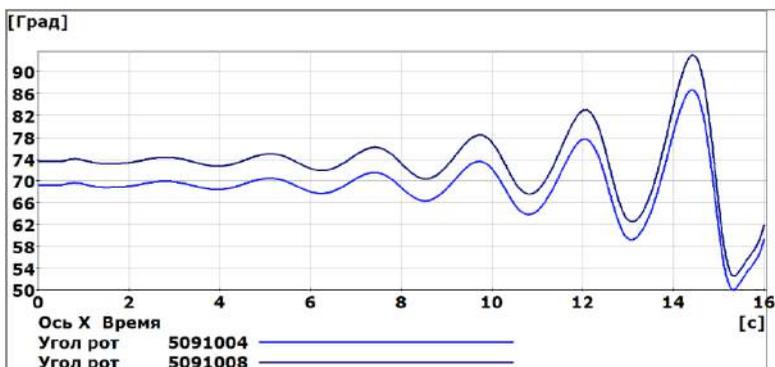


Рис. 2 – Углы роторов генераторов, при отключенном трансформаторе Т1 на ПС 110/35/6 кВ «Чашкино»

Возникновение нарушения устойчивости на подстанции, возможно в результате:

1. Недогруженности генераторов по реактивной мощности;
2. Высокой мощности турбины;
3. Низкого напряжения генераторов;
4. Наличия значительного активного и реактивного сопротивлений;
5. Неправильной настройки регуляторов возбуждения и скорости;
6. Неправильно выбранного коэффициента трансформации трансформаторов (положение РПН) на подстанции;
7. Значительного напряжения на ближайших электростанциях.

Например, при увеличении отпайки РПН трансформатора Т2 (рис.3), видно, что колебания носят затухающий по амплитуде характер. Увеличение коэффициента трансформации уменьшает необходимую требуемую реактивную мощность из системы, либо увеличивает вырабатываемую реактивную мощность генераторов на станции, в следствии чего ЭДС генераторов и предел передаваемой мощности увеличивается, что влечет за собой увеличение коэффициента запаса энергосистемы.

Рекомендации по повышению устойчивости:

1. Увеличение тока возбуждения.
2. Повышение напряжения на шинах генераторов.
3. Изменение отпайки РПН трансформаторов.
4. Увеличение сечений кабелей.
5. Перевод линии на повышенное номинальное напряжение (220 кВ).
6. Замена трансформаторов на более мощные.

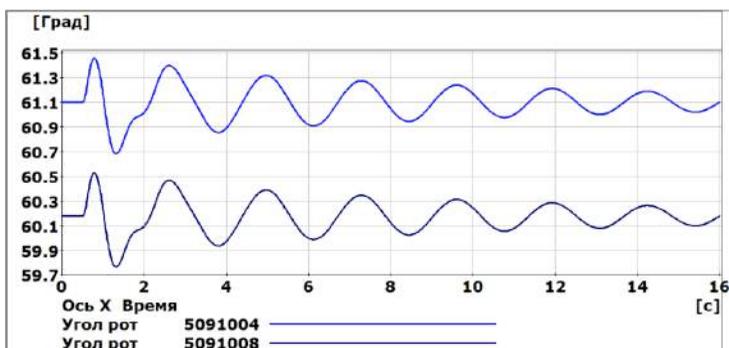


Рис. 3 – Углы роторов генераторов, при увеличении коэффициента трансформации Т2 и отключенном трансформаторе Т1 на ПС 110/35/6 кВ «Чашкино»

Литература:

1. Долгов А.П. Устойчивость электрических систем : учеб. пособие / А.П. Долгов. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2010. – 176 с.
2. Веников В.А., Переходные электромеханические процессы в электрических системах: Учеб. Для электроэнерг. спец. вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1985 – 536 с., ил.
3. Малкин И.Г., Методы Ляпунова и Пуанкаре в теории нелинейных колебаний. Изд. 2-е, испр. –М.: Едиториал УРСС, 2004. – 248 с.

КОНСТРУИРОВАНИЕ СИЛОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДИПОЛЬНОГО МАГНИТА PANDA

И.А. Ламонов

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, Lamonov.Igor001@outlook.com**

Научный руководитель: Бурдаков А.В. д.ф-м.н., с.н.с.

В докладе рассмотрено конструирование экспериментального силового преобразователя дипольного магнита PANDA. Изложен процесс компоновки и обоснование конструкторских решений.

This article discusses the design of an experimental power converter of a PANDA dipole magnet. The process of layout and justification of design solutions are described.

Научные эксперименты в области физики элементарных частиц, поиска тёмной материи, изучения космических процессов, требуют

создания электрофизических установок (ЭФУ): ускорителей, детекторов и лазеров. Некоторые активные компоненты ЭФУ, например, магниты, требуют стабильного подключения электроэнергии (ЭЭ). Для таких целей создаются источники питания.

В данной работе представлено конструирование силового преобразователя (СП) радиационно-стойкого дипольного магнита, являющегося элементом детектора в эксперименте PANDA в рамках проекта FAIR. Заказчиком является центр по исследованию ионов и антипротонов FAIR. Проект разработки магнита осуществляется в Институте ядерной физики СО РАН. Разработчиком СП является Горчаков Константин Михайлович, научный сотрудник лаборатории 6-0 ИЯФ СО РАН. Основная задача СП заключается в преобразовании поступающей ЭЭ от сети для питания магнита. Вторичными задачами является защита от короткого замыкания, обеспечение возможности аварийной остановки, а также защита от влияния внешних факторов.

Основными частями силового преобразователя является:

- Входные силовые трансформаторы (предоставляются заказчиком и устанавливаются перед силовым преобразователем, поэтому не рассматриваются в рамках данной работы);

- Основной шкаф (ОШ) и выходной шкаф (ВШ);

- Управляющая электроника.

Упакован СП в 3 стойки Schroff серии Varistar. Высота одной стойки 2.2 м, ширина и глубина 800x800 мм. Стойки сцеплены друг с другом последовательно при помощи соединительных пластин с уплотнительными резиновыми рамками. ОШ, в количестве 2 штук, расположены по бокам от ВШ. Боковые стороны закрыты сплошными панелями; верхняя часть закрыта крышкой с вырезанными окнами под вентиляцию; панель основания, перфорированная с окном под кабельный ввод; спереди и сзади установлены двери с замками, всего 6 дверей.

ОШ имеют идентичную конструкцию с учётом необходимости в дальнейшем выходные шины свести вместе. Состоит стойка из входной цепи, 4-х конвертерных полок, 4-х токопроводящих шин и дополнительной оснастки, необходимой для поддержания конструкции. Электроника скомпонована снизу-вверх. Ввод ЭЭ происходит через окно в поддоне, а вывод ЭЭ через шины в верхней части стойки.

Входная цепь и конвертерные полки представляют из себя полки, с основой в качестве пластины из алюминия марки Д16, на которой размещены электронные компоненты. Выбор материала конструкционных деталей исходит из следующих аспектов:

- Соответствие прочностным характеристикам;

- Соответствие требованиям эксплуатации;
- Стоимость;
- Сложность обработки;
- Наличие материала на производстве (желательно, так как упрощает производственные процессы).

Для размещения элементов на полке, создаются отверстия, подходящие под посадочные элементы на детали. Для гладких отверстий используется винт, шайбы и гайка; для резьбовых отверстий создаётся потайное отверстие в основании и используется потайной винт; для деталей с винтом сверлится отверстие чуть большего диаметра и используется гайка. Часто используется DIN-рейка, если деталь или устройство имеет соответствующее крепление.

Между компонентами необходимо обеспечить электрическое соединение. В данном СП фигурируют два типа соединений: проводом и шиной. Проводное или кабельное соединение подходит для слаботочных подключений. Для этого кабель обрезают до нужной длины и концы обжимают требуемым наконечником. Соединение шиной подходит для сильноточных подключений. Сечение шины рассчитывается исходя из заданной плотности тока. Толщина шины задаётся. Следует отметить, что толщину следует брать минимальную. Тонкие шины гибкие, они проще в обработке и лучше охлаждаются за счёт большей площади поверхности. Материал проводников – медь.

В шкафах предусмотрено 2 вида охлаждения:

- Принудительное воздушное;
- Водяное.

Для воздушного охлаждения многие элементы имеют в конструкциях рёбра для развития поверхности, а также в верхней части шкафа будут размещены вентиляторы. Водяное охлаждение проводится через водяные коллекторы, размещённые на стойке и на полках.

Рассмотрим ОШ. Входная цепь конструкционно разбита на две полки. На нижней полке входной цепи размещены: входные шины, контактор, зарядные конденсаторы и резисторы, варисторы, контролирующая электроника, разъёмы и кабельные каналы. На верхней полке входной цепи размещены: фильтр, диодные модули и снаббер. Контактёр отвечает за включение питания, зарядные резисторы и конденсаторы обеспечивают плавный запуск системы, фильтр обеспечивает защиту от помех, а диодные модули, установленные на радиаторе, и снаббер образуют диодный мост для выпрямления тока на выходе входной цепи.

Шины изолированы от полок капролоновыми вставками или изоляторами серии SM. Входные шины имеют отверстия для крепления

кабельного ввода от силовых трансформаторов. Крупногабаритные устройства, такие как контактор, фильтр, радиатор с диодными модулями, а также резисторы притянуты к полке винтами. Зарядные и снабберные конденсаторы собраны на нескольких платах, которые установлены на полке через стойки. Контролирующая электроника установлена на DIN-рейку на нижней полке. Радиатор диодного моста является водоохлаждаемым. Он исполнен из медной пластины с каналом, закрытым стальной пластиной. На выходах размещены цанговые фитинги и датчик протока воды. От диодного моста выводятся две шины и подключаются к параллельным общим шинам, которые раздают питание на все полки в стойке. Общие шины имеют сечение 5x100 мм.

Одним из основных узлов СП является полка конвертера. Ввод питания осуществляется двумя шинами сечением 4x40 мм. Шины размещены на стойках из капслона и притянуты к ним через изоляторы SM25. Здесь изоляторы выполняют функцию создания расстояния между шинами. Во входной части полки размещены 4 мощных электролитических конденсатора. Они установлены на винт, имеющийся в их конструкции, при притянуты при помощи капслоновой гайки специальной формы, которая изолирует винт конденсатора от полки. Рядом вертикально установлена DIN-рейка с электроникой. Также установлена управляющая плата ICM на передней панели полки. Около конденсаторов размещена алюминиевая пластина с мощными резисторами и термостатом. Такая пластина позволяет охлаждать резисторы, а термостат осуществляет контроль нагрева этих резисторов. Следующий узел полки – радиатор с IGBT-модулями фирмы Semikron. Радиатор имеет схожую конструкцию с радиатором диодного моста. Над радиатором располагаются две полки с платами драйверов и управления. Следующий узел на полке – дроссель. Катушка намотана из медной трубки квадратного сечения 9 мм с каналом диаметром 4 мм. Она держится на каркасе из стеклотекстолита (СТЭФ), а вся конструкция стянута алюминиевыми пластинами при помощи латунных шпилек, спрятанных в конструкции. Выводы оснащены патрубком для фитинга и перфорированной пластиной для подключения шины и термостата. Выводные шины сечением 5x35 мм выведены за габарит полки для подключения к общим выходным шинам, при этом одна из шин проведена через датчик тока. Последним узлом является водяной коллектор с фитингами для водяного подключения.

В ВШ подключаются шины из основных стоек. Выводные шины основных стоек соединены общими шинами сечением 5x100 мм. К этим

шинам подключаются шины выходной стойки. Данная конструкция разборная. Это необходимо для более удобной транспортировки стоек. В выходной стойке ЭЭ проводится сверху-вниз. Силовая часть представлена двумя шинами, которые сходятся в одном месте для контроля тока. В нижней части установлена полка с датчиком тока. Так как в датчике тока круглое отверстие для шины, её необходимо разделить и сделать круглую шину для участка с датчиком. Кроме того, что шины держатся на полках, необходимо их через изолятор закрепить на раме стойки. На концах шин реализованы отверстия для подключения кабелей на вывод ЭЭ. Электроника в данной стойке будет размещена на вертикальной панели.

Силовой преобразователь дипольного магнита является экспериментальным оборудованием. Конструкция всецело соответствует требованиям, изложенным в техническом задании лаборатории-заказчика. Данный силовой преобразователь рассчитан на длительную эксплуатацию. Производство оборудования будет осуществляться на экспериментальном производстве 1 в Институте ядерной физики СО РАН.

Литература:

1. Горчаков К.М. Conceptual design research of the power converter for the PANDA dipole magnet // ИЯФ СО РАН – 2021.
2. Retzlaff M. Detailed Specification for the PANDA forward Dipole Magnet Power Converter Power Part and Cabinet // PSP 2.11.11.5.1 – 2020. – С. 18.
3. Welker H., Ramakers H. Common Specification on Power Converters/ GSI-LOEP, 2015. – С. 45
4. ГОСТ IEC 61140-2012. Защита от поражения электрическим током. Общие положения безопасности установок и оборудования. = Protection against electric shock. Common aspects for installation and equipment. – Введ. 2014-07-01. – М.: Стандартинформ, 2014.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ РИСКА ОТКАЗА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ПРИ УЧЕТЕ ПАРАМЕТРОВ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ

К.В. Липунова

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, k.lipunova1713@bk.ru

Научный руководитель: Танфильева Д.В., к.т.н., доцент

Целью работы является анализ и разработка метода оценки риска для электрооборудования, в зависимости от параметров эксплуатационной надежности. В данной работе были проанализированы методы оценки риска повреждения электрооборудования на основе Марковских случайных процессов, а также был определен подход к оценке риска в зависимости от разных факторов, таких как продолжительности эксплуатации электрооборудования, степени увеличения вероятности отказа электрооборудования, степени тяжести последствия.

The aim of this work is the analysis and development of risk assessment methods for electrical equipment. In this work, methods for assessing the risk of damage to electrical equipment based on Markov random processes were analyzed, and an approach to risk assessment was determined depending on various factors, such as the duration of operation of electrical equipment, the degree of increase in the probability of failure of electrical equipment, the severity of the consequence.

Основные положения применения Марковских случайных процессов. Случайный процесс, протекающей в системе, называется марковским, если для каждого момента времени вероятностные характеристики процесса любого состояния системы в будущем зависит только от ее состояния в данный момент и не зависит от того, каким образом система пришла в данное состояние [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

Марковскую модель можно применять, если поток событий отвечает трем условиям:

- Стационарность потока – вероятностные характеристики не зависят от времени, а зависят от длины рассматриваемого интервала времени. Интенсивность должна быть постоянной.

- Ординарность потока – события появляются по одному в каком-то промежутке времени.

- Отсутствие последствия – появление составных частиц потока не зависит друг от друга, т.е. нас не интересует каким образом образовался поток, а важно, что поток образовался.

Все выше упомянутые условия характерны для простейшего потока (Пуассовского).

Для того, чтобы составить математическую модель необходимо:

- определить состояния, в которых бывает система;
- составить граф состояния;
- определить с какой интенсивностью будет происходить переход из i -го в j -ое состояние;
- составить размеченный граф состояния;
- используя размеченный граф составить системы уравнений;
- решить систему алгебраических уравнений как функцию времени.

Модель оценки вероятности состояния отказа силовых трансформаторов при стратегии обслуживания «до первого отказа». Рассмотрим упрощенную модель обслуживания силовых трансформаторов – до первого отказа, т.е. стратегия не предусматривает промежуточного диагностирования, текущих и средних ремонтов.

Наиболее часто трансформатор находится в одном из состояний:

- работоспособное состояние, при котором выполняются все заданные функции, в заданном объеме;
- состояние восстановления – капитальный ремонт;
- состояние отказа, в которое трансформатор может перейти в любой момент времени, скачком, в зависимости от интенсивности отказов.

Интенсивности переходов согласно рисунку 1:

$$\lambda_{12} = \omega_{\text{ОТК}}, \lambda_{23} = (t - \omega_{\text{ОТК}}^{-1} \cdot (1 - e^{-\omega t})^{-1} \cdot \gamma), \lambda_{31} = T_{\text{РЕМ}}^{-1}$$

где γ – вероятность обнаружения дефекта.

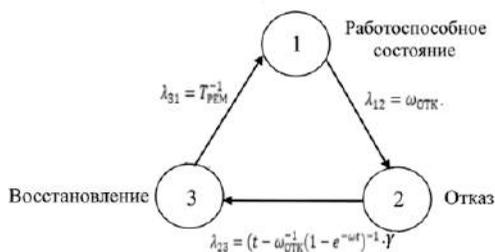


Рис. 1 – Размеченный граф состояния модели

По графу составляется систему алгебраических уравнений:

$$\begin{cases} P_1 \cdot \omega_{OTK} - P_3 \cdot T_{PEM}^{-1} = 0, \\ P_2 \cdot (t - \omega_{OTK}^{-1} (1 - e^{-\omega t})^{-1} \cdot \gamma) - P_1 \cdot \omega_{OTK} = 0, \\ P_3 \cdot T_{PEM}^{-1} - P_2 \cdot (t - \omega_{OTK}^{-1} (1 - e^{-\omega t})^{-1} \cdot \gamma) = 0, \\ P_1 + P_2 + P_3 = 1. \end{cases} \quad (1)$$

Вероятность работоспособного состояния любого вида электрооборудования можно определить, как функцию времени (рис. 2).

С помощью аппарата Марковских случайных процессов можно определять вероятности состояний, в котором пребывает рассматриваемый объект. На значения вероятностей и скорость снижения вероятности работоспособного состояния главным образом влияет параметр потока отказов.

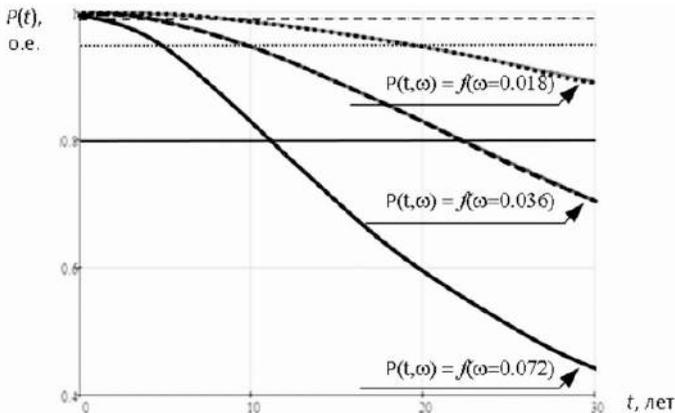


Рис. 2 – Вероятностная характеристика состояния при увеличении потока отказов

При рассмотрении вероятности работоспособного состояния и изменение ее во времени, можно устанавливать допустимые граничные значения, которые приведут к тому или иному последствию, вследствие возникновения случайного события. В качестве таких граничных значений вероятности работоспособного состояния могут выступать: 0,999; 0,99; 0,95; 0,9, 0,8, а также время, за которое это событие достигнет уровня предельного состояния (согласно рис.2). Если рассматривать электрооборудование, то за критерий по времени целесообразно брать нормативный срок эксплуатации, установленный заводом-изготовителем. При установленном предельном значении вероятности время до наступления отказа будет принадлежать одному

из нижеперечисленных диапазонов t_i , то электрооборудование можно причислить к определенной категории по риску.

Графическая интерпретация представлена на рис. 3, где на плоскости отражены границы допустимого и предельного снижения вероятности работоспособного состояния в зависимости от времени.

Таблица 1 –Вероятность возникновения события

№	Время, лет	Вероятность отказа, о.е.	Категория события
1	$t_1 \in [50; \infty)$	$Q_{11}=0.001$	невероятное событие
2	$t_2 \in [30; 50)$	$Q_{12}=0.01$	маловероятное событие
3	$t_3 \in [20; 30)$	$Q_{13}=0.05$	возможное событие
4	$t_4 \in [10; 20)$	$Q_{14}=0.1$	вероятное событие
5	$t_5 \in [0; 10)$	$Q_{15}=0.2$	весьма вероятное событие

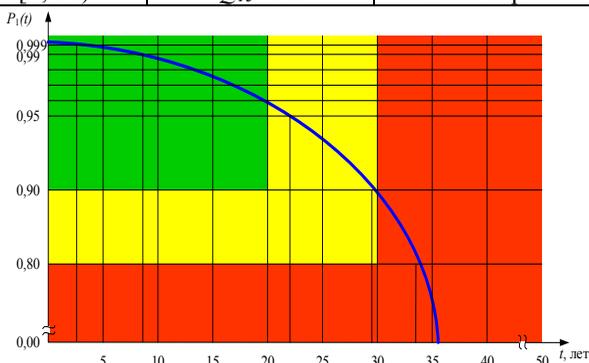


Рис. 3 - Изменение вероятности работоспособного состояния объекта во времени

Заключение. Для оценки уровня риска, который является совокупным параметром, зависящим от вероятности наступления отказа, а также продолжительности эксплуатации, целесообразно использовать Марковские случайные процессы. Данный подход позволяет учитывать изменяющиеся параметры эксплуатационной надежности и своевременно пересматривать периодичность восстановительных мероприятий. Представленный подход может быть расширен до трехкомпонентной модели, что позволит учесть экономическую составляющую отказов электрооборудования.

Литература:

1. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей / Е. С. Вентцель. – 4-е изд. – М.: Главная редакция физико-математической литературы изд-ва Наука, 1969. – 576 с.

МОДЕЛИ И ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ МУЛЬТИРЕСУРСНЫХ СИСТЕМ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ

А.С. Ляпко

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, lyarkoas@gmail.com**

**Научный руководитель: Русина А.Г., д.т.н., доцент,
Павлюченко Д.А., к.т.н., доцент**

Поднимается проблема энергоэффективности, предлагаются способы ее повышения. Описывается концепция мультиматерисурсных систем энергоснабжения. Исследуются новые модели и анализирующие устройства мультиматерисурсных систем.

The problem of energy efficiency is discussed in this paper and ways to improve the situation are being suggested. The concept of Energy Hub is described/ we investigate new models and analyze devices of Energy Hub.

Повышение энергоэффективности является одним из приоритетных направлений общественной политики России. Россия располагает огромным ресурсом энергосбережения, который по его способности решать проблему обеспечения экономического роста страны сопоставим с приростом производства всех первичных энергетических ресурсов. Недостаток энергии может стать решающим фактором сдерживания экономического роста страны.

Совершенствование технических средств переработки первичных энергоносителей, разработка энергосберегающих технологий и технологического оборудования частично снимают остроту проблемы энергообеспечения, но не решают ее. На протяжении последних нескольких лет удовлетворяется только небольшая доля запросов на выделение дополнительных лимитов потребления электроэнергии и газа. Можно отказаться от ограничений энергоснабжения, увеличивая производственные мощности, однако, инвестирование в энергосбережение значительно дешевле, как способ удовлетворения в потребности в энергоресурсах.

Таким образом, решение задачи энергосбережения возможно по двум направлениям. Первое – снижение потерь энергии, второе – увеличение эффективности ее использования. Одним из инновационных

подходов решения проблемы энергоэффективности является создание энергетических центров и мультиресурсных систем энергоснабжения.

Энергетический хаб (центр) можно определить, как блок, который предусматривает основные особенности входных и выходных параметров, изменение и накопление энергии различных энергоносителей.

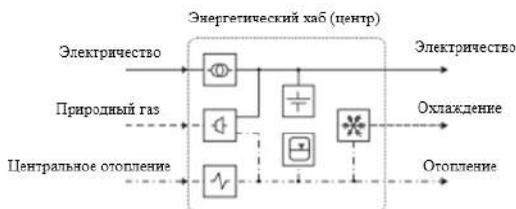


Рис. 1 - Пример энергетического хаба (основные элементы - трансформатор, газовая турбина, теплообменник, аккумулятор)

Энергетический хаб обладает основными элементами:

1. *Входные элементы и отходящие линии.* Данные элементы используются для доставки входного носителя к выходному без преобразования в другие формы энергии, или без значительного изменения их качества. Например, электрические кабели и трубопроводы.

2. *Преобразователи.* Преобразователи используют для изменения одного вида энергии в другие формы и качества. Например, паровые и газовые турбины, двигатели внутреннего сгорания, теплообменники.

3. *Аккумуляторы.* Данные элементы предназначены для сохранения энергии и использования в случае нехватки в период пиковых нагрузок. Сохранение энергии может быть реализовано с помощью различных технологий. Например, твердые и жидкие энергоносители могут быть сохранены в танкерах или контейнерах, энергоносители на основе газа могут сохраняться в сети путем повышения давления в системе, электричество может быть сохранено с помощью аккумуляторов или сжатого воздуха.

Энергетический хаб обменивается энергией с близлежащими системами с помощью портов. Рисунок 1 показывает простейший пример энергетического хаба. Он потребляет энергию от портов, которые к нему подключены (в данном случае, электричество, природный газ и центральное отопление), и предоставляет необходимые энергетические ресурсы, такие как электричество, охлаждение и отопление.

Энергетический хаб можно подстроить под размер любой системы. Он включает в себя соединение любого количества энергетических носителей и продуктов и предоставляет высокую гибкость в системе моделирования.

Рассматривая системы энергетических хабов, возникают вопросы оптимальной структуры и надежной работы системы. Основным критерием, по которому оценивают, является ли структура оптимальной, принимают экономический критерий, т.е. структура требует минимум затрат на реализацию поставленной задачи.

Для решения оптимизационной задачи мультиресурсных систем энергоснабжения была выстроена модель в виде матрицы связи C . Для заданных нагрузок L определяется оптимальное значение отпуска энергии W .

Оптимальная диспетчеризация нескольких составляющих системы формулируется следующим образом:

$$F(W_1, W_2, W_3) \rightarrow \min \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} L_1 \\ L_2 \\ L_3 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ W_3 \end{bmatrix} = 0 \quad (2)$$

$$W_{\min 1} \leq W_1 \leq W_{\max 1} \quad (3)$$

$$W_{\min 2} \leq W_2 \leq W_{\max 2} \quad (4)$$

$$W_{\min 3} \leq W_3 \leq W_{\max 3} \quad (5)$$

Оптимальный режим работы энергетического хаба характеризуется матрицей связи C , что приводит к линейному преобразованию мощности, таким образом, ограничения и граничные условия (2)-(5). Соответственно, мы обозначаем такой хаб линейным. В результате общее условие оптимальности для линейных центров можно записать в виде

$$\Psi = \Lambda C \quad (6)$$

где Ψ и Λ – векторы, содержащие предельные решения на входной и выходной сторонах концентратора, соответственно.

Уравнение (6) показывает, что преобразование мощности в энергетическом хабе приводит к преобразованию основных издержек. Если мощность на входе просто проходит через хаб без изменения, то связь описывается единичной матрицей. Если преобразование происходит в хабе, то матрица связи отличается от единичной матрицы, а мощность связаны следующим образом:

На рисунке 2 сравнивается классический подход к электричеству с использованием подхода с несколькими генерирующими элементами. В простейшем случае рассматриваем только ограничение по мощности.

Уравнение (6) также представляет собой новый принцип оптимального решения ко- и тригенерационных систем. В отличие от других моделей, (6) обеспечивает общее правило оптимизации на основе предельных затрат, которое может быть применено к любой конфигурации хаба, описываемой $L=CP$, независимо от технологических деталей.

Таким образом, для повышения энергоэффективности энергосистемы мультиресурсные системы являются наиболее выгодным и экономичным способом, так как обладают повышенной надежностью и гибкостью нагрузки.

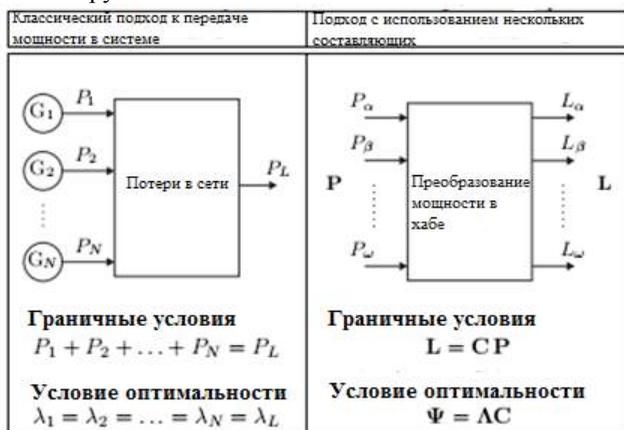


Рис. 2 - Классический подход к передаче мощности в сравнении с передачей мощности в системе энергетического хаба

Литература:

1. M. Geidl, G. Koeppel, P. Favre-Perrod. Energy Hubs for the future. – IEEE Power & Energy Magazine. – 2007. - 5(1). – P. 24-30.
2. M. Geidl, Integrated Modeling and Optimization of Multi-Carrier Energy Systems. – ETH Zurich, 2007.

3. M. Geidl, G. Andersson, Optimal Power Flow of Multiple Energy Carriers/ - published in IEEE Transactions on Power Systems. – 2007. - 22(1).

4. Грабчак Е.П. Байков И.А., Дунаев П.А., Основные результаты функционирования объектов электроэнергетики в 2015 году/ Под ред. Заместителя Министра энергетики РФ А.В. Черезова, 2016. – 72 с.

5. Энергоэффективность в России: скрытый резерв/отчет Всемирного банка. – 2008

6. Тенденции развития распределенной генерации [Электронный ресурс] // Некоммерческое партнерство инженеров. – Режим доступа: Тенденции развития распределенной генерации | АВОК (abok.ru)

7. Как распределенная генерация и SmartGrid помогут друг другу? [Электронный ресурс] // EnergyLand.info. – Режим доступа: Energyland.info - Аналитика. Как распределенная генерация и smart grid помогут друг другу?

8. Integrating renewable into MicroGrid on Kodiak Island [Электронный ресурс] // ABB. – Режим доступа: Hitachi Energy – Продвижение устойчивого энергетического будущего для всех

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ В ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РЕЖИМАХ

А.В. Малахов, М.Ю. Фролов

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, sashamal98@mail.ru**

С целью расширения области применения автоматического управления режимом и уменьшением доли влияния человеческого фактора на цифровой модели разработанной в расширении Simulink программно-вычислительного комплекса MatLab, был исследован метод идентификации синхронного двигателя, путем создания двух нагрузочных режимов с изменением электрической и механической нагрузки. Фиксируя токи по продольной оси и напряжения по поперечной оси вычислялось продольное индуктивное сопротивление. Полученные результаты подтвердили эффективность исследуемого метода параметрической идентификации и его реализации в системе управления режимами электрических сетей.

In order to expand the scope of automatic mode control and reduce the proportion of human factor influence on the digital model developed in the Simulink extension of the MatLab software and computing complex, a method for identifying a synchronous motor was investigated by creating two load modes with a change in electrical and mechanical load. By fixing currents along the longitudinal axis and

voltages along the transverse axis, the longitudinal inductive reactance was calculated. The results obtained confirmed the effectiveness of the investigated method of parametric identification and its implementation in the control system of the modes of electrical networks.

Введение. Интеллектуальная энергосистема – это система, которая способна изменять свои параметры и характеристики в соответствии со схемно-режимной ситуацией.

По заказу ФСК ЕЭС были разработаны основные положения концепции Интеллектуальной энергетической системы с активно адаптивной сетью. Согласно концепции ИЭС с ААС стратегическим направлением является расширение области применения автоматического управления режимом с уменьшением доли влияния человеческого фактора.

Для решения этой задачи одним из основных типов адаптивных стратегий, перспективными с точки зрения применения в электроэнергетике являются интеллектуальные системы идентификации [1].

Синхронные двигатели получили широкое распространение в электроэнергетике, поэтому для реализации концепции умных сетей необходимо определять их параметры в режиме реального времени. Сопротивления, постоянные времени необходимо знать для построения цифровых моделей электроэнергетических систем, расчета запаса статической устойчивости. Так же для расчета нормальных, аварийных и послеаварийных режимов, например, для настройки ряда автоматик и релейных защит нужно знать параметры синхронных двигателей. Поэтому чем точнее определены параметры синхронных двигателей, тем точнее будут управляющие воздействия, выдаваемые автоматикой. Точность управляющих воздействий позволит вести эффективное управление, так же уменьшить запас статической устойчивости.

На данный момент энергосистема оснащается современными устройствами синхронных векторных изменений, которые фиксируют данные необходимые для параметрической идентификации.

В основном, базы данных с параметрами оборудования для цифровых моделей формируются из паспортных данных, в этом есть ряд недостатков. Во-первых, реальные параметры оборудования могут значительно отличаться от паспортных. В паспорте оборудования серийного производства обычно, указываются усредненные параметры всей серии, а не конкретной единицы. Во-вторых, из-за того, что формирование базы данных производится вручную, на это требуется много времени и невозможно своевременно производить корректировки. Также возможны элементарные ошибки из-за

человеческого фактора, поэтому результаты моделирования могут быть не адекватны и не совпадать с реальными данными. Исходя из вышесказанного, реализация концепции умных сетей не возможна без идентификации параметров синхронного двигателя [2-3].

Методика экспериментального исследования. Идентификация параметров синхронного двигателя проводилась на цифровой модели разработанной в программно-вычислительного комплекса MatLab (рисунок 1). Она состоит из явнополюсного синхронного двигателя, моделируемого полными уравнениями Парка-Горева, выключателя, трансформатора, активно-индуктивной нагрузки и ШБМ. Блоков, моделирующих двигательный режим, механическую нагрузку, активное сопротивление, ограничивающее ток до приемлемого значения. На обмотку возбуждения подается сигнал Simulink моделирующий ток возбуждения.

Для измерений были выбраны блоки, измеряющие и пишущие следующие параметры: ток возбуждения, напряжение возбуждения, токи и напряжения на выводах машины в системе координат qd.

Параметры двигателя, использовавшиеся в математической модели сведены в таблицу 1.

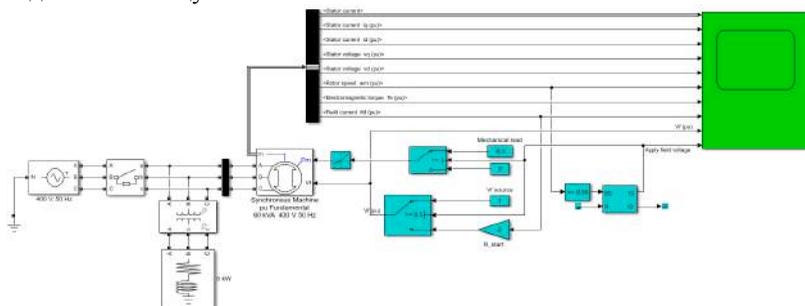


Рис.1 – Цифровая модель в Simulink MatLab

Таблица 1 - Параметры двигателя испытательной схемы математической модели

Наименование параметра	Ед. изм.	Значение параметра
Полная мощность	кВА	60
Номинальное напряжение	В	400
Номинальная частота	Гц	50
Сопротивление рассеяния статора	о. е.	0,08
Синхронное индуктивное сопротивление по оси d	о. е.	2,24

При проведении экспериментов на математической модели предусматривалось включение синхронного двигателя от шин бесконечной мощности с различной механической и электрической нагрузкой, в ходе которого в установившемся режиме производилась идентификация синхронного индуктивного сопротивления двигателя, рассматривались два нагрузочных режима и для каждого режима в установившемся режиме фиксировались значения тока по оси d и напряжения по оси q, после чего производился расчёт синхронного индуктивного сопротивления двигателя по формуле (1):

$$x_d = \frac{U_{q2} - U_{q1}}{I_{d1} - I_{d2}}, \quad (1)$$

где I_{d1} – ток по продольной оси в первом нагрузочном режиме, I_{d2} – ток по продольной оси во втором нагрузочном режиме, U_{q1} – напряжение по поперечной оси в первом нагрузочном режиме, U_{q2} – напряжение по поперечной оси во втором нагрузочном режиме

Результаты и обсуждения. Для каждого режима были получены осциллограммы (рисунок 2)

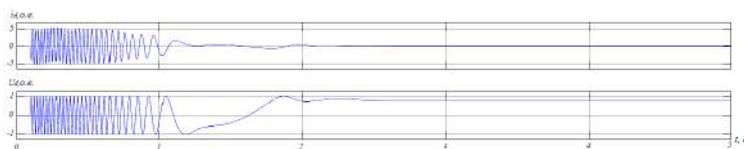


Рис.2 – Осциллограммы тока статора по оси d и напряжения статора по оси q для расчета синхронного индуктивного сопротивления двигателя

В таблице 2 приведены сопротивления x_d в относительных единицах полученные при изменении электрической нагрузки по результатам четырех экспериментов.

Таблица 2 – Результаты идентификации x_d при изменении электрической нагрузки на математической модели

Эксперимент	Показания					Ср. значение, о.е.
	I_{d1} , о.е.	U_{q1} , о.е.	I_{d2} , о.е.	U_{q2} , о.е.	x_d , о.е.	
1	0,1034	0,7909	0,1034	0,79085	2,211	2,18
2	0,1033	0,7909	0,1034	0,79086	2,2089	

3	0,1034	0,7908	0,1035	0,79078	2,2097	
4	0,1033	0,7909	0,1033	0,79086	2,1044	

В таблице 3 приведены сопротивления x_d в относительных единицах полученные при изменении механической нагрузки по результатам четырех экспериментов.

Таблица 3 – Результаты идентификации x_d при изменении механической нагрузки на математической модели

Эксперимент	Показания					Ср. значение, о.е.
	I_{d1} , о.е.	U_{q1} , о.е.	I_{d2} , о.е.	U_{q2} , о.е.	x_d , о.е.	
1	0,1034	0,7909	0,0588	0,8854	2,119	2,106
2	0,0776	0,84583	0,0695	0,86309	2,111	
3	0,0734	0,85472	0,0657	0,87099	2,098	
4	0,1103	0,7774	0,0621	0,87847	2,097	

Полученные результаты подтвердили эффективность исследуемых методов параметрической идентификации, их реализации в системе управления режимами электрических сетей. При одноразовой идентификации параметры синхронного двигателя будут определяться с ошибкой, поэтому процедуру идентификации необходимо проводить каждый раз при его подключении к сети, это позволит накапливать ретроспективные данные, по которым могут быть определены усредненные и более точные значения параметров.

Методика определения параметров синхронных двигателей имеет возможность внедрения в систему автоматического управления режимами электрической сети.

Литература:

1. Концепция интеллектуальной электроэнергетической системы с активно-адаптивной сетью [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://publications.hse.ru/mirror/pubs/share/folder/mfl4voxwok/direct/73743691>
2. Фролов М.Ю. Идентификация параметров синхронных машин в эксплуатационных режимах электрической сети. – Новосибирск, 2018. – 118 с.
3. Малахов А. В., Идентификация параметров синхронного двигателя в эксплуатационных режимах. – Новосибирск, 2020. – 65 с.

УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ СПОСОБ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОРМОЖЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ ПРИ ТЯЖЕЛЫХ АВАРИЙНЫХ ВОЗМУЩЕНИЯХ

Л.А. Михайлишин

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, leonid.leeshin@mail.ru

Научный руководитель: Долгов А.П., к.т.н., доцент

В статье рассмотрен усовершенствованный способ электрического торможения синхронных генераторов, который позволяет обеспечить динамическую устойчивость при больших возмущениях любой тяжести и длительности при нагрузках генератора вплоть до предела по статической устойчивости послеаварийного режима.

The paper deals with the problem of maintaining the transient stability of the electric power system under severe emergency disturbances. The paper provides an overview of the existing and modern developed methods of increasing transient stability. An improved method of electric braking for synchronous generators is proposed, which provides transient stability under severe disturbances of any severity and duration.

Современные электроэнергетические системы имеют устройства релейной защиты и противоаварийной автоматики. Эти устройства позволяют противостоять большинству аварий и сохранять устойчивость. Актуальность исследования обусловлена неразрывностью процессов производства, передачи и потребления электрической энергии. Отсутствие технологий хранения электрической энергии в необходимых для потребителя объемах диктует повышенные требования к обеспечению надежности электроснабжения, а также устойчивости и живучести электроэнергетической системы. При сложившейся структуре и практике эксплуатации электроэнергетических систем могут возникать ситуации, которые приводят к нарушению динамической устойчивости отдельных электрических станций [1]. Примером таких возмущений могут быть отключения сетевого элемента при трехфазном или неполнофазном коротком замыкании [2,3]. Известные виды противоаварийного управления, такие как кратковременная импульсная разгрузка энергоблоков электрических станций, отключение генераторов, электрическое торможение и другие, в этих случаях не эффективны, или не приемлемы по условиям изменения баланса электрической мощности.

В настоящей статье рассмотрен способ [4], при котором синхронный генератор отключается от ЭЭС одновременно с включением нагрузочных резисторов. На рисунке 1 представлена функциональная схема для устройства электрического торможения.

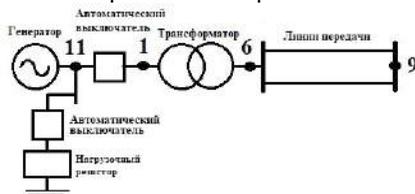


Рис. 1 - Схема исследуемой электроэнергетической системы

Цифрами помечены узлы, в которых регистрировались режимные параметры. Номинальное напряжение генератора 20 кВ. Двухцепная линия электропередачи напряжением 220 кВ и длиной 300 км. Предел передаваемой мощности с одной включенной линией по условию статической устойчивости составляет 430 МВт. В качестве возмущения рассматривалось трехфазное короткое замыкание в начале одной цепи линии 6-9 длительностью 0.16 с и отключение поврежденной линии без автоматического повторного включения [2]. Для повышения устойчивости включался тормозной резистор в узле 11.

При возникновении аварийного возмущения релейная защита фиксирует критическое изменение параметров режима, способное привести к нарушению динамической устойчивости, дает команду на коммутацию выключателей. После чего происходит отключение синхронной машины от электрической сети и включение тормозного резистора.

Активную мощность тормозного резистора определяют несколько выше максимально возможной мощности синхронной машины в доаварийном режиме. Это дает возможность погасить энергию ускорения синхронной машины при авариях любой длительности и тяжести, любом быстродействии релейной защиты. Также исключена вероятность возникновения асинхронного хода в ЭЭС, т.к. синхронная машина на время торможения отключена от шин сети и работает изолированно.

Устройство синхронизации фиксирует значения режимных параметров на протяжении всего периода включения тормозного резистора. В момент снижения взаимного скольжения и угла между шинами синхронной машины и сетью до значений уставок, подается сигнал на повторную коммутацию выключателей. В результате чего

отключается тормозной резистор, а синхронная машина включается на параллельную работу с сетью.

Данный способ включения генератора соответствует точной синхронизации с минимальными возмущениями, что позволяет существенно повысить доаварийную активную мощность синхронной машины. При должном проектировании возможно довести значение активной мощности до предела по статической устойчивости и отказаться от дополнительного сетевого строительства, вызванного необходимостью выполнения нормативов по сохранению динамической устойчивости.

На рисунке 2 представлена осциллограмма переходного процесса при указанном возмущении с исходной загрузкой генератора 241 МВт. Динамическая устойчивость нарушается, возникает асинхронный ход. При исходной загрузке 240 МВт устойчивость сохраняется. Дополнительные меры по сохранению устойчивости не применялись.

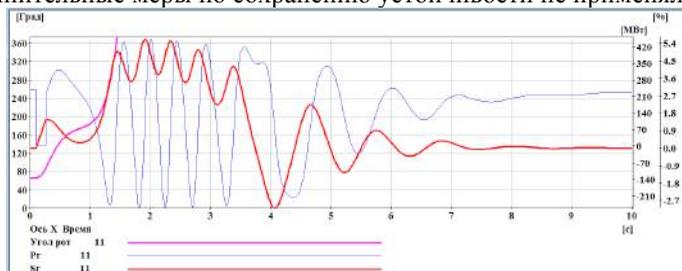


Рис. 2 - Угол ротора генератора, активная мощность, скольжение при трехфазном коротком замыкании, нагрузка генератора составляет 241 МВт

Усовершенствованный способ электрического торможения позволяет существенно повысить передаваемую в систему мощность. На рисунке 3 приводится осциллограмма процессов при передаваемой мощности 398 МВт. Энергия, запасенная ротором генератора при коротком замыкании, гасится тормозным резистором. Кроме того, действие регуляторов возбуждения и скорости дает возможность точнее сбалансировать энергии ускорения и торможения ротора, стабилизировать угол и скольжение ротора, обеспечить условия точной синхронизации при повторном включении генератора в сеть.

Применение электрического торможения длительностью 2.74 с, мощность тормозного резистора 354 МВт. Доаварийная нагрузка генератора составляет 398 МВт. Угол ротора до аварии 93.8град.

Модули синхронизируемых напряжений практически совпадают (20 кВ). Скольжение на момент включения генератора в сеть составляет

-0.1 %, угол ротора 505 град. Длительность КЗ 0.16 с. В момент 0.16 с отключается поврежденная линия. Устойчивость сохраняется.

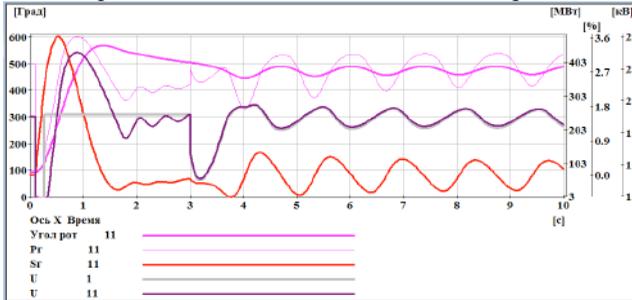


Рис. 3 - Угол ротора генератора, активная мощность, скольжение, напряжения узлов 11,1 при трехфазном КЗ и передаваемой мощности 398 МВт

Выводы:

1. Представленное электрическое торможение по способу обеспечивает динамическую устойчивость в широком диапазоне загрузок генератора по активной мощности практически вплоть до предела передаваемой мощности по условию статической устойчивости послеаварийного режима.

2. Способ сопряжен с условиями точной синхронизации: равенство напряжений, углов и скольжений синхронизируемых напряжений.

3. При обсуждаемом способе сохранения динамической устойчивости возможны провороты ротора генератора относительно напряжения системы, но асинхронного режима не возникает так как при проворотах генератор отключен от сети и включен на тормозной резистор.

4. Применение способа позволяет отказаться от дополнительного сетевого строительства для обеспечения требований по динамической устойчивости.

Литература:

1. Методические указания по устойчивости энергосистем. Утверждены Приказом Минэнерго России от 30.06.2003 № 277.

2. Требования по обеспечению надежности электроэнергетических систем, надежности и безопасности объектов электроэнергетики и энергопринимающих установок «Методические указания по устойчивости энергосистем». Утверждены приказом Минэнерго России от 03.08.2018 г. № 630.

3. Тихомиров А. А., Соболев Н. В. Адаптивное устройство резервирования отказа выключателя // Автоматизированные системы управления и информационные технологии. – 2018. – С. 92-96.

4. Долгов А.П. Способ электрического торможения синхронного генератора // Патент России 2676752С1, 2019 г., бюллетень 2.

ОЦЕНКА РАСХОДА ТОПЛИВА И ОТКЛОНЕНИЙ ЧАСТОТЫ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ С ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНОЙ УСТАНОВКОЙ И НАКОПИТЕЛЕМ ЭНЕРГИИ

Д.С. Гладков, А.В. Мячина

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, gladkov739@gmail.com, n5t.m@yandex.ru

Научный руководитель: Зырянов В.М., к.т.н., с.н.с.

Рассмотрено применение систем накопления энергии (СНЭ) в автономных электрических системах, в целях снижения установленной мощности дизель-генераторной установки (ДГУ) и экономии расхода топлива при сохранении качества регулирования частоты для трёх вариантов энергосистемы при одинаковой резкопеременной нагрузке: ДГУ 300 кВт без СНЭ, ДГУ 300 кВт со СНЭ, ДГУ 100 кВт со СНЭ. Показано, что уменьшение установленной мощности генераторных агрегатов при оснащении энергосистемы СНЭ позволяет экономить топливо, не влияя при этом на качество регулирования частоты.

The application of energy storage systems (ESS) in autonomous electrical systems is considered in order to reduce the installed power of a diesel generator set (DGS) and save fuel consumption with maintaining the quality of frequency control in three cases with the same abruptly variable load: 300 kW DGS without ESS, 300 kW DGS with ESS, 100 kW DGS with ESS. The results showed that reducing of the installed power of generator sets when equipping the power system with ESS allows to save fuel without affecting the quality of frequency control.

Введение. Основу генерирующих мощностей в удаленных и изолированных районах России составляют ДГУ, в стоимость топлива для которых включаются значительные транспортные издержки. Кроме того, ДГУ оказывают серьезное воздействие на окружающую среду, так как каждый литр дизельного топлива выделяет около трех килограммов CO₂ [1]. Оснащение автономной энергосистемы на базе ДГУ накопителем энергии позволяет снизить расход топлива ДГУ [2] и поддерживать постоянное значение её мощности, независимо от

колебаний нагрузки, что значительно упрощает процесс регулирования частоты в энергосистеме [3,4].

Целью исследования является получение количественной оценки расхода топлива ДГУ в автономной энергосистеме со СНЭ, работающей на резкопеременную нагрузку, и анализ влияния СНЭ на качество регулирования частоты.

Описание математической модели автономной энергосистемы

Расчет производился на математической модели автономной энергосистемы, построенной в ПВК MATLAB/Simulink [5].

В составе энергосистемы:

- гибридная СНЭ с подсистемой накопления на базе литий-ионных аккумуляторов (ЛИА) типа LT-LYP300AH 200 кВА/153 [6] кВт·ч и суперконденсаторов (СК) 100 кВА/0,85 кВт·ч;
- дизель-генераторная установка АД-300 мощностью 300 кВт (375 кВА) с генератором БГ-315 [7] или ЭДД-100 мощностью 100 кВт (125 кВА) с генератором ГС-100-400 [8];
- резкопеременная нагрузка подъемного крана со средней мощностью 66,6 кВт (рис. 1).

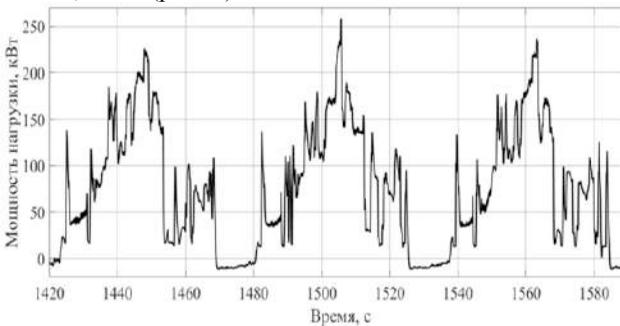


Рис.1 – График нагрузки ДГУ подъемного крана

Для расчета расхода топлива в математическую модель был добавлен блок с характеристиками часового расхода ДГУ (рис. 2). Также, блок для расчета топлива учитывает возникновение переходных процессов в энергосистеме: при увеличении производной частоты (df/dt) более 0,5 Гц/с расход топлива ДГУ увеличивается на 7% [9].

Для оценки качества регулирования частоты рассчитывается среднеквадратичное отклонение частоты (СКО) (1) и максимальная производная частоты (df/dt).

$$\sigma_f = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (f_i - f_{nom})^2} \quad (1)$$

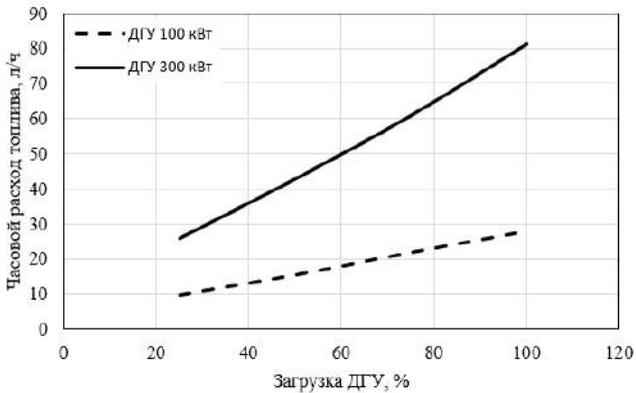


Рис. 2 – Часовой расход топлива ДГУ мощностью 300 кВт и 100 кВт

Результаты расчета. Результаты расчетов на математической модели с резкопеременной нагрузкой на интервале в 30 минут сведены в табл. 1.

Таблица 1 - Результаты расчетов на математической модели энергосистемы

	ДГУ 300 кВт	ДГУ 300 кВт + СНЭ	ДГУ 100 кВт + СНЭ
СКО частоты, Гц	0,5	0,03	0,04
Максимальная df/dt , Гц/с	12,0	0,5	0,6
Максимальное отклонение частоты, Гц	3,2	0,1	0,1
Расход топлива за 30 минут, л	13,0	12,0	10,3
Расход топлива, %	100	92	77

В первом случае рассматривается автономная электростанция с ДГУ мощностью 300 кВт при средней мощности нагрузки 66,6 кВт. Низкий коэффициент использования установленной мощности ДГУ ($K_{иум} = 22\%$) приводит к повышенному расходу топлива: за 30 минут работы - 13 литров. Штатный АРС ДГУ плохо справляется с бросками нагрузки, частота отклоняется до 3,2 Гц.

Вторым рассматривается случай, когда энергосистема с ДГУ 300 кВт дополняется СНЭ. СНЭ выполняет две функции: сглаживает нагрузку до средней (66,6 кВт с диапазоном +/- 10 кВт) и поддерживает частоту в автономной энергосистеме. При этом улучшается качество регулирования частоты и снижается расход топлива до 12 литров.

Последним рассматривается случай, где ДГУ 100 кВт со СНЭ работают на нагрузку подъёмного крана. Применение СНЭ совместно с ДГУ 100 кВт позволяет поддерживать выдаваемую мощность ДГУ в диапазоне 56,6-76,6 кВт. За счет повышения $K_{нум}$ и снижения колебаний нагрузки, расход дизельного топлива снижается до 10 литров, что на 23% меньше, чем в случае с ДГУ 300 кВт без СНЭ.

Оциллограммы с изменением расхода топлива и частоты для трех случаев для интервала в 30 минут показаны на рис. 3.

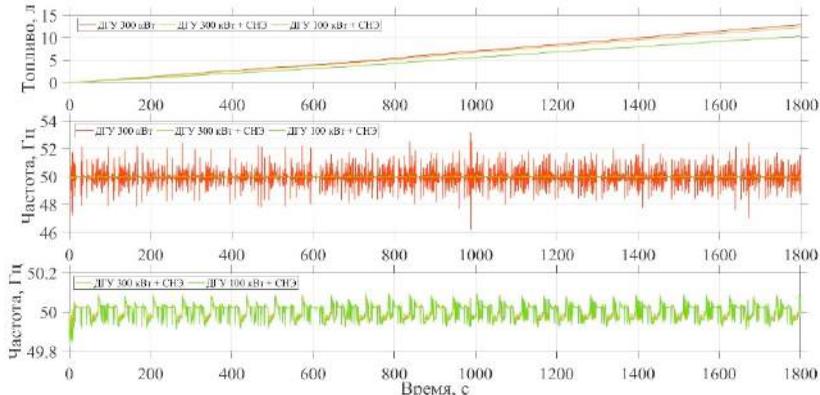


Рис. 3 – Оциллограммы расхода топлива ДГУ и уровня частоты на интервале 30 минут

Заключение. Наименьший расход топлива при работе на резкопеременную нагрузку достигается при совместной работе ДГУ мощностью 100 кВт и СНЭ. Наличие СНЭ в автономной энергосистеме позволяет поддерживать частоту в допустимых пределах (50 ± 1 Гц) [10] как при работе с ДГУ 100 кВт, так и при работе с ДГУ 300 кВт. В случае работы ДГУ 300 кВт при отсутствии СНЭ максимальное отклонения частоты составляет 3,2 Гц.

Таким образом, от замены ДГУ мощностью 300 кВт на ДГУ мощностью 100 кВт на стадии проектирования автономной энергосистемы при оснащении энергосистемы накопителем энергии можно получить выгоду за счет следующих эффектов:

1. снижение расхода топлива до 23 %;
2. снижение стоимости генерирующего агрегата в 2-3 раза;
3. снижение издержек на обслуживание;
4. увеличение моторесурса ДГУ;
5. улучшение качества регулирования частоты.

Литература:

1. Al-Alawi, A.; Al-Alawi, S.; Islam, S. Predictive control of an integrated PV-diesel water and power supply system using an artificial neural network. *Renew. Energy* 2007, 32, 1426–1439.

2. Д. С. Гладков, В. М. Зырянов Оптимизация состава генерирующего оборудования автономных электростанций с помощью систем накопления энергии // Наука. Технологии. Инновации: сб. науч. тр.: в 9 ч., Новосибирск, 2–6 дек. 2019 г. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2019. – Ч. 4. – С. 15–19. - 100 экз. - ISBN 978-5-7782-4010-0.

3. Howlder, A.; Izumi, Y.; Uehara, A.; Urasaki, N.; Senjyu, T.; Saber, A. A robust H controller based frequency control approach using the wind-battery coordination strategy in a small power system. *Int. J. Electr. Power Energy Syst.* 2014, 58, 190–198.

4. Pan, I.; Das, S. Kriging based surrogate modeling for fractional order control of microgrids. *IEEE Trans.Smart Grid* 2015, 6, 36–44.

5. Experimental accuracy assessment of energy storage system mathematical model [Electronic resource] / V. Guzhavina, G. B. Nesterenko, G. Prankevich, D. S. Gladkov, V. M. Zyryanov, J. V. Mokrousova // Proceedings of the 2020 Ural Smart Energy Conference (USEC) Ekaterinburg, 13–15 Nov. 2020. – Ekaterinburg: IEEE, 2020. – P. 110-113. - Mode of access: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9281262>. - Title from screen - ISBN 978-1-7281-9706-7. - DOI: 10.1109/USEC50097.2020.9281262.

6. Техническая карта GBS-LFP100AH [Электронный ресурс]. - URL:<https://prometheusenergy.ru/product/litij-ionnyj-akkumulyator-gbs-lfp100ah-a/> (дата обращения 18.10.2021).

7. Техническая карта ДЭС 300 кВт [Электронный ресурс]. -URL: <https://www.dizelkompleks.ru/catalog/dizel/ad300#product-tab-spec> (дата обращения 20.10.2021).

8. Техническая карта ДЭС 100 кВт [Электронный ресурс]. -URL: <https://www.d-system.ru/news/38/> (дата обращения 20.10.2021).

9.Кальм Н.А., Николаева Е.А., Беляев А.Н. Управление газопоршневыми агрегатами в условиях резкопеременной нагрузки электроэнергетической системы//Научно-технические ведомости СПбГПУ.2014. №1(190). С.45- 52.

10. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200104301>. – (Дата обращения: 25.10.2020).

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СУТОЧНОГО ГРАФИКА НАГРУЗКИ В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ ANYLOGIC

А.Д. Неустроев, Л.Ю. Сергиевичев

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, neustroev2772@gmail.com,

sergievichev.lev3002016@gmail.com

Научный руководитель: Русина А.Г., д.т.н., доцент

Моделям и методам прогнозирования уделяется достаточно большое внимание при решении задач управления электроэнергетическими системами. Существуют статистические и экспертные методы прогнозирования, используются методы искусственного интеллекта. В статье приведен новый подход к прогнозированию суточного графика нагрузки с использованием имитационных моделей программной среды AnyLogic. Разрабатываемая модель позволяет учесть большое количество влияющих факторов и выполнить расчёты на любую перспективу с любым шагом дискретизации.

Models and forecasting methods are given quite a lot of attention when solving problems of managing electric power systems. There are statistical and expert forecasting methods, artificial intelligence methods are used. The article presents a new approach to predicting the daily load schedule using simulation models of the AnyLogic software environment. The developed model allows taking into account a large number of influencing factors and performing calculations for any perspective with any step of discretization.

Моделирование является одним из способов решения сложных научных и практических задач. Использование цифровых технологий позволяют создать сложную, динамически изменяющуюся имитационную модель объекта, зависящую от множества факторов, в том числе и случайных. Именно таким объектом является гидроэлектростанция.

В имитационном моделировании выделяют три подхода: системная динамика, агентное моделирование и дискретно-событийное моделирование. Каждый подход применяется в некотором диапазоне уровней абстракции [1].

Для решения задачи, поставленной в исследовании, был выбран подход «Системная динамика», поскольку он предполагает высокий уровень абстракции и, как правило, используется для стратегического моделирования.

Агентное моделирование предлагает разработчику моделей альтернативный взгляд на поведение системы. Это метод имитационного моделирования, исследующий поведение децентрализованных агентов и то, как такое поведение определяет

поведение всей системы в целом. В отличие от системной динамики аналитик определяет поведение агентов на индивидуальном уровне, а глобальное поведение возникает как результат деятельности множества агентов.

Дискретно-событийное моделирование предполагает представление моделируемой системы в виде процесса, т.е. последовательности операций, выполняемых с агентами. В дискретно-событийном моделировании функционирование системы представляется как хронологическая последовательность событий. Событие происходит в определенный момент времени и знаменует собой изменение состояния системы.

В НГТУ была проведена работа по моделированию энергосистемы Памира, которая входит в энергосистему Таджикистана. Особенностью Памирской энергосистемы является то, что она две станции «Памир-1» и Хорогская ГЭС работают в каскаде на реке Гунт. Для эффективного управления режимом электроэнергетической системы необходимо рассчитывать её электрический режим [1, 2].

Модель разработана в программной среде для имитационного моделирования – AnyLogic, дополненную с помощью интегрирования в неё языка программирования Java.

Преимущества программной среды AnyLogic:

1. Возможность пошагового и модульного моделирования.
2. Структура имитационной модели естественным образом отображает структуру моделируемой системы.
3. Анимированный процесс моделирования позволяет демонстрировать работу системы при изменении влияющих факторов и упрощает процесс верификации модели [3].

В [2] была разработана имитационная модель каскада ГЭС в программном комплексе AnyLogic. Однако, смоделированный график суточной нагрузки имеет высокую погрешность по сравнению с реальным графиком. Средние погрешности для разных времен года: □лето= 17,1 %, □зима= 6,77 %. Максимальная погрешность достигает 73,06 % (24-й час летнего месяца). Это является неприемлемым, т.к. за несколько итераций абсолютная погрешность может превысить все допустимые пределы (в годовом разрезе до 20%). Кроме того, модель графика нагрузки никак не учитывает его изменение, связанное с погодными явлениями. Например, в летние часы в безоблачную жаркую погоду массово используются кондиционеры, при высокой облачности включается искусственное освещение. Также можно учесть тенденцию увеличения использования электрического отопления зимой.

Если в целом рассматривать всю модель каскада ГЭС, можно заметить, что в производстве электроэнергии учтено влияние погодных факторов, а в графике нагрузки нет. Таким образом, наблюдается дисбаланс во всей модели каскада ГЭС. Эффективность имитационной модели каскада ГЭС будет повышена за счёт учёта динамической составляющей модели, связанной с погодными явлениями, описанными выше.

Целью данной работы будет являться снижение погрешности относительно трендовой составляющей (среднесуточный график потребления), а также учет динамической составляющей (потребление в конкретный реальный день с учетом изменяющихся погодных факторов).

Авторами выведена зависимость потребляемой мощности от различных факторов:

$$P = f(t, K_t, K_{wea}) \quad (1)$$

где t - время в часах, K_t - коэффициент времени, K_{wea} - коэффициент влияния погоды, P – мощность.

Коэффициент времени, определяется как функция от самого времени (t), сезонного коэффициента (K_{season}) и коэффициента типа дня, который учитывает различия в потреблении в выходной и рабочий день ($K_{TypeOfDay}$).

$$K_t = f(t, K_{season}, K_{TypeOfDay}) \quad (2)$$

где t - время в часах, K_{season} - сезонный коэффициент, $K_{TypeOfDay}$ – коэффициент типа дня.

Коэффициент влияния погоды определяется как функция от температуры (M_{eaT}), коэффициента влияния текущей температуры (KT), коэффициента влияния среднесуточной температуры (KT_{ave}), облачности ($M_{eaCloud}$), коэффициента влияния облачности (K_{cloud}), таким образом:

$$K_{wea} = f(M_{eaT}, KT, KT_{ave}, M_{eaCloud}, K_{cloud}) \quad (3)$$

Подставляя (2) и (3) в (1), получим:

$$E = f(t, K_{season}, K_{TypeOfDay}, M_{eaT}, KT, KT_{ave}, M_{eaCloud}, K_{cloud}) \quad (4)$$

Функция (4) позволит прогнозировать и моделировать графики нагрузки для любых условий. Функция может быть дополнена и другими значимыми факторами. Например, в [4] приведено влияние температуры, облачности, мощности межсистемного перетока на график нагрузки ОЭС Сибири. Но приведенная в [4] модель работает практически “в ручную”. В предлагаемой же модели в имитационной среде AnyLogic все влияющие процессы можно учесть одновременно. Данная модель похожа на многофакторную регрессию, однако делается попытка создать подобную модель с использованием искусственного интеллекта. На рис. 1 приведена базовая модель прогнозирования графика нагрузки в программной среде AnyLogic.

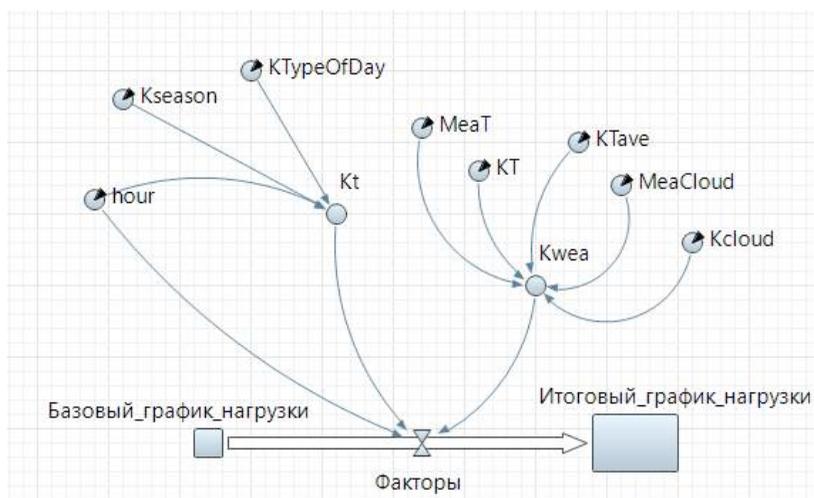


Рис.1 - Схема формирования суточного графика нагрузки.

Получение функции (4) в явном виде — это трудоемкая задача, которая не оправдывает затраченных средств, поэтому для решения поставленной задачи предлагаются иные способы:

Создание сводных таблиц с исходными данными: суточное потребление, среднесуточное потребление, данные температуры, данные погодных явлений и аналитическое нахождение зависимостей графика нагрузки от погодных явлений.

Использование возможностей искусственного интеллекта.

Заключение. После изучения задачи повышения эффективности прогнозирования и моделирования суточного графика нагрузки были предложены пути её решения. Первый путь - создание сводных таблиц с

исходными данными и аналитическое нахождение зависимостей. Второй путь – использование искусственного интеллекта ввиду высокой погрешности от аналитического нахождения зависимостей и затраченного времени на поиск решения. Дальнейшая работа будет посвящена поиску оптимального метода искусственного интеллекта и реализации его в AnyLogic, а также объединение модели прогнозирования графика нагрузки с имитационной моделью каскада ГЭС.

Литература:

1. Иванов Н. А. Агентное моделирование программной среды ANYLOGIC для реализации принципа адресного распределения потоков и потерь мощности / Н. А. Иванов, И. В. Прибыльский, Е. А. Смоленкова; [науч. рук. А. Г. Русина] // Наука. Технологии. Инновации: сб. науч. тр. : в 9 ч., Новосибирск, 30 нояб.–4дек. 2020 г. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2020. – Ч. 4. – С. 121–124. - 100 экз. - ISBN 978-5-7782-4292-0

2. Прибыльский И. В. Основы построения модели каскада ГЭС в программной среде Anylogic / И. В. Прибыльский, И. Ф. Рудюк, Н. А. Иванов; [науч. рук. А. Г. Русина] // Наука. Технологии. Инновации: сб. науч. тр. : в 9 ч., Новосибирск, 30 нояб.–4дек. 2020 г. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2020. – Ч. 4. – С. 157–161.

3. И. Григорьев. AnyLogic за три дня. Практическое пособие по имитационному моделированию. Интернет-издание, 2016.- 202 с.

4. Русина А. Г. Исследование модели прогнозирования суточного графика нагрузки с учетом климатических факторов на примере ОЭС Сибири / А. Г. Русина, Т. А. Филиппова, А. Е. Калинин // Экономические проблемы энергетического комплекса (семинар А.С. Некрасова) : междунар. энергет. конф.я Всерос. открыт. постоянно действующ. науч. семинара, Москва, 2017г. : материалы конф. - Москва: Анкил, 2017. - С. 463-481

СТРУКТУРА И РЕГУЛИРОВОЧНАЯ СПОСОБНОСТЬ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

В.А. Ожулас

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, vlas_oj@mail.ru

Научный руководитель: Лыкин А.В., к.т.н., доцент

В работе представлена распространенная структура интеллектуального трансформатора (ИТ), с рассмотрением процесса преобразования и трансформации тока и напряжения. Выделены особенности построения сетей при использовании ИТ и представлены нестандартные применения данного устройства. Данные особенности конструкции и использования предоставляют новые эксплуатационные возможности для распределительных сетей.

This paper presents a common structure of an intelligent transformer (ST), with a treatment of the current and voltage conversion and transformation process. Highlighted the peculiarities of networking when using ST and presents non-standard applications of this device. These construction and usage features provide new operational possibilities for distribution grids.

Интеллектуальный трансформатор (ИТ) – это силовой электронный трансформатор, предоставляющий новые возможности в развивающихся интеллектуальных электрических сетях, связанные с надежностью, качеством электроэнергии и адаптацией с различными преобразователями напряжения. Основой для создания ИТ служит концепция трехступенчатого твердотельного трансформатора, которая представлена на рис. 1.

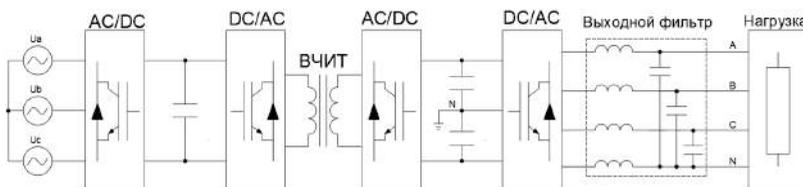


Рис. 1 – Структурная схема конструкции
трехступенчатого твердотельного трансформатора

Первый этап заключается в преобразования переменного тока и напряжения на средней стороне ИТ в постоянные значения. После этого с помощью мостового преобразователя формируется импульсный ток с высокой частотой (порядка 5...25 кГц), и благодаря высокочастотному импульсному трансформатору (ВЧИТ) производится трансформация

тока и напряжения одной величины в другую. Завершающим этапом является преобразования постоянного значения тока и напряжения в переменный, при помощи инвертора напряжения с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ регулированием).

Нынешнюю архитектуру распределительных сетей 0,4 кВ [1], [2] можно представить следующим образом, как показано на рисунке 2.

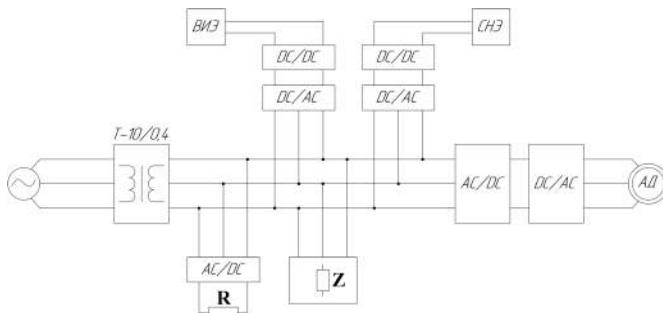


Рис.2 – Архитектура современного построения распределительной сети 0,4 кВ

Современное развитие электронных преобразователей приводит их к активному внедрению в область электроэнергетики. Так в свое время использование инверторов закрепило в понятие, частотного регулятора скорости вращения асинхронного двигателя (АД). В свою очередь появления различных накопителей энергии на литий-ионной основе, и активное внедрение возобновляемых источников, приводит к требованию преобразования постоянного тока в переменный. Такая тенденция внедрения различных видов нагрузки и источников, подталкивает к мысли о реконфигурации распределительных сетей 0,4 кВ, из AC в DC формат, или централизирующего устройства.

Предполагается что ИТ может стать центром для распределительной сети 10/0,4 кВ. За счет своей архитектурной особенности, данное устройство, может сочетать в себе и распределять необходимые виды электрической энергии (рисунок 3).

Такой изменение способствовало бы существенному снижению количества этапов преобразования, что окажет влияние на коэффициент использования электрической энергии, снизит (устранит) гармонические “загрязнения” из-за использования преобразователей, приведет к исчезновению реактивных потерь в целом. Причем данные эффекты применимы как для высокой, так и для низкой стороны ИТ.

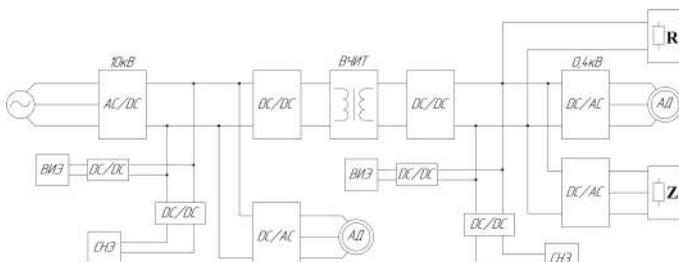


Рис.3 – Архитектура возможного построения распределительной сети 0,4 кВ при использовании ИТ

Из-за наличия в конструкции высокочастотного трансформатора, ИТ может использоваться в местах, где роль размера и веса имеют существенное значение, например, в тяговой системе электровоза как показано на рисунке 4 [3], [4].

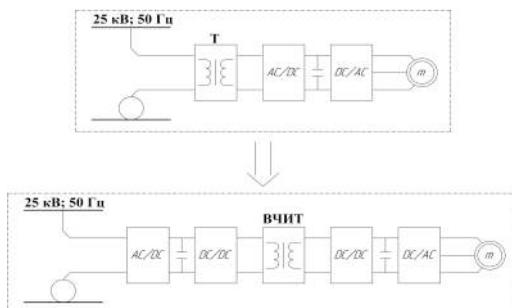


Рис.4 – Использование ИТ в тяговой системе электровоза

Такие нестандартные конструктивные особенности особенностей ИТ приводят к появлению новых возможностей в области регулирования электрических параметров:

1. Контроль и компенсация реактивной мощности;
2. Возможность коррекции коэффициента мощности;
3. Стабилизация напряжения и устранения провалов/прерывания напряжения;
4. Устранение несимметрии напряжения.

В связи с этим была создана и исследована метаматематическая модель ИТ, в качестве элемента для регулирования выдачи мощности внешней электрической сети.

Так за счет вставок постоянного тока, возможно включение постоянных источников энергии, например, СНЭ и в моменты сильной

просадки напряжения на тупиковых отпайках распределительной сети, включая данный источник, можно разгружая сеть рисунок 5, тем самым уменьшая падения напряжения, что приведет к увеличению напряжения в тупиковых отпайках. При этом данной функции может быть недостаточно, но поскольку ИТ имеет инверторы напряжения на каждой из своих сторон, то предоставляется возможность выдачи мощности в сеть, рисунок 6, с предшествующей синхронизацией.

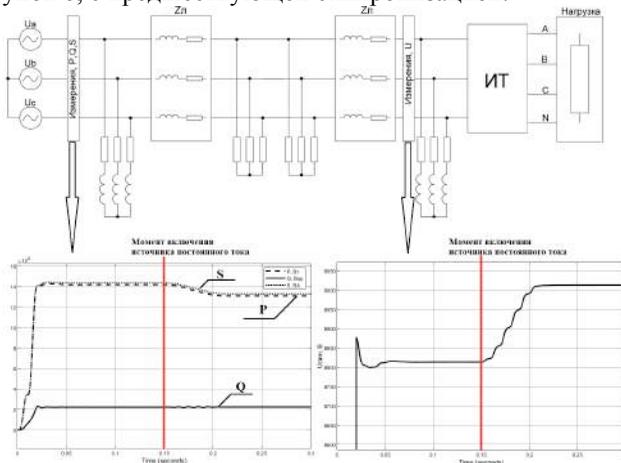


Рис.5 – Структура модели для проверки эффекта от ввода источника постоянного тока на собственную нагрузку ИТ

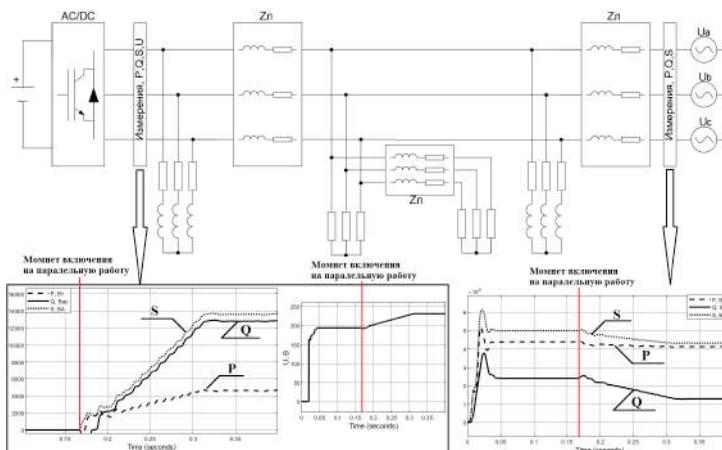


Рис.6 – Структура модели для проверки эффекта от ввода источника постоянного тока на параллельную работу с внешней сетью

По итогу проведенного исследования на математической модели, результаты показывают, что за счет правильной системы управления можно получать различные характеристики мощности от тока или напряжения, при использовании ИТ в режиме электронной генерации, а использования обращенного инвертора для первого этапа преобразования, позволяет представлять собственную нагрузку ИТ, в любом виде, а именно от активной и вплоть до чисто реактивной. Все это демонстрирует вариативность применения ИТ для распределительной сети 10 кВ. Поскольку в данном исследовании представлены основные инструменты управления, в продолжение исследования можно совершать в направлении, получения различных характеристик мощности от тока и напряжения, как для режима электронной генерации, так и в нагрузочном режиме.

Литература:

1. F. Bignucolo, M. Bertoluzzo and C. Fontana, "Applications of the solid state transformer concept in the electrical power system," *2015 AEIT International Annual Conference (AEIT)*, 2015, pp. 1-6, doi: 10.1109/AEIT.2015.7415235.

2. N. Verma, N. Singh and S. Yadav, "Solid State Transformer for Electrical System: Challenges and Solution," *2018 2nd International Conference on Electronics, Materials Engineering & Nano-Technology (IEMENTech)*, 2018, pp. 1-5, doi: 10.1109/IEMENTECH.2018.8465315.

3. J. Feng, W. Q. Chu, Z. Zhang and Z. Q. Zhu, "Power Electronic Transformer-Based Railway Traction Systems: Challenges and Opportunities," in *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, vol. 5, no. 3, pp. 1237-1253, Sept. 2017, doi: 10.1109/JESTPE.2017.2685464.

4. S. Gupta, P. Mahajan and R. Garg, "Tractive energy optimization in railway electric traction system," *2016 IEEE 1st International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems (ICPEICES)*, 2016, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICPEICES.2016.7853359.

ПРИМЕНЕНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЧАСТОТНОЙ РАЗГРУЗКИ В АВТОНОМНЫХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

В.В. Перегудов

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск vadim.peregudov.007@gmail.com

Научный руководитель: Долгов А.П., к.т.н., доцент

В отличие от региональных или национальных ЭЭС автономные электроэнергетические системы имеют гораздо меньший опыт продолжительной эксплуатации и поэтому возможны случаи переноса основных технических решений, распространенных в ЭЭС, на практику эксплуатации автономных электроэнергетических систем (АЭЭС) без учета их особенностей. К таким особенностям можно отнести возможности турбин быстро набирать и сбрасывать мощность, иные настройки регуляторов возбуждения и скорости, сравнительно малые установленные мощности оборудования и прочее. В итоге некоторые аварии развиваются по непредвиденному сценарию и дают неожиданные результаты. Указанные особенности нуждаются в изучении, разработки рекомендаций и накопления опыта промышленной эксплуатации.

In contrast to regional or national EPS, autonomous electric power systems have much less experience in long-term operation, and therefore, cases of transfer of the main technical solutions common in EPS are possible to the practice of operating autonomous electric power systems (AEPS) without taking into account their features. These features include the ability of turbines to quickly gain and dump power, other settings for excitation and speed controllers, relatively low installed equipment capacities, and so on. As a result, some accidents develop according to unforeseen scenarios and give unexpected results. These features require study, development of recommendations and the accumulation of experience in industrial operation.

Рассмотрим типичную систему автономного электроснабжения. Электроснабжение месторождения осуществляется от автономной газотурбинной электрической станции (ГТЭС), работающей на попутном газе. Внешнего источника энергии у месторождения нет. На станции ГТЭС установлено 6 генераторов, подключённых к шинам через повышающие трансформаторы 10/35 кВ. От станции отходят 8 линий к понижающим подстанциям 35/6 кВ. Схема электроснабжения обеспечивает надёжность по критерию N-1, при котором качественное снабжение электроэнергией потребителей, а также нормальная работа электростанций, должны обеспечиваться при внезапном отключении (выпадении) одного из элементов системы. Схема электроснабжения представлена на рисунке 1.

Аварийное отключение 2 и более агрегатов ГТЭС приводит к перегрузке оставшихся и каскадному их отключению. Это вызовет

простой оборудования и прекращения добычи ископаемых ресурсов. Для сохранения станции в работе предложено внедрение автоматической частотной разгрузки. Персонал допускает аварийное погашение практически всего объема нагрузки и основной задачей видит сохранение в работе одного или ряда агрегатов. Сохранение в работе даже одного агрегата дает возможность персоналу за приемлемое время восстановить работу ГТЭС и электроснабжение всего месторождения.

С целью детального изучения процессов аварийного отключения генераторов на ГТЭС и разработки мер по повышению живучести автономной системы составлена компьютерная модель в программном комплексе MUSTANG. Учтены сопротивления линий, трансформаторов и статические характеристики нагрузки. Рассчитаны уставки срабатывания для АЧР в двух случаях реализации автоматики, централизованного исполнения и распределенного. При распределенном исполнении автоматики происходит отключение трансформатора и всей нагрузки на низкой стороне. При централизованном варианте происходит отключение фидеров на станции ГТЭС. АЧР-1 является быстродействующей АЧР для прекращения процесса снижения частоты, основной объем в диапазоне 48.8 Гц и ниже, АЧР-2 для подъема частоты после действия устройств АЧР1, а также при медленном снижении частоты. [1-2].

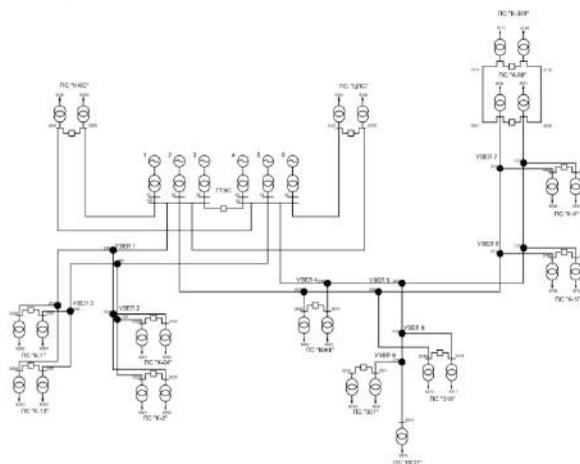


Рис.1– Схема электроснабжения

На рисунке 2 изображен график переходного процесса для распределенного исполнения автоматики при исходной работе 6

агрегатов ГТУ и аварийном отключении 5 агрегатов. На рисунке 3 изображен график переходного процесса для централизованного исполнения автоматики при исходной работе 6 агрегатов ГТУ и аварийном отключении 5 агрегатов.

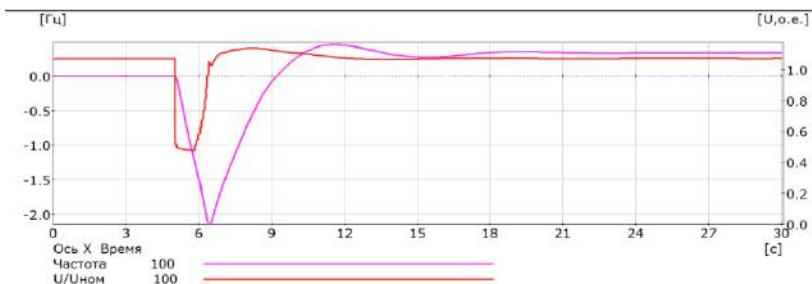


Рис. 2 – График изменения частоты и напряжения при отключении 5 агрегатов при работе 6 до аварии для распределенного варианта АЧР

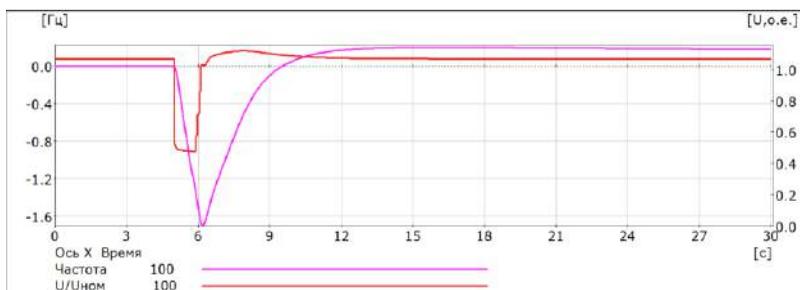


Рис. 3 – График изменения частоты и напряжения при отключении 5 агрегатов при работе 6 до аварии для централизованного варианта АЧР

Частота в сети не опускалась ниже 47,8 Гц в обоих случаях. На отключение потребовалось 0,48 секунды, но при дальнейшем рассмотрении аварийных отключений четырех, трех и двух генераторов в централизованном варианте выбранная настройка АЧР приведёт к избыточному отключению нагрузки, что влечет за увеличением частоты вращения генераторов и их перегрузку. График изменения частоты и напряжения при отключении 3 генераторов для централизованного и распределенного варианта исполнения АЧР представлен на рисунках 4 и 5.

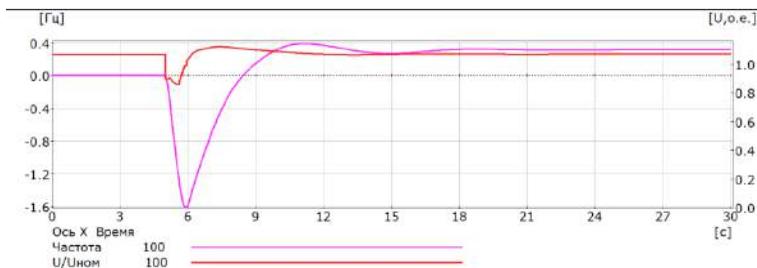


Рис. 4 – График изменения частоты. Отключение 3 агрегатов при работе б до аварии для централизованного варианта АЧР

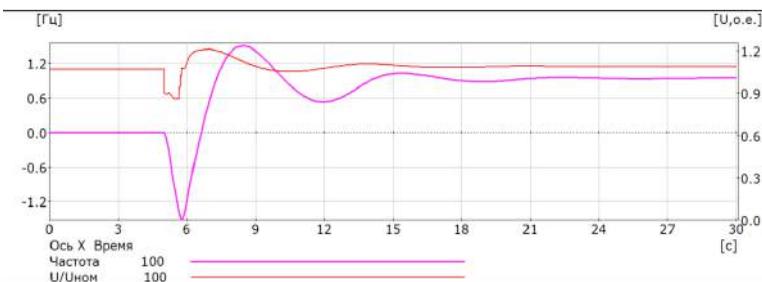


Рис. 5 – График изменения частоты. Отключение 3 агрегатов при работе б до аварии для централизованного варианта АЧР

Заключение.

1. Применение АЧР в автономных системах электроснабжения позволяет избежать каскадных отключений генераторов и повысить живучесть АЭС.

2. Выбор реализации АЧР централизованной или распределенной зависит от схемы энергоснабжения. При малом количестве фидеров рекомендуется реализовывать распределенную АЧР, а при большом количестве отходящих фидеров имеет смысл реализовывать централизованную АЧР. Для данной схемы рекомендуется выбрать распределенную схему реализации АЧР.

3. При учете отключаемой мощности в одной очереди АЧР следует учитывать не только отключаемую мощность, но и потери на ее передачу. Учет потерь на передачу в автономных энергосистемах позволяет избежать избыточного отключения нагрузки.

4. При больших дефицитах мощности имеет смысл отключения оставшихся в работе генераторов от энергосистемы и перевода их на работу на собственные нужды станции. Это уменьшит время простоя оборудования и ускорит ввод станции в работу.

Литература:

1. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д. Л. Файбисовича. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: ЭНАС, 2012. – 376 с.
2. Рабинович Р.С., Автоматическая частотная разгрузка энергосистем. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат 1989. – 352 с

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГЕЛЬ-ПОЛИМЕРНОГО ЭЛЕКТРОЛИТА, МОДИФИЦИРОВАННОГО НАНОЧАСТИЦАМИ ОКСИДА МЕДИ

Е. Подлеснов, М.В. Дорогов, М.Г. Нигаматдянов
Университет ИТМО, г. Санкт-Петербург, epodlesnov@itmo.ru

В работе описана перспективность применения гелевых полимерных электролитов в литий-ионных аккумуляторах. Синтезирован гелевый полимерный электролит, модифицированный наночастицами оксида меди. Методом импедансной спектроскопии измерена его ионная проводимость. Собрана аккумуляторная ячейка с синтезированным электролитом, измерена ёмкость, а также эффективность заряда при циклировании.

The prospects of using gel polymer electrolytes in lithium-ion batteries were described in the paper. A gel polymer electrolyte modified with copper oxide nanoparticles was synthesized. Its ionic conductivity was measured by impedance spectroscopy. A battery cell with a synthesized electrolyte was assembled, the capacity was measured, as well as the charging efficiency during cycling.

В связи с постоянно усугубляющимися последствиями на окружающую среду от использования ископаемого топлива, важным является не только разработка технологии для выработки электроэнергии, но и устройств для её хранения. Поскольку ветряные и солнечные электростанции, которые должны стать основой генерации «чистого» электричества в будущем, не могут работать на полную мощность круглосуточно и круглогодично, нужно создать устройства для хранения накопленной энергии. Такие устройства характеризуются следующими параметрами: плотностью энергии, плотностью мощности, временем жизни, чувствительностью к внешней температуре [1]. Литий-ионные аккумуляторы (ЛИА) с высокой удельной ёмкостью в настоящее время широко применяются в различных устройствах и промышленности, например, в распределяющих энергонакопителях, зеленой энергетике, автотранспорте, электронике [2,3]. Хотя ЛИА имеют много преимуществ, у них есть ряд недостатков, которые

сдерживают их повсеместное применение: невысокая удельная мощность, узкий рабочий интервал температур, относительно высокая стоимость [4-6]. Важной проблемой является взрывоопасность, которая возникает из-за внутреннего короткого замыкания, происходящего при неконтролируемом росте дендритов лития, нестабильности жидких электролитов и низкой термостойкости сепараторов [7].

На данный момент существуют следующие типы электролитов: жидкие, твёрдые и гелевые на основе органических и неорганических веществ. Среднее значение ионной проводимости для жидких электролитов – $10^{-2} - 10^{-3}$ См/см, для твёрдых – $10^{-4} - 10^{-5}$ См/см, гелевые электролиты занимают промежуточные значения. По сравнению с неорганическими материалами, полимеры обладают высокой упругостью и пластичностью, имеют хорошие контактные и механические свойства поверхности раздела, все это делает полимерные электролиты перспективной заменой жидким.

В работе [8] описана методика синтеза гелевого полимерного электролита на основе поливинилиденфторида (ПВДФ), растворённого в смеси пластификаторов. В качестве источника ионов Li^+ была использована соль LiClO_4 , также в электролит были добавлены наночастицы CuO . Рассмотрим подробнее свойства выбранных компонентов электролита. В качестве полимерной основы был выбран ПВДФ, который обладает такими свойствами, как высокая механическая прочность и ударная вязкость, термическая и электрохимическая стабильность.

Роль растворителей-пластификаторов – транспорт ионов Li^+ . Растворители на основе пропиленкарбоната (ПК) восстанавливаются на отрицательных электродах, поэтому чаще используют этиленкарбонат (ЭК). Использование смеси этих растворителей в сочетании с менее полярным позволяет получить электролит с улучшенными характеристиками [9]. В смесь ПК и ЭК был добавлен тетрагидрофуран (ТГФ) ввиду высокого значения подвижности в нём ионов лития.

LiClO_4 – это соль сильной кислоты с высокой растворимостью, хорошей ионной проводимостью в неводных растворителях и высокой анодной стойкостью. Высокая степень окисления хлора делает перхлорат сильным окислителем, который легко реагирует с органическими соединениями [10].

Электролит был модифицирован наночастицами оксида меди, так как оксид меди обладает высокой теоретической ёмкостью до 673 мАч/г, а наноразмерность повышает кинетику электрохимической реакции и перенос заряда.

В работе [11] описана методика синтеза гелевого электролита на основе ПВДФ. Проводимость полученного гелевого электролита определяли с помощью электрохимической импедансной спектроскопии [10] на потенциостате гальваностате P-45X+FRA24 (Electrochemical Instruments). Данные измерения представлены на рисунке 1, согласно которому проводимость данного материала составляет 5 мСм/см.

Затем была собрана аккумуляторная ячейка CR2032, состоящая из литиевого и литий-фосфатного электродов, между которыми находился синтезированный электролит.

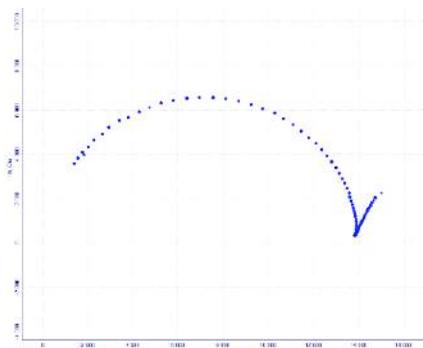


Рис. 1 – Спектр импеданса гелевого полимерного электролита, модифицированного наночастицами CuO

Циклирование аккумулятора проводилось с помощью системы тестирования химических источников тока Coin Cell Battery Tester CT-4008-5V50mA-164. Были проведены исследования зависимости фактической ёмкости аккумулятора от величины тока разряда и определение падения значения фактической ёмкости аккумулятора при 100 циклах зарядки.

Ячейка демонстрирует стабильное циклирование при более 100 циклах с током 1mA и высокую стабильность для фактической ёмкости. График значений эффективности заряда аккумулятора при 100 циклах зарядки приведён на рисунке 2.

Окончательное значение ёмкости заряда аккумулятора после 100 циклов составило 99,953% от номинальной, минимальное значение 97,034%. Результаты измерения показывают, что разработанный электролит обладает высокой проводимостью, а также показывает высокие стабильные значения ёмкости при циклировании.

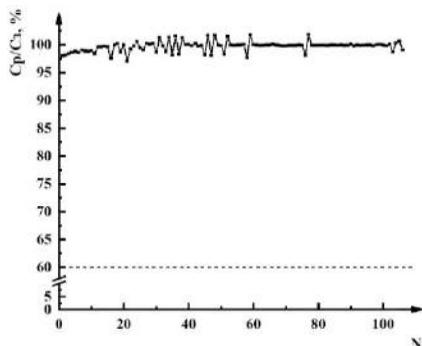


Рис. 2 – Зависимость эффективности заряда аккумулятора от порядкового номера цикла заряд-разряд

Работа выполнена в рамках практико-ориентированных НИОКТР, финансируемых из централизованных средств Университета ИТМО, проект № 420461.

Литература:

1. Сычёв В.В. Нанотехнологии для энергосбережения: прогноз наиболее значимых областей исследования // Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева. – 2008. – № 6. – С. 118–128.
2. Enhanced structurally stable cathodes by surface and grain boundary tailoring of Ni-Rich material with molybdenum trioxide / M. Chen, Z. Zhang, S. Saviolov, G. Wang, Z. Chen, Q. Chen // Journal of Power Sources – 2020. – Vol. 478. – P 229051.
3. Polymer Electrolytes for Lithium-Based Batteries: Advances and Prospects / D. Zhou, D. Shanmukaraj, A. Tkacheva, M. Armand, G. Wang // Chem. – 2019. – Vol. 5. № 9. – P. 2326-2352.
4. Advanced characterization techniques for solid state lithium battery research / Yu. Xiang, X. Li, Yo. Cheng, X. Sun, Yo. Yang // Materials Today. – 2020. – Vol. 36. – P. 139-157.
5. Facile interfacial modification via in-situ ultraviolet solidified gel polymer electrolyte for high-performance solid-state lithium ion batteries / S.Z. Zhang, X.H. Xia, D. Xie, R.C. Xu, Y.J. Xu, Y. Xia, J.B. Wu, Z.J. Yao, X.L. Wang, J.P. Tu // Journal of Power Sources. – 2019. – Vol. 409. – P. 31-37.
6. In situ formed polymer gel electrolytes for lithium batteries with inherent thermal shutdown safety features / H. Zhou, H. Liu, Ye. Li, X. Yue, X.Wang, M. Gonzalez, Yu. Shirley, M. Liu, P. Liu // Journal of Materials Chemistry A. – 2019. – Vol. 7. № 28. – P. 16984-16991.

7. A versatile nano-TiO₂ decorated gel separator with derived multi-scale nanofibers towards dendrite-blocking and polysulfide-inhibiting lithium-metal batteries / H. Zhao, J. Yan, N. Deng, W. Kang, B. Cheng // Journal of Energy Chemistry. – 2021. – Vol. 55. – P. 190–201.

8. Нигаматдянов М.Г., Подлеснов Е., Дорогов М.В. Гель - полимерный электролит на основе поливинилиденфторида // Интеграция науки, общества, производства и промышленности: Проблемы и перспективы. Сборник статей Международной научно-практической конференции – Воронеж, 2021. – С. 81-85.

9. Скундин А.М., Ефимов О.Н., Ярмоленко О.В. Современное состояние и перспективы развития исследований литиевых аккумуляторов // Успехи химии. – 2002. – Т. 71. №4. – С. 378-398

10. Ярмоленко О.В., Юдина А.В., Игнатова А.А. Современное состояние и перспективы развития жидких электролитных систем для литий-ионных аккумуляторов // Электрохимическая энергетика. – 2016. – Т.16. №4 – С. 155-195

11. Сауц А.В., Подлеснов Е., Дорогов М.В. Методика измерения ионной электропроводности гелевых полимерных электролитов // Наука и современное общество: актуальные вопросы, достижения и инновации. Сборник статей V Международной научно-практической конференции. – Пенза, 2020. – С. 38-40.

СТРОИТЕЛЬСТВО СОБСТВЕННОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ НГТУ НЭТИ

А.В. Пятакова

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, onirs@corp.nstu.ru**

Научный руководитель: Армеев Д.В., к.т.н., доцент

В данной статье рассматривается возможное строительство собственной электростанции НГТУ на базе газопоршневой электроустановки. Предложено место размещения и схема подключения установки. А также представлен план организации работ

This article discusses the possible construction of NSTU's own power plant on the basis of a gas-piston electrical installation. The proposed location and connection diagram of the installation. A work organization plan is also presented.

Малая распределённая энергетика – концепция развития энергетики, обеспечивающая возможности перехода от традиционной организации

энергетических систем к новым методикам и практикам. Данный переход осуществляется в условиях децентрализации, цифровизации энергетических систем, с использованием различных видов энергетических ресурсов, с целью повышения энергетической эффективности, снижения экологического влияния на окружающую среду [1].

Так же малая генерация находит поддержку государства, которое стимулирует рост малой генерации, например, отменой надбавок, возложенных на оптовый рынок электрической энергии. К тому же, такие установки достаточно долговечны при соблюдении правил эксплуатации и обслуживания, что немало важно в реалиях нашего времени. Более того, данные установки просты в монтаже и установке, не требуют отвода больших территорий. Устанавливаются в контейнерах и имеют сравнительно маленький срок строительства [2].

Создание на территории НГТУ малой электростанции как «собственная генерация», обеспечит высокую надежность, гибкость работы системы, значительную финансовую экономию и ряд других преимуществ.

Одним из наиболее эффективных и популярных способов электроснабжения в малой энергетике является топливная когенерационная выработка энергии, позволяющая получать одновременно два вида энергии (электричество и тепло) [2].

В зависимости от принципа действия выделяют несколько типов когенерационных станций. Рассмотрим когенераторы на базе газопоршневых агрегатов. Газопоршневая электростанция представляет собой полностью укомплектованный, компактный, автономный и эффективный генерирующий объект по выработке электрической и тепловой энергии. Работает такая электростанция на базе газопоршневого двигателя внутреннего сгорания и генератора переменного тока – газопоршневой установки (сокращенно ГПУ). Топливом для двигателя может является природный газ или другой горючий газ соответствующего качества.

Термический (тепловой) КПД ГПУ находится примерно на одном уровне с электрическим, обеспечивая практически одинаковые выходные параметры по электрической и тепловой мощности [2]. При работе газопоршневой электростанции выработка электрической энергии является приоритетной задачей. Выработка тепловой энергии (когенерация тепла) пропорциональна степени загрузки машины (количеству вырабатываемой электроэнергии).

Для снижения отрицательного влияния на окружающую среду, ГПУ оснащены выхлопной системой, которая отводит отработанные газы в

место, где они не представляют опасности и не причиняют неудобств. Для максимального снижения экологического воздействия могут устанавливаться котлы-утилизаторы [2]. Так же в установках имеется глушитель, предназначенный для снижения акустического шума, производимого двигателем, что даёт возможность размещать их вблизи потребителя, и обеспечить комфортное пользование. Генераторная установка оборудована виброизоляторами, предназначенными для снижения вибраций двигателя, передаваемых фундаменту, на котором находится установка. Эти изоляторы установлены внизу между двигателем/генератором и основанием.

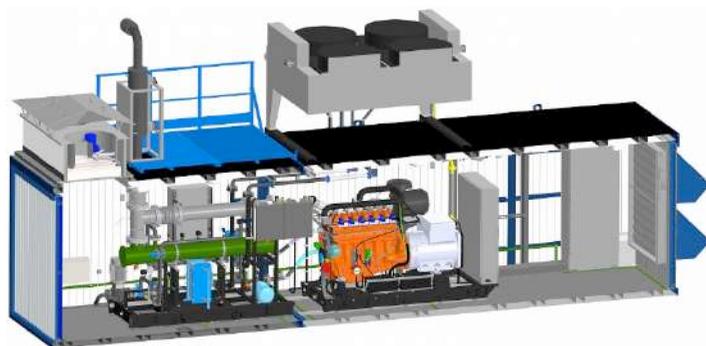


Рис. 1 – автономный энергокомплекс по выработке электрической и тепловой энергии из газа

Электроснабжение учебных корпусов НГТУ НЭТИ осуществляется от сетей 0,4 В и 10 кВ (ТП «Кировская», ТП-3916, ТП-3360, ТП-3310 и ТП-3309). Источником питания учебного корпуса энергетического факультета является трансформаторная подстанция «Кировская». Характеристика основного оборудования подстанции: один трансформатор типа ТМ напряжением низкой стороны 10 кВ.

Один из вариантов подключения ГПУ – через ТП-3360. Принципиальная схема присоединения автономной системы энергоснабжения НГТУ к сети РЭС (шинам 10 кВ ПС «Кировская») представлена на рис. 2. Территориальное расположение собственной электростанции представлено на рис. 3.

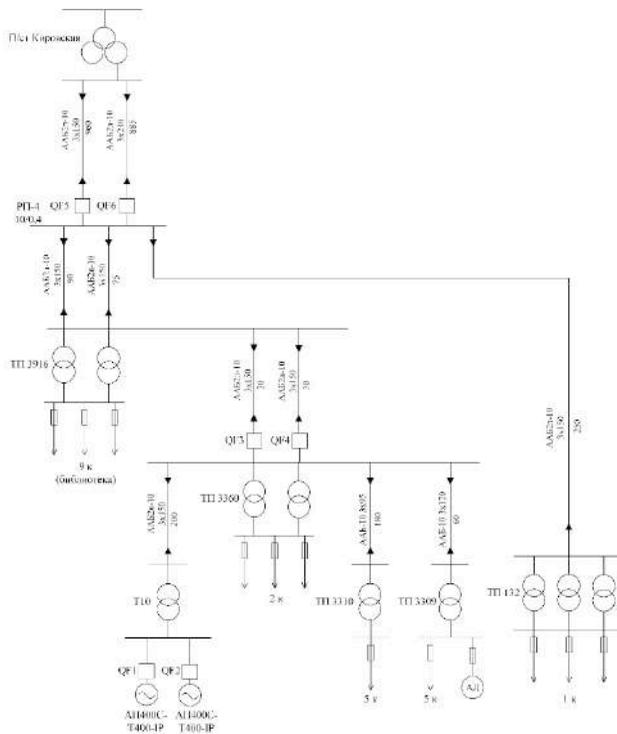


Рис.2 – Принципиальная схема присоединения автономной системы энергоснабжения НГТУ к сети РЭС

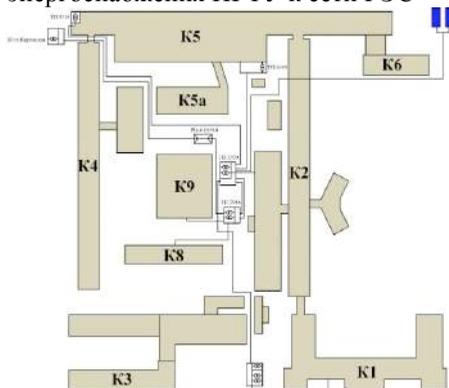


Рис 3 – Топологическая схема присоединения автономной системы энергоснабжения НГТУ к сети РЭС

Заключение. Настоящий работа – «Строительство собственной электростанции НГТУ НЭТИ» имеет целью предоставить читателям информацию о возможном создании установки совместного производства тепловой и электрической энергии на территории НГТУ.

Реализация идеи строительства собственной генерации будет служить решением сразу нескольких задач для НЭТИ:

- повышение имиджа ВУЗа (учебная ЭС в стане существует только в московском ВУЗе МЭИ);
- повышение экономической эффективности по электричеству и по теплу за счет экономии;
- улучшение экологии (газовые станции экологичнее, чем угольные);
- учебно-тренировочный полигон для студентов разных форм обучения и дополнительного профессионального образования;
- тестирование, отработка и совершенствование техники и технологий, разрабатываемых в НГТУ.

К тому же, общая тенденция развития энергетики, по мнению экспертов, направлена на увеличение использования генерирующих установок, в том числе небольшой мощности для электро- и теплоснабжения промышленных предприятий и объектов социальной сферы.

В работе предложен вариант размещения мини-электростанции, при необходимости можно рассмотреть ещё несколько вариантов.

Литература:

1. Электронный ресурс «Концепция функционирования агрегаторов распределенных энергетических ресурсов в составе Единой энергетической системы России. Агрегаторы управления спросом на электроэнергию» – URL:https://www.soups.ru/fileadmin/files/company/markets/dr/docs/dr_agregator_concept.pdf (дата обращения 25.05.2021).

2. Каталог ООО «Завод «Энергомаш Синтур-НТ» – URL: <http://sintur-nt.ru/contacts> (дата обращения 14.03.2021).

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМОМ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

П.А. Свиридова

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, onirs@corp.nstu.ru
Научный руководитель: Фролов М.Ю., к.т.н.**

Начало масштабного развития энергосистем послужило причиной необходимости учета режима работы удаленных связей при выборе противоаварийных мероприятий, осуществляемых в условиях цифровизации, которая приведет к созданию новых интеллектуальных экосистем, оперативно реагирующих на изменения различных параметров. В связи с этим, идентификация параметров позволит повысить точность расчетов и расширить область допустимых режимов работы электроэнергетических систем (ЭЭС).

The beginning of the large-scale development of power systems caused the need to take into account the mode of operation of remote communications when choosing emergency measures carried out in the context of digitalization, which will lead to the creation of new intelligent ecosystems that promptly respond to changes in various parameters. In this regard, the identification of parameters will improve the accuracy of calculations and expand the range of permissible operating modes of electric power systems (EPS).

В нашей стране актуальным становится вопрос развития сети абсолютно нового уровня, в основу которой будут положены передовые достижения и современные технологии. Уже во многих развитых странах мира активно ведутся работы по формированию интеллектуальных сетей, которые получили название Smart Grid [1].

В свою очередь, умные сети приведут к созданию новых интеллектуальных экосистем, которые ближе к потребителю и к возможности управлять процессом в режиме онлайн, за счет чего оперативно реагировать на изменения различных параметров.

Именно поэтому создание цифровой модели и идентификация параметров машин является одним из значимых процессов для эффективного управления режимами ЭЭС.

Основным принципом управления функционированием электроэнергетической отрасли служит единство и целостная связь процессов генерации, передачи, распределения и потребления электрической энергии. Этот принцип лежит в основе оперативно-диспетчерского управления, которое наряду с автоматическим, требует дополнительного вмешательства человека, но реализуется в настоящее

время в масштабах энергосистемы. Такое управление в современных условиях нуждается в использовании огромного комплекса систем сбора и обработки информации [2].

Особый порядок оперативно-диспетчерского управления поступает при возникновении аварийных режимов, которые описываются параметрами, выходящими за пределы требований технических уставов, и приводят к возможным повреждениям оборудования и ограничению подачи электрической и тепловой энергии. Появление и быстрое развитие вычислительной техники открыло широкие возможности управления настройками устройств противоаварийной автоматики (ПА).

Для регулирования данной задачи, в отличие от локальных комплексов ПА, была создана централизованная система противоаварийного управления (ЦСПА) [3]. Актуальные алгоритмы позволяют учесть возникновение недопустимых токовых перегрузок элементов сети и динамическую составляющую переходных процессов. В настоящее время существует три типа поколения ЦСПА, которые различаются технологическим алгоритмом выбора управляющих воздействий (УВ).

В отличие от алгоритмов первого и второго поколения, в ЦСПА нового поколения используется классическая динамическая и статическая модели энергосистем. В разработанном алгоритме оценивание режима ведется в полной схеме, по которой диспетчер ведет режим, а расчет УВ в эквивалентной схеме, что обеспечивает быстрое действие расчета.

Безусловно, задача идентификации заключается в определении параметров исследуемого объекта, для решения которой используются приемы моделирования. При определении практических задач идентификации линейных и нелинейных систем активно используются методы параметрической идентификации. С помощью различных способов обработки данных, полученных путем эксперимента, определяются значения параметров, которые при известной структуре модели отражают динамику поведения объекта [4].

В электроэнергетике посвящено множество работ оцениванию параметров, но основным подходом к определению параметров моделей остается метод наименьших квадратов (МНК), созданный К. Гауссом в 1795г. и приводящий к наиболее простым и универсальным решениям. МНК послужил источником к появлению других разновидностей этого метода: обобщенный МНК, метод взвешенных наименьших квадратов. Также различают градиентные методы, нейронные сети, метод пчелиного роя и др.

Многие из существующих методов идентификации, описанных в литературе, имеют отношение к синхронным машинам. Синхронные генераторы несут в себе большую часть выработки электроэнергии в мире, поэтому анализ их параметров позволит улучшить эффективность и надежность системы. Для построения цифровых моделей, необходимо знать параметры машины, такие как продольные и поперечные индуктивные сопротивления, постоянные времени, которые позволят анализировать режим работы ЭЭС.

В основе задачи параметрической идентификации лежит выбор математической модели, описывающей рассматриваемый объект. Рассмотрим математическую модель синхронной машины, составленную на основе уравнений Парка-Горева и уравнения движения ротора [5].

На рисунке 1 изображена принципиальная схема СМ с обмоткой возбуждения и двумя эквивалентными демпферными контурами по продольной и поперечной осям. Стрелки отображают положительные направления осей A,B,C,q и d.

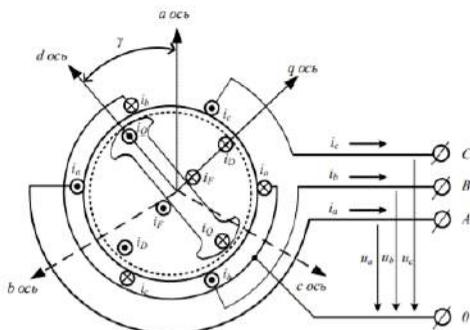


Рис.1 – Принципиальная схема синхронной машины с взаимным расположением осей abc и qd

В качестве исследуемого электромеханического параметра рассматривается постоянная механической инерции.

Итоговая формула для нахождения постоянной механической инерции принимает вид:

$$T_j = \frac{\sum_{j=1}^n \Delta P_i'' \delta_i''}{\sum_{j=1}^n \delta_i''^2} \quad (1)$$

где $\Delta P_i = P_{MEX} - P_{ЭЛ}$ – изменение мощности и δ_i'' – изменение второй производной угла ротора по времени.

В результате полученных измерений производится расчет второй производной угла ротора, электрической мощности, а также разности механической и электрической мощностей. Возмущающим воздействием в данной модели служит АПВ выключателя. Схема цифровой модели представлена на рисунке 2. Постоянная времени явнополюсного генератора цифровой модели равняется 20 с.

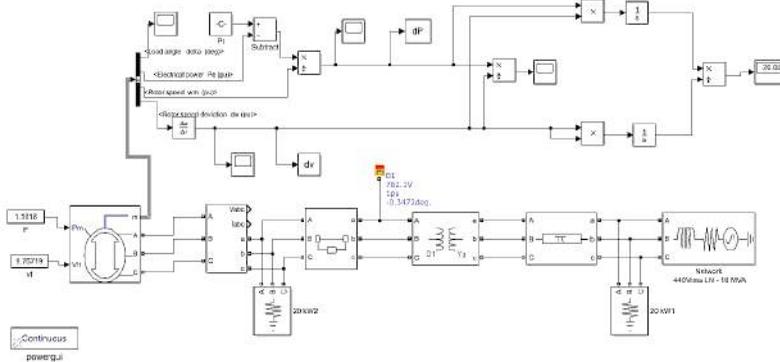


Рис.2 – Схема цифровой модели

Выполнив расчёт методом наименьших квадратов, постоянная механической инерции равняется:

$$T_{jрасч} = \frac{\sum_1^{41} \Delta P_i \delta_i''}{\sum_1^{41} \delta_i''^2} = \frac{1,6458}{0,0822} = 20,02c \quad (2)$$

Погрешность T_j составляет:

$$\Delta = \left| \frac{T_{зад} - T_{jрасч}}{T_{jрасч}} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{20 - 20,02}{20,02} \right| \cdot 100\% = 0,09\% \quad (3)$$

Полученная погрешность составляет одну десятую процента, что говорит о правильности применения и возможности существования предлагаемого метода.

Знания о параметрах оборудования позволят реализовать математическую модель объектов системы, оценить её устойчивость и повысить точность оперативно-диспетчерского управления, а также настройки противоаварийной автоматики.

Литература:

1. Кобец Б. Б., Волкова И. О. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid. – М.: ИАЦ Энергия, 2010. – 208 с.
2. Федеральный закон от 26 марта 2003 г. N 35-ФЗ "Об электроэнергетике".
3. Кошечев, Л.А. ЦСПА на базе алгоритмов нового поколения – очередной этап в развитии противоаварийного управления в энергосистемах / Л. А. Кошечев, Н. Г. Шульгинов // Известия НТЦ Единой энергетической системы. - 2013. – № 68. – С. 7-15.
4. А. Н. Дилигенская. Идентификация объектов управления. – Самара: СГТУ, 2009. -136 с.
5. Веников, В. А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах. – М.: Высш. шк., 1970. – 472 с.

ОТБОР ПРИЗНАКОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ АНСАМБЛЕВЫХ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В ЗАДАЧЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ

Н.Н. Сергеев

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, veegresatikin3102@gmail.com**

Научный руководитель: Манусов В.З., д.т.н., профессор

В работе оценивается влияние различных подходов к отбору признаков на эффективность прогнозирования электропотребления методами машинного обучения. Определение наиболее важных признаков исходного временного ряда осуществляется с помощью коэффициентов корреляции. В качестве дополнительного признака был использован график плановых ремонтов. Результаты показали, что данные по ремонтным работам повышают точность прогноза, а использование только отобранных признаков вместо всего временного ряда позволяет ускорить обучение модели без потери качества.

In this paper, the impact of various feature selection approaches on the efficiency of machine learning-based electricity load forecasting is evaluated. The most significant features of the original time series are determined by means of correlation

coefficients. The repair schedule was used as an additional feature. The results showed that the repair schedule usage increases the forecast accuracy, and using only selected features instead of the entire time series can accelerate the training of the model without loss of quality.

Введение. Основной задачей прогнозирования является получение графика нагрузки на период упреждения от нескольких часов до нескольких суток для эффективного управления режимами и повышения надежности и экономичности электроэнергетических систем [1]. Существует множество методов прогнозирования электропотребления. Среди них можно выделить классические методы и методы машинного обучения. Первая группа включает в себя различные регрессионные, авторегрессионные и вероятностные методы [2]. К методам машинного обучения относят искусственные нейронные сети [3], методы опорных векторов [4] и ансамблевые методы [5].

Постановка задачи имеет следующий вид: дана выборка входных данных $\{X, R, T\}$; необходимо создать модель, которая на основе этих данных строит прогноз электропотребления на 24 часа вперед:

$$y^* = f(\{x_1, x_2, \dots, x_{24m}\}, R, \{t_1, t_2, \dots, t_5\}),$$

где x_1, x_2, \dots, x_{24m} – данные почасового электропотребления за m предыдущих суток; R – бинарная переменная, принимающая значение 1, если рассматриваемый час попадает в период ремонтных работ, иначе 0; t_1, t_2, \dots, t_5 – час суток, день недели, число, месяц и год того часа, соответствующему началу прогноза; y^* – почасовой прогноз электропотребления на 24 часа вперед.

В качестве метрик качества модели были выбраны средний модуль ошибки (MAE) и средний модуль процентной ошибки (MAPE).

Метод решения. Для создания модели были использованы следующие ансамблевые методы машинного обучения: адаптивный бустинг (AdaBoost, AB), градиентный бустинг (Gradient Boosting, GB) и случайный лес (Random Forest, RF) [6]. Выбор ансамблевых методов обусловлен наличием бинарного признака R , учитывающий проведение ремонтных работ в определенные моменты времени. Поэтому важным моментом при работе с такими моделями является отбор признаков [7]. В машинном обучении для отбора признаков используются различные критерии: коэффициент корреляции, евклидово расстояние, мера информации и другие [8].

Результаты. В рассматриваемой задаче исходной информацией является почасовое потребление мощности промышленного

предприятия за 2 года, в период с 01.01.2019 по 31.12.2020, а также график плановых ремонтных работ на этот период. На рис. 1 приведено изменение коэффициента корреляции Спирмена между электропотреблением в рассматриваемый час и в предыдущие часы за две недели.

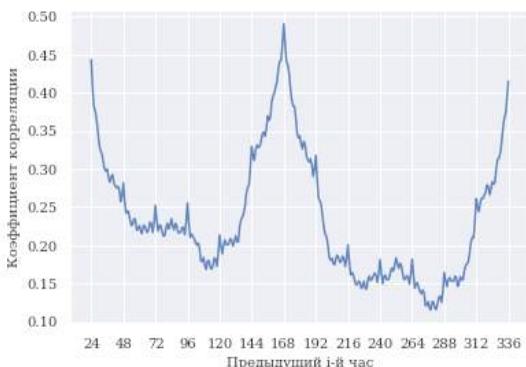


Рис.1 – Коэффициенты корреляции между электропотреблением в рассматриваемый час и в предыдущие часы

Видно возрастание коэффициента корреляции между текущим часом и часами, отстоящими от него на кратное число суток; наибольшая корреляция наблюдается между текущим часом и часами, отстоящими на 168 и 336 часов, то есть в технологическом процессе исследуемого предприятия отчетливо выделяются недельные циклы. Для построения прогноза наиболее важными признаками являются значения потребляемой энергии в часы, отстоящие от рассматриваемого на кратное число суток.

В табл. 1 приведены гиперпараметры используемых ансамблевых моделей. Выборка была поделена на обучающую и тестовую, 9 к 1.

Таблица 1 – Гиперпараметры моделей

Модель	Гиперпараметры	
	Максимальная глубина дерева	Размер ансамбля
AdaBoost	8	50
Gradient Boosting	5	50
Random Forest	7	30

Для оценки влияния выбора признаков на точность прогноза модели было рассмотрено 4 варианта обучения модели:

- 1) электропотребление за каждый час с учетом ремонтных работ;
- 2) электропотребление только за отобранные часы с учетом ремонтов;
- 3) электропотребление за все часы без учета ремонтных работ;
- 4) электропотребление только за отобранные часы с учетом ремонтов.

Оценки точности моделей, обученных по различным вариантам выбора признаков, приведены в табл. 2 и табл. 3.

Таблица 2 – Оценка точности моделей MAPE, %

Модель	Используемые признаки			
	Все часы, с ремонтом	Отобранные часы, с ремонтом	Все часы, без ремонта	Отобранные часы, без ремонта
AB	6,1	6,9	8,0	9,74
GB	5,7	5,8	7,2	7,3
RF	5,9	5,8	7,5	7,5

Таблица 3 – Оценка точности моделей MAE, кВт·ч

Модель	Используемые признаки			
	Все часы, с ремонтом	Отобранные часы, с ремонтом	Все часы, без ремонта	Отобранные часы, без ремонта
AB	203,6	234,1	244,7	312,3
GB	185,6	188,0	212,7	215,6
RF	191,9	191,2	219,6	222,8

Видно, что использование в качестве признаков всего рассматриваемого временного ряда электропотребления не дает существенного прироста точности в сравнении с использованием электропотребления только в наиболее значимые часы и в некоторых случаях может даже приводить к снижению точности: разница средних модулей процентной ошибки Random Forest составила 0,1 процентных пункта или 1,7 %.

Использование графика ремонтных работ также позволяет повысить точность прогноза. Для наилучшей по качеству модели Gradient Boosting повышение точности составило 1,5 процентных пункта или 20,8 %. На рис. 2 показаны истинный график электропотребления и графики прогноза электропотребления, полученные с помощью градиентного бустинга на тестовой выборке как с использованием данных по ремонтным работам, так и без них. Видно, что включение в признаки графика ремонтных работ повышает точность модели на

участках низкого электропотребления, связанных с крупными ремонтными работами.

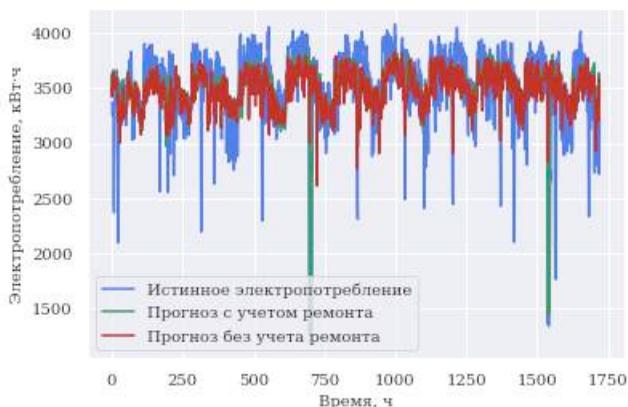


Рис. 2 – Сопоставление истинных графиков электропотребления и прогнозов

Заключение. Выполнен анализ эффективности ансамблевых моделей машинного обучения в задаче прогнозирования электропотребления предприятия при различных подходах к отбору признаков. С помощью определения коэффициентов корреляции были определены наиболее значимые признаки рассматриваемого временного ряда. Установлено, что использование всего временного ряда для построения прогноза не дает существенного прироста точности, а в определенных случаях, наоборот, может приводить к снижению. Кроме того, использование данных только по отобранным часам позволяет на порядок снизить длительность обучения модели без потерь в точности, что повышает ее эффективность. Полученные результаты показывают, что использование графика ремонтных работ также повышает точность прогноза. Для рассмотренных моделей снижение ошибки составило от 20 до 30 %.

Литература:

1. Филиппова Т.А. Энергетические режимы электрических станций и электроэнергетических систем: учебник. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2018. – 294 с. – (Серия «Учебники НГТУ»).
2. Методы прогнозирования электропотребления в распределительных сетях (обзор) / Абдурахманов А.М., Володин М.В.,

Зыбин Е.Ю., Рябченко В.Н. // Электротехника: сетевой электронный научный журнал. – 2016. – Т.3, №1. – С. 3-23.

3. *B. Neupane, K.S. Perera, Z. Aung, W.L. Woon.* Artificial neural network-based electricity price forecasting for smart grid deployment // 2012 IEEE International Conference on Computer Systems and Industrial Informatics, ICCSII12, Sharjah, United Arab Emirates, 18–20 dec. 2012: Proceedings. – Sharjah, 2012. – P. 1-6.

4. *Н. Д. Поляхов, И. А. Приходько, Ван Ефэн.* Прогнозирование электропотребления на основе метода опорных векторов // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2014. – №10. – С. 26–30.

5. *W. Shen, V. Babushkin, Z. Aung, W.L. Woon.* An Ensemble Model for Day-ahead Electricity Demand Time Series Forecasting // 4th international conference on Future energy systems, e-Energy '13, Berkley, USA, 21–24 may 2013: Proceedings. – Berkley, 2013. – P. 51–62.

6. Scikit-learn: Machine Learning in Python / F. Pedregosa et al. // Journal of Machine Learning Research. – 2011. – Vol. 12, N 85. – P. 2825–2830.

7. *Антоненков Д.В., Матренин П.В.* Исследование ансамблевых и нейросетевых методов машинного обучения в задаче краткосрочного прогнозирования электропотребления горных предприятий // Электротехнические системы и комплексы. – 2021. – № 3(52). – С. 57-65.

doi: 10.18503/2311-8318-2021-3(52)-57-65

8. Feature selection in machine learning: A new perspective / J. Cai, J. Luo, S.Wang, S. Yang // Neurocomputing. – 2018. – Vol. 300. – P. 70–79. – doi: 10.1016/j.neucom.2017.11.077

РАЗВИТИЕ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ИЗОЛИРОВАННЫХ РАЙОНОВ РОССИИ

А.А. Софронеев

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, [sofroneevalbert@gmail.com](mailto:sufroneevalbert@gmail.com)

Научный руководитель: Арестова А.Ю., старший преподаватель

Большинство северных районов России не обладает централизованным электроснабжением. Основным источником электроэнергии в них является, как правило, дизельная электростанция (ДЭС). Развитие систем электроснабжения изолированных районов осуществляется путем применения ДЭС совместно с солнечной электростанцией (СЭС) и системой накопления

электроэнергии (СНЭ). В статье представлен расчет системы электроснабжения села Хонуу при совместном использовании ДЭС и СЭС.

Most of the northern regions of Russia do not have a centralized electricity supply. The main source of electricity there is a diesel power plant. The development of power supply systems for isolated areas is carried out using diesel power plants in conjunction with a solar power plant and an electricity storage system. The paper presents the designing of the power supply system of the Khonuu village with the joint use of diesel and solar power plants.

Введение. Россия обладает самими обширными территориями в мире, связи с этим, значительная часть регионов не обладает централизованным электроснабжением. Около 60% всех районов РФ имеют децентрализованное электроснабжением, в основном это северные регионы. Электроснабжение осуществляется с помощью дизельных электростанций на дорогом поставляемом топливе. Количество таких электростанций насчитывает более 5000, и они обладают высоким износом электрооборудования. Несвоевременные ремонтные работы и модернизация приводят к частым аварийным отключениям. Дизельными электростанциями вырабатывается около 1,8 млрд кВт·ч электроэнергии, с ежегодным потреблением топлива 0,8 млн. т.у.т. [1,2].

Для снижения объема потребляемого топлива, повышения качества и надежности электроснабжения, требуется модернизация электростанций. Одним из вариантов развития станций является использование ДЭС совместно с возобновляемыми источниками энергии.

В работе рассмотрена модернизация действующей ДЭС села Хонуу, Республика Саха (Якутия), где планируется совместное использование ДЭС с СЭС и СНЭ. Для оценки солнечного потенциала и доли участия СЭС в графике нагрузки (ГН) было спрогнозировано три типовых ГН. Типовые ГН построены с помощью временного ряда и данных среднегодовой нагрузки (рис. 1) [3].

Определение солнечного потенциала осуществлено по суммарной солнечной радиации села Хонуу (λ , кВт·ч/м²) [4]. Для получения зависимости вырабатываемой солнечной энергии от времени суток приняты следующие параметры:

- мощность пропорциональна углу солнечной панели,
- диапазон угла от 0-180°,
- восход равен 0°, а закат равен 180°, чтобы мощность не была равно 0 в момент восхода/заката, то возьмем отклонение в 1°.

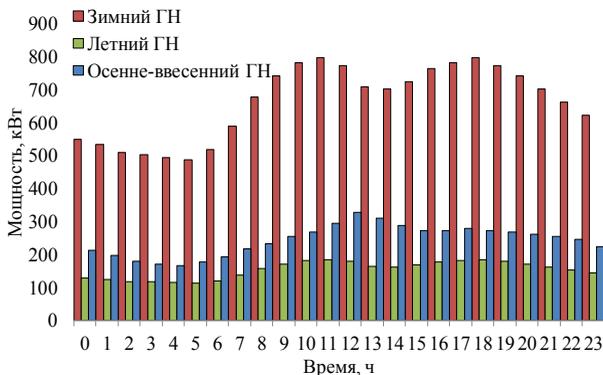


Рис. 1 – Среднесуточные графики нагрузки для зимы, осени/весны, лета

У каждого значения солнечной активности свой угол, изменяющийся на одинаковое значение. Найдем мощность, которую можно получить с площади 1 м^2 за 1 час по формуле (1). Построим суточные графики активных мощностей вырабатываемой энергии с шин СЭС по сезонам (рисунок 2).

$$P_{\text{ср.год}}^{\text{пр}} P_i^* = \frac{\lambda}{24} \sin \varphi \quad (1)$$

где λ – среднесуточная солнечная радиация для каждого из сезонов года, φ – угол положения солнечной панели.

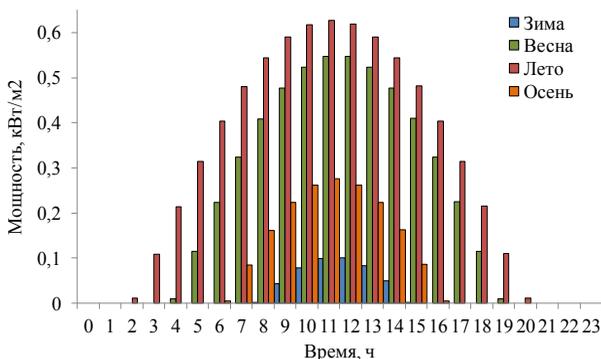


Рис. 2 – Суточные графики активных мощностей вырабатываемой энергии солнца для зимы, весны, лета, осени

Составим баланс мощности электроэнергетической системы, где будут задействованы ДЭС, СЭС и СНЭ. Для примера приведем баланс мощности в зимний и летний период (рис. 3). В качестве аварийного и нагрузочного резерва выступает аккумуляторные батареи (АКБ).

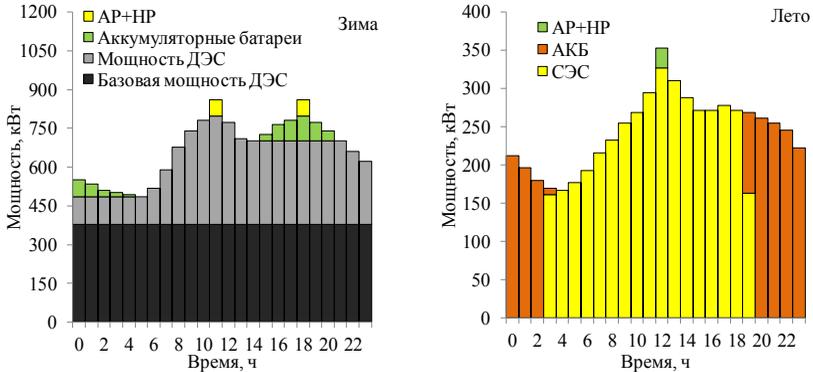


Рис.3 – Баланс мощности ЭЭС с. Хонуу в зимний и летний периоды

Найдем расход топлива при работе только ДЭС и ДЭС совместно с СЭС и СНЭ. Для нахождения абсолютного расхода топлива дизельным генератором для каждой i -ступени среднесуточного графика нагрузки, определяется по формуле (2) [5]:

$$\Gamma_i = g_{ном} K_{износ} K_{реж_i} \mathcal{E}_{выраб_i} \cdot 10^{-3}, кг \quad (2)$$

где $g_{ном}$ – удельный расход топлива двигателя по паспортным данным, г/кВт·ч; $K_{износ}$ – коэффициент износа; $K_{реж_i}$ – режимный коэффициент, учитывающий изменение удельного расхода топлива при работе ДЭС с нагрузкой; $\mathcal{E}_{выраб_i}$ – выработка электроэнергии, i -ступени среднесуточного графика нагрузки, кВт·ч.

Общий годовой расход топлива при работе только ДЭС составил 977,7 тонн, а при совместной работе ДЭС с СЭС и СНЭ составил 778,92 тонн. Суммарная экономия топлива составила 20 % в год.

Закключение

Развитие систем электроснабжения изолированных районов России путем совместной работы ДЭС, СЭС и СНЭ, улучшает качество жизни жителей этих районов, обеспечивая население качественным, надежным и бесперебойным электроснабжением. В летний и весенний период

энергии, получаемой от солнца, достаточно, несмотря на условия Крайнего Севера, для обеспечения села электроэнергией. Накопленная энергия от СЭС в АКБ, будет обеспечивать электроснабжение в часы отсутствия солнца и/или в качестве аварийного резерва. Также СЭС и СНЭ позволяет снизить расходы на топливо. Так как при работе СЭС и СНЭ снижаются часы работы ДЭС, что приводит к уменьшению износа электрооборудования. Тандем СЭС и СНЭ позволяет эффективно использовать возобновляемый источник энергии, также СНЭ способна на выравнивание графиков нагрузки, что положительно влияет на дизель-генератор, при этом присутствует равномерный удельный расход топлива.

Литература:

1. Суслев К.В. Развитие систем электроснабжения изолированных территорий России с использованием возобновляемых источников энергии // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2017. Т. 21. № 5. С. 131–142.

2. Оценка расходов на энергоснабжение в регионах Крайнего Севера [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=6664. – дата обращения 10.07.2021.

3. Официальный сайт Сахаэнерго. Характеристика сетей за 2016 год [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://old.sakhaenergo.ru/index.php?option=com_content&task=view&id=824. – дата обращения: 15.06.2021.

4. МСН 23-01-2013. Строительная климатология. Межгосударственные строительные нормы. Основные положения: изм.: взамен МСН СНиП 23-01-99:введ.01.01.13. –М.: Изд-во стандартов, 2013. – 169 с.

5. Министерство промышленности и энергетики российской федерации. Приказ от 4 октября 2005 года N 268. «Об организации в Министерстве промышленности и энергетики Российской Федерации работы по утверждению нормативов удельных расходов топлива на отпущенную электрическую и тепловую энергию от тепловых электростанций и котельных». Зарегистрировано в Министерстве юстиции Российской Федерации 28 октября 2005 года, регистрационный N 7117.

ОПЕРАТИВНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА В ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РЕЖИМАХ

Р.Ю. Степанович, М.Ю. Фролов

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, gamaz1211@mail.ru**

Научный руководитель: Лизалек Н.Н., д.т.н., профессор

В статье обосновывается важность идентификации параметров основного оборудования энергосистем в эксплуатационных режимах для построения интеллектуальной системы управления режимом электрической сети. Авторами разработаны методы оперативной идентификации синхронного индуктивного сопротивления и постоянной инерции синхронного генератора.

The paper substantiates the importance of identifying the parameters of the power systems main equipment in operation modes for creating an intelligent control system for the electrical network mode. The authors have developed methods for the operational identification of synchronous reactance and inertia constant of synchronous generator.

В настоящее время одной из главных тенденций в развитии систем управления энергосистемами является интеллектуализация сети. К настоящему времени в рамках данной тенденции в Единой Энергосистеме России сформировалось направление развития противоаварийной автоматики, использующей адаптивные алгоритмы [1]. Для функционирования этой автоматики требуется построение точных моделей энергосистем, что влечет необходимость решения задачи оценивания состояния энергосистемы и параметров ее оборудования на новом уровне, подразумевающим больший охват, более высокую скорость и точность получения данных. В связи с этим возникает потребность в создании подсистемы идентификации параметров оборудования, включённого в электрическую сеть, работающей автоматически и в темпе процесса.

Основным источником электроэнергии в энергосистемах являются синхронные генераторы, поэтому перспективная интеллектуальная система управления должна уметь определять их параметры в рабочем режиме. В рамках проведенной работы были разработаны методы оперативной идентификации синхронного индуктивного сопротивления и постоянной инерции синхронного генератора (СГ). Для проведения исследования была выбрана модель синхронной машины, в основе которой лежат упрощенные уравнения Парка-Горева и уравнение движения ротора [2].

В ходе исследования был разработан метод идентификации синхронного индуктивного сопротивления x_d , базирующийся на рассмотрении установившегося режима работы СГ. В этом режиме неявнополюсная машина моделируется внутренней ЭДС E_q за сопротивлением x_d :

$$E_q = \sqrt{\left(U_r + \frac{Q \cdot x_d}{U_r} \right)^2 + \left(\frac{P \cdot x_d}{U_r} \right)^2} \quad (1)$$

где P , Q , U_r – активная, реактивная мощности и напряжение статора генератора соответственно. Полученная зависимость устанавливает соответствие между E_q и x_d , а это значит, что в случае введения дополнительного измерительного канала, по току возбуждения, можно однозначно определить ЭДС и сопротивление в любом квазистационарном режиме. Для того чтобы снизить влияние погрешностей измерения, помех и погрешности самой модели, был применен метод наименьших квадратов, в рамках которого было необходимо найти минимум следующей функции:

$$J_{E_q}(x_d) = \sum_{j=1}^n e_j^2 = \sum_{j=1}^n (E_{qj} - E_{qM})^2 \quad (2)$$

где E_{qj} , E_{qM} – измеренное и модельное значения ЭДС генератора соответственно. При расчете в относительных единицах E_q соответствует току возбуждения i_f . Зависимость $J_{E_q}(x_d)$ представляет собой выпуклую функцию с одним глобальным минимумом и для нахождения этого минимума можно воспользоваться различными методами оптимизации. В данном исследовании был использован один из методов случайного поиска.

Идентификация постоянной инерции базируется на рассмотрении уравнения движения ротора:

$$\frac{T_j}{\omega_0} \frac{d^2\delta}{dt^2} + K_d \frac{d\delta}{dt} = P_T - P_{ЭЛ} \quad (3)$$

или без учета демпфирующей составляющей:

$$\frac{T_j}{\omega_0} \frac{d^2\delta}{dt^2} = P_T - P_{ЭЛ} \quad (4)$$

Где T_j – постоянная инерции; ω_0 – синхронная угловая скорость; δ – угол ротора; K_d – коэффициент демпфирования; P_T – мощность турбины; $P_{ЭЛ}$ – синхронная электрическая мощность на шинах СГ. Уравнение (3) использовалось для идентификации T_j при малых колебаниях ротора на относительно длинном промежутке времени, т.к. позволяет учитывать затухание колебаний. Уравнение (4) было использовано для идентификации T_j на более коротких временных интервалах, но при более значительных возмущениях.

В рамках первого из предложенных методов идентификации T_j оценка параметра производилась по затухающим гармоническим колебаниям, наблюдающимся при сохранении устойчивости генератора и описываемым следующим выражением:

$$\Delta\delta(t) = A_0 e^{-\alpha t} \cos(\gamma t + \varphi) \quad (5)$$

где $\gamma = 1/T$ – собственная частота колебаний ротора, $\Delta\delta$ – приращение угла относительно начального значения δ_0 , $\alpha = \frac{1}{T} \ln \left(\frac{\delta_i - \delta_0}{\delta_{i+1} - \delta_0} \right)$ – логарифмический декремент затухания. Таким образом, имея параметры переходного процесса, можно определить искомую величину:

$$T_j = \frac{C_1}{\alpha^2 + \gamma^2} \cdot \omega_0 \quad (6)$$

где C_1 – производная от активной мощности при угле δ_0 , называемая синхронизирующей мощностью.

Во втором из предложенных методов для идентификации T_j был применен регрессионный анализ. Обозначив $\Delta P = P_T - P_{ЭЛ}$ и $d^2\delta/dt^2 = \delta''$, перепишем (4):

$$T_j \delta'' = \Delta P \quad (7)$$

Значения δ'' и ΔP определяются по датчику скорости ротора и измерениям электрической мощности при том допущении, что в переходном режиме $P_T = \text{const}$. Применяв метод наименьших квадратов, получим расчетное выражение для нахождения T_j :

$$T_j = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta P_i \delta_i^n}{\sum_{i=1}^n (\delta_i^{n2})} \cdot \omega_0 \quad (8)$$

Проверка работоспособности методов идентификации проводилась с использованием приемов цифрового и физического моделирования. Роль возмущающего воздействия выполняло отключение и повторное включение связи «генератор-система». Результаты исследования методов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты проверки методов идентификации

Метод	Цифровая модель			Физическая модель
	Заданное значение параметра	Расчетное значение параметра	Погрешность, %	Расчетное значение параметра
Оценка x_d , о.е.	1,305	1,297	0,61	0,76
Оценка T_j по гармоническим колебаниям, с	6,4	6,75	5,47	9,4
Регрессионная оценка T_j , с	6,4	6,376	0,38	9

Для проведения физического эксперимента использовался синхронный генератор, подвергавшийся различным модификациям для проведения лабораторных исследований. По этой причине паспортные данные, сделанные для серийных машин, непригодны для верификации полученных результатов. Для решения этой проблемы был проведен опыт внезапного короткого замыкания на шинах синхронного генератора [3]. В результате было получено значение синхронного индуктивного сопротивления генератора: $x_d = 0,715$ о.е. Это значение близко соотносится с тем, что приведено в таблице 1, что позволяет говорить о достоверности полученных результатов. Хотя верификация результатов применения разработанных методов на физической машине затруднительна, тем не менее, проанализировав полученные данные, можно сказать, что они заслуживают доверия. Для этого можно привести несколько аргументов. Во-первых, все разработанные методы показали небольшую погрешность при цифровом моделировании. При этом методы, использующие для обработки данных метод наименьших квадратов, оценили параметры с погрешностью менее одного процента, что позволяет ориентироваться на их оценку и при физическом эксперименте. Во-вторых, оба метода идентификации постоянной инерции при физическом эксперименте дали оценку с расхождением

менее 5 %, что также позволяет говорить об их работоспособности, а результаты идентификации x_d были проверены проведением классического эксперимента.

В ходе проделанного исследования были разработаны методы идентификации электромеханических параметров синхронного генератора. Достоинством данных методов является возможность их применения в процессе эксплуатации машины без необходимости проведения специальных экспериментов. Достигнутый результат позволяет продвигаться в вопросе создания подсистемы идентификации, необходимой для создания системы автоматического интеллектуального управления сетями.

Литература:

1. Централизованная система противоаварийного управления [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.soups.ru/functioning/tech-base/rza/rza-org/rza-cspa/>

2. Жданов, П. С. Вопросы устойчивости электрических систем/ П. С. Жданов. – М.: Энергия, 1979. – 456 с.

3. Жерве, Г.К. Промышленные испытания синхронных машин / Г.К. Жерве. – 4-е изд., сокр. и перераб. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отделение, 1984. – 408 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ФИДЕРАХ НАПРЯЖЕНИЕМ 10 КВ

Т.П. Шипицин

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, okre9@mail.ru**

Научный руководитель: Лыкин А.В., к.т.н., доцент

В работе рассмотрены способы снижения потерь в распределительных электрических сетях среднего напряжения. Выполнены исследования по применению в фидерах способа, основанном на реконфигурации фидера путем поиска оптимальной точки разделения для фидеров с двусторонним питанием и поиска оптимальной конфигурации в фидерах с фиксированной точкой разделения от сети резервного питания. Для отдельного случая исследовано влияние на поиск оптимального решения типа суточного графика нагрузки.

The paper considers ways to reduce losses in medium-voltage distribution networks. Studies have been carried out on the application of the method based on the

reconfiguration of the feeder in feeders by searching for the optimal separation point for feeders with two-way power supply and searching for the optimal configuration in feeders with a fixed separation point from the backup power supply network. For a separate case, the influence of the type of daily load schedule on the search for an optimal solution is investigated.

Электрические сети 6-10 кВ имеются практически повсеместно во всех регионах России и по протяженности лидируют среди остальных классов напряжений.

Конфигурация электрических сетей 6-10 кВ выбирается в зависимости от категории потребителей по надежности электроснабжения и назначения электрической сети – городские, сельские, промышленных предприятий и пр.

Различают электрические схемы кольцевые, магистральные с односторонним и двусторонним питанием и радиальные. Кольцевые схемы в замкнутом состоянии на среднем напряжении не используются, и они разделяются на две разомкнутые схемы. Такие схемы называют петлевыми.

Существуют следующие виды схем электрических сетей 6-10 кВ:

- радиальная
- одиночная магистраль
- смешанные – радиально-магистральные
- двойная магистраль с односторонним питанием
- двойная магистраль с двусторонним питанием

Для городских электрических сетей для питания потребителей первой категории получили распространение так называемые лучевые схемы.

Несмотря на наличие нескольких источников питания все электрические сети работают в разомкнутом режиме, т. е. являются радиально-магистральными. Это связано с обеспечением надёжности и экономичности электроснабжения в таких сетях.

Для повышения уровня надежности в электрических сетях выполняют их секционирование и резервирование (в том числе и по сети низкого напряжения). С помощью разъединителей, выключателей и другой коммутационной аппаратуры в электрических сетях можно разделять или отключать ее различные участки по разным причинам, в том числе, из-за их аварийного состояния или ремонта.

Наличие коммутационной аппаратуры на линейных объектах электрических сетей позволяет осуществлять многовариантные коммутационные состояния при сохранении полного снабжения потребителей электрической энергией. Выбор точек разделения сети на

радиально-магистральные участки определяется несколькими критериями:

- уровень надежности
- ограничение токов короткого замыкания
- пропускная способность
- экономичность.

Из выше сказанного, можно считать, снижение потерь в электрических сетях 10 кВ путем изменения ее конфигурации (реконфигурации) целесообразно и актуально

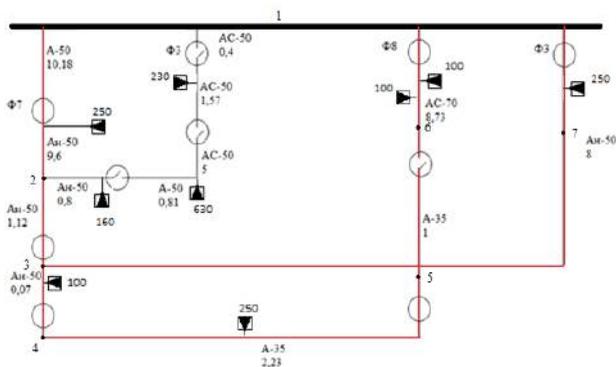


Рис. 1 – Схема Ярково-Боровская

Метод поиска оптимального решения примем как перебор возможных точек размыкания, т.е поочередно будем менять точку разделения контуров фидера, с учетом имеющихся (установленных) коммутационные аппаратов и, возможно, с обоснованием установки дополнительных аппаратов.

Сведем полученные результаты расчета потерь для разных конфигураций фидера в таблицу 1.

Для более наглядного представления результатов построим гистограмму суммарных потерь в виде значений потерь в зависимости от точки размыкания (рис. 2).

Из гистограммы видно, что наименьшие суммарные потери достигаются при коммутации разъединителя 2-3. Суммарные потери активной мощности составляют 78,51 кВт. Стоит заметить, что в исходной схеме ветвь 5-6 разомкнута и потери составляют 120,8 кВт. Но так как график вблизи оптимальной линии размыкания имеет пологую зависимость, то целесообразно исследовать и соседние линии для того, чтобы проследить изменение потокораспределения и учесть наличие коммутационной аппаратуры.

Таблица 1 – Результаты расчета потерь при различных точках коммутации

Узел	Ветвь размыкания	Суммарные потери, кВт	Напряжение, кВ
1	1-2	112,7	10,5
2	2-3	78,51	10,281
3	3-4	84,5	9,963
4	4-5	85,6	9,966
5	5-6	120,8	10,032
6	6-1	139,9	10,135
7	3-7	130,7	10,486
1	7-1	192	10,5

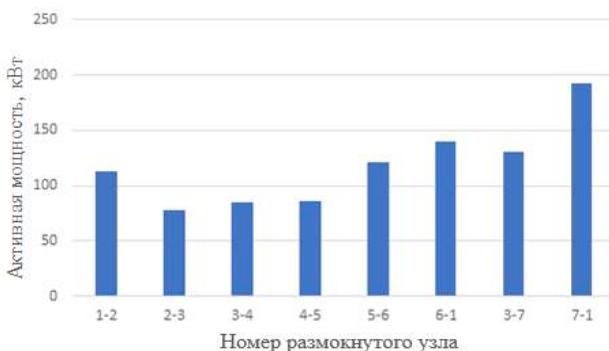


Рис. 2 – Гистограмма суммарных потерь.

Далее рассчитаем потери мощности в сети, исходя из изменения мощностей нагрузок фидера в суточном графике нагрузки. Зададимся произвольным графиком нагрузки, характерным для сельской местности (рис. 3).

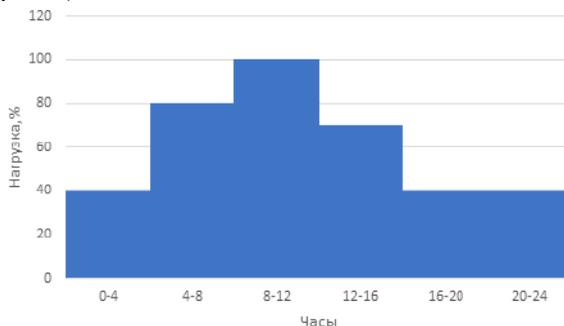


Рис. 3 – График нагрузки.

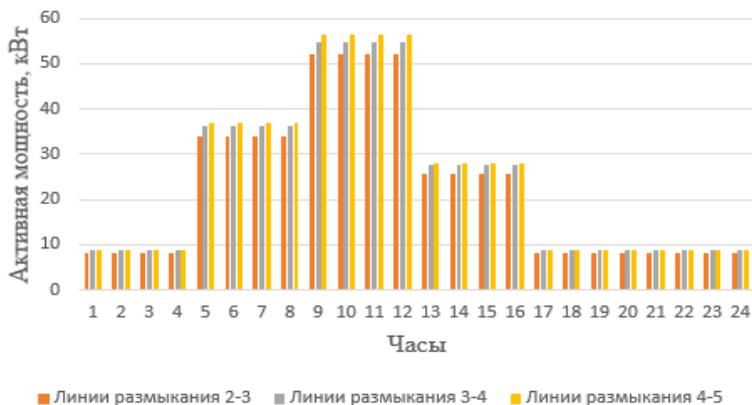


Рис. 4 - Изменение потерь мощности при разных точках размыкания, на суточном периоде

По графикам видно, что, хоть и разница в потерях, при разных точках размыкания - небольшая, но на протяжении всего дня потери мощности в линии 2-3 минимальны. Разница в потерях составила $\Delta 42,3$ кВт.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что в данной электросети оптимальным местом размыкания сети, служит линия 2-3. Такой зависимости, при которой оптимальная точка размыкания не изменяется, способствует тот фактор, что в данном случае мы имеем практически однородную сеть, так как за исключением трех линий, все остальные выполнены из одного и того же провода АС-50, что влияет на результате.

Литература:

1. Abubakar A. S., Ekundayo K. R., Olaniyan A. A. Optimal reconfiguration of radial distribution networks using improved genetic algorithm //Nigerian Journal of Technological Development. – 2019. – Т. 16. – №. 1. – С. 10-16.
2. Sellami R. et al. Optimal Reconfiguration of Radial Distribution Networks for an hourly variation in daily load consumption //2020 6th IEEE international energy conference (ENERGYCon). – IEEE, 2020. – С. 1013-1018.
3. Железко Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство для практических расчетов / Ю.С. Железко. – М.: ЭНАС, 2009. – 456 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗАРЯДНОЙ СТАНЦИИ С ИНВЕРТОРНЫМ РЕЖИМОМ РАБОТЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

С.А. Юрков

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, semen.urk@mail.ru
Научный руководитель: Мятёж Т.В., к.т.н., доцент

В данной работе ведутся исследования по разработке схемы подключения и проектирование зарядной станции. Расчет основывается на выборе оборудования и проверке его по всем нормативам. Рассматриваются и анализируются электромобили, зарядные станции и методы организации зарядных станций, так же производится расчет, выбор и проверка всего оборудования, необходимого для проекта.

In this work, research is being conducted on the development of a connection scheme and the design of a charging station. The calculation is based on the selection of equipment and its verification according to all standards. Electric vehicles, charging stations and methods of organizing charging stations are considered and analyzed, as well as calculation, selection and verification of all equipment necessary for the project.

Современные тенденции в транспортной инфраструктуре очевидны в том, что все больше и больше транспортных средств переходят на электрическую тягу. Вместо двигателя внутреннего сгорания эти автомобили оснащены электродвигателем, который получает энергию от аккумуляторных батарей. Важность и острота проблемы экологической безопасности повышается с каждым днем. Автомобили с двигателем внутреннего сгорания вырабатывают до 70 % вредных выбросов в атмосферу, объём выбросов за год в мире составляет более 25 млн. т. загрязняющих веществ различного происхождения, которые являются крайне опасными для природы в целом. В среднем каждый год они увеличиваются на 3 %. Поглощая кислород, автомобиль интенсивно выбрасывает в воздушную среду выхлопные газы, что приводит к увеличению ежегодного экологического ущерба. Электромобили способны решить эту проблему. Так же в некоторых регионах существует дефицит электроэнергии для потребителей, зарядная станция, способная работать в инверторном режиме, может обеспечить электроэнергией от аккумулятора электромобилей сеть в моменты пиковых нагрузок. Если повсеместно будут использоваться электромобили и такие зарядные станции, которые заряжают аккумуляторы ночью, а днём в пики нагрузки выдают эту энергию в сеть, то это решит проблему с дефицитом электроэнергии. Исходя из

этого можно сделать вывод, что проблема разработки инфраструктуры заправочных станций для электромобилей является чрезвычайно важной в современном мире. На данном этапе развития электротранспорта именно недостаточно развитая инфраструктура сервиса и заправки может стать решающим фактором, ограничивающим рост количества электротранспорта.

Проанализировав рынок электромобилей, становится понятно, что самые популярные электромобили от компании Tesla, обладающие внушительными техническими характеристиками. В комплекте с каждым из производимых на данный момент электромобилем TeslaMotors поставляется оригинальное зарядное устройство (MobileConnector) однофазного (американская спецификация) или трехфазного 15 тока (европейская спецификация) который можно подключить к домашней электросети. За дополнительную плату можно приобрести портативную зарядку увеличенной мощности (HighPowerWallConnector). Каждая из них способна работать в широком диапазоне температур (-40 – +50) °С. Скорость заряда автомобиля при этом колеблется от 80 до 150 км пробега за каждый час зарядки (при подключении к домашней электросети напряжением 220 В - 14 км за час зарядки).

Зарядная станция — это электротехническое устройство, элемент городской инфраструктуры, оснащённое необходимыми для подключения электромобилей разъёмами и коннекторами и предоставляющее электроэнергию для зарядки электромобилей, электробусов, электровелосипедов в различных режимах варианты подключения зарядных станций к сети представлена на рисунке 1.

Таблица 1 - Основные технические характеристики TeslaSuperCharger

Параметр	Значение
Мощность	135кВт
Потребляемый ток	280 А при напряжении 220 В 160 А при напряжении 380-480 В
Входное напряжение постоянного тока	200 - 480 В
Выходное напряжение	50-410 В
Выходной ток	0-210 А
КПД не менее	90%
Рабочая температура	-30 – +50 0С
Вес	600 кг

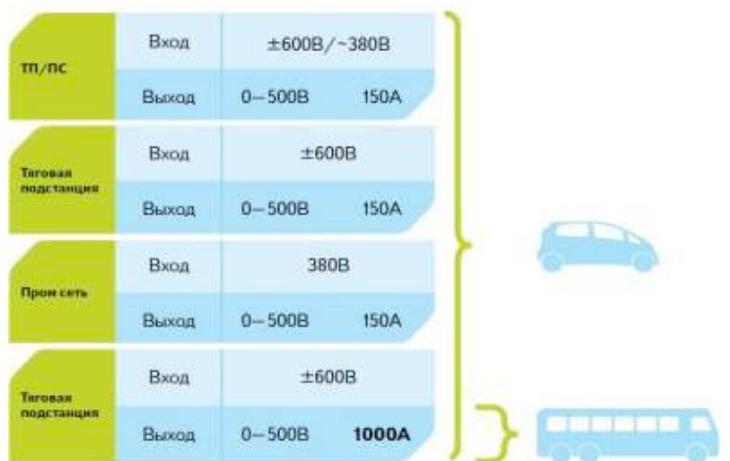


Рис. 1 – Варианты подключения зарядных станций к сети

В качестве примера выбрана и рассмотрена зарядная станция от компании Tesla – TeslaSuperCharger

Проанализировав рынок зарядных станций можно сделать вывод, что TeslaSuperCharger многократно превосходит своих конкурентов по выдаваемой мощности, а следовательно и по скорости зарядки электромобиля.

Работа систем электроснабжения, надежность и качество данных систем определяется надежностью составляющих их элементов. Выбор однолинейной схемы КТП производим, исходя из основных требований:

- надежность электроснабжения потребителей в нормальном, ремонтном и послеаварийном режимах;
- схема должна быть по возможности простой, наглядной и экономичной.

Так как рассматриваемый объект относится к 3 категории электроснабжения, то принимаем одно трансформаторную подстанцию (ТП). В качестве распределительных устройств низкого напряжения для первой группы электроприёмников (3ф. ЭП, продолжительный режим работы) были выбраны распределительные пункты, для освещения – щит освещения и щит аварийного освещения. Схема электроснабжения зарядной станции представлена на рисунке 2.

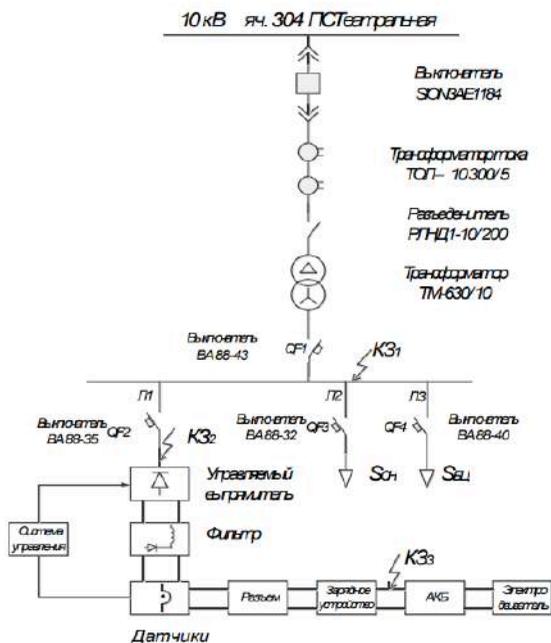


Рис. 2 – Схема электрических соединений КТП

Всё выбранное оборудование прошло проверку по токам короткого замыкания, так же соответствует всем нормативам, поэтому можно сделать вывод, что всё оборудование выбрано правильно. После выбора оборудования был произведён расчёт экономической части, из которого стало ясно, что себестоимость производства электроэнергии составляет 1,99 руб/кВт*ч. И это означает, что строительство данной зарядной станции для электромобилей является эффективным, поскольку себестоимость электроэнергии при питании от СЭС ниже, чем при питании от стационарной сети, следовательно зарядная станция будет пользоваться спросом [1].

И в заключении можно отметить, что есть большой потенциал на будущее, для данного типа зарядных станций, поскольку их можно оборудовать инверторами и подключить в инверторный режим, для отпуска электроэнергии в сеть.

Литература:

1. «Справочник по проектированию электрических сетей» / Под редакцией Д.Л. Файбосовича. – М.: Изд-во НИЦ ЭНАС, 2006. – 320 с. ил.

Секция РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА,
ВЫСОКОВОЛЬТНОЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ,
ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

**АНАЛИТИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ РЕЖИМА «ЛОЖНОЙ ЗЕМЛИ»
В ТРАНСФОРМАТОРАХ НАПРЯЖЕНИЯ**

А.В. Авдюхин

**Новосибирский государственный технический университет
г. Новосибирск, Avdykhin2001@mail.ru**

Научный руководитель: Лаптев О.И., к.т.н., доцент

Выполнен аналитический расчёт явления «ложной земли» в сети с изолированной нейтралью и трансформатором напряжения при помощи метода гармонического баланса. Получено простое и удобное выражение для определения амплитуды ложного сигнала о замыкании на землю от параметров сети и трансформатора напряжения. Исследована погрешность полученного аналитического выражения.

An analytical calculation of the phenomenon of "false single phase fault" in an insulated ground network with voltage transformer was carried out by means of the harmonic balance method. A simple and convenient mathematical expression for determining the amplitude of false fault signal from the parameters of the network and the voltage transformer was derived. The error of the obtained analytical expression is investigated.

Феррорезонанс – это колебательный процесс между ёмкостью сети и индуктивностью трансформатора. В сетях 6-35 кВ существует режим феррорезонанса в трансформаторах напряжения, называемый «ложной землей» [1]. В этом режиме на выводах дополнительной вторичной обмотки ТН появляется напряжение, сигнализирующее об однофазном замыкании на землю, которого на самом деле нет. Возникновение «ложной земли» может приводить к неверной работе защит от замыкания на землю, ложным отключениям оборудования и перерывам в энергоснабжении потребителей.

В 2019 г. введён в действие новый национальный стандарт ПНСТ 319-2018 на измерительные трансформаторы напряжения, в котором в т.ч. регламентированы методики испытаний ТН на стойкость к разным режимам феррорезонанса, в т.ч. и к режиму «ложной земли». Актуальной задачей является исследование влияния параметров сети на возникновение данного режима, в виде зависимостей ложного напряжения от ёмкости сети, характеристики намагничивания ТН и потерь в его магнитопроводе.

В данной статье приводятся результаты аналитического расчёта режима ложной земли в ТН в сети с изолированной нейтралью с использованием метода гармонического баланса. В качестве исследуемого образца ТН использовался трансформатор напряжения типа НТМИ-6. Ранее было выполнено экспериментальное исследование явления «ложной земли» в данном трансформаторе, его результаты приведены в [2].

Результаты измерения напряжения на дополнительной вторичной обмотке ТН, и его сравнение с напряжением, полученным при помощи компьютерного моделирования приведены на рис.1 [2]. Ёмкость фазы сети в эксперименте составляла 1,3 мкФ. Из рис.1 виден характерный режим «ложной земли», т.е. повышение напряжения до 30В по амплитуде (однофазного замыкания на землю при этом не было). Из рис.1 также видно, что частота возникающего на нейтрали сети (дополнительной обмотке ТН) напряжения – 150Гц, т.е. данный режим – это феррорезонанс на третьей гармонике.

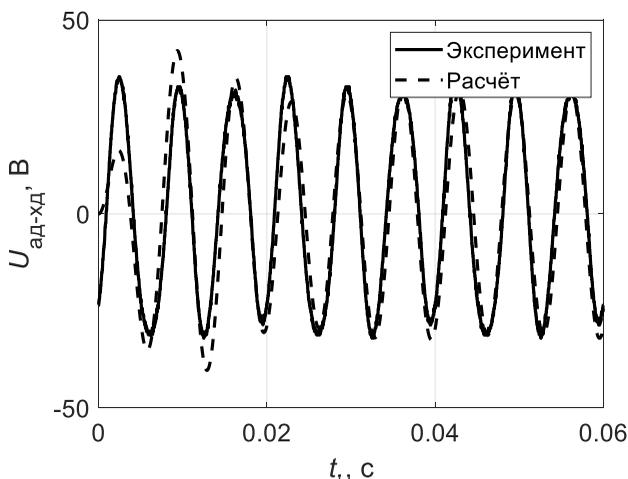


Рис. 1 – Сравнение опытного и расчётного напряжений на дополнительной обмотке ТН при «ложной земле»

Метод гармонического баланса – приближённый метод исследования нелинейных колебательных систем, описываемых нелинейными обыкновенными дифференциальными уравнениями. Для применения этого метода была составлена система дифференциальных уравнений, описывающая процессы в сети с изолированной нейтралью

и ТН (схема замещения приведена в [2]) с учётом следующих допущений:

- Пренебрегаем индуктивностью рассеяния ТН и потерями в его обмотке;
- Мощность источника ЭДС в схеме равна бесконечности;
- Нейтраль источника изолирована, нейтральная точка соединения обмоток ВН ТН заземлена;
- Характеристика намагничивания ТН аппроксимируется суммой степенных функций (1):

$$i_{\mu} = \alpha\Psi^3 + \beta\Psi, \quad (1)$$

где: i_{μ} – ток намагничивания фазы ТН; Ψ – потокосцепление фазы ТН; α, β – коэффициенты аппроксимации.

- В потокосцеплении ТН учитываются только первая и третья гармоники.

Система дифференциальных уравнений имеет вид (2):

$$\begin{aligned} \frac{du_N(t)}{dt} &= -\frac{1}{3C_{\Phi}} \left(\frac{3}{R_0} u_N(t) + \sum_{\gamma=a,b,c} i_{\mu\gamma}(t) \right), \\ i_{\mu\gamma}(t) &= f(\Psi_{\gamma}(t)), \\ \frac{d\Psi_{\gamma}(t)}{dt} &= u_N(t) + e_{\gamma}(t), \gamma = a, b, c, \end{aligned} \quad (2)$$

где: C_{Φ} – ёмкость фазы сети на землю; R_0 – сопротивление, моделирующее потери в стали магнитопровода ТН; $u_N(t)$ – напряжение на нейтрали сети; $\Psi_{\gamma}(t)$ – потокосцепление фазы ТН; $i_{\mu\gamma}(t)$ – ток намагничивания фазы ТН;

В результате решения была получена простая формула зависимости напряжения на нейтрали сети (амплитуды третьей гармоники напряжения) от параметров сети (3):

$$\begin{aligned} L_r &= 1 / \left(\frac{3}{2} \alpha \Psi_{m1}^2 + \beta \right), \\ U_m &= \frac{\alpha E_m^3}{12\omega} \sqrt{1 / \left(\left(\frac{1}{3\omega L_r} - 3\omega C_{\Phi} \right)^2 + \frac{1}{R_0^2} \right)}. \end{aligned} \quad (3)$$

В выражении (3) помимо величин, входящих в (1) и (2): E_m – амплитуда источника ЭДС; L_r – нелинейная индуктивность, при которой возникает резонанс на третьей гармонике; ω – угловая частота основной гармоники сети (314 рад/с).

На рис.2 приведено сравнение зависимости напряжения на нейтрали от ёмкости сети при численном решении системы дифференциальных уравнений (2), описывающих исследуемую сеть с ТН типа НТМИ-6, и зависимости, полученной по выражению (3). Из рис.2 видно, зависимости хорошо согласуются.

Выводы:

Получено простое и удобное аналитическое выражение для определения амплитуды ложного напряжения, в зависимости от параметров сети и ТН. Погрешность, т.е. отличие напряжения, полученного по аналитическому выражению от результатов численного моделирования не превышает 5% при $C_{\phi} < 3\text{нФ}$ (в области выраженного феррорезонанса), при больших значениях C_{ϕ} возрастает до 15%. Полученное аналитическое выражение может быть использовано в различных руководящих документах по предотвращению феррорезонанса в ТН для определения параметров сетей, при которых возможно явление «ложной земли».

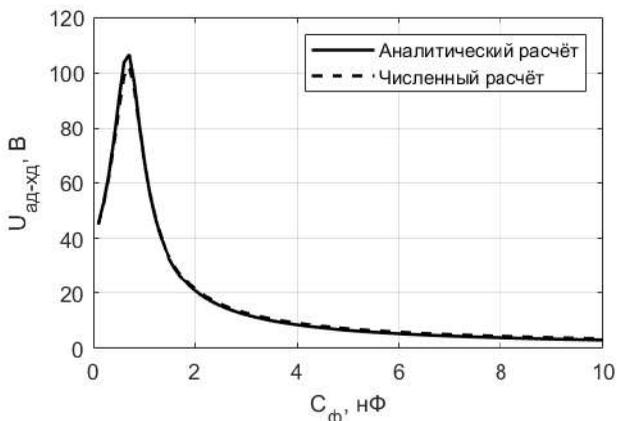


Рисунок 2 – Сравнение результатов численного решения системы уравнений (2) и аналитического расчёта по выражению (3)

Литература

1. Зихерман М.Х. Трансформаторы напряжения для сетей 6-10кВ. Причины повреждаемости // Новости электротехники №1 (25), 2003.
2. Авдюхин А.В. Исследование явления «ложной земли» в трансформаторах напряжения [Электронный ресурс] // Интеллектуальный потенциал Сибири: 29-я Региональная научная студенческая конференция, посвященная Году науки и технологий в

России (г. Новосибирск, 17-21 мая 2021 г.): материалы конференции: в 5 частях / Под. ред. Соколовой Д.О. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2021. – С. 395-397. – URL: <https://lomonosov-msu.ru/rus/event/6631/page/2598> (дата обращения: 19.11.2021).

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ ПОТРЕБЛЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ УСТАВОК МАКСИМАЛЬНОЙ ТОКОВОЙ ЗАЩИТЫ

С.С. Аверьянов

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, averjanova.yulia3@gmail.com
Научный руководитель: Осинцев А.А., к.т.н. доцент**

Данная статья рассматривает способы модернизации существующих комплектов релейной защиты построенных на микропроцессорной базе, с целью ускорения процесса настройки комплектов, повышения чувствительности защиты.

This article considers ways of upgrading the existing microprocessor-based relay protection sets to speed up the process of setting up the sets and increase the sensitivity of protection.

Релейная защита - одна из самых быстро развивающихся областей в электроэнергетике. С началом внедрения комплектов реле, работающих на микропроцессорной базе открываются новые возможности по настройке. Алгоритмы работы микропроцессорных устройств могут быть изменены под необходимые задачи без непосредственного изменения технической части устройства, в отличие от комплектов, построенных на микроэлектронной основе, где для реализации необходимого алгоритма требуется производить подбор параметров микроэлектронных элементов. Помимо этого, современные устройства релейной защиты могут обмениваться цифровыми данными, необходимыми, как для мониторинга процессов, протекающих в сети, так и для реализации более сложных, адаптивных алгоритмов взаимодействия нескольких комплектов защит.

Так варианты адаптивных алгоритмов можно разделить на несколько видов, различающихся по роли в работе блоков микропроцессорной релейной защиты:

- Алгоритмы автоматического согласования новых комплектов релейной защиты, устанавливаемых на существующие объекты;

- Алгоритмы распознавания режимов электрической сети;
- Алгоритмы динамического изменения уставки защиты в зависимости от режима электрической сети.

Так или иначе микропроцессорная релейная защита позволяет реализовывать на своей основе достаточное количество различных алгоритмов, которые могут работать, как в качестве основной инструкции, так и дополняя существующие алгоритмы собирая статистику о режимах электрической сети.

Стоит отметить, для применения статистического метода требуется большое количество информации, собранной для конкретного участка энергосистемы. Накопление такого количества информации потребует достаточно большое количество времени, поэтому для моделирования и последующего анализа применяются, как правило случайные значения в диапазоне каждой ступени известного графика нагрузки для конкретной энергосистемы. При этом при построении графика таким методом должны быть учтены режимы работы системы, а также возможные отклонения.

Сбор и обработка статистических данных

Для более полного понимания процесса создания адаптивных реле следует рассмотреть принципы сбора и обработки статистической информации, на основе которой будет базироваться алгоритм автоматического подбора уставки или алгоритм адаптации уставки под изменившуюся электрическую сеть. Существует несколько способов обработки статистических данных, но каждый из них как правило основывается на математической модели процесса.

Так, например, существует опыт, по обработки статистических данных с применением метода опорных векторов [3]. Для реализации данного метода требуется собрать достаточное количество данных, полученных путем проведения множества экспериментов основанных на методе Монте-Карло [2], и отраженных в виде комплексных значений. Отраженная таким образом статистика позволяет увидеть наиболее часто встречающиеся исходы математического моделирования, данные о которых можно использовать для реализации дополнительных пусковых органов релейной защиты с использованием машинного обучения. Полученный алгоритм позволяет улучшить основные характеристики (чувствительность, быстродействие, надежность, селективность) уже существующих комплектов защит.

Следующим методом обработки статистической информации можно назвать метод Байеса [1], основанные на проверке гипотез. В

случае, когда задачу решить с помощью частотного метода невозможно применяется байесовский подход. Идея данного метода состоит в переходе от априорных знаний к апостериорным с учетом наблюдаемых явлений. Особенности байесовского подхода заключается в том, что все величины и параметры считаются случайными, для решения задачи оценивания некоторой величины находят ее апостериорное распределение. Однако у данного подхода есть недостатки: принятие решения при использовании такого подхода требует большое количество вычислительных затрат, связанных с численным интегрированием в многомерных пространствах. Для работы с цифровыми устройствами байесовский подход можно рассматривать как обобщение классической булевой логики, которая используется в устройствах релейной защиты. Но в таком подходе вместо понятий “истина” и “ложь” вводится понятие “истина с вероятностью р”.

Также стоит упомянуть такие методы обработки статистической информации, как метод Гаусса, метод ретроспективных данных, метод Пирсона и др. Все эти методы являются либо основой для обработки статистики, либо входят в состав другого метода.

Динамическая уставка релейной защиты

Классический метод расчета уставок максимальной токовой защиты предполагает отстройку от токов, протекающих по защищаемой линии при согласовании с МТЗ смежных элементов, отстройку в режиме самозапуска после ликвидации внешнего короткого замыкания смежными защитами, а также отстройку от тока в режиме самозапуска после ликвидации внутреннего короткого замыкания посредством работы АПВ.

Согласование с защитами смежных элементов предполагает учет максимального рабочего тока, протекающего через защиту. В зависимости от текущей нагрузки линии рабочий ток может изменяться в определенных диапазонах. Соответственно в момент времени, когда рабочий ток в разы меньше максимального значения чувствительность релейной защиты будет снижаться. Ток короткого замыкания также зависит от режима работы сети и будет изменяться аналогично рабочему току. Внедрение алгоритма работы адаптивной защиты позволит повысить чувствительность в отдельные временные интервалы.

Для формирования модели методом ретроспективы следует проанализировать объем информации за достаточно большой промежуток времени. Например, для прогнозирования графика нагрузки энергосистемы методом ретроспективы по данным

среднесуточного потребления определяют среднее потребление за сутки. Далее по полученным величинам строится зависимость средней мощности от времени суток и исключаются характерные выбросы. При обработке статистической информации главное значение имеет тенденция процесса во времени на возрастание или убывание. Причем последние точки ретроспективы более значимы для составления прогноза, чем точки вначале статистического ряда. В связи с этим исключение последних пяти точек недопустимо. По оставшимся данным составляется математическая модель процесса в виде линии тренда. Возможно использование, как полиномиальной, так и линейной линии тренда. Итоговая модель выбирается после оценки достоверности модели.

Оценка математической модели проводится по критерию детерминации R^2 , если $R^2 > 0,6$, то модель считается достаточно достоверной. Однако, если подобрать достоверную модель невозможно, переходят к эвристической модели, которая основана на опыте и интуиции человека, что впоследствии может дать не идеальный результат.

Прогнозирование осуществляется с помощью применения экстраполяции модели, то есть вычисления по уравнению линии тренда значения прогноза.

Максимальная токовая защита, работающая по методу выбора динамической уставки, должна подстраиваться под изменяющийся режим работы системы, сохраняя селективность. Соответственно алгоритм работы такой защиты должен удовлетворять нескольким требованиям:

- 1) отстройка реле от токов срабатывания защит на смежных присоединениях в автоматическом режиме;
- 2) распознавание текущего режима работы сети;
- 3) отстройка реле от без аварийного режима сети на каждый момент времени;

Сперва данные, которые поступают в блок микропроцессорной релейной защиты, преобразуются в цифровой формат для возможности использования их в алгоритме. Смежные блоки микропроцессорной релейной защиты должны быть подключены к одной сети с рассматриваемой защитой и передавать данные о своих параметрах в реальном времени. Далее происходит расчет уставки максимальной токовой защиты на основе текущего режима работы сети, а также смежных присоединений. Полученные данные заносятся в память устройства (массив). Для сбора

достаточного количества данных блок реле должен провести в режиме настройки какое-то время.

Первая итерация. Над информацией об уставках с помощью метода Гаусса производится нормальное распределение, для оценки вероятности выбора уставки в промежуточном диапазоне (Так как каждая следующая уставка будет отличаться от предыдущей следует разделить уставки по группам, например, в диапазоне от 100 до 105 А и т.д. Соответственно в результате должен получиться примерный график распределения для каждого диапазона уставок). На основе самых вероятных значений уставки из каждого диапазона выстраивается модель ретроспективных данных. С помощью этой модели прогнозируется уставка на грядущий временной интервал. Далее в режиме тестирования, блок микропроцессорной релейной защиты сравнивает текущее показание статичной уставки, отстроенной классическим способом с новым прогнозным значением. На этом первая итерация подходит к концу.

Каждая следующая итерация будет уточнять наиболее вероятную уставку для каждого временного интервала, ссылаясь на прогнозное значение. Если прогнозное значение было меньше реального результата, то во второй итерации в диапазоне от 100 до 105 А, вместо уставки, например, 102 А, большую вероятность будет иметь 103 А, соответственно теперь уже это значение будет использовано при построении ретроспективной модели.

Заключение

Современные устройства релейной защиты вполне могут использоваться с применением адаптивных алгоритмов выбора значения уставки срабатывания, что в конечном итоге, повышает чувствительность защиты в отдельных режимах, а также упрощает наладку новых устройств, устанавливаемых на линии. Однако стоит упомянуть, что текущая нормативная документация устанавливает определённые методы для расчета величины уставки, тем самым применение подобных алгоритмов без внесения изменений в регламенты не является возможным.

Литература:

1. Ветров Д.П. Кропотов Д.А. Учебное пособие по курсу «Байесовские методы машинного обучения», 2007, часть 2 – С. 105.
2. Ермаков С.М. Метод Монте-Карло в вычислительной математике: Вводный курс // С.М. Ермаков. Санкт-Петербург: 2009. - С. 192

3. А. Л. Куликов, Д. И. Бездушный¹, М. В. Шарыгин, В. Ю. Осокин Анализ применения метода опорных векторов в многомерной релейной защите // Журнал Известия СО РАН. - 2020 г. – С.123-132.
4. Куликов А. Л., Ключкин А. Н. Статистические методы повышения эффективности средств релейной защиты // Материалы 3-ей международной научно-технической конференции «Современные направления развития систем релейной защиты и автоматики энергосистем». СПб. РНК CIGRE, 2011. – С. 21.
5. Математическое моделирование электрических систем и их элементов: учеб. пособие/А.В. Лыкин. –Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2009. –С. 228.
6. Шарыгин, М. В. Обеспечение селективности релейной защиты в системах электроснабжения на основе байесовского метода проверки гипотез / М. В. Шарыгин, А. Л. Куликов // Электричество. – 2017. – № 9. – С. 24-33. – DOI 10.24160/0013-5380-2017-9-24-33.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЧКИ ОПТИМУМА ВКЛЮЧЕНИЯ ГЕНЕРАТОРА НА ПАРАЛЛЕЛЬНУЮ РАБОТУ С СЕТЬЮ ПО НАПРЯЖЕНИЮ

Г.Д. Бочкарев

**Государственное автономное профессиональное образовательное
учреждение «Самарский государственный колледж», г. Самара,
mister.hja@yandex.ru**

В работе предлагается алгоритм определения оптимального момента времени включения синхронных генераторов в электроэнергетическую систему, относительно фазы напряжения на зажимах выключателя различного типа.

The paper proposes an algorithm for determining the optimal timing of synchronous generators in the power system, relative to the phase of voltage at the terminals of a circuit breaker of various types.

Параллельная работа синхронных генераторов (СГ) с электроэнергетической системой (ЭЭС) является основным критерием поддержания надежной и безопасной работы объектов промышленности, нефте-газовой отрасли, металлургии, бытовых нужд населения и пр. Неизбежным действием при работе СГ с ЭЭС является их включение в параллельную работу после вывода их из эксплуатации по различным причинам (1).

Ввод в параллельную работу СГ является сложнейшей процедурой, требующей предельного внимания и соблюдения строгих условий включения и соответствия следующих критериев на противоположных коммутируемых зажимах выключателя (2):

- одноименность фаз со стороны СГ и ЭЭС;
- совпадение уровня напряжения со стороны СГ и ЭЭС;
- совпадение угла между векторами одноименных фаз СГ и ЭЭС;
- равенство частоты напряжения на СГ и ЭЭС.

Если по первым двум критериям все мероприятия препятствующие ошибочным действиям предприняты на стадии проектирования электростанции (произведен монтаж шинопроводов в соответствии с чередованием фаз, установлены соответствующие трансформаторы и т.д.), то вторые два требуют особого контроля со стороны автоматики и персонала.

Строгое соблюдение перечисленных требований в полной мере удовлетворяется действующими системами точной синхронизации, однако, применения различных типов высоковольтных выключателей, соответственно и приводных механизмов (электромагнитный, пружинный, пневматический и пр.), накладывает ряд особенностей в временную составляющую момента подачи команды на включение выключателя между СГ и ЭЭС.

Принцип определения момента времени синхронного включения СГ в ЭЭС описывается незначительной разностью их частот $f_{СГ}$ и $f_{ЭЭС}$, позволяющей применить к их сигналам явление, возникающее при наложении двух периодических сигналов близких по частоте, выражающемся в периодическом уменьшении и увеличении их суммарного сигнала (3). Очевидно, что $f_{ЭЭС}$ является постоянной (50 Гц), а $f_{СГ}$ имеет отличие от $f_{ЭЭС}$ на 0,5-1 Гц. Огибающая этого сигнала U_S является критерием определения момента включения СГ в ЭЭС. На рис. 1 изображен сигнал напряжения скольжения U_S , полученный явлением биения U по:

$$U(t) = U_0 \cdot (\sin(\omega_{ЭЭС} \cdot t) + (\sin(\omega_{СГ} \cdot t))), (1)$$

$$U_S(t) = 2U_0 \cdot \cos\left(\frac{\omega_{ЭЭС} - \omega_{СГ}}{2} \cdot t\right), (2)$$

где, U_0 – базовое напряжение; $\omega_{ЭЭС}$ – частота ЭЭС; $\omega_{СГ}$ – частота СГ.

Для наиболее корректного и своевременного срабатывания автоматических устройств точной синхронизации необходимо

учитывать различные факторы, влияющие на момент подачи команды к включению:

- время работы соленоидов включения привода выключателя;
- время срабатывания механизма включения привода выключателя;
- скорость изменения угла между векторами напряжений СГ и ЭЭС (частота напряжения скольжения).

Поэтому, что бы наиболее полно оценить сложность выбора точки оптимума подачи команды на включение выключателя, на рис. 1 графически представлен данный процесс.

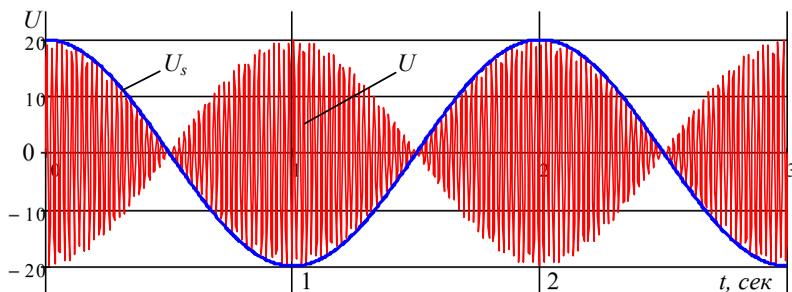


Рис. 1 – Явление биения $U(t)$, полученной по (1) и напряжение скольжения $U_s(t)$, полученной по (2) при частоте сети $f_{\text{ЭЭС}} = 50$ Гц и частоте генератора $f_{\text{СГ}} = 49$ Гц

Из рис. 1 видно, что моменты включения выключателя при частотах $f_{\text{ЭЭС}} = 50$ Гц и $f_{\text{СГ}} = 49$ появляются один раз в секунду, очевидно, что эта величина уменьшается с ростом частоты $f_{\text{СГ}}$.

В работе предлагается в качестве критерия, использовать напряжение, уровень которого будет соответствовать началу времени готовности привода выключателя к коммутации СГ и ЭЭС. Поэтому учитывая различные особенности приводов разных типов выключателей и соответственно разного промежутка времени между выдачей команды на включение и непосредственно включением необходимо учесть это при расчете точки оптимума включения по напряжению.

Таким образом, оптимальным моментом подачи команды на включение выключателя по напряжению будет напряжение $U_{\text{с опт}}$:

$$U_{\text{с опт}} = U_s(0) - U_s(t_{\text{опт}})$$

где, $U_s(0)$ – моменты времени когда напряжение скольжения равно 0, т.е. момент непосредственного включения выключателя; $U_s(t_{\text{ОПТ}})$ – напряжение в момент времени подачи команды на включение выключателя; $t_{\text{ОПТ}} = t_{\text{ВКЛ}} - t_{\text{ГОТ}}$ – момент подачи команды на включение, равный разнице времени включения и времени готовности привода.

На рис. 2 графически представлен момент включения выключателя $t_{\text{ВКЛ}}$ при напряжении скольжения $U_s = 0$, а также момент времени $t_{\text{ОПТ}}$ подачи команды на включение выключателя при напряжении $U_{s\text{ОПТ}}$.

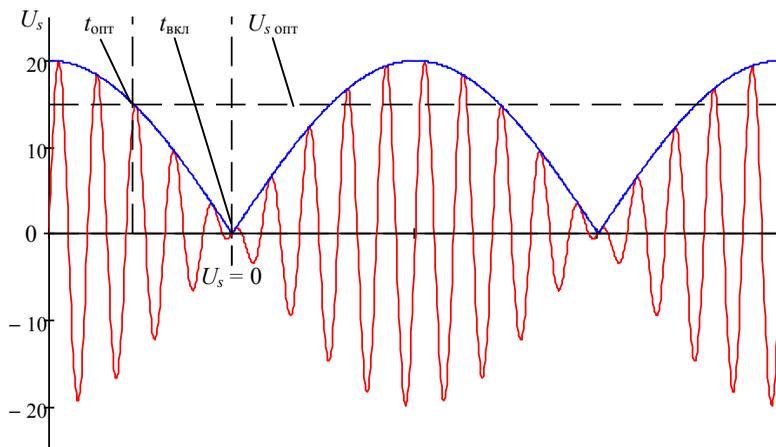


Рис. 2. – Графическое представление точки оптимума $t_{\text{ОПТ}}$ момента передачи команды на включение выключателя с учетом времени действия автоматики и механизмов привода

Литература:

1. Беркович М.А., Гладышев В.А., Семенов В.А. Автоматика энергосистем. Учебник для техникумов. 3-е издание, переработанное и дополненное. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 240 с.
2. Алексеев О.П., Козис В.Л., Кривенков и др. Автоматизация электроэнергетических систем: учебное пособие для вузов; под ред. Морозкина В.П. и Энгелаге Д. – М.: Электроатомиздат, 1994. – 448 с.
3. Шишмарев В.Ю. Основы автоматического управления: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 352 с.

ОРГАНИЗАЦИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ЭЛЕКТООБОРУДОВАНИЯ

М.Д. Графов

ГАПОУ «Казанский энергетический колледж»

г. Казань, olyagrafova81@yandex.ru

Научный руководитель: Графова О.В., преподаватель

Рассмотрен вопрос о внедрении диагностического мониторинга высоковольтного электрооборудования

The question of the introduction of diagnostic monitoring of high-voltage electrical equipment is considered

До недавнего времени в основе технического обслуживания и ремонта электрооборудования лежали стратегии аварийно-восстановительных и планово-предупредительных ремонтов (ППР). Основная идея ППР, состоящая в том, что остаточный ресурс механизма определяется только временем его эксплуатации, не находит подтверждения на практике и носит явно выраженный затратный характер. Достоинством являлось планирование, а недостатки ППР заключались в ремонте фактически исправного оборудования, а также в принудительной замене деталей независимо от их остаточного ресурса, что приводило к достаточно высокой вероятности отказов оборудования при вводе в работу после ремонта.

В настоящее время при эксплуатации высоковольтного электрооборудования в системах мониторинга используются методы диагностики с применением средств микропроцессорной и вычислительной техники, что позволяет оперативно определять оценку состояния работающего оборудования и точно установить сроки проведения ремонта по его фактическому состоянию.

В основном, все существующие системы мониторинга можно разбить на три основные группы, классифицируя их по реализуемой целевой функции. Это:

- Системы технологического и эксплуатационного мониторинга. Это системы диспетчерского и местного управления режимами работы энергетического оборудования. Цель работы таких систем – реализация технологического назначения оборудования.

- Системы автоматической защиты и блокировки. Это системы аварийного отключения и защиты, предназначенные для снижения ущерба от аварийных режимов работы.

- Системы диагностического мониторинга. Целью создания таких систем является предотвращение возможности возникновения

аварийных режимов в энергетическом оборудовании. При помощи систем диагностического мониторинга решается задача эффективного управления эксплуатацией и ремонтом оборудования.

Системами управления технологическими режимами работы оборудования, и системами РЗА, различного уровня, оснащено практически все эксплуатируемое высоковольтное оборудование, позволяющих минимизировать затраты на обслуживание, дистанционно управлять техническим состоянием и сроком жизни оборудования. Результаты работы всех этих систем должны интегрироваться в единое диагностическое заключение, определяющее общее состояние объекта.

Состав оборудования и методов диагностики для системы мониторинга энергетического предприятия

Выход из строя любого высоковольтного аппарата единой технологической цепи энергетического предприятия приводит, как минимум к ограничению, а чаще всего к отключению потребителей электрической энергии. В современных экономических условиях это приводит к санкциям от пострадавших потребителей.

Высоковольтное оборудование энергетического предприятия, на котором предполагается установка систем диагностического мониторинга, должны отвечать следующим основным требованиям:

- Оборудование должно иметь сравнительно высокую стоимость. Это предполагает, что замена вышедшего из строя такого оборудования потребует от персонала энергетического предприятия больших материальных и временных затрат.

- Потери от недопоставки электрической энергии, возникшие при выходе из строя такого оборудования, должны быть значительными.

- Диагностическое обследование такого оборудования в процессе работы, в режиме «on-line», не может быть оперативно и надежно произведено переносными средствами диагностики, или требует очень дорогостоящего диагностического оборудования.

Установка систем мониторинга, особенно диагностического мониторинга, на «более простом» и дешевом оборудовании понижающей, или распределительной подстанции, экономически нецелесообразно. Например, не следует создавать и использовать системы Мониторинга, предназначенные для монтажа на разъединителях, опорных изоляторах, и т. д. Такие экономические затраты никогда не окупятся.

Требования к методам диагностики технического состояния оборудования, используемым в системах мониторинга оборудования подстанций

Внедрение в практику эксплуатации систем диагностического мониторинга практически всегда приводит к переосмысливанию, как используемых методов диагностики, так и применяемой нормативной базы. В основном это обусловлено переходом на другую, более современную систему обслуживания оборудования, называемую «обслуживанием по текущему техническому состоянию», реализуемую на работающем оборудовании.

В первую очередь, это касается используемых методов диагностики технического состояния высоковольтного оборудования, которые должны работать в режиме «on-line», под рабочим напряжением, и отвечать поставленным требованиям.

Для использования в системах мониторинга больше всего подходят современные методы диагностики, специально разработанные для этих целей. Для практического применения этих методов обычно необходимо использовать средства микропроцессорной и вычислительной техники.

Применение в системах мониторинга методов оперативной диагностики (автоматизированных экспертных систем) поднимает целый ряд дополнительных проблем. Большая часть этих проблем связана с нормированием выходной информации, т.е. с отсутствием нормативной базы для новых, синтезированных параметров, и стандартных параметров. По этой причине достаточно часто приходится использовать техническое состояние оборудования, определенное на момент включения системы мониторинга в работу, как базовое, «бездефектное». Это часто является еще одной причиной проведения предварительного обследования оборудования традиционными методами и средствами, перед включением в работу системы диагностического мониторинга.

Возможность дополнения информации от первичных датчиков системы мониторинга данными периодических испытаний, проводимых ремонтным персоналом на контролируемом высоковольтном оборудовании должна быть всегда предусмотрена во всех системах диагностического мониторинга. Она позволяет повысить информативность итоговых экспертных заключений, и, частично, снизить затраты на внедрение систем мониторинга.

Каждый используемый в системе мониторинга метод диагностики состояния оборудования должен быть оснащен встроенной экспертной системой, работающей, в автоматическом режиме, и диагностическое заключение должно оперативно формироваться «onsite» (на месте), и должно быть сразу же доступно оперативному и ремонтному персоналу предприятия.

Наиболее важным элементом является экспертная система верхнего уровня. Именно эта система должна интегрировать информацию от нескольких методов диагностики.

Высшим уровнем экспертной оценки состояния контролируемого оборудования, в соответствии с целевой функцией системы, является интегральная оценка всего оборудования подстанции. Которая решит самую главную задачу диагностического мониторинга - выявить критические пики в единой технологической цепи всего энергетического объекта, сформировать сравнительное заключение о техническом состоянии каждого звена контролируемой подстанции и спланировать все ремонтные и сервисные работы, то есть предупредить возникновение аварийных режимов работы высоковольтного оборудования.

Максимальный экономический эффект от внедрения систем диагностического мониторинга высоковольтного предприятия достигается в том случае, когда мониторингом охватывается все основное и технологически значимое оборудование.

В этом случае, верхний уровень такой комплексной системы мониторинга, владеющий информацией об остаточном техническом ресурсе всех высоковольтных аппаратов, позволяет максимально грамотно и экономически эффективно эксплуатировать, и поддерживать работоспособность всей технологической цепи.

Заключение

Из проведенного анализа можно сделать вывод, что направления развития мониторинга высоковольтного электрооборудования в России во многом совпадают с мировыми тенденциями развития.

Высоковольтное оборудование энергетического предприятия, на котором предполагается установка систем диагностического мониторинга, должно иметь сравнительно высокую стоимость. Это предполагает, что замена вышедшего из строя оборудования потребует от персонала энергетического предприятия больших материальных и временных затрат.

Установка систем мониторинга, особенно диагностического мониторинга, на «более простом» и дешевом оборудовании понижающей, или распределительной подстанции, экономически нецелесообразно.

Технико-экономический эффект от применения СМиД достигается, прежде всего, благодаря переходу от периодического контроля оборудования с помощью переносных приборов к непрерывному автоматизированному контролю и диагностированию. Благодаря этому повышается актуальность данных, применяемых для

диагностирования состояния, и улучшается достоверность полученных диагностических результатов. В итоге предотвращаются внезапные отказы оборудования и снижаются расходы на ремонт.

Литература

1. Системы мониторинга силовых трансформаторов и автотрансформаторов. общие технические требования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.fsk-ees.ru/upload/docs/56947007-29.200.10.011-2008.pdf>

2. Официальный сайт компании Димрус [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dimrus.com/index.html>

3. Организация диагностического мониторинга высоковольтного оборудования. Перевод оборудования на обслуживание по техническому состоянию. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://dimrus.ru/manuals/all_monitoring.pdf

4. Журнал «ИСУП» (Информатизация и системы управления в промышленности) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://isup.ru/articles/36/3326/>

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦЫ В ПОТОКЕ ПЛАЗМЫ

А.Г. Жексенаева

Новосибирский Государственный Технический университет,
г. Новосибирск, alina.zh1999@gmail.com

Научный руководитель: Войтович Р.А., к.т.н., доцент

В целях исследования процесса плазменного напыления создана математическая модель движения частицы порошка в струе плазмы для технологии нанесения покрытий. По модели в пакете программ MATLAB были построены зависимости скорости частицы от времени ее движения, ее радиуса и скорости плазменного потока.

In order to study the process of plasma spraying, a mathematical model has been created for the motion of an particle of powder in a plasma jet for coating technology. The model in the MATLAB software package was used to plot the dependences of the particle velocity on the time of its motion, its radius, and the plasma flow velocity.

Внедрение плазменных технологий сопровождается повышением технологичности и экономичности производственных процессов и качества получаемых продуктов. Создание защитных покрытий с помощью плазменного напыления широко применяется в таких

отраслях промышленности как машиностроение, металлургия, энергетика. В зависимости от цели можно получать жаропрочные, коррозионностойкие, антифрикционные, износостойкие, электроизоляционные покрытия [1].

В работе исследовалось движение сферических частиц порошка с радиусами в диапазоне 100-1000 мкм. Плазмообразующим газом был выбран воздух.

Второй закон Ньютона для частицы, перемещающейся в плазменном потоке:

$$m \cdot d\vec{V} / dt = \Sigma \vec{F} \quad (1)$$

где m – масса частицы, $\Sigma \vec{F}$ – сумма векторов сил, действующих на частицу.

В потоке плазмы на частицу будут действовать силы тяжести, сопротивления среды и взаимодействия частицы с другими частицами.

Для решения дифференциального уравнения (1) принималось несколько допущений. Считалось, что при выборе режима расхода порошка его частицы не сталкиваются между собой в потоке, т.е. не учитывалась сила взаимодействия частицы с другими частицами. Также принималось, что частицы поступают в струю плазмотрона перпендикулярно движению струи и не имеют начальной скорости.

Силу сопротивления среды можно найти через распределение скорости течения среды, вызванного телом, которое рассчитывается из уравнений Навье-Стокса. Решение этих уравнение даже в наиболее простом случае (для движения сферической частицы) может быть получено только при дополнительных упрощающих допущениях [2]. Эти допущения, связаны, прежде всего, со значением числа Рейнольдса, которое для сферической частицы радиусом a , движущейся со скоростью $V_{\text{отн}}$ относительно среды, находится по выражению:

$$\text{Re} = V_{\text{отн}} \lambda 2a / \mu \quad (2)$$

где μ – вязкость среды, λ – плотность среды [2].

При числах Рейнольдса $\text{Re} > 1$ сила сопротивления может быть найдена по выражению [2]:

$$\vec{F}_c = -c_x s \gamma \vec{W}_{\text{отн}} V_{\text{отн}} / 2 \quad (3)$$

где $s=\pi a^2$ – характерное сечение частицы; c_x – коэффициент аэродинамического сопротивления, который может быть рассчитан по формуле Клячко:

$$c_x = 24(1 + \text{Re}^{2/3}/6)/\text{Re} \quad (4)$$

При подстановке выражений для числа Рейнольдса (2), коэффициента аэродинамического сопротивления (4) и силы сопротивления (3) в выражение для второго закона Ньютона (1) получим:

$$m \frac{d\vec{V}_{\text{отн}}}{dt} = \vec{F}_g + \vec{F}_c = m\vec{g} + \frac{24}{V_{\text{отн}} \gamma 2a / \mu} \left(1 + \frac{V_{\text{отн}} \gamma 2a / \mu}{6} \right) \frac{\vec{V}_{\text{отн}} V_{\text{отн}}}{2} s \quad (5)$$

где $V_{\text{отн}}$ равна разности скорости плазменного потока и скорости частицы V .

При этом предполагалось, что направление силы тяжести и силы сопротивления среды совпадает.

Таким образом, математическая модель будет представлять собой решение обыкновенного дифференциального уравнения (5).

Зависимость скорости движения частицы радиусом 100 мкм в потоке плазмы, истекающем со скоростью 15 м/с, от времени (Рисунок 1) показывает, что частица разгоняется до тех пор, пока не приобретает скорость потока.

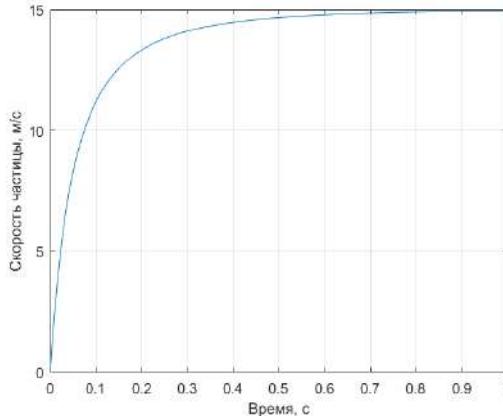


Рис. 1 – Зависимость скорости движения частицы от времени

Зависимости скорости движения частицы в момент ее столкновения с обрабатываемой поверхностью от радиуса частицы

(Рисунки 2 и 3) показывают, что крупные частицы разгоняются медленнее. Отсюда можно сделать вывод, что для крупных частиц напыляемое изделие должно находиться дальше для того, чтобы те успели приобрести скорость и прогреться в плазменном потоке. Недостаточная скорость, а, значит, и температура, приводят к снижению прочности сцепления покрытия с изделием [3].

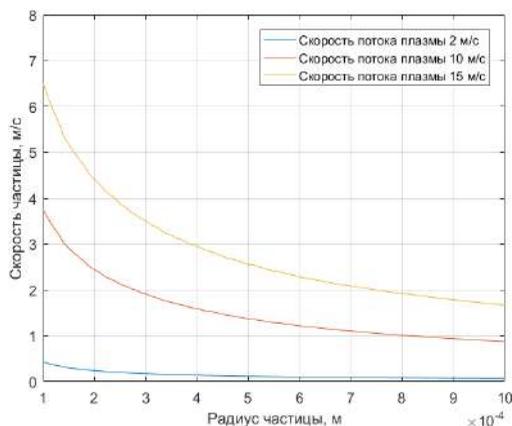


Рис. 2 – Зависимость скорости движения частицы от ее радиуса при расстоянии от обрабатываемой поверхности 0,2 м

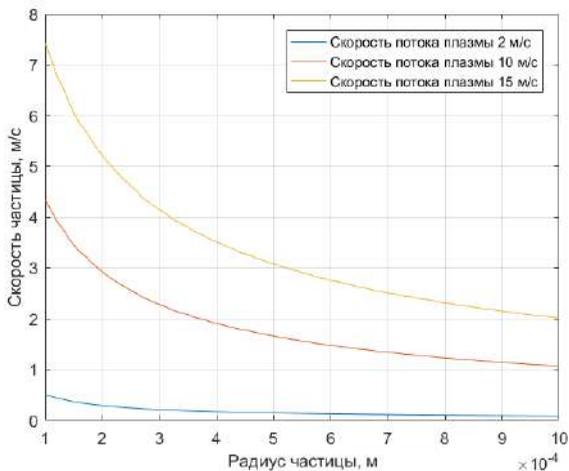


Рис. 3 – Зависимость скорости движения частицы от ее радиуса при расстоянии от обрабатываемой поверхности 0,3 м

Зависимость скорости движения частицы от скорости плазменного потока имеет почти линейный вид (Рисунок 4). Крупные частицы (500 мкм и 1000 мкм) не успевают достаточно разогнаться перед столкновением с обрабатываемой поверхностью.

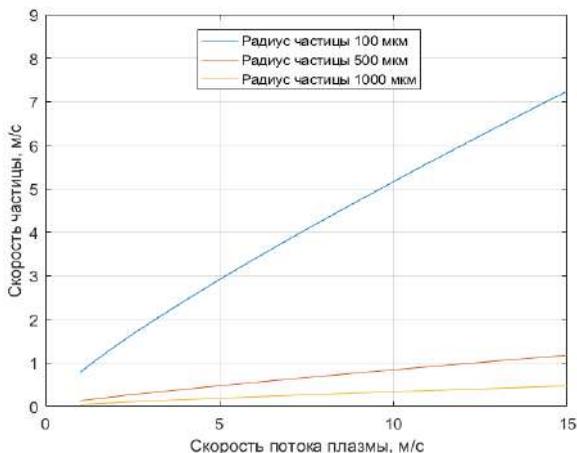


Рис. 4 – Зависимость скорости движения частицы от скорости плазменной струи при расстоянии от обрабатываемой поверхности 0,2 м

Полученные зависимости позволяют выдвигать конкретные конструктивные требования к создаваемой установке.

Литература:

1. *Чердиченко В. С., Аньшаков А. С.* Плазменные электротехнологические установки: учебник для вузов. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011. – 602 с.

2. *Бортник И. М. и др.* Электрофизические основы техники высоких напряжений: учеб. для вузов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2010. – 704 с.

3. *Тополянский П.А., Соснин Н.А., Ермаков С.А.* Напыление порошковых покрытий плазмотронами с фиксированной длиной сжатой дуги / П.А. Тополянский, Н.А. Соснин, С.А. Ермаков // Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки. Материалы 9-ой практической конференции. – 2007 – Ч.1 – С. 249-257.

КОММУТАЦИОННЫЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ НА ИЗОЛЯЦИИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

В.В. Коротченко

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, k.42valeriya@gmail.com

Научный руководитель: Петрова Н.Ф., к.т.н., доцент

Цель работы заключается в разработке рекомендаций по обеспечению безаварийной работы электрооборудования в сетях, содержащих вакуумные выключатели и высоковольтные электродвигатели (ЭД).

В ходе работы выполнен расчет параметров схемы замещения, сделан анализ коммутационных перенапряжений на изоляции двигателя, выдвинуты требования к вакуумной дугогасящей камере (ВДК) по скорости восстановления электрической прочности межконтактного промежутка и приведены рекомендации по защите сети от перенапряжений.

The purpose of the work is to develop recommendations for ensuring trouble-free operation of electrical equipment in networks containing vacuum circuit breakers and high-voltage engine.

In the course of the work, the parameters of the replacement circuit were calculated, the switching overvoltages on the engine insulation were analyzed, the requirements for the vacuum arc-extinguishing chamber for the rate of restoration of the electrical strength of the contact gap were put forward, and recommendations for protecting the network from overvoltage were given.

Продолжающаяся тенденция замены масляных и воздушных выключателей на вакуумные требует учёта определённых особенностей при их эксплуатации. В настоящее время в сетях собственных нужд электрических станций большая часть выключателей уже заменена. Высокочастотные перенапряжения, генерируемые вакуумными выключателями, приводят к повреждению витковой изоляции ЭД и кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ-кабелей). Под действием повышенной температуры, наличия загрязнений и увлажнений окружающей среды, а также частых электродинамических воздействий при пусках происходит постепенное старение изоляции ЭД. Старение изоляции выражается в ее усыхании, испарении летучих компонентов, потере эластичности, возникновении пор и трещинок. Из-за быстроразвивающихся дефектов в изоляции, её электрическая прочность может снизиться до столь низкой величины, что пробой наступает при перенапряжениях, незначительно превышающих рабочее напряжение или в режиме нормальной эксплуатации.

Отечественные стандарты по импульсной электрической прочности изоляции электродвигателей отсутствуют. Для оценки электрической прочности главной изоляции принята величина испытательного напряжения порядка $(2,6 \dots 2,8) \cdot U_{\text{фн}}$. Оценка электрической прочности витковой изоляции проводится согласно стандартам *IEEE-1981* и *IEEE-1992* [1].

Вакуумные выключатели характеризуются возможностью гашения высокочастотного тока в дуге при её повторных зажиганиях. Процесс восстановления электрической прочности межконтактного промежутка во времени после погасания дуги описывается следующим выражением:

$$U_{\text{эл.пр}} = K \cdot (t + t_0) \quad (1)$$

где

$U_{\text{эл.пр}}$ - электрическая прочность межконтактного промежутка ВДК;

K – скорость восстановления электрической прочности межконтактного промежутка;

t_0 – промежуток времени между моментом подачи сигнала на отключение и переходом тока через нулевое значение [2].

Одной из причин высоких кратностей перенапряжений на изоляции ЭД является явление "среза" тока в выключателе. В большинстве случаев обрыв дуги в выключателе происходит в момент, когда значение тока близко к нулю. Однако, при отключении малых индуктивных токов возможен распад канала до перехода тока дуги через нулевое значение. Это явление получило название – "срез" тока. При этом в сети возникают перенапряжения, обусловленные наличием колебательного *LC*-контура [3]. Величина тока среза зависит от типа выключателя. По данным различных исследований, ток среза вакуумных выключателей составляет величину $3 \dots 5$ А.

Второй причиной перенапряжений является эскалация перенапряжений вследствие повторных зажигания дуги в ВДК. Эскалация перенапряжений возникает при многократных зажиганиях и погасаниях дуги. Кратность перенапряжений, определяющая вероятность первого повторного зажигания дуги, зависит от характеристик выключателя и от параметров коммутируемого присоединения. Повторные пробои в вакуумной камере будут иметь место, если восстанавливающееся напряжение на контактах выключателя превысит электрическую прочность межконтактного промежутка.

$$U_{\text{восст}} \geq U_{\text{эл.пр}} \quad (2)$$

где $U_{\text{восст}}$ - восстанавливающееся напряжение на контактах выключателя.

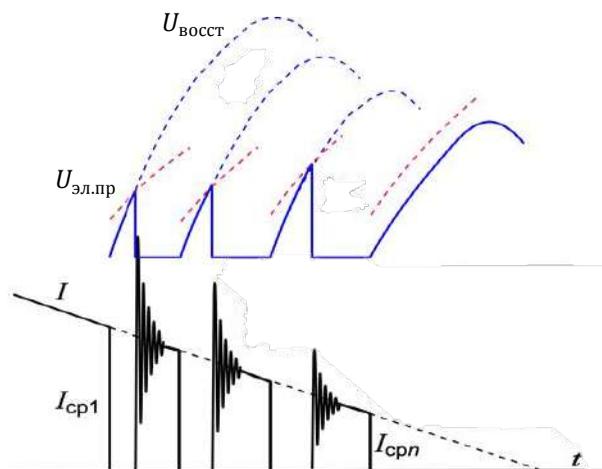


Рис. 1 – Повторные зажигания дуги в выключателе

Многочисленные повторные зажигания в ВДК инициируют перенапряжения на изоляции ЭД в частотном диапазоне (в зависимости от характеристик коммутируемого присоединения) до единиц мегагерц, что является недопустимым согласно [1].

Уменьшения вероятности повторных зажиганий дуги в ВДК можно добиться установкой в сети шунтирующих RC -цепей. Параметры цепей зависят от требуемого ограничения амплитуды и частоты перенапряжений и лежат в диапазонах: $C = 0,5 \dots 2$ мкФ, $R = 50 \dots 200$ Ом [4].

Литература:

1. IEEE Committee 802: 1981 – 1982.
2. *К.П. Кадомская, Ю.А. Лавров, О.И. Лантев*, Электрооборудование высокого напряжения нового поколения. Основные характеристики и электромагнитные процессы: монография. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2008. – 343 с.
3. *Дегтярев И.Л.*, Теоретическое и экспериментальное исследование процессов, сопровождающих коммутации вакуумными выключателями: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Новосибирск. - НГТУ. -2006.- 22 с.
4. Перенапряжения в сетях 6(10) кВ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [<http://www.news.elteh.ru/arh/2002/17/06.php>].

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА СОЗДАНИЕ УЛЬТРАКОМПАКТНЫХ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 110 КВ

О.Д. Косенкова

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, kosenkovaolga59@gmail.com
Научный руководитель: Лавров Ю.А., к.т.н., с.н.с.

Проектирование воздушных линий электропередачи осуществляется на основе системного подхода, при котором необходимо учитывать абсолютно все факторы, влияющие на надежность эксплуатации, экономичность и экологичность ВЛ. При проектировании следует принимать во внимание существующие на сегодняшний день инновационно-технические решения, позволяющие повысить технико-экономические показатели ВЛ, которые можно реализовать при внедрении в отечественный электросетевой комплекс ультракомпактных ВЛ.

The design of overhead power transmission lines is carried out on the basis of a systematic approach, in which it is necessary to take into account absolutely all factors that affect the reliability of operation, efficiency and environmental friendliness of overhead lines. When designing, one should take into account the innovative and technical solutions that exist today, which make it possible to improve the technical and economic indicators of overhead lines, which can be implemented when ultra-compact overhead lines are introduced into the domestic power grid complex.

Проблема

Актуальность рассматриваемой темы связана с современными тенденциями в проектировании и строительстве воздушных линий (ВЛ), направленными на повышение их технико-экономических показателей. Основные положения этого направления сформулированы в соответствующих документах, которыми руководствуется в своей деятельности основной потребитель - ПАО «Россети». В частности, в документах [1-2] «Положение ПАО «Россети» «О единой технической политике в электросетевом комплексе» и «Инновации и развитие. ПАО «Россети» отмечается, что одними из основных направлений технической политики при строительстве, техническом перевооружении и реконструкции воздушных линий электропередачи являются:

- обеспечение надежности и эффективности работы;
- сокращение влияния ВЛ на экологию, включая минимизацию ширины и геометрическую оптимизацию лесных просек;

- применение конструкций элементов и оборудования, сохраняющих расчетные параметры в течение всего срока службы;
- применение конструкций и материалов, обеспечивающих стойкость к расхищениям и нанесению ущерба третьим лицам;
- сокращение площади отвода земель под ВЛ в постоянное пользование;
- сокращение производства земляных работ за счет применения свайных фундаментов.

В Стандарте организации СТО 56947007-29.240.55.192-2014 «Нормы технологического проектирования воздушных линий электропередачи напряжением 35-750 кВ» [3] отмечается, что при проектировании ВЛ должно быть обеспечено оптимальное использование земли, а также лесных угодий, т.е. применение конструкций и проектных решений, требующих при прочих равных условиях наименьшего отчуждения земли в постоянное и временное пользование и наименьшей вырубке леса.

Объект исследования

Выше перечисленные тенденции технической политики ПАО «Российские сети» можно реализовать, в том числе, и при внедрении в отечественный электросетевой комплекс так называемых ультракомпактных воздушных линий электропередачи (УКВЛ) напряжением 110 кВ одноцепного и двухцепного исполнений с уменьшенными изоляционными расстояниями между проводами. При этом для обеспечения максимальной эффективности эксплуатационных параметров УКВЛ необходимо применять следующие инновационные технические решения:

- быстромонтируемые узкобазовые опоры из гнутого стального профиля или опоры из полимерных композитных материалов;
- изолирующие траверсы (ИТ) с фиксированной жесткостью их крепления к стойке опоры;
- самонесущий изолированный провод (СИП) или неизолированный алюминиевый стальной провод с улучшенными аэродинамическими характеристиками и повышенной пропускной способностью с применением межфазовых изоляционных распорок;
- максимально сниженные изоляционные расстояниями между проводами;
- установку на опоры ВЛ защитных аппаратов на основе нелинейных ограничителей перенапряжений;
- снятие на ВЛ молниезащитных тросов в районах прохождения трассы линии с высоким удельным сопротивлением грунта.

Новизна результатов

Применение быстромонтируемых узкобазовых опор из гнutoго стального профиля или полимерных композитных материалов позволит снизить стоимость и сроки сооружения УКВЛ за счет применения «облегченной» строительной техники и снижения объема земляных работ под фундаментную часть опор.

Для сравнения на рис.1 приведены конструктивные габариты опор для двухцепных ВЛ напряжением 110 кВ с применением традиционных решетчатых опор башенного типа и узкобазовых опор для УКВЛ, на которых предусматривается применение поворотных ИТ и СИП.

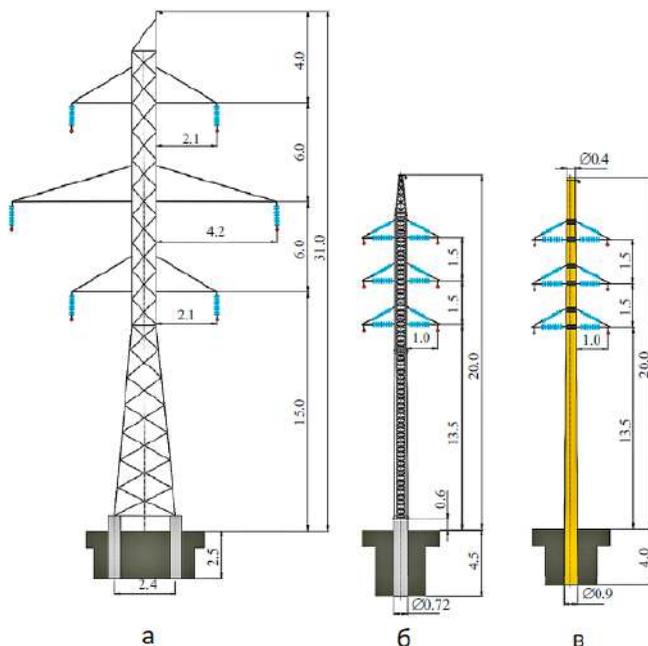


Рис.1 – Конструктивные габариты опор для двухцепных ВЛ напряжением 110 кВ: стальная решетчатая опора башенного типа (а), стальная узкобазовая опора из гнutoго профиля (б) и опора из композитных материалов (в)

Применение СИП и полимерных изолирующих траверс позволяет увеличивать пролеты на 5-10% за счет исключения длины изолирующей подвески, так же при нормированной жесткости крепления ИТ к стойке опоры в продольном направлении к оси ВЛ

исключить аварийный расчетный режим (обрыв провода в пролете) и, как следствие, снизить материалоемкость стойки стальной или композитной опоры. Снижение изоляционных расстояний между проводами ВЛ позволит уменьшить напряженность электрического и магнитного полей вблизи и под проводами УКВЛ, а также увеличить пропускную способность линии на 10-12% за счет снижения волнового сопротивления по прямой последовательности фаз.

В качестве примера на рис.2 приведена схема изменения габарита ВЛ при замене поддерживающей полимерной изолирующей подвески на ИТ, выпускаемые ПО «ФОРЭНЕРГО»:

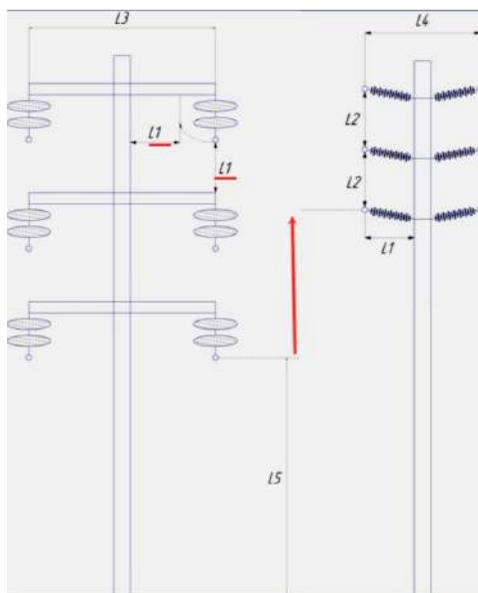


Рис.2 – Схема изменения габаритов ВЛ с применением изолирующих траверс

Область применения

Можно выделить следующие основные области эффективного применения одноцепных и двухцепных ВЛ напряжением 110 кВ:

- стесненные условия крупных городских застроек, для которых актуальны проблемы снижения охранных зон и зон отчуждения;
- прохождение трасс УКВЛ в курортных зонах, заповедниках, национальных парках, стесненных рельефных условиях, а также в «особых» зеленых зонах, например, лесах первой категории.

Литература:

1. Положение ПАО «Россети» «О единой технической политике в электросетевом комплексе» Утверждено Советом директоров ПАО «Россети» (протокол от 08.11.2019 № 378). – М: 2019. – 219 с.
2. Инновации и развитие. ПАО «Россети». Изд-во «Электроэнергия. Передача и распределение». – М: 2014. – 91 с.
3. Стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС», СТО 56947007-29.240.55.192- 2014 Нормы технологического проектирования воздушных линий электропередачи напряжением 35-750 кВ. – М, 2014. – 72 с.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ

Д.В. Кривошеин, Е.С. Логинова
Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
г. Северск, krivosheindanila@mail.ru
Научный руководитель: Логинова Е.С., к.т.н., доцент

В данной статье рассмотрен вопрос математического расчета остаточного ресурса высоковольтных выключателей. Также описаны основные особенности работы выключателей разных типов.

This article discusses the issue of mathematical calculation of the residual life of high-voltage switches. The main features of the operation of switches of different types are also described.

Высоковольтный выключатель является одним из важнейших элементов оборудования распределительных устройств подстанций. Он осуществляет включение и отключение участков электрической сети каждое из которых сопровождается явлением горения электрической дуги. При этом нужно иметь ввиду, что такие манипуляции могут производиться как при рабочем токе нагрузки, так и при токе превышающим номинальный в десятки раз, в случае возникновения аварийных режимов.

Для надежной работы выключателя, и распределительной подстанции на которой он установлен, необходимо иметь информацию о возможности использования данного устройства и времени которое он может исправно работать. У каждого аппарата предусмотрен определенный ресурс, исходя из которого, решается следует ли продолжать эксплуатацию механизма или нет. Согласно ГОСТу 27.002-2015 имеется следующее определение: ресурс —

наработка устройства (механизма) от начала его эксплуатации или после ремонта и до достижения им предельного состояния, определяемого нормативно-технической документацией [4].

Существуют разные виды ресурса: полный, который определяет срок службы изделия до конца его эксплуатации; доремонтный (межремонтный) — срок от начала эксплуатации (после ремонта) до восстановительного ремонта; израсходованный — от начала эксплуатации до рассматриваемой наработки; остаточный — от рассматриваемой наработки и до отказа (для невосстанавливаемого изделия) или до ремонта (для изделия, подлежащего ремонту).

Типовая конструктивная схема высоковольтного выключателя состоит из дугогасительной камеры, главных контактов, шунтирующего резистора, отделителя и ёмкостного делителя напряжения, обеспечивающего два разрыва на фазу [1].

При этом существуют в зависимости от среды, в которой производят гашение электрической дуги, различные типы выключателей: воздушные выключатели, в которых дуга гасится сжатым воздухом, масляные выключатели, в которых контакты помещаются в ёмкость с маслом, а дуга гасится парами масла, электромагнитные выключатели (как правило до 10 кВ), с так называемым магнитным дутьём и дугогасительными камерами с узкими щелями или решётками, элегазовые выключатели, в которых используется электропрочный газ SF₆ — «элегаз», и вакуумные выключатели, в которых дугогашение происходит в вакууме — в так называемой вакуумной дугогасительной камере (ВДК) [3].

Кроме разной конструкции у выключателей имеются разные последствия истощения коммутационного ресурса.

Если это вакуумный выключатель, то его необходимо заменить после истощения коммутационного ресурса, так как камера гашения дуги с контактной системой не обслуживается [2].

После истощения ресурса элегазовый выключатель подвергается капитальному ремонту, в ходе которого оценивается состояние выключателя и устанавливается возможность дальнейшей работы коммутационного устройства [2].

Масляный переключатель имеет значительно более короткое время ремонта. Как правило, после семи автоматических отключений токов короткого замыкания необходимо произвести капитальный ремонт коммутирующего устройства. В первую очередь это связано с тем, что дугогасящую среду — трансформаторное масло — необходимо

заменить, так как оно теряет свои изоляционные и дугогасящие свойства [2].

Из этого можно сделать вывод, что вакуумные и элегазовые выключатели более надежны по сравнению с масляными, соответственно, периодические ремонты данных коммутационных аппаратов производятся реже.

Также у каждого механизма присутствуют узлы которые и определяют его ресурс.

Основными параметрами (узлами) выключателя, определяющими его стабильную работу, являются его контактная система, исправность кинематической схемы, нормальная работа дугогасящих устройств, сохранение паспортной диэлектрической прочности в основных узлах и исправность цепей и оборудования цепей управления.

При этом необходимо понимать, что режим работы выключателя высокого напряжения влияет на ресурс устройства, а точнее на уменьшение ресурса по сравнению с представленным в паспортных данных. К таким режимам можно отнести:

Короткое замыкание. При сильном коротком замыкании начинают обгорать контакты и внутренняя часть выключателя.

Режим Перегрузки. Воздействие электрического поля при номинальном напряжении или при перенапряжениях

Номинальный режим работы. В автоматическом выключателе могут происходить процессы, вызывающие значительные тепловые, механические и электрические нагрузки на отдельные элементы конструкции.

Следовательно, нужно знать какой остаточный ресурс остался у выключателя. При этом определяется максимальное значение тока через выключатель во время процесса отключения и длительности протекания тока и отключения, которая рассчитывается с момента подачи команды на автоматический выключатель. При каждом отключении оставшийся срок службы выключателя уменьшается на рассчитанное значение исчерпанного ресурса.

В зависимости от максимального тока в процессе выключения и режима работы используются разные формулы расчета. Одной из применяемых формул, дающих наиболее точные значения коммутационного ресурса, может быть приведенная ниже, при этом значение тока в момент отключения не должно было превысить номинальный ток выключателя:

$$P = MP \cdot \left(\frac{KP I_{\text{НОМ}}}{MP} \right)^{\frac{I_{\text{МАКС}}}{I_{\text{НОМ}}}} \quad (1)$$

где MP – ресурс по механической стойкости выключателя; $KPI_{ном}$ – ресурс по коммутационной стойкости выключателя; $I_{макс}$ – максимальный ток во время отключения; $I_{ном}$ – номинальный ток выключателя.

За один цикл включения — отключения (ВО) значение ресурса уменьшается на $100/KP$ %.

При максимальном протекающем токе, во время отключения находящемся в пределах между номинальным током выключателя и номинальным током отключения выключателя, израсходованный ресурс считается по следующей формуле:

$$KP = KP_{I_{0,ном}} \cdot \left(\frac{KP_{I_{ном}}}{KP_{I_{ном}}} \right)^{\frac{\ln(I_{0,ном}/I_{макс})}{\ln(I_{0,ном}/I_{ном})}} \quad (2)$$

где $KPI_{0,ном}$ — ресурс по коммутационной стойкости при 100 % номинального тока отключения, циклы ВО; $KPI_{ном}$ — ресурс по коммутационной стойкости выключателя, циклы ВО; $I_{0,ном}$ — номинальный ток отключения выключателя, А; $I_{ном}$ — номинальный ток выключателя, А.

Таким образом при переходе на ремонт «по состоянию» возникает необходимость правильно оценивать выработанный ресурс оборудования. Неправильный расчет может вести к слишком частым ремонтам оборудования и удорожанию данной методики ремонтов или, что еще хуже, к авариям вследствие доведения устройства до критического состояния. Для этого может использоваться формула (1) с помощью которой и будет рассчитан выработанный коммутационный ресурс.

Литература:

1. Родштейн Л.А. Основы теории электрических аппаратов. Л.: Энергоатомиздат, 1981. 304 с;
2. Правила устройства электроустановок. М.: Норматика, 2021. 462 с;
3. Чунихин А.А. Электрические аппараты. М.: Энергоатомиздат, 1988. 720 с;
4. ГОСТ 27.002-2015. Надежность в технике. Термины и определения.—Введ. 2017–03–01.—М.: Стандартинформ, 2016. – 29 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИДЕРА С ЗАМЫКАНИЕМ НА ЗЕМЛЮ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ

А.А. Лебедев

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, vazuzella@gmail.com

Научный руководитель: Качесов В.Е., д.т.н., профессор

В электрических сетях 6-35 кВ традиционно используется неэффективно заземленная нейтраль. Для уменьшения негативного воздействия перенапряжений, вызванных однофазными замыканиями на землю приводящих к ускоренной деградации изоляции в силу длительных дуговых перенапряжений предлагается выполнять мониторинг переходных процессов, оценивающий состояние изоляции, и совместно с системами телеметрии выделять поврежденный фидер с зоной замыкания. Определение фидера выполняется с помощью способа, основанного на обработке предпробивного напряжения на поврежденной фазе.

In electrical networks 6-35 kV, an ineffectively grounded neutral is traditionally used. To reduce the negative impact of overvoltages caused by single-phase ground faults leading to accelerated degradation of insulation due to long-term arc overvoltages, it is proposed to monitor transient processes, assessing the state of the insulation, and together with telemetry systems, highlight a damaged feeder with a fault zone. The determination of the feeder is carried out using a method based on the processing of the pre-breakdown voltage on the damaged phase.

Электрические сети (ЭС) 6-35 кВ в Российской Федерации имеют суммарную протяженность близкую 1 миллиону км. Они принципиально имеют неэффективно заземленную нейтраль, поэтому при возникновении однофазного замыкания на землю потребитель сохраняет электропитание по всем трем фазам, не чувствуя дефекта изоляции, а у поставщика электрической энергии не возникает недоотпуск электрической энергии потребителям. В случаях устойчивого замыкания на землю фазная изоляция неповрежденных фаз испытывает электрическую перегрузку в $\sqrt{3}$ раз, но при неустойчивых (перемежающихся замыканиях) кратность дуговых перенапряжений может достигать значений $\sim 3,2U_{\text{фм}}$ [1]. С учетом того, что такие перенапряжения в силу непредсказуемости поведения заземляющих дуг могут длиться до нескольких часов и более, деградация изоляции оборудования заметно ускоряется и требуется применение специальных мер для временного ограничения таких режимов, если есть возможность управления ими. Современные средства измерений легко фиксируют переходные процессы в ЭС, сопровождающихся перенапряжениями, а также последствия их

воздействия на изоляцию оборудования. Для этих целей разработаны различные системы мониторинга [2-7]. Помимо этого, существуют способы определения поврежденного фидера [8], однако они не обладают достаточной степенью надежности и достоверности к однофазным неустойчивым дуговым замыканиям, поэтому, для выделения фидера с замыканием на землю предлагается новый метод, основанный на анализе промышленной составляющей предпробивного напряжения [9]. Суть данного метода заключается в том, что производная напряжения на поврежденной фазе всегда выше, чем на неповрежденных. Это вытекает как из модели ЭС, состоящей из трехканальных длинных линий электропередачи, так и из простейшей двухчастотной модели ЭС, в которой имеют место лишь колебания с перезарядной и разрядной частотами. Перепад (по модулю) фазного напряжения, возникающий при пробое фазной изоляции, который пропорционален производной, передается на неповрежденные фазы через коэффициент электростатической связи заметно меньший единицы, поскольку междуфазная емкость в несколько раз меньше фазной ($\eta=C_{фф}/(C_{ф}+C_{фф})\cong 0,2\dots 0,25$). В связи с этим выделение поврежденной фазы по модулю максимальной производной не вызывает сложностей после установления факта замыкания на землю. Математически в ЭС всегда выполняется неравенство:

$$\left| \frac{du_{п}}{dt} \right| > \left| \frac{du_{нп}}{dt} \right|, \quad (1)$$

где индексы «п» и «нп» - соответствуют поврежденной и неповрежденной фазам, соответственно.

Выделение поврежденного фидера выполняется в несколько этапов. Устанавливается факт замыкания на землю, затем - поврежденная фаза, на последнем этапе выделяется поврежденный фидер. Технология его выделения заключается в следующем. Для поврежденной фазы на зарегистрированной в цифровой форме осциллограмме переходного напряжения $u_{п}(t)$ посредством вычисления конечных разностей определяется производная измеренного напряжения $du_{п}/dt$ и фиксируется момент времени t_{m1} максимальной по модулю производной напряжения. Далее измеряется временной интервал до предыдущего момента пробоя фазной изоляции, т.е. до предыдущего максимума производной по модулю $\Delta t_{пред}=t_{m1}-t_{m0}$. Если рассматривается первичный пробой изоляции, то принимается $\Delta t_{пред}>1$ мс; если $\Delta t_{пред}<1$ мс, то текущий максимум

производной (текущий пробой фазной изоляции) исключается из обработки. Если временной интервал $\Delta t_{\text{пред}}$ превышает 1 мс, т.е. $\Delta t_{\text{пред}} > 1 \text{ мс}$, то с момента времени $t_{\text{м1}}$ смещаются к началу осциллограммы $u_{\text{п}}(t)$ на время усреднения (интегрирования), равное $\Delta t_U \cong (0.025 \dots 0.1) T_0$ (T_0 – период промышленной частоты), т.е. к моменту времени $t_0 = t_{\text{м1}} - \Delta t_U$. С этого момента времени до времени $t_{\text{м1}}$ по формуле 2, находят среднее значение предпробивного фазного напряжения:

$$U_{\text{п.ср.}} = \frac{1}{N_U} \sum_{k=1}^{N_U} U_{\text{п},k}, \quad (2)$$

где $U_{\text{п},k}$ - мгновенные фазные напряжения на поврежденной фазе; $N_U = \frac{\Delta t_U}{h}$ - количество отсчетов фазного напряжения на поврежденной фазе; h - шаг дискретизации по времени на осциллограмме.

Затем определяется знак среднего предпробивного напряжения - $\text{sign}(U_{\text{п.ср.}})$. С момента времени $t_{\text{м1}}$ для всех осциллограмм зарегистрированных токов НП i_0 в отходящих фидерах по формуле 3 определяют их средние значения на ограниченном временном отрезке Δt_I :

$$I_{0,\text{ср.}} = \frac{1}{N_I} \sum_{m=1}^{N_I} I_{0,m}, \quad (3)$$

где $N_I = \frac{\Delta t_I}{h}$ - количество отсчетов тока НП; $\Delta t_I \cong (3f_1)^{-1}$ - треть периода свободных перезарядных колебаний в ЭС.

Из всех средних токов НП оставляют два наибольших по модулю и определяют их знаки. Фидер, в котором знак среднего значения тока НП $\text{sign}(I_{0,\text{ср.}})$ совпадает со знаком среднего предпробивного напряжения на поврежденной фазе, т.е. $\text{sign}(I_{0,\text{ср.}}) = \text{sign}(U_{\text{п.ср.}})$, считается поврежденным. При таком подходе используется основная функция ЭМТН – точное измерение напряжения промышленной частоты; они не используются для измерения высокочастотных

компонент переходного процесса, трансформация которых на сторону низкого напряжения имеет заметную частотную зависимость, обусловленную собственными и междуобмоточными емкостями.

Расчетные кривые, поясняющие алгоритм выделения поврежденного фидера представлены на рисунке 1.

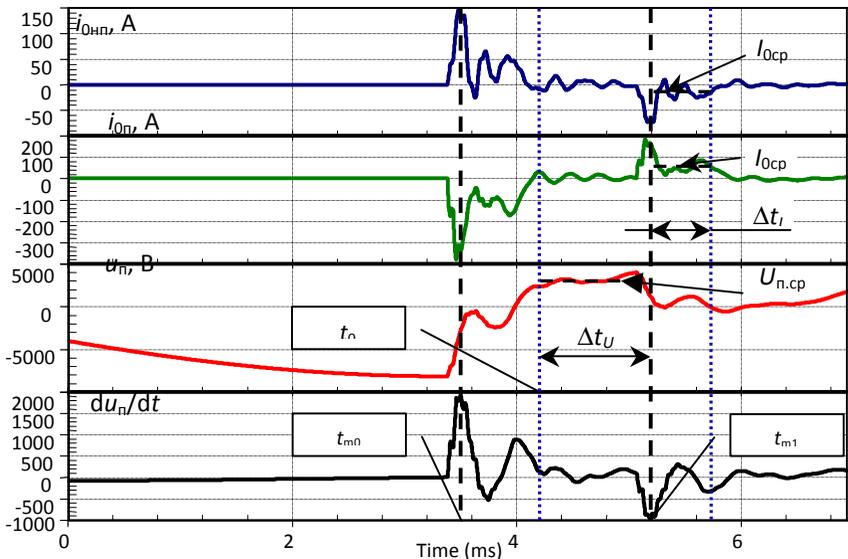


Рис. 1 – Расчетные кривые при ОДЗ

Выделение поврежденного фидера выполняется во всех узлах ЭС (в центре электропитания, на распределительных подстанциях). По каналам телеметрии информация собирается в центре электропитания, где формируется цепь фидеров до поврежденного участка. Эта информация используется для решения задачи локации места замыкания и в конечном итоге для формирования on-line карты аварийности электрической сети, позволяющей оперативно управлять сетью и осуществлять целенаправленные профилактику и ремонт изоляции.

Исходя из вышесказанного можно сделать следующие выводы:

1. Обработка параметров переходных электромагнитных процессов позволяет решать задачи распознавания вида повреждения и фазы. Совместно с системами телекоммуникации (телеметрии) определяется поврежденный фидер и место замыкания.

2. Для более надежного выделения поврежденного фидера предложен способ, основанный на обработке предпробивного

напряжения промышленной частоты совместно с определением полярности переходных токов НП.

Литература:

1. Лихачев Ф.А. Замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью и с компенсацией емкостных токов. -М.: Энергия, 1971. - 152 с.

2. Dikoy V., Kachesov V.E., Ovsajnnikov. A.G., Larionov V.N. Monitoring overvoltages in underground HV cable distribution networks// CIGRE 2002 Session, 2002. – P. 164–167.

3. Мониторинг перенапряжений в распределительных кабельных сетях / Д.А. Голдобин, В.Е. Качесов, В.Н. Ларионов, А.Г Овсянников // Научный вестник НГТУ. – 1999. – №2(5). – С.109-116.

4. Диагностика и мониторинг кабельных сетей средних классов напряжения / К.П. Кадомская, В.Е. Качесов, Ю.А. Лавров, А.Г. Овсянников, В.А. Сахно // Электротехника. 2000. – №11. – С. 48-51.

5. Kachesov V.E., Cherepanov A.B., Lavrov V.Y. Parametric method of fault location in distribution underground networks // First International Conference on Technical & Physical Problems in Power Engineering, 23-25 April, 2002: Proceedings. – Baku, Azerbaijan, 2002. – P. 164–167.

6. Kachesov V.E., Ovsajnnikov. A.G., Lavrov V.Y. Outcomes of overvoltages monitoring and fault location in underground distribution networks // Proc. 6-th Korean-Russian International Symposium on Science and Technologies, KORUS-2002, 2002: Proceedings. – Novosibirsk, 2002. –P. 447- 451.

7. Качесов В.Е., Ларионов В.Н., Овсянников А.Г. О результатах мониторинга перенапряжений при однофазных дуговых замыканиях на землю в распределительных кабельных сетях // Электрические станции. – 2002. – №8. – С. 38-45.

8. Дударев Л.Е., Зубков В.В., Стасенко В.И. Комплексная защита от замыканий на землю // Электрические станции. – 1981. – №7. – С. 59-61.

9. Гельфанд Я.С. Релейная защита распределительных сетей. – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 368 с.

10. Патент 2838469, Н02Н 3/16 Российская Федерация. Способ определения фидера с однофазным замыканием на землю в трехфазных электрических сетях с неэффективно заземленной нейтралью / В.Е. Качесов, А.А. Лебедев. опубл. 26.05.20, Бюл. No 35. – 4 с.: ил.

РАЗРАБОТКА УСТАНОВКИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ РАВНОМЕРНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ОСНОВЕ КОЛЕЦ ГЕЛЬМГОЛЬЦА

Ю.Н. Любецкая

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, lyubeczka2103@gmail.com

Научный руководитель: Шевченко С.С.

Изучение свойств колец Гельмгольца, с помощью моделирования физической и тепловой модели катушек в COMSOL Multiphysics, для создания установки системы колец Гельмгольца с наибольшей магнитной индукцией в области однородного магнитного поля.

Studying the properties of Helmholtz rings, using physical and thermal modeling of coils in COMSOL Multiphysics, to create a Helmholtz ring system setup with the highest magnetic induction in the region of a homogeneous magnetic field.

Кольца Гельмгольца - это система из двух одинаковых тонких катушек, расположенных соосно на расстоянии равном радиусу кольца, для создания однородного магнитного поля между ними.

Кольца Гельмгольца обычно используются для проведения научных экспериментов, магнитной калибровки (зондов и датчиков), для подавления фоновое (земное) магнитное поле, а также для тестирования восприимчивости магнитного поля электронного оборудования. В этих целях необходимо создание системы колец Гельмгольца, которая создаст мощное однородное магнитное поле от постоянного тока. В нашей работе мы планируем создать кольца Гельмгольца с рабочей областью 4 мм и максимальной магнитной индукцией 20 мТл.

Формула, полученная из закона Био-Савара-Лапласа, для магнитной индукции в геометрическом центре системы двух колец Гельмгольца [1]:

$$B = \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot \frac{\mu_0 \cdot N \cdot I}{R} \quad (1)$$

Из формулы 1 видим, что значение магнитной индукции прямо пропорциональна значению произведения протекающего тока и количества витков катушки. Для получения наибольшего значения магнитной индукции нужно задать значение тока приблизительно равное допустимому току выбранного намоточного провода.

При создании установки системы колец Гельмгольца нужно учитывать, что большое количество витков провода, намотанных вплотную, будут сильно нагреваться при протекании тока. Вследствие этого необходимо определить длительно-допустимый ток и температуру нагрева катушки.

Для создания колец Гельмгольца планируется использовать провод ПЭТ-155, сечением 0.125мм². Очевидно, что медный провод способен выдерживать большие температуры, а изоляция провода будет слабым местом.

Для определения значения допустимого тока через участок провода пропускался постоянный ток, после чего оценивалось состояние изоляции. Результаты измерений представлены в Таблице 1.

Таблица 1 - Результаты эксперимента

№	I, А	t, мин	Состояние изоляции
1	20	0,02	разрушена
2	16	0,25	разрушена
3	14	1	разрушена
4	13	10	близко к разрушению
5	12	10	рабочее

Таким образом, длительно-допустимый ток медного проводника сечением 0.125мм² будет составлять 12 А. Дополнительно была измерена температура провода с помощью мультиметра Mastech M3900, которая оказалась равна 154°C.

Получим число витков для колец Гельмгольца с заданными параметрами из выражения 1:

$$N = \left(\frac{4}{5}\right)^{-\frac{3}{2}} \cdot \frac{B \cdot R}{\mu_0 \cdot I} = \left(\frac{4}{5}\right)^{-\frac{3}{2}} \cdot \frac{20 \text{ мТл} \cdot 75 \text{ мм}}{1,26 \text{ Гн/м} \cdot 12 \text{ А}} = 140$$

Для полученного числа витков необходимо 132 метра провода ПЭТ-155. Для уменьшения размеров проектируемого устройства, а также для возможного увеличения интенсивности магнитного поля, попробуем применить систему охлаждения.

С целью экономии средств проектирование системы охлаждения будем выполнять с помощью компьютерного моделирования в системе COMSOL Multiphysics.

На Рисунке 1 представлена тепловая модель проводника в двухмерном пространстве. Максимальная температура на поверхности провода составила 154°C . Полученное значение температуры совпадает с экспериментальными данными, что позволяет считать модель достоверной.

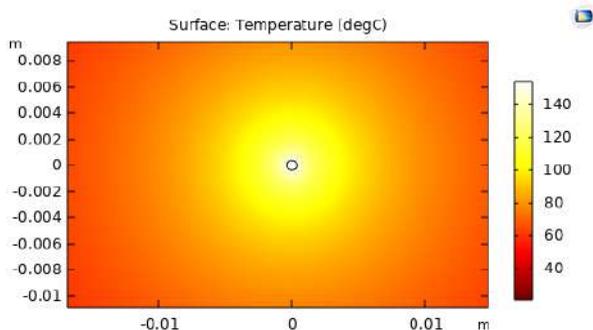


Рис.1 - Двухмерная тепловая модель проводника

Данная модель пока рассматривает только тепловой процесс и не учитывает электромагнитные процессы, протекающие в кольцах Гельмгольца. Магнитное поле, создаваемое в кольцах показано на Рисунке 2.

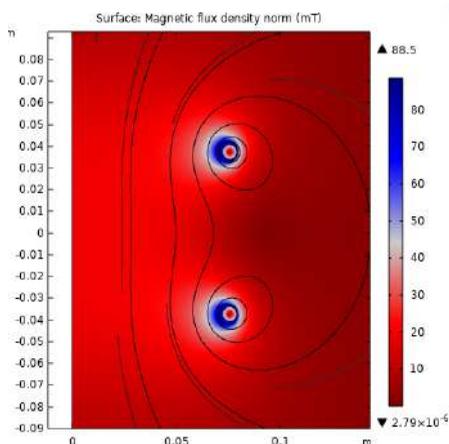


Рис.2 - Модель электромагнитных полей, создаваемых кольцами Гельмгольца

В ходе исследования была построена тепловая и электромагнитная модели колец Гельмгольца. Получены параметры колец для заданных значений рабочей области и максимальной индукции. С использованием пакета COMSOL Multiphysics в дальнейшем будет спроектирована система охлаждения, позволяющая улучшить параметры колец Гельмгольца. Будет создана физическая установка, позволяющая получать однородное магнитного поля с большим уровнем магнитной индукции.

Литература:

1. Гормаков А.Н., Ульянов И.А., Расчет и моделирование магнитных полей, создаваемых системой “Кольца Гельмгольца - соленоид”, М: ТПУ, Изд. “Фундаментальные исследования”. - год 2015. - №3. - С. 40-45.

2. E.L. Bronaugh. Helmholtz coils for calibration of probes and sensors: limits of magnetic field accuracy and uniformity // IEEE International symposium on electromagnetic compatibility, 1995. - P. 72-76.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОКОВ НЕБАЛАНСА В ЦЕПЯХ ТОКОВОЙ ЗАЩИТЫ НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

А.В. Новикова

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, osincev@corp.nstu.ru

Научный руководитель: Осинцев А.А., к.т.н., доцент

В работе рассмотрены причины появления токов небаланса и изучены существующие методы их расчета. Проведен эксперимент, включающий в себя снятие осциллограмм токов при разных кратностях. Результатом исследования является сравнение расчетных и действительных величин, полученных в ходе эксперимента. В заключении выполнен анализ результатов.

The paper considers the causes of unbalance currents and studies the existing methods of their calculation. An experiment that includes taking oscillograms of currents at different multiples is carried out. The result of this research is a comparison of calculated and actual values obtained in the course of the experiment. The results are analyzed in the conclusion.

Токовую защиту нулевой последовательности подключают к фильтру токов нулевой последовательности (ФТНП), в качестве

которого выступает нулевой провод трансформаторов тока (ТТ), соединенных по схеме полной звезды. Ток в нулевом проводе равен сумме вторичных токов трех фаз [1].

$$i_{\text{нп}} = i_{2A} + i_{2B} + i_{2C}.$$

В нулевом проводе всегда протекает ток небаланса, вызванный:

- 1) неидентичностью характеристик намагничивания ТТ;
- 2) значительным содержанием в токе намагничивания гармонических составляющих, которые обусловлены нелинейностью характеристик намагничивания.

Ток небаланса состоит из гармоник, кратных трем, а также 1-ой, 5-ой, 7-ой и т.д. Но гармоники порядка выше третьего практического интереса не представляют, так как их величина резко уменьшается [2].

Проведем эксперимент, используя измерительные трансформаторы тока фирмы ИЕК со следующими характеристиками:

Номинальное напряжение $U_{\text{ном}} = 660 \text{ В}$.

Номинальный первичный ток $I_{\text{ном1}} = 5, 10, 15, 20, \dots, 1000 \text{ А}$.

Номинальный вторичный ток $I_{\text{ном2}} = 5 \text{ А}$.

Номинальный коэффициент трансформации – 150/5.

Номинальный класс точности – 0,5.

Соединим трансформаторы тока по схеме «полная звезда», добавив витки первичной обмотки таким образом, чтобы через окно ТТ проходило 30 витков. Таким образом осуществляется равнозначная подмена одного витка с протекающим по нему первичным номинальным током в 150 А на 30 витков с током 5 А. Результаты измерений приведем к первичным величинам и внесем в таблицу 1. Полученные осциллограммы первичного тока и тока небаланса отобразим на рисунке 1.

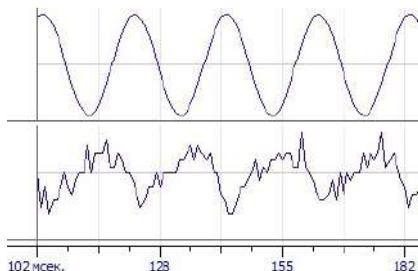


Рис. 1 – Осциллограммы токов при кратности $0,2I_{\text{ном}}$

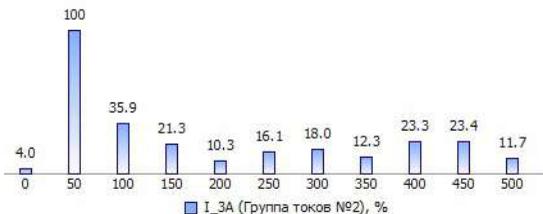


Рис. 2 – Частотная диаграмма при кратности $0,2I_{ном}$

Рассчитаем первичный ток небаланса для кратностей от 0,2 до 4,5 номинального первичного тока по выражению (1):

$$I_{НБ} = \varepsilon \cdot K_{одн} \cdot K_{ап} \cdot I_{КЗ}, \quad (1)$$

где ε – полная погрешность трансформатора тока в относительных единицах, показывает содержание тока намагничивания в первичном токе; $K_{одн} = 0,5$ – коэффициент однотипности; $K_{ап} = 1$ – коэффициент, учитывающий наличие аperiodической составляющей; $I_{КЗ}$ – ток короткого замыкания, в нашем случае, величина первичного тока [3].

$$I_{НБ0,2} = 0,005 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 30 = 75 \text{ мА.}$$

Сведем расчетные величины в таблицу 1.

Таблица 1 - Результаты опыта №1

$I_{1ном}, \text{ А}$	5						
Кратность тока	$0,2I_{1ном}$	$0,4I_{1ном}$	$0,6I_{1ном}$	$0,8I_{1ном}$	$1I_{1ном}$		
$I_{2ном}, \text{ А}$	5						
$I_{нбрасч}, \text{ мА}$	75	150	225	300	375		
$I_{нбдейств}, \text{ мА}$	136,2	152,4	190,5	245,7	255,9		
$I'_{нбдейств}, \text{ мА}$	105,9	115	135,3	183,3	193,8		
$I_{1ном}, \text{ А}$	5						
Кратность тока	$1,5I_{1ном}$	$2I_{1ном}$	$2,5I_{1ном}$	$3I_{1ном}$	$3,5I_{1ном}$	$4I_{1ном}$	$4,5I_{1ном}$
$I_{2ном}, \text{ А}$	5						
$I_{нбрасч}, \text{ мА}$	566	750	943,5	1134	1322	1500	1700
$I_{нбдейств}, \text{ мА}$	377,1	427,8	376,8	529,2	653,4	924,9	1321,8
$I'_{нбдейств}, \text{ мА}$	193,8	158,7	114,9	206,4	253,5	398,7	494,1

Результаты измерения и расчетные значения токов небаланса показаны на диаграмме рис. 2, где $I_{\text{нбдейств}}$ – экспериментально полученный ток небаланса, приведенный к первичным величинам, с учетом всех гармонических, $I'_{\text{нбдейств}}$ соответствует току небаланса основной гармоники.

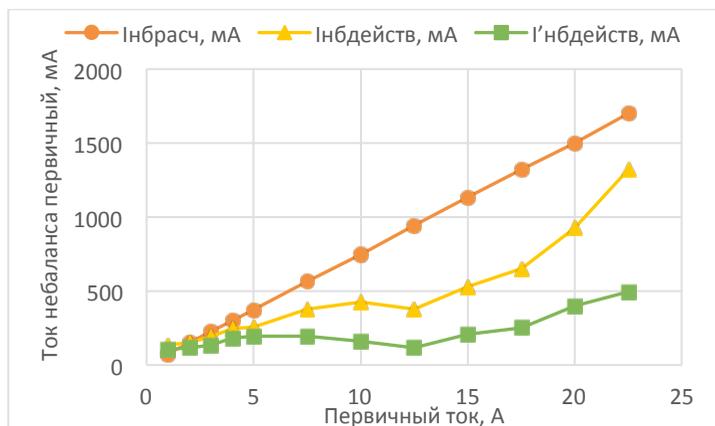


Рис.2 – Диаграмма токов небаланса

Из рисунка 2 видно, что все измеренные значения существенно отличаются от расчетных. При подаче тока меньше первичного номинального расчетное и действительное значения тока небаланса отличаются незначительно. С увеличением первичного тока увеличивается это отношение и при кратности тока $4,5I_{\text{ном}}$ расчетное значение в 1,28 раза больше, чем действительное с учетом всех гармонических, и в 3,4 раза больше тока основной гармоники. Таким образом, содержание высших гармоник в токе небаланса увеличивает его результирующее значение.

По частотным диаграммам видно, что в токе небаланса содержатся гармоники не только кратные трем, но и четные, которые соизмеримы, а иногда и превышают первую и третью гармоники. В упрощенных расчетах тока небаланса используют коэффициент небаланса $k_{\text{нб}}$. В зависимости от кратности симметричного тока относительно номинального тока ТТ $k_{\text{нб}}$ принимает значения:

$k_{\text{нб}}=0,05$, при малых кратностях $2-3I_{\text{ном}}$;

$k_{\text{нб}}=0,05 \div 0,1$, при больших кратностях, но существенно меньших предельных;

При предельной кратности расчет осуществляют по выражению [4]:

$$I_{нб0} = k''_{зап} \cdot \sqrt{(k'_{зап} \cdot I_{0нб1})^2 + I_{0нб3}^2},$$

где $k'_{зап}$ и $k''_{зап}$ – коэффициенты запаса, отражающие наличие ряда неучтенных факторов, влияющих на увеличение первой и третьей гармоник (неодинаковое число витков вторичной обмотки, конструктивные различия трансформаторов тока, неточность расчета и др.), $k'_{зап} = k''_{зап} = 1,4$; $I_{0нб1}$ – первая гармоника тока небаланса, равная геометрической сумме первых гармоник намагничивающих токов трех трансформаторов тока; $I_{0нб3}$ – третья гармоника тока небаланса, равная арифметической сумме третьих гармоник намагничивающих токов трех трансформаторов тока.

Таким образом, существующие методы расчета никак не учитывают наличие высших гармонических, кроме третьей. Для более детального изучения данного вопроса необходимо провести ряд экспериментов для разных трансформаторов тока класса точности 10P.

Литература:

1. *Чернобровов Н.В.* Релейная защита. Учебное пособие для техникумов. Изд 4-е, перераб. и доп. М., “Энергия”, 1971. – 642 с.
2. *Воскресенский А.А.* Токи небаланса в нулевом проводе трансформаторов тока. – Электр. станции, 1950, №2, с. 34-37.
3. *Щеглов А.И.* Релейная защита электрических сетей: учеб. пособие / А.И. Щеглов, А.В. Белоглазов; Новосиб. гос. техн. ун-т. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2015. – 144 с.
4. Руководящие указания по релейной защите. Вып. 12. Токовая защита нулевой последовательности от замыканий на землю линий 110 – 500 кВ. Расчеты. – М.: Энергия. – 1980. – 88 с., ил.

АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ МЕТОДИК РАСЧЕТА УСТАВОК СТУПЕНЧАТЫХ ЗАЩИТ ДЛЯ КОЛЬЦЕВЫХ СЕТЕЙ С ДВУХСТОРОННИМ ПИТАНИЕМ

О.Д. Сегеда

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, olegtesmos@gmail.com

Научный руководитель: Осинцев А.А., к.т.н., доцент

В статье рассматриваются принципы построения ступенчатых защит на ЛЭП высокого напряжения, производится расчет комплектов ступенчатых защит кольцевых линий ТЭЦ-2 – ПС Тулинская, а также анализируется применимость методик расчета уставок ступенчатых защит для кольцевых сетей с двухсторонним питанием.

The article discusses the principles of constructing step protections on high voltage power lines, calculates the sets of step protections for ring lines of Powerstation-2 – Substation Tulinskaya, also analyzes the applicability of methods for calculating the settings of step protections for ring networks with two-way power supply.

Усложнение конфигурации электроэнергетических сетей, а также применение современного оборудования, таких как КРУЭ и кабелей с СПЭ-изоляция, предъявляют повышенные требования к селективности, чувствительности и быстродействию устройств релейной защиты (УРЗ), в связи с ограничением длительности протекания через них токов повреждения. Вышесказанное обуславливает актуальность данной работы, а также необходимость использования нестандартных методик расчета, основанных на существующей нормативно-технической документации.

В работе производится расчет параметров срабатывания комплектов ступенчатых защит кольцевого участка новосибирской сети.

Принципиальная схема электрических соединений рассматриваемого участка сети представлена на рисунке 1.

ТЭЦ-2 – ПС Кировская и ТЭЦ-2 – ПС Вертковская кабельные линии, ПС Тулинская – ПС Кировская и ПС Тулинская – ПС Вертковская кабельно-воздушные линии.

Расчеты параметров срабатывания УРЗ выполнены в специализированном расчетном комплексе – Автоматизированное рабочее место служб расчетов уставок релейной защиты ОДУ и энергосистем – АРМ СРЗА.

Сегодня выбор видов УРЗ для объектов электроэнергетической сети регламентируется правилами устройства электроустановок

(ПУЭ), нормами технологического проектирования (НТП), руководящими указаниями по релейной защите (РУ) и другой документацией, обобщающей большой опыт проектирования и эксплуатации.

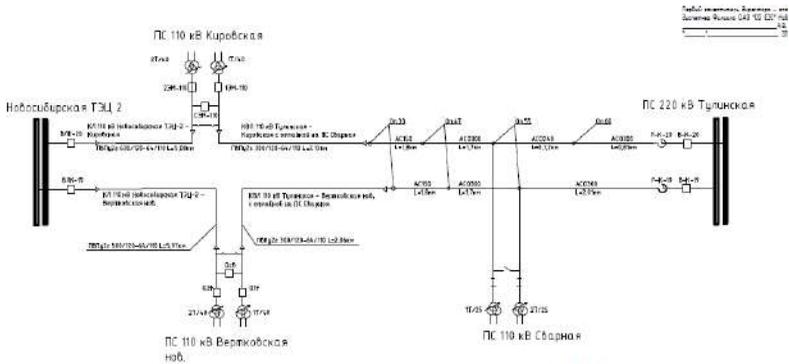


Рис.1 – принципиальная схема рассматриваемого участка сети

Согласно РУ-7, в качестве сопротивлений срабатывания ступеней дистанционной защиты (ДЗ) принимаются наименьшие из сопротивлений, полученных по приведенным в таблице расчетным условиям [1]. Расчетные условия для определения сопротивлений срабатывания ступеней ДЗ приведены для параллельных линий с ответвлениями.

Таблица 1 – Расчетные условия, ДЗ

Ступень защиты	Расчетное условие
1	Отстройка от короткого замыкания (КЗ) на шинах противоположного конца линии
1 и 2	Отстройка от КЗ на шинах низшего (среднего) напряжения подстанций на ответвлениях
2	Отстройка от КЗ на шинах низшего (среднего) напряжения отпаечного трансформатора
	Согласование с первой ступенью защиты смежной линии при каскадном отключении повреждения на параллельной линии
3	Обеспечение чувствительности в режиме дальнего резервирования

В схеме четырехступенчатой токовой защиты нулевой последовательности (ТЗНП) для линий 110-500 кВ, имеющих питание

с двух и более сторон, все ступени, кроме последней, являются токовыми отсечками и предназначены в основном для действия при замыканиях на землю в пределах защищаемой линии и на шинах противоположной подстанции [2]. Последняя ступень предназначена в основном для осуществления резервирования при замыканиях на землю на предыдущей линии.

Таблица 2 – Расчетные условия, ТЗНП

Ступень защиты	Расчетное условие
1	<ul style="list-style-type: none"> • при КЗ на землю в конце линии; • отстройки от неполнофазного режима на защищаемой линии; • исходя из требуемой чувствительности.
2	<ul style="list-style-type: none"> • согласование с первой ступенью защиты предыдущей линии; • отстройка от КЗ на средней стороне предыдущего автотрансформатора (АТ); • отстройка от неполнофазного режима на предыдущей линии; • исходя из требуемой чувствительности.
3	<ul style="list-style-type: none"> • согласования со второй ступенью защиты предыдущей линии; • согласование с первой ступенью селективной ТЗНП на средней стороне предыдущего АТ; • отстройка от небаланса фильтра нулевой последовательности при трехфазном КЗ за трансформаторами с обеих сторон линии; • исходя из требуемой чувствительности.
4	<ul style="list-style-type: none"> • отстройки от небаланса в рабочем режиме; • отстройка от небаланса фильтра нулевой последовательности при трехфазном КЗ за трансформаторами с обеих сторон линии; • исходя из требуемой чувствительности.

Назначение максимальной токовой отсечки (МТО) традиционно для отечественных защит линий высокого напряжения – это дополнительная защита на случай нечеткой работы ДЗ при замыканиях в начале защищаемой линии. Уставка МТО рассчитывается по току трехфазного КЗ в максимальном режиме в конце защищаемой линии и выбирается с учетом коэффициента чувствительности в максимальном режиме в месте установки защиты.

На рисунке 2 представлена карта уставок, которая была составлена по результатам расчета всех комплектов ступенчатых защит кольцевого участка.

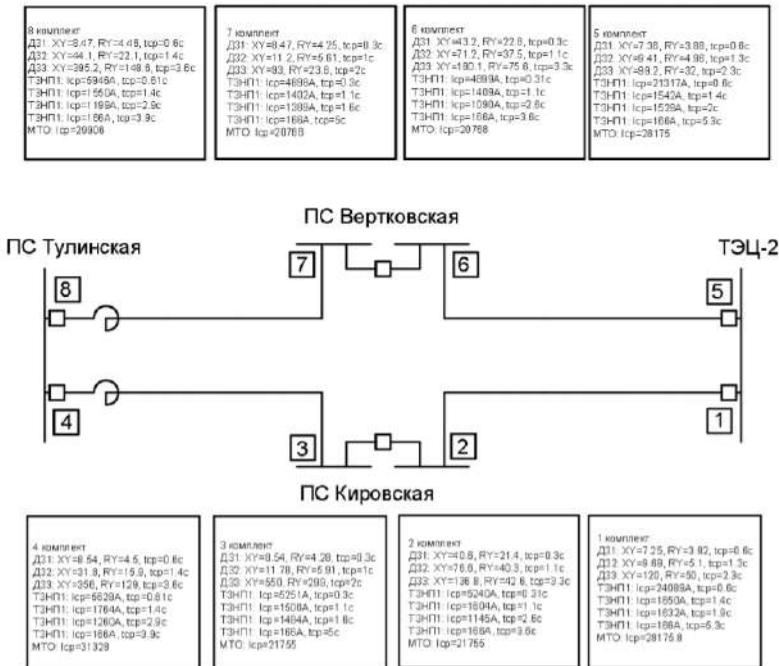


Рис.2 – карта уставок рассматриваемого участка сети

По итогам расчетов:

1. Первые ступени ДЗ комплектов 1, 2, 5 и 6 не попадают в диапазон уставок, выставляемых на терминалах защиты, поэтому они согласованы с первыми ступенями защит смежных линий;
2. Вторые ступени ДЗ согласованы со вторыми ступенями защит смежных линий и отстроены от режима каскадного отключения;
3. Вторые и третьи ступени ТЗНП согласованы с соответствующими ступенями защит смежных линий;
4. Токовые отсечки выбраны исходя из обеспечения чувствительности к КЗ в конце защищаемой линии.

В работе показано, что использование традиционных методик расчета параметров срабатывания ступеней КСЗ при нетиповой конфигурации сети и использовании современного оборудования не позволяет учесть все особенности первичного защищаемого объекта.

Литература:

1. Руководящие указания по релейной защите. Вып.7. Дистанционная защита линий 35-330 кВ.-М.: «Энергия», 1966.

2. Руководящие указания по релейной защите. Вып.12. Токовая защита нулевой последовательности от замыканий на землю линий 110-500 кВ.-М.: «Энергия», 1980.

РАЦИОНАЛЬНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

М.В. Селивановский, А.Л. Федянин

**Северский технологический институт Национального
исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Северск,
mortalroll@gmail.com**

В данной статье рассматривается рациональность применения математической модели релейной защиты. Производится анализ возможных проблем и недочётов при применении математической модели и поиски решения их

This paper considers the rationality of applying a mathematical model of relay protection. Possible problems and shortcomings of applying the mathematical model are analyzed and solutions are sought

Защита электроэнергетической системы, является одной из наиболее сложных и актуальных задач в электроэнергетике, от правильности работы релейной защиты и автоматики во многом зависит устойчивость электроэнергетической системы в целом. Релейная защита осуществляет непрерывный контроль состояния всех элементов электроэнергетической системы и реагирует на возникновение повреждений и ненормальных режимов. При возникновении повреждений релейная защита должна выявить повреждённый участок и отключить его от ЭЭС, воздействуя на специальные силовые выключатели, предназначенные для размыкания силовых цепей. К основным видам релейных защит можно отнести:

- Дифференциальная защита
- Дуговая защита
- Максимальная токовая защита
- Токовая отсечка
- Защита минимального напряжения
- Дистанционная защита

- Дифференциально-фазная (высокочастотная) защита

Важнейшим элементом всей релейной защиты является её корректная настройка и поиск оптимальных значений селективности, быстродействия, чувствительности и надёжности.

Согласно принципам работы автоматических релейных защит, их неадекватная настройка обусловлена двумя факторами:

1) использование недостаточно полной и достоверной информации о процессах изменения токов и напряжений в защищаемых объектах ЭЭС;

2) чрезмерно приближенный учет погрешностей преобразования контролируемых токов и напряжений в измерительных трансформаторах (ИТ) и конкретных объектах РЗА. Очевидно, что непременным условием решения обозначенной проблемы является, прежде всего, наличие возможности получения достаточно полной и достоверной информации о процессах изменения контролируемых токов и напряжений защищаемых объектов ЭЭС, а также возможности достоверной оценки погрешности преобразования этой информации в ИТ, функциональных элементах конкретных реализаций в целом, и определения на основе этого параметров адекватной настройки защит.

Поскольку, ввиду недопустимости, за редким исключением, натуральных экспериментов в ЭЭС, особенно аварийного характера, и невозможности из-за чрезвычайной сложности их полноценного физического моделирования, настройка РЗА, осуществляется с помощью различных программных и программно-технических средств математического моделирования ЭЭС, неизбежным становится вывод о несоответствии свойств и возможностей указанных средств условиям решения рассматриваемой проблемы.

Полнота и достоверность математического моделирования ЭЭС определяется адекватностью применяемых математических моделей основного и вспомогательного оборудования, и способностью средств их реализации решать совокупную модель реальной ЭЭС с гарантированной приемлемой точностью. Достигнутый уровень физико-математического представления и описания процессов в оборудовании, в том числе РЗА, и ЭЭС в целом не накладывает принципиальных ограничений на формирование всережимных моделей ЭЭС. Однако, образуемая при этом совокупная математическая модель реальной ЭЭС, даже при допустимом частичном эквивалентировании, неизбежно содержит жесткую, нелинейную систему дифференциальных уравнений чрезвычайно высокого, по математическим меркам, порядка, что в свою очередь усложняет расчет математической модели.

Единственным путем получения решения может служить только снижение жесткости, дифференциального порядка, нелинейности и уменьшение интервала решения. Отмеченные обстоятельства при расчете режимов и процессов в реальных ЭЭС приводят к необходимости значительного упрощения моделей не только РЗА, но и основного оборудования, в частности электросетевого, а это в свою очередь внесёт неточности в создание математических моделей.

Рациональностью применения математических моделей является возможность упрощения и уменьшения времени затрачиваемого на расчет объекта энергосистемы, возможностью моделирования аварийных ситуаций, которые невозможно реализовывать на настоящем оборудовании в связи с возможностью выхода их из строя, также математическая модель даёт возможность гибкой настройки частей математической модели в любой момент времени, что в свою очередь даёт большую свободу инженеру для выбора рационального оборудования и правильности его применения в условиях энергосистемы в целом.

Литература:

1. Соловьев А.Л. Релейная защита и повышение надежности электроснабжения // Энергетик. 2009. № 10. С. 22.

2. Андреев М.В., Суворов А.А., Аскаров А.Б., Киевец А.В. Проблема численного моделирования цифровой релейной защиты и ее аналого-цифровое (гибридное) решение // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. № 6. 2018. С. 77–83

ВАЛИДАЦИЯ МЕТОДА ДИАГНОСТИКИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

А. А. Сидорова, Д. В. Корнилович

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, alexandra.a.sidorova@gmail.com

Научный руководитель: И.И. Литвинов, к.т.н.

Рассмотрены различные методы выявления поврежденных трансформаторов тока и напряжения. Предложен усовершенствованный метод диагностики, позволяющий выявить различные типы поврежденных путем анализа тока намагничивания трансформаторов. На основе опытов с измерительными трансформаторами сделана программа для анализа тока намагничивания, определен диагностический критерий метода. Валидация метода и программы проверки трансформаторов, а также оценка

корректности диагностического критерия проведена на основе опытов с трансформатором без литой изоляции.

Various methods of detecting damage to current and voltage transformers are considered. An advanced diagnostic method is proposed, which makes it possible to detect various types of damage by analyzing the magnetizing current of transformers. Based on experiments with measuring transformers, a program for analyzing magnetizing current was made, and the diagnostic criterion of the method was defined. The validation of the method and program for testing transformers, as well as the assessment of the diagnostic criterion correctness, was carried out on the basis of experiments with a transformer without cast insulation.

В статьях [1, 2, 3] рассмотрены существующие методы диагностики измерительных трансформаторов для выявления витковых замыканий и повреждений магнитопровода, а также рассмотрен альтернативный метод диагностики, основанный на гармоническом анализе тока намагничивания трансформатора.

Для анализа состояния измерительного трансформатора предлагаемым гармоническим методом из функции мгновенного тока намагничивания трансформатора преобразованием Фурье выделяются основная и третья гармонические составляющие. Указанные составляющие тока соответственно записываются в виде комплексных векторов \underline{I}_1 , \underline{I}_3 , после чего определяется значение вектора \underline{I}_{13} , равного:

$$\underline{I}_{13} = \frac{I_3}{I_1} \langle \arg(\underline{I}_3) - 3 \arg(\underline{I}_1) \rangle. \quad (1)$$

Далее рассматриваются параметры δI_{13a} и δI_{13p} соответственно: модуль отношения амплитуды и фазы вектора поврежденного трансформатора, полученного по формуле (1), и модуля амплитуды и фазы эталонного вектора неповрежденного трансформатора, также полученного по формуле (1).

Подробное описание схемы испытаний, анализ экспериментов, проведенных с целью создания программы диагностики состояния трансформаторов и определению диагностического критерия, приведены в статье [3]. Проведенные эксперименты доказывают эффективность метода в сравнении с существующими методами, таким как, например, широко применяемый эксплуатацией метод вольтамперной характеристики (ВАХ).

В опытах для создания программы диагностики и первичного определения диагностического критерия были использованы трансформаторы с литой изоляцией, поэтому для имитации дефектов

обмотки короткозамкнутые витки пропускались через окно магнитопровода трансформатора.

Для валидации программы диагностики и оценки корректности диагностического критерия использован трансформатор без литой изоляции ЗНОЛ.06, имеющий номинальное напряжение 10 кВ, предоставленный Свердловским Заводом Трансформаторов Тока. Использование трансформатора без литой изоляции позволило подключить короткозамкнутый виток непосредственно к выводу вторичной обмотки трансформатора и, таким образом, имитировать начальную стадию развития межвиткового замыкания – замыкание одного витка вторичной обмотки (рис.1).



Рис. 1 – Фотоотчет экспериментов с трансформатором без литой изоляции ЗНОЛ.06 10 кВ

Проанализируем данные, полученные при испытаниях трансформатора напряжения ЗНОЛ.06 10 кВ.

На рис.2 изображены мгновенные значения напряжений (пропорциональны току намагничивания), снимаемых со вторичной обмотки трансформатора и вектор \underline{I}_{13} на комплексной плоскости при действующем значении напряжения питания цепи, равном 90 В.

Цвета векторов \underline{I}_{13} , изображенных на рис.2б соответствуют осциллограммам тока намагничивания, изображенным на рис.2а. Аналогичные цветовые обозначения векторов приняты в рамках всей статьи: синий цвет – неповрежденный трансформатор; зеленый – наибольшая степень повреждения: через окно трансформатора пропущено несколько витков; красный – повреждение средней степени: через окно трансформатора пропущен один виток; фиолетовый – наименьшая степень повреждения: ко вторичной

обмотке трансформатора напрямую подключен один замкнутый виток, диаметр которого соответствует диаметру вторичной обмотки .

На рис.3 изображены гистограммы значений параметров δI_{13a} и δI_{13p} при различных значениях напряжения, подаваемого на вторичную обмотку трансформатора ЗНОЛ.06, а именно напряжениях: 50, 70, 80, 90 В.

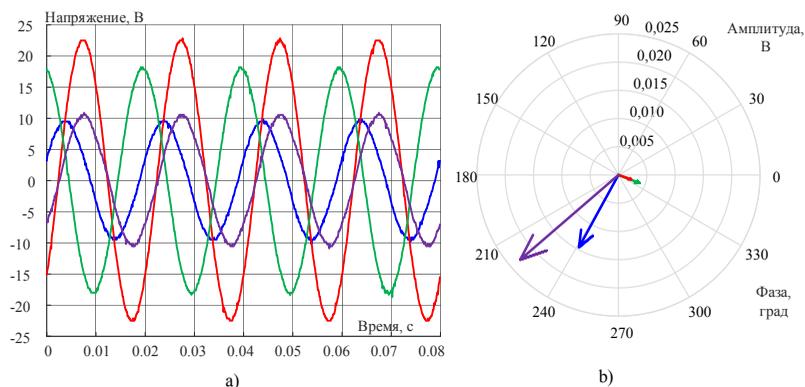


Рис. 2 – а) Мгновенные значения напряжения на выводах испытуемого трансформатора; б) Вектор I_{13} на комплексной плоскости;

При оценке эффективности метода для реальных случаев повреждения трансформатора в их начальной стадии важно оценить отклонения фазы и амплитуды вектора при наименьшей степени повреждения трансформатора. Таким образом, рассмотрим отклонения параметров δI_{13a} и δI_{13p} для одного витка, подключенного напрямую ко вторичной обмотке трансформатора (фиолетовый цвет). Значения параметра δI_{13p} во всех точках не превышает диагностического критерия 10 %, заявленного в предыдущих этапах работы, однако значения параметра δI_{13a} на нелинейной части ВАХ, то есть при действующих значениях напряжения питания, равных 70, 80, 90 В, значительно превышают заявленный диагностический критерий. Соответственно, с учетом принципа «ИЛИ», по которому используются методы диагностики измерительных трансформаторов, эффективность метода хотя бы по одному из рассматриваемых критериев доказывает его применимость.

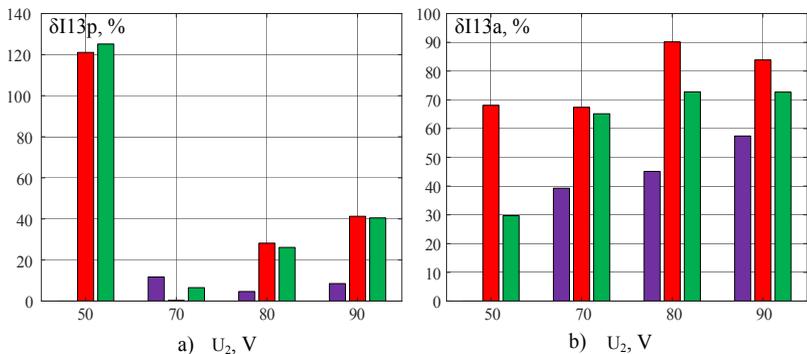


Рис. 3 – Гистограмма значений параметра δI_{13}
 а) фаза; б) амплитуда;

Литература:

1. *И. И. Литвинов, А. А. Марченко, Д. В. Корнилович*, Гармонический анализ тока намагничивания для выявления витковых замыканий в обмотках трансформатора тока // Сборник научных трудов конференции «Наука. Технологии. Инновации.» – Новосибирск, 2020. – №4. – С. 144-147. ISBN 978-5-7782-4292-0.
2. *И. И. Литвинов, Д. В. Корнилович, А. А. Марченко*, Гармонический анализ тока намагничивания для выявления поврежденных магнитопровода трансформаторов тока // Сборник научных трудов конференции «Наука. Технологии. Инновации.» – Новосибирск, 2020. – №4. – С. 133-136. ISBN 978-5-7782-4292-0.
3. *А. А. Марченко, И. И. Литвинов, О. В. Танфильев, Д. В. Корнилович, В. А. Титов*, Применение амплитудно-фазного анализа тока намагничивания для выявления повреждений трансформаторов // Вестник Казанского Государственного Технического Университета – Казань, 2020. – №4(48). – С. 94-105.

МОДЕЛЬ ПРОСТЕЙШЕЙ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИСКАЖЁННОГО НАСЫЩЕНИЕМ ВТОРИЧНОГО ТОКА

И.И. Литвинов, В.А. Титов, А.С. Трофимов

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, vtitovnstu@gmail.com

Научный руководитель: Трофимов А.С., к.т.н.

В работе рассматривается разработка модели искусственной нейронной сети, восстанавливающей искажённый насыщением вторичный ток трансформатора тока. Такая нейронная сеть может использоваться для повышения надёжности работы релейной защиты в переходных режимах.

In this article the development of artificial neural network, correcting distorted due to saturation process secondary current of current transformer, is performed. The neural network can be used for increasing of relay protection operation's reliability during transient processes.

Введение. За последние 7 лет в России произошло несколько крупных аварий, связанных с неправильной работой устройств релейной защиты (РЗ) из-за насыщения измерительных трансформаторов тока (ТТ). По этой причине выпущен ряд нормативных документов [1], регламентирующих поведение трансформаторов тока в переходных режимах, что подчёркивает актуальность проблемы в нашей стране.

При строительстве новых объектов электроэнергетики для повышения надёжности работы защит в переходных режимах возможно применение ТТ с немагнитным зазором. Однако, на большей части существующих объектов установлены трансформаторы тока класса точности 10Р, замена которых представляет собой большую технико-экономическую задачу и является нежелательной как для владельцев сетей, так и для проектных организаций. При этом в России активно производится замена физически и морально устаревших электромеханических устройств РЗ на микропроцессорные (МП) терминалы. Это даёт альтернативную возможность решения проблемы насыщения, а именно – дополнить алгоритмы МП РЗ специальными функциями, которые обеспечат правильную работу защит. Практика применения и исследования в этой области показывают, что типовые алгоритмы в МП защитах не всегда корректно функционируют и приводят к отказам со значительными ущербами [2].

В настоящее время активно развиваются технологии искусственных нейронных сетей (ИНС), в том числе и в электроэнергетической отрасли. Однако, исследований о возможности применения нейронных сетей в РЗ недостаточно, и в частности для решения проблемы насыщения ТТ. В связи с этим актуальным становится вопрос о допустимости, необходимости и возможности использования искусственного интеллекта для повышения надёжности функционирования алгоритмов релейной защиты.

Разработка, обучение и тестирование ИНС. В работе разработана модель ИНС, восстанавливающая искажённый насыщением вторичный ток трансформатора тока. Для того, чтобы ИНС могла восстановить вторичный ток, её необходимо сначала обучить. Обучающим набором данных для ИНС являются осциллограммы искажённого насыщением вторичного тока ТТ, а «правильными ответами» – осциллограммы первичного тока КЗ, приведённого к числу витков вторичной обмотки. Обучение ИНС требует большого количества таких осциллограмм, а их получение затруднительно. В первую очередь необходимо разработать математические модели, с помощью которых возможно получить необходимые характеристики вторичного тока ТТ.

Для моделирование переходных процессов в первичной сети составлена модель исследуемого объекта в программном комплексе Matlab/Simulink. Для моделирования переходных процессов в трансформаторах тока, соединённых по схеме «полная звезда», была принята и дополнена модель, разработанная на кафедре электрических станций НГТУ. Моделирование токов КЗ осуществлялось с учётом разных моментов времени возникновения аварии и значений остаточной индукции ТТ.

Рассматривается восстановление по одной выборке, для чего используются мгновенные значения тока КЗ за предыдущий период. Для универсальности применения и лучшего обучения модели ИНС мгновенные значения тока представлены в относительных единицах (рисунок 1). Гиперпараметры ИНС приведены в таблице 1.

На тренировочном наборе данных средняя полная погрешность вторичного тока составила 4 %, наибольшая – 12 % (без восстановления погрешность достигала 85 %). На тестовом наборе данных восстановление хуже, однако, наибольшая погрешность вторичного тока не превышает 32 % (без восстановления погрешность достигала 90 %).

Таблица 1 – Гипперпараметры ИНС

Параметр	1 слой	2 слой
Тип слоя	LSTM	Dense
Количество нейронов	48	1
Функция активации	tanh	-
Функция потерь	mae	
Оптимизатор	Adam	
Коэффициент скорости обучения	0,01	
Размер мини-выборки	100	
Количество эпох	50	

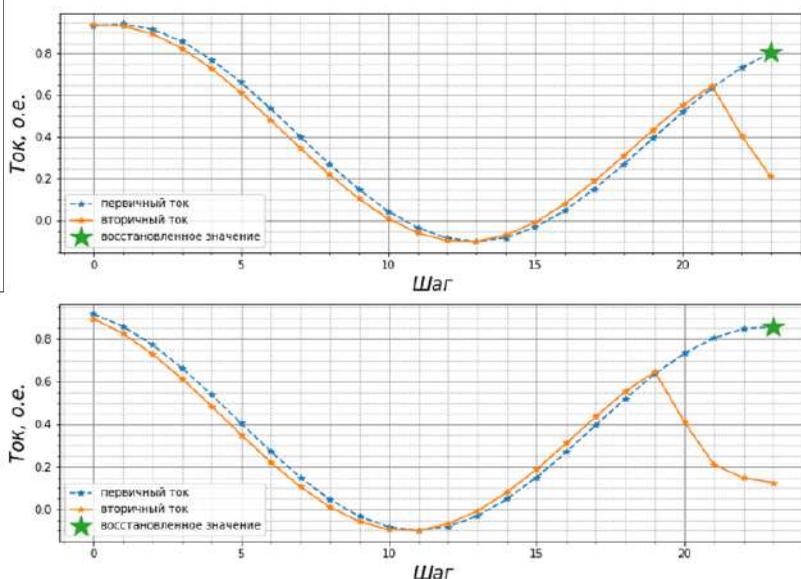


Рис. 1 – Восстановление вторичного тока

Вывод. В работе показано, что даже простейшая модель способна эффективно восстанавливать вторичный ток, уменьшая погрешность ТТ в 3 раза. Тем не менее, имеется ряд вопросов, ответы на которые требуют дополнительного исследования, а именно:

1. Насколько допустимо использовать нечёткую логику в алгоритмах РЗ? 2. Режимов работы электрооборудования, сочетаний этих режимов, а также факторов, влияющих на переходные процессы в ТТ, невероятно много, при этом ток КЗ за счёт переходного сопротивления может изменяться в широких пределах. Каким образом

учесть все эти факторы при обучении ИНС? 3. Когда «активировать» восстановление тока? Если ИНС работает всегда, то вопрос №2 становится ещё более острым. Если восстановление осуществляется только при насыщении ТТ, то необходимо выявлять признаки начала насыщения.

Литература:

1. ГОСТ Р 58669-2019 Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Релейная защита. Трансформаторы тока измерительные индуктивные с замкнутым магнитопроводом для защиты. Методические указания по определению времени до насыщения при коротких замыканиях. Введён в действие в РФ с 1 января 2020 года;

2. Протокол совместного заседания секции «Проблемы надёжности и эффективности релейной защиты и средств автоматического системного управления», секции «Управления режимами энергосистем, РЗА» НП «НТС ЕЭС» и секции «Управление режимами, автоматизация и применение автоматического управления в электрических сетях» НТС ПАО «Россети» от 15.03.2018.

РАЗРАБОТКА ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

И.А. Файль

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, 2000failal2000@gmail.com**

Научный руководитель: Шевченко С.С., ст. преподаватель

Работа посвящена разработке лабораторной установки для регистрации высоковольтного переходного процесса. Были создан измерительный комплекс, состоящий из делителя напряжения, шунта, осциллографа и средств защиты. Разработаны методические указания.

The work is devoted to the development of a laboratory setup for recording a high-voltage transient process. A measuring complex was created, consisting of a voltage divider, a shunt, an oscilloscope and protective equipment. Methodological guidelines have been developed.

Для того, чтобы повысить интерес к специальности, а также применить полученные теоретические знания для студентов первого

курса проводится учебная ознакомительная практика. В ее рамках студенты должны научиться проводить физический эксперимент, выполнять измерения с помощью цифровой техники, обрабатывать полученные данные. При этом необходимо учитывать уровень подготовки студентов первого курса в области электроэнергетики.

Планируется, что студенты будут проводить осциллографирование переходного процесса при пробое подвесного изолятора тарельчатого типа. Для решения данной задачи необходимо создать лабораторную установку, представленную на рисунке 1.

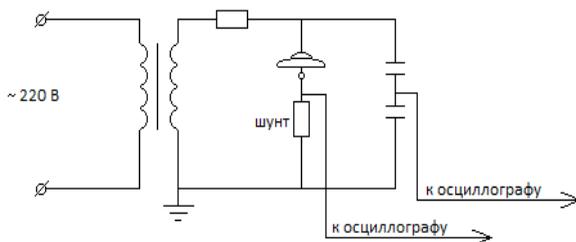


Рис. 1 – Электрическая схема лабораторной установки

В основу работы комплекса входит шунт, который установлен последовательно с испытуемым объектом. При пробое изоляции через шунт будет протекать ток переходного процесса и вызывать падение напряжения, которое будет использовано как триггер для осциллографа. Осциллограф OWON SDS6062 подключается к делителю напряжения и используется для регистрации переходного процесса. В качестве испытуемого объекта в данной работе выбирается подвесной изолятор тарельчатого типа ПС-70Е с напряжением перекрытия при промышленной частоте в сухом состоянии равным 70 кВ.

Измерение напряжения будет выполняться с помощью делителя напряжения. Так как к делителю напряжения не предъявляется требования по точности измерений, то для качественного отображения переходного процесса можно использовать керамические конденсаторы. Для верхнего плеча выбирается высоковольтный конденсатор Murato DHRB34C101M2BV емкостью 100 пФ с рабочим напряжением 15 кВ [1]. Для обеспечения необходимой электрической прочности установим 15 последовательно соединенных конденсаторов, таким образом суммарная емкость верхнего плеча составит 6,7 пФ. Для нижнего плеча выбирается конденсатор EPCOS DHRB34C101M2BV с номинальной емкостью 0,033 мкФ и рабочим

напряжением 300 В [2]. Будет установлено параллельно два конденсатора с эквивалентной емкостью 66 нФ.

При повышении напряжения на испытуемом изоляторе возникает коронный разряд, приводящий к появлению высокочастотных импульсов в регистрируемом напряжении. С целью упрощения представления переходного процесса в осциллограммах напряжения от них следует избавиться, для этого необходимо уменьшить частоту дискретизации измерительного прибора. Уменьшение частоты дискретизации до 10 кГц, приведет к потере высокочастотных сигналов с меньшей длительностью, а также к сглаживанию синусоиды. На рисунке 2 показана осциллограмма переходного процесса, полученная на спроектированной лабораторной установке.

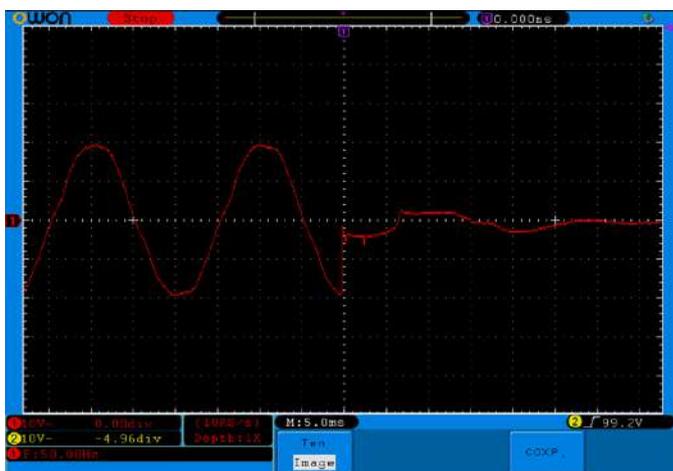


Рис. 2 – Осциллограмма переходного процесса со сглаженным сигналом за счет уменьшения частоты дискретизации

Как было сказано выше, триггером для включения осциллографа на запись переходного процесса является импульс тока, возникающий при перекрытии изолятора. Ток, протекающий по шунту, установленному в рассечку между подвесным изолятором и землей (рисунк 1), будет создавать падение напряжения, на которое реагирует осциллограф.

Непосредственному перекрытию изолятора предшествуют стримерные разряды, которые вызывают протекание высокочастотных импульсов тока через шунт. При относительно большой индуктивности шунта эти разряды могут вызывать значительное

падение напряжения, что приведет к ложному срабатыванию осциллографа. Следовательно, необходимо использовать низкоиндуктивный шунт. Для конструирования шунта выбраны низкоиндуктивные резисторы С5-16МВ 5Вт 1 в количестве 6 штук с индуктивностью, равной 6 мкГн [3].

Также для защиты людей, работающих с измерительным комплексом, а также самого осциллографа, было принято решение установить разрядник В88069-Х 180-S102 (EC75X), 5 кА/5 А, напряжение пробоя которого составляет 75 В [4].

В ходе выполнения работы были решены следующие задачи:

1. Создан измерительный комплекс, позволяющий фиксировать переходной процесс, возникающий при перекрытии изолятора ПС-70Е. Комплекс включает в себя высоковольтный делитель напряжения, измерительный шунт, устройства защиты от перенапряжения для обеспечения безопасности людей, производящих работу, и для сохранности измерительной техники.
2. Разработана лабораторная работа для студентов первого курса с учетом их уровня подготовки в области электроэнергетики.

Литература:

1. Высоковольтный керамический дисковый конденсатор [Электронный ресурс]. URL: <https://static.chipdip.ru/lib/250/DOC000250692.pdf>
2. Конденсатор подавления ЭПМ [Электронный ресурс]. URL: <https://static.chipdip.ru/lib/250/DOC000250692.pdf>
3. Низкоиндуктивное сопротивление [Электронный ресурс]. URL: <https://eandc.ru/pdf/resistor/s5-16v.pdf>
4. Разрядник [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.mouser.com/datasheet/2/400/EC75X-X0180xxxx-1219923.pdf>

АВТОМАТИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ВКЛЮЧЕНИЯ В СЕТЬ ГЕНЕРАТОРОВ МЕТОДОМ УСКОРЕННОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ

В.А. Фёдорова, В.Ф. Кириченко

**Новосибирский государственный технический университет
(НЭТИ), г. Новосибирск, win.victoria08@mail.ru
Научный руководитель: Глазырин Г.В., к.т.н., доцент**

Синхронизация — алгоритм действий по включению синхронных генераторов на параллельную работу с другими синхронно вращающимися машинами или электроэнергетической системой (ЭЭС). Операция синхронизации неразрывно связана с процессом производства электроэнергии. На сегодняшний день синхронизация осуществляется двумя традиционными методами: точной синхронизации и самосинхронизации вручную персоналом или с применением автоматических устройств. Синхронизация может сопровождаться различными последствиями, тяжесть которых зависит как от выбранного способа осуществления, так и от влияния на процесс человеческого фактора. Минимизация возможных последствий от пуска агрегата обуславливает необходимость разработки не только автоматического устройства, исключающего влияние человеческого фактора, но и некоторого модернизированного метода синхронизации, устраняющего недостатки двух традиционных способов.

Currently, the synchronization process is performed by two traditional methods: manually by human operator or by automatic devices. Connection of the synchronous generator to the power system for parallel operation can cause negative consequences for the power plant and for the whole power system. The severity of negative consequences depends on both the synchronization method chosen and on human factor. To minimize negative impact the accelerated synchronization method for switching the generator into parallel operation is proposed. A novel system eliminating human factor is developed. The synchronization system is a digital device operating as a subsystem for a microprocessor-based emergency automation complex. The system solves the problem of switching to automated control in electricity generation process.

Синхронизация – алгоритм действий по включению синхронных генераторов на параллельную работу, неразрывно связанный с процессом производства электроэнергии [1]. Синхронизация может выполняться либо вручную персоналом, либо с использованием автоматических устройств двумя традиционными способами: точной синхронизации (ТС) и самосинхронизации (СС). У обоих способов существуют свои недостатки. Для метода точной синхронизации это длительность выполнения операции в силу необходимости соблюдения определенных требований, для метода

самосинхронизации — большие величины уравнильных токов в момент включения и снижение напряжения на шинах электростанции.

Актуальным вопросом является разработка специальных устройств, которые будут осуществлять процесс синхронизации полностью автоматически и иметь возможность использовать не только два традиционных способа, но и некоторый промежуточный метод, устраняющий их недостатки и учитывающий режим работы оборудования. Создание такой системы синхронизации позволит решить проблему возможных последствий от включения синхронного генератора в сеть, исключая нарушение устойчивости ЭЭС [2].

Цель данного исследования — разработка автоматического цифрового устройства синхронизации с возможностью включения генераторов различными методами на нескольких выключателях как в нормальном, так и в аварийном режиме работы, что позволит обеспечить оптимальные условия для включения за счёт снижения уравнильных токов в момент включения и времени осуществления процесса синхронизации на 50 %.

Объектом исследования является процесс синхронизации. Предметом исследования — методы его осуществления. Площадкой проведения экспериментов выступает учебная электростанция Новосибирского Государственного Технического Университета (НГТУ), оснащенная явнополюсным синхронным генератором мощностью 12 кВт.

Для устранения описанных недостатков двух традиционных методов необходимо создание промежуточного метода синхронизации [3]. Данный метод выступает некой модернизацией традиционного способа ТС с расширением допустимого диапазона угла δ , а для предотвращения больших уравнильных токов в момент включения агрегата — снижением тока, подаваемого в обмотку возбуждения. Согласно проведенным расчётам для исследуемого генератора, рекомендуется включение агрегата при угле δ , лежащем в диапазоне $30 - 40^\circ$, и токе возбуждения от 10 А до 6 А: в этом случае значение уравнильного тока снижается более чем в 3,6 раз по сравнению с традиционным методом самосинхронизации. Разработанный метод синхронизации является целесообразным в использовании, позволяя уменьшить величину уравнильного тока в момент включения и выполнить процесс быстрее, чем при использовании традиционных методов, что позволяет назвать его методом ускоренной синхронизации [4].

Для реализации автоматической синхронизации генераторов описанными методами на базе учебной электростанции НГТУ разработан микропроцессорный синхронизатор. Цифровое устройство представляет собой подсистему комплекса микропроцессорной

противоаварийной автоматики КПА–М, поскольку это является выгодным экономическим решением в рамках площадки проведения экспериментов. Устройство состоит из следующих структурных элементов:

1. Измерительный блок, осуществляет замеры мгновенных значений напряжения в двух точках учебной электростанции: на генераторе и на системе шин.

2. Блок цифровой обработки, преобразующий входные аналоговые сигналы в цифровые.

Два описанных структурных блока физически представляют собой цифровые распределённые преобразователи (ПЦР), то есть датчики напряжения. Результаты измерений передаются в цифровом виде через последовательный гальванически изолированный интерфейс RS-485. На данный момент шкаф комплекса противоаварийной автоматики подключен к вторичным цепям учебной электростанции.

3. Блок расчёта значений контролируемых величин (угла δ , частоты и действующих значений ЭДС генератора и системы).

Для данной части устройства разработан комплексный алгоритм, который заключается в перемножении входного сигнала с двумя опорными синусоидами и дальнейшем его прохождении через фильтр низших частот (ФНЧ), в качестве которого выбран фильтр скользящего среднего, установленный на каждом периоде входного сигнала. На основе полученных после фильтра величин по эмпирическим формулам находится амплитуда, фаза и частота входного сигнала отдельно для замеров с генератора и системы, после чего находится угол δ между ними.

Алгоритм написан с использованием языка программирования C++ и интегрирован в микропроцессорный модуль комплексного устройства противоаварийной автоматики. Интеграция происходит после заполнения специальных конфигурационных файлов устройства.

4. Блок проверки условий синхронизации (синхронизатор), реализующий контроль рассчитанных в предыдущем блоке величин, при их нахождении в допустимом диапазоне формирует выходной сигнал на включение привода генераторного выключателя, вне диапазона — блокировка. В алгоритм заложены критерии допустимости включения синхронной машины (допустимый угол δ , допустимая разница частот вращения s и разница напряжений генератора и системы ΔU).

Алгоритм также интегрирован в микропроцессорный модуль комплексного устройства противоаварийной автоматики и оперирует со следующими группами сигналов входных сигналов: положения ключа на лицевой панели шкафа устройства синхронизации, которые

задают два возможных вида синхронизации – ручная или автоматическая, сигналы из блока расчёта значений контролируемых величин. Внутренними сигналами являются рассчитанные величины s , ΔU и δ .

5. Блок выходных воздействий. Реализация выходных сигналов по управлению состоянием агрегата происходит по результатам сравнения соответствующих величин машины и системы. В случае их расхождения принимаются подаются управляющие воздействия на регулятор тока возбуждения или регулятор частоты вращения, для которых разработаны специальные алгоритмы. Входным сигналом алгоритмов является дискретный сигнал от синхронизатора на разрешение работы регуляторов и задание от синхронизатора — величина, к которой регуляторы должны привести параметры генератора.

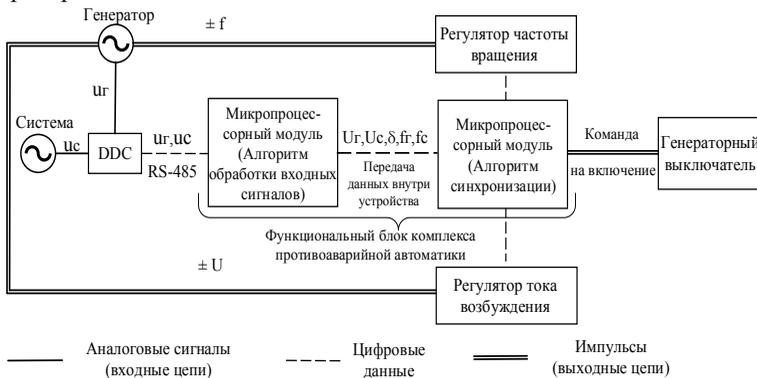


Рис. 1 – Структурная схема автоматического устройства синхронизации

Научная новизна исследования заключается в разработке метода ускоренной синхронизации, основанного на расширении диапазона угла δ и сниженном значении тока возбуждения в момент включения генераторного выключателя и цифрового устройства, позволяющего осуществлять синхронизацию на нескольких выключателях различными методами с возможностью ручной синхронизации.

Практическая ценность разработанной системы синхронизации — возможность включения генераторов на параллельную работу различными методами, автоматизация процесса синхронизации, снижение капитальных затрат на системы автоматики.

Перспектива использования разработанной системы — в учебном процессе при выполнении студентами лабораторных работ, в ходе проведения научно-исследовательских работ, а также на реальных объектах электроэнергетики, в частности на крупных синхронных

генераторах, для которых ускоренный пуск методом самосинхронизации является недопустимым.

Литература:

1. Павлов Г.М., Меркурьев Г.В. Автоматика энергосистем. – Санкт-Петербург: «Центр подготовки кадров энергетики», 2001 г. – 381 с.

2. A. Fishov, I. Murashkina, A. Marchenko, E. Erdenebat, E. Ivkin. Analysis of power system static aperiodic stability with electronic generation. 14 Internationalforum on strategic technology 2019 (Tomsk: TPU Publ. House), 2019, pp. 636–641.

3. P. Tian, C.A. Platero, F. Blazquez. Protection Method for Synchronous Machine During the Paralleling Connection Process, XIII International Conference on Electrical Machines (ICEM), Alexandroupoli, Greece, (2018), pp. 2385–2390.

4. V. A. Fyodorova, V. F. Kirichenko and G. V. Glazyrin. Development of Digital Device for Automatic Switching Into Network of Educational Power Station Generators, 2020 3rd International Youth Scientific and Technical Conference on Relay Protection and Automation (RPA), 2020, pp. 1-18, doi: 10.1109/RPA51116.2020.9301725.

ПРОТИВОВЕС – УПРЕЖДАЮЩЕЕ СРЕДСТВО МОЛНИЕЗАЩИТЫ

А.О. Халиман

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, anastasia.khaliman@mail.ru

Научный руководитель: Целебровский Ю.В., д.т.н., профессор

Описана история практически забытого средства молниезащиты, называемого в отечественной литературе противовесом. На основе литературных опытных данных высказано предположение, что наличие противовеса снижает число ударов молнии непосредственно в элементы ВЛ.

The history of an almost forgotten means of lightning protection, called a counterweight in Russian literature, is described. Based on the literature experimental data, it is suggested that the presence of a counterpoise reduces the number of lightning strikes directly into the overhead line elements.

Значительная доля аварийных отключений воздушных линий электропередачи (ВЛ) провоцируется ударами молнии [1]. В связи с

этим совершенствование средств и методов молниезащиты ВЛ является актуальной задачей электроэнергетики.

В действующих Инструкции по устройству молниезащиты сооружений [2], Руководстве по защите электрических сетей от грозových и внутренних перенапряжений [3], Правилах устройства электроустановок [4], в статьях по заземлению и грозозащите [5-8] в полной мере изложены существующие рекомендации и требования по защите от прямых ударов молнии. Однако, в перечисленных выше источниках нет рекомендаций об использовании такого средства грозозащиты, как противовес. Рассмотрим историю этого понятия.

Первое упоминание о конструкции, названной «counterpoise», было найдено в «*Outlines of electrical engineering*» 1908 года [9]. В указанной книге приводятся сведения о гипотезе Sir Oliver Lodge, утверждающего, что у идеального радио-передатчика воздушный элемент антенны и её приземный элемент должны быть симметричными. Основной его разработкой стал приземный элемент - «counterpoise», который в дальнейшем стал заземлителем. С развитием электрических сетей заземляющие устройства опор ВЛ стали называть так же: «counterpoise». При переводе на русский язык термин стал называться противовес.

Значительные экспериментальные работы с противовесами на воздушных линиях электропередачи впервые провели Brune и Eaton в конце 20-х [10]. По их мнению, благодаря большой ёмкости, противовес, начиная с момента набегания волны, становится все более и более эффективным во времени, если он имеет достаточную длину. Эффективность противовеса по Brune и Eaton зависит, помимо других факторов (ёмкости, тока смещения и длины противовеса), от фронта волны и от действительной ее длины.

Первые результаты повышения грозоупорности ВЛ посредством установки на линии электропередачи сплошных противовесов были опубликованы в 1931 году [11]. На ВЛ 220 кВ Wallenraupack—Siegfried в 1926—1928 гг. наблюдалось значительное число перекрытий от грозových перенапряжений с непропорционально большой концентрацией их на участках линии, которые были расположены на возвышенной местности с большим удельным сопротивлением грунта. Инженеры A. Silver и N. Stahl весной 1929 г. посоветовали проложить в этом месте противовесы длиной 4 км, от опоры к опоре. Уменьшение перерывов в подаче энергии, стало стимулом к оснащению в 1930—1931 гг. противовесами уже 36 км трассы. На оставшихся опорах заземляющие устройства были выполнены в виде четырёх лучей длиной по 15 м, расходящихся в

радиальном направлении. На участке, где был проложен сплошной противовес, перекрытий совсем не наблюдалось, а во втором случае число их значительно уменьшилось.

В конце 1933 г. Fortescue [12] дал теорию защитного действия противовеса, согласно которой хорошее защитное действие почти целиком обусловлено взаимодействием противовеса с надземными проводами линии. Подсчеты, произведенные им, показали, что, принимая во внимание полное сопротивление самого противовеса и потенциалы, наводимые током, текущим по нему, на надземных проводах линии практически можно построить грозоупорную линию даже в том случае, если напряжение в месте удара будет 2000 кВ.

Вышеупомянутые работы обобщены в статье И.Е. Балыгина [13].

Термином «counterpoise» («противовес»), который ранее использовался только в радиотехнике, после успешных опытов по внедрению нового вида заземлителей на ВЛ, стали называть протяженные заземлители, прокладываемые вдоль трассы ВЛ и соединяемые с каждой опорой.

В диссертации «Исследование протяженных заземлителей грозозащиты линий электропередачи в плохо проводящих грунтах» [14] Анненков В.З. исследовал противовес как заземляющее устройство. Им был сделан вывод: «Одной из причин грозоупорности линий электропередачи с противовесами является относительно низкое импульсное сопротивление протяженных заземлителей». В статье «Расчет импульсного сопротивления противовесов» [15] В.З. Анненков рассматривает влияние длины протяженного заземлителя на его свойства. Им было установлено, что, в отличие от зависимости импульсного сопротивления горизонтальных заземлителей конечной длины от времени, кривые импульсных сопротивлений противовесов имеют более крутой спад, так как в этом случае отсутствуют отраженные волны.

В статье Ракова В.А. «Triggered Lightning Testing of an Airport Runway Lightning System» [16] исследуется модель взаимодействия молнии с системой освещения взлетно-посадочной полосы аэропорта. Система освещения включала заглубленный противовес, проложенный по трассе расположения опор освещения и соединённый с ними. Было произведено моделирование двух ситуаций: когда противовес был либо устройством для стекания тока молнии, либо именно местом поражения молнией (непосредственно – молниеотводом). Последнее обусловило внедрение противовесов в молниезащитную систему аэродрома.

В настоящее время противовесы не полностью прекратили свое существование, они применяются на ВЛ, но с другой целью. Так, Правила устройства электроустановок [4] содержат пункт 4.2.156, в котором написано: «Если выполнение заземлителей с требуемыми сопротивлениями оказывается невозможным, должны быть применены заземлители-противовесы». Этим обеспечивается защита оборудования подстанции от набегающих волн.

Рассмотрим теперь предпосылки использования противовеса на ВЛ в качестве непосредственного молниеотвода.

Формирование встречного лидера молнии подробно описывается в книге Г.Н. Александрова “Молния и молниезащита” [17], причем стоит отметить, что лидер, исходящий от грозового облака, чаще всего имеет отрицательный заряд, а восходящий – положительный. Разряды молнии в возвышающиеся над поверхностью земли проводящие предметы происходят из-за образования с предметов положительных лидеров. В связи с тем, что по мере приближения лидера молнии, заряженного отрицательно, напряженность поля в наивысшей точке проводящего объекта увеличивается с большой скоростью до критического значения, встречный разряд с заземленного предмета ориентирует разряд молнии именно в его сторону (на предмет). Исходя из этого, можно сделать предположение, что гипотеза о влиянии установленного на ВЛ противовеса на уровень грозопоражаемости объясняется тем, что противовес, шунтируя грунт, не допускает формирования критической плотности заряда на конструкции линий электропередачи, что приводит к уменьшению риска образования встречных лидеров и поражения непосредственно опор ВЛ.

В статье «О возможности отказа от грозозащитного троса ВЛ» [18] Ю.В.Целебровский описывает случаи грозовых отключений линий электропередачи при ударе молнии в грозозащитный трос. Ориентировка лидера молнии в эту защитную конструкцию объясняется тем, что при прохождении грозового облака над ВЛ, расположенными в районах с высоким удельным сопротивлением грунта, положительные заряды двигаются за ним по пути наименьшего сопротивления, то есть по грозозащитному тросу, формируя на нем суммарный положительный заряд, плотность которого достаточна для формирования ориентационного лидера.

Основным фактическим подтверждением того, что действие противовесов заключается не только в понижении сопротивления заземления опор ВЛ для эффективного стекания тока молнии в землю, но и в шунтировании металлическим противовесом плохопроводящих

участков грунта, является опыт установки противовесов на ВЛ 220 кВ (Северный Казахстан) которая проходила через овраг со скалистым грунтом и вертикальным слоем породы повышенной проводимости [19]. В 2001 году ВЛ имела 3 отключения за грозовой сезон, после установки противовеса, шунтирующего овраг. грозовые отключения прекратились. Этот эффект аналогичен описанному выше [11] опыту установки противовеса на ВЛ 220 кВ в США. При исследовании грозопоражаемости ВЛ 110 кВ в Ямало-Ненецком округе [19], было выявлено, что разряды молнии поражали лишь те опоры, которые находились рядом с границами перехода ВЛ из болота на песчаную возвышенность. В этом случае установка сплошных противовесов тоже решила проблему грозовых отключений.

Таким образом, опыт применения противовесов на ВЛ показал эффективность их применения в части снижения ударов молнии непосредственно в элементы линии. Дальнейшие практические и теоретические исследования противовеса позволят возродить это эффективное средство молниезащиты.

Литература

1. Халилов Ф.Х. Оценка степени влияния допущений на результаты моделирования переходных процессов при ударах молнии в воздушные линии электропередачи/ Ф.Х. Халилов, Н.И. Гумерова, Г.Г. Хохлов// Труды Кольского научного центра РАН, «Энергетика», выпуск 2, 2011, 60-65
2. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций: СО 153-34.21.122-2003. - утв.30.06.2003. - 2003
3. Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозовых и внутренних перенапряжений: РД 153-34.3-35.125-99.- Изд.: ПЭИПК
4. Правила устройства электроустановок. 7-е издание / Изд.: Норматика, 2016.- 464с.
5. Крачковский Н.Н. Грозовые явления и влияние их на работу высоковольтных установок/ Н.Н. Крачковский // Электричество. - 1929. - №19-20. - С. 523-530;
6. Отрадин Ф.И. О методах исследования влияния гроз на линии электропередачи/ Ф.И. Отрадин, И.С. Стрекольников, Яворский В.В.// Электричество. -1932.-№23-24.-С.1078-1081;
7. Стецула И.В. Исследования заземлений в скалистых грунтах/ И.В. Стецула, Н.С. Сиунов// Электричество. -1933.-№10.-С.32-37

8. Яворский В.В. Заземление опор линий электропередачи и роль троса при прямых ударах молнии/ В.В. Яворский // Электричество. - 1932.-№6.-С.341-351;
9. Harold H. Simmons Outlines of electrical engineering. - A.M.I.E.E. CASSEL AND COMPANY, LIMITED. -1908. - p.851-874
10. Brune O., Eaton J.R. Experimental studies in the propagation of lightning surges on transmission lines // Transactions AIEE.-1931. – Vol.50 N3. – p. 1132-1138
11. Lewis W.W., Foust C.M. Lightning Investigation on Transmission Lines--II // Transactions AIEE. -1931. - Vol. 50. N9. - p. 1141.
12. Fortescue Ch. Counterpoises for Transmission Lines// Electrical Engineering. – 1933. - December. - p. 908-917.
13. Балыгин И. Е. Защитное действие противовесов в грозоупорных линиях электропередач / И.Е. Балыгин // Электричество. -1937.- №4.- С.43-49
14. Анненков В.З. Исследование протяженных заземлителей грозозащиты линий электропередачи в плохо проводящих грунтах: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук/ В.З. Анненков; Московский ордена Ленина Энергетический институт, 1974. - 28 с.
15. Анненков В.З. Расчет импульсного сопротивления противовесов /В.З. Анненков// Электричество. -1970.-№2.- с.19-23.
16. Rakov V.A.Triggered lightning testing of an airport runway lightning system/V.A.Rakov//IEEE TRANSACTIONS ON ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY. – 2004 February. -Vol. 46, N 1. P. 96-101.
17. Александров Г.Н. Молния и молниезащита / СПб.: Изд-во Политехн. Ун-та, 2007. - 280с.
18. Целебровский Ю.В. О возможности отказа от грозозащитного троса ВЛ/ Ю.В. Целебровский //Линии электропередачи-2004: опыт эксплуатации и научно-технический прогресс: Сборник докладов Первой Международной научно-практической конференции/под ред. В.Т. Чернева. -Новосибирск. -2004.-С.192-198
19. Целебровский Ю.В. Опыт модернизации грозозащиты ВЛ с учётом избирательной грозопоражаемости // Первая Российская конференция по молниезащите. Сборник докладов. Новосибирск, 26-30 ноября 2007 г. / Под ред. Ю.В.Целебровского. Новосибирск, Сибирская энергетическая академия. 2007.–47 с.

МЕТОД БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ЕГО ВНЕДРЕНИЕ В ЭНЕРГОСИСТЕМУ

М.И. Хасбиуллин

**ГАПОУ «Казанский энергетический колледж», г. Казань,
marselkhasbiyllin@gmail.com**

Научный руководитель: Графова О.В.

В материале рассматривается потенциал внедрения систем беспроводного питания потребителей в пределах населенного пункта и жилых домов. В статье приведены возможные методы передачи электроэнергии беспроводным путем и их сравнение с доступными на данный момент традиционными аналогами

The article considers the potential of the introduction of wireless power supply systems for consumers within the locality and residential buildings. The article presents possible methods of transmitting electricity wirelessly and their comparison with currently available traditional analogues

Еще в 1893 году Никола Тесла продемонстрировал беспроводное освещение люминесцентными лампами как проект для Колумбовой всемирной выставки в Чикаго. В 1897 году ученый зарегистрировал первый план беспроводной передачи электричества. Но способ, разработанный Тесла, не нашел широкого практического применения, что было, прежде всего, связано с достаточностью для экономического развития уже имеющихся базовых изобретений в электроэнергетике. Консервативную роль сыграли энергетические компании, не проявившие заинтересованности в беспроводной передаче электричества не только в рамках помещения, но и на расстоянии в тысячи километров. Столь же холодно они воспринимали попытки Тесла предложить новые — революционные способы генерации, взамен ранее выдвинутым им же методам. В 1917 году была разрушена принадлежавшая ему Башня Ворденклифа, построенная для проведения опытов по беспроводной передаче больших мощностей.

Начавшие распространяться в наши дни беспроводные зарядные устройства для всевозможных гаджетов демонстрируют возрождение интереса к беспроводной передаче электроэнергии. Перспективы этого направления колоссальны. Не случайно в 2008 году корпорация Intel попыталась воспроизвести опыты Тесла 1894 года, а также группы Джона Брауна 1988 года по беспроводной передаче энергии для свечения ламп накаливания с 75% КПД. Задачи и успехи современной беспроводной передачи выглядят скромно по сравнению с размахом работ Тесла столетней давности. Однако именно в наши дни кризис

новой когда-то электроэнергетики делает работы в направлении беспроводной передачи электричества чрезвычайно актуальными и ценными.

Внедрение можно начать с конечного звена энергосистемы – потребителей, имея ввиду населенные пункты и жилые дома.

На территориях населенных пунктов находятся трансформаторные подстанции 10/04 кВ, в некоторых количествах. К данным трансформаторным подстанциям подходят воздушные линии 10 кВ, а далее распределяются по жилым домам линиями электропередач 0,4 кВ. К недостаткам данного способа доставки энергии к потребителю относится малая безопасность из-за их легкого доступа к населению. Контакты с людьми могут иметь разные последствия, от получения травм, до утечки энергии в корыстных целях. К тому же данные линии электропередач плохо вписываются в общую картину населенного пункта. Этой проблеме есть решение – использование подземных линий электропередач, но они так же имеют существенные недостатки, выраженные в цене и сложности монтажа. Для решения всех вышеперечисленных проблем возможно использование новых технологичных установок, способных передавать энергию беспроводным путем.

Установками способными отдавать и принимать электроэнергию будут выступать трансформаторные подстанции 10/0,4 кВ с дополнительными модулями беспроводной передачи и приемники, которые будут отличаться в зависимости от этапа внедрения и методов передачи энергии.

Возможные методы передачи энергии представлены на рисунке (Рис.1).



Рис.1 – методы передачи электрической энергии без использования проводов

В общем понятии, рассматривая любой из методов беспроводной передачи энергии, можно однозначно сказать, что схема осуществления передачи энергии основана на передающем элементе (антенна или связанные катушки), подключенного к источнику питания, и принимающем элементе, подключенного на нагрузку (рис. 2)

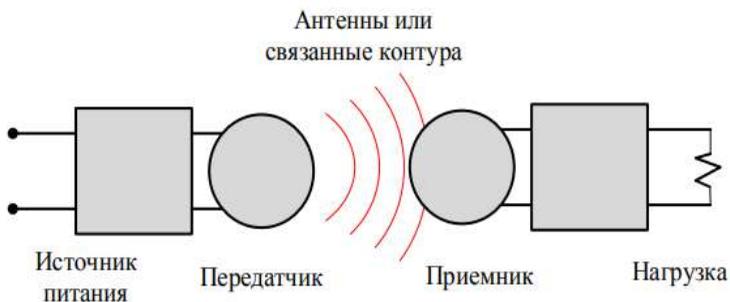


Рис.2 – схема осуществления передачи энергии

Первым этапом внедрения беспроводных технологий станет замена трансформаторной подстанции на усовершенствованную, и установка на каждого потребителя. На данном этапе мы откажемся от воздушных линий электропередач 0,4кВ и решим проблемы безопасности, ведь с трансформаторной подстанцией потребитель будет непосредственно получать энергию без посредников. От таких потребителей не будет требоваться обновление собственных схем электроснабжения приборов.

Для новых потребителей будут действовать условия второго этапа внедрения, где устройства, принимающие электроэнергию, будут, учитывая ее потребление, передавать беспроводным путем энергии локальным приборам. Приборы так же будут усовершенствованы и будут способны работать без каких-либо проводных соединений. Это приводит к еще одному существенному плюсу – упрощение схем снабжения внутри самого потребителя (Больше не один прибор не будет привязан к собственному месту, любые осветительные приборы, выключатели, розетки можно будет передвигать) и увеличение безопасности, поскольку возможность короткого замыкания и сбоев в работе будет близка к нулю из-за отсутствия человеческого фактора при монтаже и эксплуатации, ведь потребитель будет иметь только промежуточный передатчик энергии и приборы.

Третий этап: использование вышеперечисленных методов для обеспечения электроэнергией новых застроек. Для того, чтобы

запитать кластер потребителей в новостройке, потребуется лишь одна трансформаторная подстанция, при вводе в эксплуатацию которой потребители мгновенно получают электричество без каких-либо проводов.

Таким образом в населенные пункты будет приходиться лишь одна воздушная линия электропередач и вся локация, включая потребителей не будет иметь кабелей и проводов.

Имея два традиционных и один предложенный методы поставки энергии обратимся к таблице 1 для сравнения их основных достоинств и недостатков относительно друг друга, учитывая, что для сравнения используются беспроводные сети, соответствующие требованиям.

Таблица 1 – Результаты сравнений

Метод / Качество	Беспроводная передача	Воздушные ЛЭП	Подземные ЛЭП
Безопасность	+	-	+
Стоимость реализации	-	+	-
Затраты на разработку	-	+	+
Окупаемость	+	-	-
Надежность	+	-	-
Удобство ремонта	+	+	-

Исходя из данных таблицы 1 можно прийти к заключению, на нынешнем этапе внедрение предложенного метода является трудоемким и затратным процессом, но в перспективе он окажется хорошей инвестицией из-за отсутствия дополнительных элементов сети, что означает удешевление и упрощение схемы передачи энергии из условной точки А в точку Б.

Литература:

1. <https://nikolateslamuseum.org/>
2. <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-besprovodnoy-tehnologii-peredachi-elektrichestva>.: Исследование беспроводной технологии передачи электричества Текст научной статьи по специальности «Электротехника, электронная техника, информационные технологии» Фриск Валерий Владимирович

3. <https://yahaldehy-livejournal-com.turbopages.org/yahaldehy.livejournal.com/s/187296.html>: Новейшие технологии и разработки в энергетике

4. <https://geekometr.ru/> Применение и перспективы беспроводной передачи электричества

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОКА ОДНОФАЗНОГО ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ В СЕТЯХ 6... 35 кВ

Н.Ф. Чеганова, А.А. Мюльбаер, Н.А. Черненко

**Новосибирский государственный технический университет,
г.Новосибирск, tata2900@mail.ru**

Научный руководитель: Черненко Н.А., старший преподаватель

В настоящей статье проведен анализ методов определения тока однофазного замыкания на землю в электрических сетях 6...35 кВ. Рассмотрен пример определения значения тока однофазного замыкания на землю в сети 10 кВ методом искусственного смещения нейтрали.

This article analyzes the methods for determining the current of a single-phase earth fault in electrical networks 6 ... 35 kV. An example of determining the value of a single-phase earth fault in a 10 kV network by the method of artificial neutral displacement is considered.

В соответствии с требованиями Правил устройств электроустановок (ПУЭ) [1], действующими в России с 01.01.2003г. «...работа электрических сетей напряжением 2-35 кВ может предусматриваться как с изолированной нейтралью, так и с нейтралью заземленной через дугогасящий реактор или резистор». При токах однофазного замыкания на землю (ОЗЗ) более нормируемых значений, должна предусматриваться его компенсация путем использования режима заземления нейтрали через дугогасящий реактор (ДГР).

Типовая инструкция по компенсации емкостного тока замыкания на землю в электрических сетях 6-35 кВ (ТИ 34-70-070-87, РД 34.20.179, СО 153.34.20.179) (Инструкция) [2] - нормативный документ, регламентирующий работу, установку и настройку ДГР, определяющий основные технические мероприятия по выполнению компенсации емкостного тока замыкания на землю в электрических сетях, а также рекомендации по выполнению измерений для настройки компенсации емкостного тока.

В электрических сетях 6-35 кВ в соответствии с Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей [3] и типовой Инструкцией [2] необходимо непрерывно контролировать напряжение смещения нейтрали и с периодичностью раз в шесть лет производить измерения тока ОЗЗ.

Согласно [2] значение емкостного тока замыкания на землю можно определить по формуле:

$$I_c = 3 \cdot \omega \cdot C_{\phi} \cdot U_{\phi} \cdot 10^{-6}, \quad (1)$$

где: C_{ϕ} – емкость фазы сети, мкФ; U_{ϕ} – фазное напряжение, В.

Для различных типов опор воздушных линий приведены как удельные емкости проводов относительно земли, так и средняя удельная емкость трех проводов, а также значения удельного емкостного тока линии при фазном напряжении 1 кВ. Для кабелей при различных сечениях и разных номинальных напряжениях указаны значения удельных емкостных токов. Эти данные используют для оценки сначала удельного емкостного тока замыкания на землю сети, а затем путем умножения на длину всей сети – емкостного тока замыкания на землю.

Точность определения значения тока однофазного замыкания на землю обеспечивается с помощью методов опытного определения. Существуют прямой и косвенные методы измерения значения тока однофазного замыкания на землю [4].

Прямой метод измерения при металлическом замыкании фазы на землю является самым информативным и позволяет оценить необходимые величины по непосредственным замерам при выполнении искусственного замыкания на землю. Не смотря на то, что метод металлического замыкания фазы на землю прост и дает высокую точность, эксплуатирующие организации редко его используют в связи с возможностью возникновения повреждения изоляции оборудования, а также для персонала, работающих на линиях электропередачи.

Косвенные методы измерения позволяют определить искомые величины, используя формулы для пересчета. К косвенным методам относятся: метод снятия кривой напряжения нейтрали сети при различных настройках компенсации, метод искусственного смещения нейтрали, метод замыкания через активное сопротивление. При первом косвенном методе необходимо с осторожностью подходить к измерениям, так как есть возможность, что при резонансе смещение достигнет значения, соизмеримого с фазным напряжением. Наиболее распространенным является метод искусственного смещения нейтрали

или метод создания искусственной несимметрии. Суть метода заключается в создании в трехфазной сети определенной несимметрии, путем подключения к одной из фаз конденсатора дополнительной емкости. Преимущество этого метода перед остальными в том, что при его использовании незначительно повышается напряжение отдельных фаз относительно земли, исключается возможность аварийного отключения линии от двойного замыкания на землю. Основное преимущество метода замыкания через активное сопротивление – малая вероятность короткого замыкания, при условии правильного выбора значения заземляющего сопротивления, в противном случае, последствия могут быть опаснее, чем при металлическом замыкании.

На практике наиболее часто встречающимся является метод искусственного смещения нейтрали. Рассмотрим определение значения тока однофазного замыкания на землю. Натурные измерения проводились с целью определения емкостного тока замыкания на землю в сети 10 кВ. Электрическая сеть смешанного типа, состоящая преимущественно из кабельных линий электропередачи.

Измерения параметров сети осуществлялись в нормальном режиме работы и с подключенной к одной из фаз асимметрирующей емкости известного номинала. Схема подключения асимметрирующей емкости приведена на рисунке 1.

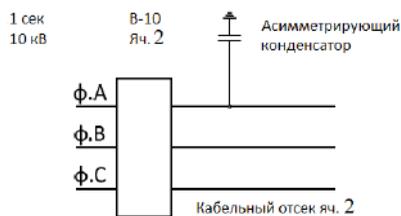


Рис. 1 – Схема подключения асимметрирующей емкости

На клеммах вторичных цепей измерительного трансформатора напряжения (ТН) во время эксперимента снимались показания вторичных напряжений фаз (U_a , U_b , U_c) и напряжение смещения нейтрали на выводах разомкнутого треугольника U_0 (Рис.2).

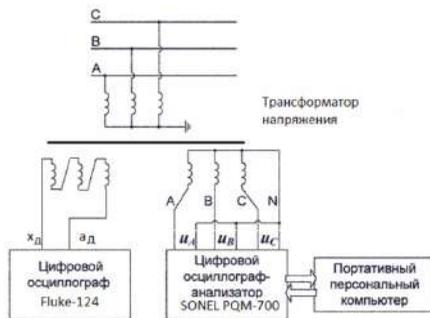


Рис.2 – Схема подключения измерительных приборов для проведения измерений смещения нейтрали

На основании полученных результатов производился расчет напряжения смещения нейтрали и емкостной ток замыкания на землю данной секции по выражению:

$$I_{O33} = \omega \cdot C_A \cdot U_\phi \cdot \left(\frac{U_\phi}{U_0} - 1 \right) \cdot 10^{-3}, \quad (2)$$

где: C_A – значение ассиметрирующей емкости, мкФ, U_ϕ – фазное напряжение сети на момент измерений, кВ, U_0 – напряжение смещения нейтрали приведенное к первичной сети, кВ.

Для искусственного смещения нейтрали проводился опыт с конденсатором КЭПЗ-10,5-300-3У2 4,4 мкФ. В таблице 1 приведены результаты измерений параметров сети 10 кВ в двух режимах работы – нормальном и с подключенной к фазе С ассиметрирующей емкостью (Рис.3).

Таблица 1 – Результаты измерений

Параметр	Нормальный режим работы		С ассиметрирующей емкостью	
	напряжение вторичных цепей, В	напряжение, приведенное к стороне 10 кВ, кВ	напряжение вторичных цепей, В	напряжение, приведенное к стороне 10 кВ, кВ
Напряжение смещения нейтрали U_0	0,205	0,012	11,8	0,68
Напряжение ф.А	59,50	5,950	53,10	5,310
Напряжение ф.В	59,60	5,960	63,00	6,300
Напряжение ф.С	59,85	5,985	63,50	6,350

В результате измерений определен емкостной ток замыкания на землю (I_{озз}) равный 62,6 А.

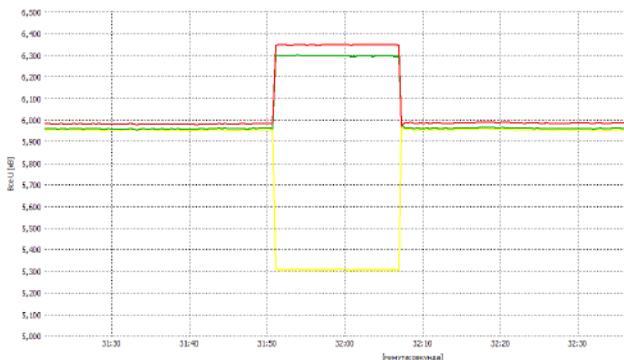


Рис. 3 – Изменение во времени действующих значений напряжений при включении асимметрирующего конденсатора 4,4 мкФ

Наиболее достоверными методами по определению значения тока ОЗЗ являются метод прямого измерения и метод искусственного смещения нейтрали.

Литература:

1. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). – 7-е изд. – Раздел 1. Общие правила / Министерство энергетики Российской Федерации. Утв. 08.07.2002. Введ. 01.01.2003. – М.: НЦ ЭНАС, 2003. – 184 с.
2. Типовая инструкция по компенсации емкостного тока замыкания на землю в электрических сетях 6-35 кВ, СО153-34.20.179 (РД34.20.179), СПО Союзтехэнерго, Москва, 1988 г.
3. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей / Госэнергонадзор Минэнерго России. – М.: ЗАО «Энергосервис», 2003. – 392с.
4. Исследование методов измерения емкостного тока однофазного замыкания на землю в сетях 6-10 кВ / А.К. Ашимова, А.Б. Утегулов, А.А. Бектасова, С.С. Исенов, Н.А. Сыздыкова // Наука и техника Казахстана. – 2005. – № 2. – С. 48-60.

ПОВЕДЕНИЕ МЕТАНОЛА В МАСЛОНАПОЛНЕННОМ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИИ

В.Е. Шевченко

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, shevchenko_v24110@mail.ru**

Научный руководитель: Коробейников С.М., д.ф.-м.н., профессор

Статья посвящена анализу поведения метанола в бумажно-масляной изоляции (БМИ) маслонаполненного электрооборудования. В ходе исследования была изучена температурная зависимость коэффициента распределения метанола в системе «бумага-масло». В результате работы также было сформулировано выражение, описывающее зависимость коэффициента диффузии метанола в БМИ от температуры.

The article is devoted to the analysis of the behavior of methanol in paper-oil insulation (POI) of oil-filled electrical appliances. During the research, the temperature dependence of the methanol distribution coefficient in the paper-oil system was studied. As a result of the work, an expression of the dependence of the methanol diffusion coefficient in the POI was formulated.

В настоящее время метанол является перспективным маркером старения бумажно-масляной изоляции в силовом трансформаторе, применение которого позволит существенно снизить затраты при оценке остаточного срока службы маслонаполненного электрооборудования в эксплуатационных условиях. Существующие исследования значительно продвинулись в изучении процесса образования метанола при разложении целлюлозы в изоляционной бумаге [1-2], однако для полноценного применения метилового спирта в качестве индикатора старения БМИ необходимо дополнительно изучить закономерности дальнейшего поведения метанола в системе силового трансформатора.

Для расчёта удельного объёма метанола, являющегося критерием оценки состояния БМИ, необходимо знать коэффициент распределения образовавшегося метанола между трансформаторным маслом и изоляционной бумагой. Из данных [3] можно выделить зависимость коэффициента распределения метанола в системе «бумага-масло» от температуры трансформаторного масла (1), полученную путём аппроксимации экспериментальных данных экспоненциальной функцией и отображённую на графике (Рисунок 1).

$$K_{p.бум}(T) = 114.72e^{-0.012T} \quad (1)$$

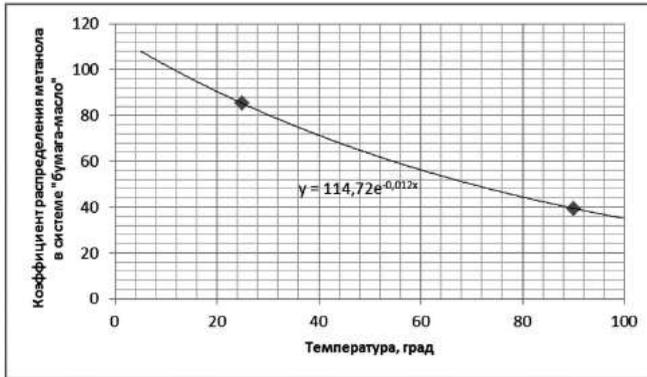


Рис.1 – График зависимости коэффициента распределения метанола между маслом и бумагой от температуры трансформаторного масла

Необходимо учитывать, что на точность измерений содержания метанола в трансформаторном масле значительное влияние оказывает диффузия, скорость протекания которой зависит от температуры, однако зависимость коэффициентов диффузии метанола в БМИ от температуры практически не исследована. На основании результатов экспериментов по определению коэффициентов диффузии метанола в БМИ [4] при двух температурах, равных 25°С и 60°С, с учётом того, что температурная зависимость коэффициента диффузии соответствует закону Аррениуса, была проведена аналогичная аппроксимация экспоненциальной функцией (2), после чего был построен график зависимости коэффициента диффузии метанола в БМИ (m^2/c) от температуры трансформаторного масла (Рисунок 2).

$$K_{\text{дифф.}}(T) = 6 \times 10^{-15} e^{0,01987T} \quad (2)$$

В результате проделанной работы было сформулировано выражение зависимости коэффициента диффузии метанола в БМИ от температуры масла в трансформаторе и построен соответствующий ему график. В дальнейшем планируется использование полученного выражения в качестве основы для более глубокого изучения процесса диффузии в бумажно-масляной изоляции.

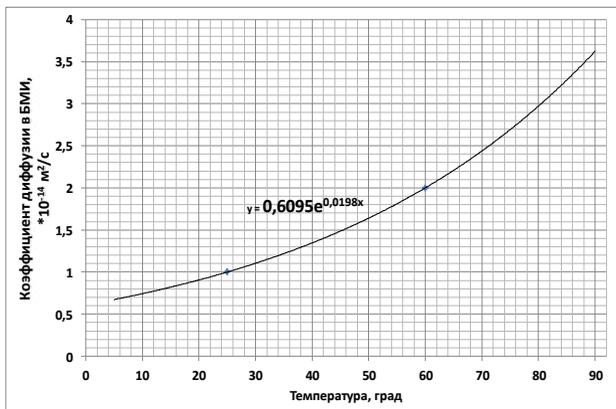


Рис.2 – График зависимости коэффициента диффузии метанола в бумажно-масляной изоляции от температуры трансформаторного масла

Литература:

1. Kinetics of the production of chain-end groups and methanol from the depolymerization of cellulose during the ageing of paper/oil systems. Part 1: Standard wood kraft insulation / *Jocelyn Jalbert, Roland Gilbert, Pierre Tetreault, Brigitte Morin et al.* // *Cellulose* 16. – Springer. – April 2009. – P. 327-338. – doi: [10.1007/s10570-008-9261-1](https://doi.org/10.1007/s10570-008-9261-1)

2. Investigation on Formation Mechanisms of Methanol During Cellulose Insulation Aging Based on Molecular Dynamics Simulation / *Jiefeng Liu, Huan Zhao, Xianhao Fan and Yiyi Zhang* // *IEEE Access*. – Vol.9. – December 2020. – P. 6890-6898. – doi: [10.1109/ACCESS.2020.3041555](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3041555)

3. Способ оценки состояния бумажной изоляции маслonaполненных электрических аппаратов: патент 2 647 224 Российская Федерация: МПК51 G 01 N 30/02 / *Л.А. Дарьян, А.В. Максимченко, Р.М. Образцов, Е.А. Гончарова*; патентообладатель Публичное акционерное общество "Межрегиональная распределительная сетевая компания Волги". – № 2016141619; заявл. 24.10.2016; опубл. 14.03.2018 Бюл. No 8. – 20 с.

4. Измерение коэффициентов диффузии «диагностических» газов и метанола в бумажно-масляной изоляции / *Л.А. Дарьян, В.П. Полищук, А.В. Пилюгин, А.М. Осипов* // *Энергия единой сети*. – 2018. – № 5(41). – С. 21–28.

РАЗРАБОТКА ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ИМПУЛЬСНОГО ТРАНСФОРМАТОРА 10 КВ

И.В. Шмаков, Ю.Н. Любецкая, А.А. Идубалин
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, shmakov-ilya-98@mail.ru
Научный руководитель: Мюльбаер А.А., старший преподаватель

При разработке компактного высоковольтного источника постоянного тока потребовалось создать высоковольтный импульсный трансформатор с большой мощностью. В ходе работы был создан трансформатор на 10 кВ, рабочей частотой 50 кГц и мощностью 4 кВт, он необходим для испытания материалов и отработки технологии изготовления. С трансформатором был проведен цикл испытаний.

In developing the development of a compact high-voltage direct current source it was necessary to create a high-voltage pulse transformer with high power. In the work, a 10 kV transformer with an operating frequency of 50 kHz and a power of 4 kW was created, which was necessary for testing materials and working out the manufacturing technology. With the transformer a cycle of tests was carried out.

Для того, чтобы создать компактный и мощный высоковольтный источник постоянного тока требуется перейти от работы системы на промышленной частоты к более высоким частотам. Для этого используется силовой преобразователь. После преобразования для получения нужного напряжения идет трансформатор.

Чем выше частота, тем больше потери в сердечнике, а поэтому в высокочастотных трансформатора применяется феррит. Феррит в сравнении со сталью имеет более высокое удельное сопротивление. В трансформаторе применен феррит марки N87. Амплитудное значение индукции в сердечнике было принято равным 300 мТл. Это значение стабильно при температуре в 20 °С и в 100 °С, а также находится на линейной части основной кривой намагничивания.

Из доступных на рынке ферритовых сердечников был выбран UU 126/182/20. Размеры сечения сердечника 20×28 мм.

Для расчета числа витков нужно посчитать ЭДС одного витка. Проектирование этого трансформатора предполагалось для источника в 50 кГц с прямоугольной формой импульса. Выходное рабочее напряжение должно было быть 515 В, а предполагаемая мощность 4 кВт. Для расчёта воспользуемся формулой (1)[1].

$$E_a = 4 \cdot B_A \cdot f \cdot S, \quad (1)$$

где f – рабочая частота, Гц, S – сечение магнитопровода, м², B_A – амплитудное значение магнитной индукции, Тл. ЭДС витка получилась 33,6 В.

Для прямоугольного сигнала действующее значение равно амплитудному. Тогда число витков первичной обмотки равно (2):

$$N_1 = \frac{U_{1A}}{E_a}, \quad (2)$$

где U_{1A} – амплитудное значение первичного напряжения, В. Число витков на первичной обмотке равно 16.

Число витков вторичной обмотки также рассчитывается по похожей формуле (3):

$$N_2 = \frac{U_{2A}}{E_a}, \quad (3)$$

где U_{2A} – амплитудное значение вторичного напряжения. Число витков вторичной обмотки равно 297.

Работа трансформатора осуществляется на высоких частотах, а поэтому свое влияние проявляет скин-эффект. Толщину скин-слоя рассчитывается по формуле (4).

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{\mu_0 \cdot \pi \cdot f \cdot \gamma}}, \quad (4)$$

где μ_0 – магнитная постоянная $4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м, γ – проводимость меди $53 \cdot 10^6$ См/м. Толщина скин-слоя составляет 0,29 мм.

Ориентировочная мощность нагрузки трансформатора 4 кВт. Рассчитаем значение тока по формуле (5).

$$I_2 = \frac{S_{\text{ВЫХ}}}{U_2}, \quad (5)$$

где $S_{\text{ВЫХ}}$ – выходная мощность, кВт U_2 – действующее напряжение на выходе, кВ. Ток равен 0,4 А. Для намотки подходит провод марки ПЭТ-155 диаметром 0,4 мм, плотность тока составляет тогда 3,2 А/мм²

Чтобы рассчитать входной ток трансформатора необходимо к выходной мощности добавить мощности потерь в трансформаторе. Потери можно разделить на потери в сердечнике и потери в обмотках.

Так как сердечник сделан из феррита, то учитываются только потери на гистерезис. В справочных материалах [2] не дается значение удельных потерь на нужную частоту и индукцию, то необходимо их рассчитать. Произвести их подсчет можно по следующей формуле (6)[3]:

$$P_{yc} = a \cdot B_A^b \cdot f, \quad (6)$$

где a b – коэффициенты характерные для материала сердечника. Их можно получить из данных об удельных потерях [2]. По графикам потерь были получены значения: $a=1.5 \cdot 10^{-5}$, $b=2.4$. Было установлено, что на данной частоте и индукции удельные потери составляют 661 мВт/см^3 . Объем сердечника 282 см^3 . Для того, чтобы найти потери в самом сердечнике надо потери умножить на объем сердечника (7):

$$P_c = V \cdot P_{yc}, \quad (7)$$

где V – объем сердечника см^3 . Потери в сердечнике составляют $186,4 \text{ Вт}$.

Потери в обмотке вторичного напряжения можно найти по следующей формуле (8):

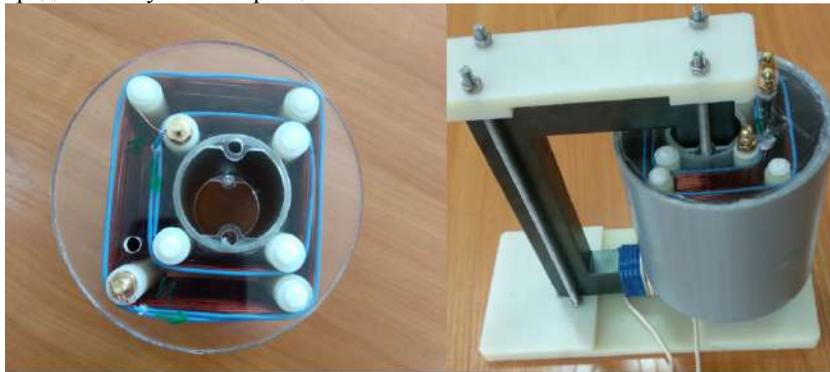
$$P_c = I_2^2 \cdot R_2, \quad (8)$$

где I_2 – ток во вторичной обмотке, A , R_2 – активное сопротивление вторичной обмотки, Ом . Сопротивление составляет $6,5 \text{ Ом}$. Мощность потерь $1,8 \text{ Вт}$.

Итого, мощность, которую должна через себя пропустить первичная обмотка составляет $4188,2 \text{ Вт}$. Из-за того, что в данной работе могут быть не учтены, некоторые эффекты, то стоит выбрать сечение обмотки рассчитанную на 4400 Вт . Ток в обмотке будет равен $8,5 \text{ А}$. Подходящий диаметр 2 мм , но так как работа осуществляется на высоких частота, то чтобы минимизировать скин-эффект стоит использовать лицендрат – провод разделенный на несколько изолированных друг от друга проводников. Подходящим по параметрам является Litz wire $49 \times 0,2 \text{ мм}$.

Обмотка выполнена на каркасе из капролоновых стрежней. Стержни крепятся к фланцам из оргстекла на капролоновые винты.

Для большей жесткости конструкции, а также для удобства заливки компаундом в центре добавлена полипропиленовая труба. Чтобы снизить разность потенциалов между витками слоев конец внутреннего слоя соединен латунным стрежнем с началом внешнего слоя. По причине того, что все витки не укладывались в один слой, пришлось сделать их в два слоя с равным числом витков. Для заливки использовался компаунд АДВ-69/50. Испытания показали, что он имеет оптимальную скорость затвердевания и минимальную усадку среди испытываемых образцов.



а) высоковольтная обмотка, вид сверху,
б) трансформатор в сборе, обмотка подготовлена к заливке

Вывод: на данный момент по причине того, что генератор частоты не способен развить нужную мощность и напряжение нельзя провести полноценные испытания. Дополнительно при проектировании других моделей необходимо учитывать также емкости обмоток трансформатора

Литература:

1. Бабурин М., Павленко А., Компоненты для построения источников питания. – Липецк: Изд-во «Симметрон», 2008. – 81 с.
2. Ferrites and accessories. SIFERRIT material N87. EPCOS AG 2006.
3. Теоретические основы электротехники: в 3-х т. Учебник для вузов. Том 2. – 4-е изд. / К.С. Демирчян, Л.Р. Нейман, Н.В. Коровкин, В.Л. Чечурин. – Спб.: Питер, 2006. – 576 с.: ил.

ПРИМЕНЕНИЕ ДИМЕТИЛОВОГО ЭФИРА В КАЧЕСТВЕ НИЗКОУГЛЕРОДНОГО ТОПЛИВА ДЛЯ ДИЗЕЛЕЙ

Э.У. Ахметжанова

МАДИ, г. Москва, dys@madi.ru

Научный руководитель: Дунин А.Ю., к.т.н., доцент

Проанализирован эффект от применения ДМЭ, сделаны выводы о целесообразности применения, описаны испытания экспериментального образца топливной системы, предназначенной для впрыскивания в камеру сгорания дизеля смешанного топлива, проведенные в ходе исследования. В качестве компонентов данной смеси рассматривались дизельное топливо и ДМЭ. Применение ДМЭ в качестве присадки позволило сделать выводы о содержании сажи С в отработавших газах дизеля.

The effect of the use of DME is analyzed, conclusions are drawn about the feasibility of using, the tests of an experimental model of a fuel system designed for injecting a mixed fuel into the combustion chamber of a diesel engine, carried out during the study, are described. Diesel fuel and DME were considered as components of this mixture. The use of DME as an additive made it possible to draw conclusions about the content of soot C in the exhaust gases of a diesel engine.

Введение. Транспорт является одним из важнейших элементов материально-технической базы производства и необходимым условием для комфортной жизни в мегаполисе. В настоящее время наблюдаются тенденции увеличения мобильности населения и объемов товарооборота, что определяет необходимость развития пассажирских и грузовых перевозок.

Для улучшения экологической составляющей возникает необходимость перехода на альтернативные виды топлива [1]. В связи с этим, все большее внимание за последние годы стало уделяться поиску альтернативных топлив [2], которые с одной стороны удовлетворяли бы условиям рабочего процесса дизельного двигателя, а с другой – способствовали резкому снижению вредных выбросов, на данный момент, существует большое количество альтернативных видов топлива для двигателей внутреннего сгорания.

Применение ДМЭ. Применение диметилового эфира (ДМЭ) позволит решить такие проблемы дизельного двигателя, как: выбросы сажи; выбросы окислов азота (NO_x); шум.

При условии, что полностью будут сохранены основные преимущества дизельного двигателя, такие как: воспламенение от сжатия, высо-

кий КПД описанные выше эффекты от применения ДМЭ будут достигнуты.

Перспективы использования ДМЭ в качестве топлива объясняются особенностью строения молекулы ДМЭ ($\text{CH}_3\text{-O-CH}_3$) и его свойствами как топлива.

За счет наличия в ДМЭ кислорода (массовая доля 34,8%) и отсутствия в молекуле связей типа «углерод - углерод» (массовая доля углерода в ДМЭ ниже в 1,6 раза чем у дизельного топлива) обеспечивается практически бездымная работа дизеля. Причем, тот уровень дыма, который имеет место, является следствием горения масла в камере сгорания, попадающего туда вследствие утечек.

Имеющее место снижение шума при работе на ДМЭ можно объяснить: во-первых, более высоким цетановым числом, которое приводит к сокращению задержки воспламенения, а, следовательно, менее шумному сгоранию; а во-вторых, необходимостью применения более низкого давления впрыскивания из-за низкой температуры испарения, благодаря которой, ДМЭ превращается в газ непосредственно в течение впрыскивания.

Если рассматривать безопасность ДМЭ, по отношению к окружающей среде, здоровью людей, то в общем случае можно сказать следующее. ДМЭ имеет короткий период полураспада в тропосфере (меньше чем один день), разлагается до CO_2 и воды без выделения в стратосфере. ДМЭ не токсичен и не является канцерогенным и мутагенным.

По своим физическим свойствам ДМЭ подобен пропан-бутановым газам, нашедшим широкое применение в качестве альтернативного топлива для двигателей внутреннего сгорания. В частности, ДМЭ имеет близкие величины параметров насыщения: температуру сжижения - 25°C (у пропана она составляет -50°C) и давление насыщенных паров $5,1 \text{ кгс/см}^2$ (у пропана – 8 кгс/см^2) при температуре 20°C . Как пропан и бутан, ДМЭ следует хранить в сжиженном состоянии в газовом баллоне под давлением.

В Московском автомобильно-дорожном государственном техническом университете (МАДИ) проведены испытания экспериментального образца топливной системы (Рисунок 1), предназначенной для впрыскивания в камеру сгорания дизеля смесового топлива [3, 4]. В качестве компонентов смеси рассматривались дизельное топливо и ДМЭ.

Особенность форсунки 8 (Рисунок 1) – наличие двух каналов для подвода дизельного 11 и альтернативного 10 топлив к распылителю 9, который также имеет каналы для подвода дизельного 13, 15, 22 и альтернативного 12, 16 топлив. Смешение топлив осуществляется в полости $V_{\text{ф}}$, расположенной у основания запирающего конуса иглы.

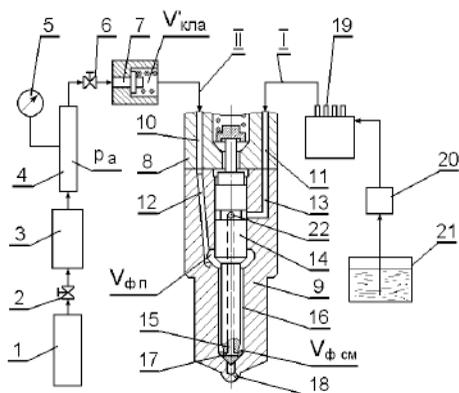


Рис. 1 - Схема экспериментального образца топливной системы, предназначенной для впрыскивания в камеру сгорания дизеля смешесового топлива: $V'_{\text{кла}}$ – объем штуцера обратного клапана; $V_{\text{фп}}$ – объем линии подачи присадки; $V_{\text{фсм}}$ – объем смешения топлив; I – топливопровод для подачи дизельного топлива; II – топливопровод для подачи ДМЭ; 1 – баллоны с азотом; 2 – газовый редуктор; 3 – баллон с ДМЭ; 4 – топливный аккумулятор; 5 – манометр; 6 – клапан отключения подачи присадки; 7 – обратный клапан; 8 – форсунка; 9 – распылитель форсунки; 10, 12, 16 – каналы для подачи ДМЭ (присадки); 11, 13, 15, 17, 22 – каналы для подачи дизельного топлива; 18 – распыливающее отверстие; топливный насос высокого давления; 20 – топливоподкачивающий насос; 21 – бак с дизельным топливом

Для испытаний выбран дизель Д-120 (2Ч 10,5/12) со степенью сжатия 16,5 и воздушным охлаждением. Экспериментальные форсунки 8 (Рисунок 1) были отрегулированы на давление начала движения иглы распылителя $p_{\text{фо}} = 17,2$ МПа, что соответствовало значению, предписанному инструкцией по эксплуатации дизеля Д-120. В аккумуляторе 4 редуктором 2 поддерживалось давление 9 МПа.

Как следует из Рисунка 2 применение ДМЭ в качестве присадки позволило значительно снизить содержание сажи С в отработавших газах дизеля. Во всем диапазоне изменения среднего эффективного давления p_e отмечено уменьшение температуры отработавших газов t_r , выбросов оксидов азота NO_x , оксида углерода СО и диоксида углерода CO_2 . Однако резко возросло содержание углеводородов СН. Очевидно, что последнее требует подбора величины $\theta_{\text{впр}}$.

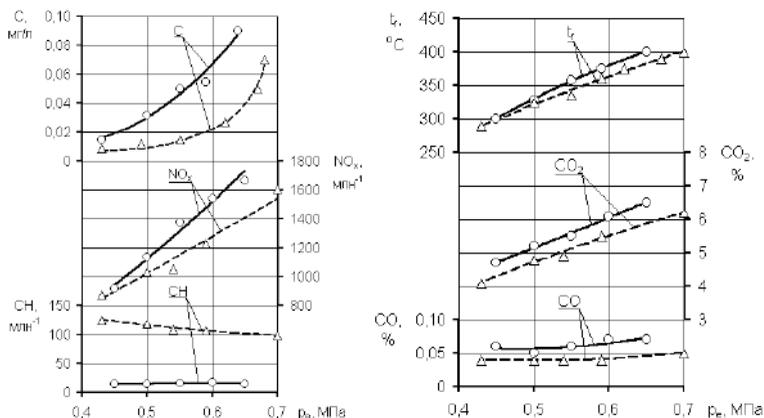


Рис. 2 – Нагрузочная характеристика дизеля Д-120 (2Ч 10,5/12) при работе на дизельном топливе: $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$, $\theta_{\text{впр}} = 29^\circ \text{ ПКВ до ВМТ}$

○ — — ○ — работа на дизельном топливе;

Δ — — Δ — работа на смеси дизельного топлива и ДМЭ

Заключение. 1. ДМЭ – перспективное альтернативное топливо для двигателей с воспламенением от сжатия, из-за наличия кислорода (массовая доля 34,8%) и отсутствия в молекуле связей типа «углерод - углерод» (массовая доля углерода в ДМЭ ниже в 1,6 раза чем у дизельного топлива).

2. В МАДИ разработан экспериментальный образец топливной системы, предназначенной для впрыскивания в камеру сгорания дизеля смесового топлива. В качестве компонентов смеси рассматривались дизельное топливо и ДМЭ.

Литература:

1. Двигатели автотракторной техники: учебник / И.В. Алексеев, К.А. Морозов, Ю.В. Горшков и др.; под. ред. М.Г. Шатрова. – М.: КНОРУС, 2016.– 400 с.

2. Влияние состава топлива на основе масел растительного происхождения на режим работы электрогидравлической форсунки / А.Ю. Дунин, Е.В. Горбачевский, П.В. Душкин и др. // Транспорт на альтернативном топливе. – 2017. – № 4(58). – С. 48-58.

3. Мальчук В.И., Шатров М.Г., Дунин А.Ю. Система подачи альтернативных топлив в камеру сгорания дизеля // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2007. – № 4. – С. 34-37.

4. Дунин А.Ю. Совершенствование системы совместной подачи двух топлив в камеру сгорания дизеля через одну форсунку: дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02 – М., 2006. – 196 с.

КРАТКИЙ ОБЗОР НЕКОТОРЫХ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ

Н.С. Вагабова

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, nata.vagabova@yandex.ru
Научный руководитель: Боруш О.В., д.т.н., доцент**

В статье представлен краткий обзор на состояние энергетики и современные решения в теплоснабжении на 2020 г. Отдельное внимание уделено разработкам, которые направлены на удешевление выработки энергии и снижения вредных выбросов в атмосферу.

The article presents an overview of the state of energy and modern solutions in heat supply for 2020. Special attention is paid to developments aimed at reducing the cost of energy production and reducing harmful emissions into the atmosphere.

В России преобладает комбинированная выработка электрической и тепловой энергии, так как она является одной из самых эффективных циклов производства энергии. В стране эксплуатируются 227 ТЭЦ, а также 209 газомазутных и 68 угольных. На 2020 г. выработка электроэнергии составила 1080,6 млрд кВт·ч из них на ТЭС приходится 679,9 млрд кВт·ч, АЭС – 208,8 млрд кВт·ч, ГЭС – 190,3 млрд кВт·ч.

На данный момент, для развития теплоэнергетики изучают новые способы выработки энергии без вреда окружающей среде. Одним из таких инновационных направлений является изучение и внедрение теплоэлектростанций без выбросов CO₂.

Основой данной технологии является чистая генерация энергии из углеводородного топлива без вредных выбросов в окружающую среду. Цикл, по которому работает безуглеродная установка, называется Циклом Аллама. Разработанная технология использует CO₂ для приведения вращения ротора турбины, а в последующем, для выработки электроэнергии.

На рисунке 1 [3] представлена схема энергетической установки, которая работает по циклу Аллама. В начале расположена установка разделения воздуха для кислородного сжигания угля или природного газа, это позволяет исключить выбросы вредных окислов азота,

выделяющихся при традиционном сжигании топлива. Установка, работающая на углекислом газе, использует сверхкритическое вещество, нагретое до 1000 °С под давлением почти 300 атм, и вместо выброса в атмосферу, CO₂ направляется обратно в камеру сгорания после теплообменника, откуда поступает в турбину, образуя замкнутый контур.

Расчетный КПД установки – 58,9 % на газе и 51,4 % на угле.

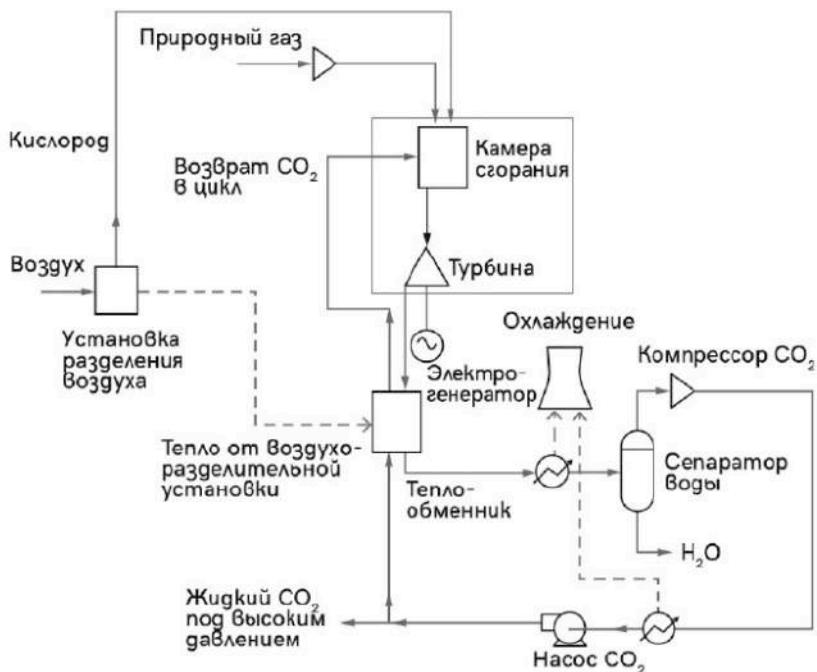


Рис. 1 – Схема теплоэнергетической установки, работающей по циклу Аллама

Так как цикл Аллама работает при высоких параметрах (температуре и давлении), требования к конструкционным материалам будут выше по сравнению с традиционными циклами по выработке электроэнергии.

Для более точной оценки эффективности работы безуглеродной установки необходимо углубленное изучение термодинамического анализа и экспериментальных исследований комплекса оборудования. На данный в Америке в тестовом режиме построена первая в мире электростанция, работающая по циклу Аллама. Экспериментальная

ТЭЦ будет работать год, в течение которого проведут проверки и посмотрят ее эффективность.

Помимо совершенствования циклов теплоэнергетических установок и экологического аспекта в современной теплоэнергетике остро поднимаются вопросы связанные с системами теплоснабжения. Несмотря на то, что в России налажена добыча природного газа, во многих регионах страны в качестве системы теплоснабжения используются котлы на пеллетах. Топливом для такого теплоснабжения является деревообрабатывающие отходы, спрессованные в гранулы-пеллеты. Пеллетные котлы способны отапливать площадь в среднем 3000 м². Конструкция такого котла представлена на рисунке 2 [2].



Рис. 2 – Конструкция котла, работающего на пеллетах

Из отсека для пеллетных гранул (1), топливо с помощью механизма подачи (3) направляется в топку (11), откуда при помощи системы

автоматического розжига разжигается, вырабатывая тепло, дымовые газы уходят в дымоход. Удобством таких котлов является их переход на автоматический режим после розжига топлива, для этого необходимо установить нужную температуру и обеспечить постоянную подачу пеллет в отсек для топлива.

Установки для теплоснабжения с помощью спрессованного дерева обладают высоким КПД. По сравнению с традиционными котлоагрегатами они имеют 5-ти ходовую конструкцию, вместо 3-х. Благодаря этому, теплоотдача от горячих газов водяному контуру становится выше, а температура дымовых газов – ниже, за счет чего и повышается КПД установки в целом.

Сейчас такое отопление чаще всего ставят в частных домах, в которых нет подключения к газовой магистрали. Преимуществом системы теплоснабжения, работающей на пеллетах – дешевизна и безопасность топлива. Гранулы можно не только покупать, но и делать самим из опилок, древесной стружки, обрезков и прочих древесных отходов. Оно не взрывоопасное, по сравнению с газом, низкозольное (0,5 % от сгоревшего объема) за счет материала, из которого изготавливается. Для хранения пеллет не нужно специально оборудованного помещения – достаточно сухого помещения.

К недостаткам стоит отнести дороговизну и энергозависимость установки, но учитывая долговечность оборудования (18...22 лет), вложения достаточно быстро окупаются. Что касается энергозависимости, система нуждается в постоянном энергоснабжении или дополнительном независимом источнике энергии, что увеличит стоимость установки.

Стоимость 1 кВт тепловой мощности, выработанной при использовании пеллет дешевле стоимости 1 кВт тепловой мощности на угле в 1,07 раз, на дизеле в 3,73 раза, что является еще одним достоинством пеллетного теплоснабжения.

Литература:

1. Мингалева А. Пеллетный котел – что это такое, на каком топливе работает, конструкция и нюансы выбора. [Электронный ресурс] // Наука и образование: электрон. науч.-техн. журн. –2016. – URL: <https://www.forumhouse.ru/journal/articles/6929-pelletnyi-kotel-cto-eto-takoe-na-kakom-toplive-rabotaet-konstrukciya-i-nyuansy-vybora>

2. Стационарная и блочно-модульная котельная на пеллетх. [Электронный ресурс] // Автономное тепло –2016. – URL: https://avtonomnoeteplo.ru/otopitelnye_kotly/186-modulnye-kotelnye-na-pelletah.html#modulnye-pelletnye-kotelnye

3. Батырь А. Сверхкритический подход. Как избежать энергозатратных фазовых превращений. // Наука и образование: науч. презентация –2018.

4. Инновационная теплоэлектростанция без выбросов CO₂. [Электронный ресурс] // Econet.Включи сознание –2018. – URL: <https://econet.ru/articles/155469-innovatsionnaya-teploelektrostantsiya-rabotaet-bez-vybrosov-co2>

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВУЮЩЕЙ КОТЕЛЬНОЙ П.ТРУДАРМЕЙСКИЙ ПРИ ПЕРЕВОДЕ В КОГЕНЕРАЦИОННЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ

Н.И. Волков

**Научный руководитель – д.т.н., доцент О.В. Боруш
Новосибирский государственный технический университет,
г.Новосибирск kolyavolkov990@mail.ru**

В производстве тепла наиболее привлекательно в российских условиях выглядит когенерация. Рынок и удобство потребителей ведут ко все большему развитию децентрализованных систем теплоснабжения, запустив глубокую трансформацию традиционной централизованной системы теплоснабжения. Данная работа направлена на исследование эффективности котельной п.Трудармейский при переводе в когенерационный режим работы.

In heat production, cogeneration is the most attractive in Russian conditions. The market and consumer convenience are driving the ever-increasing development of decentralized heating systems, triggering a profound transformation of the district heating system. This work is aimed at studying the efficiency of the Trudarmeyskiy village boiler house when transferred to a cogeneration mode of operation.

Когенерация — технология совместного производства тепловой и электрической энергии с использованием различных видов углеводородного и возобновляемого топлива. С ростом тарифов на электричество возникает заинтересованность в собственной выработке тепловой и электрической энергии объектами «малой» энергетики. Особенно эта тема актуальна в местах, наиболее удаленных от больших производителей энергии, находящие в крупных населенных пунктах. По мере роста и развития когенерации будет идти активное вытеснение котельных [2].

Установленная мощность котельной №5 (Центральная), п. Трудармейский – 6,450 Гкал/ч. Потребителями тепловой энергии для нужд отопления и горячего водоснабжения от вышеуказанного источника

являются жилые здания и объекты социально-культурного назначения [1].

Реконструкция котельной в мини-ТЭЦ рассматривается с использованием паротурбинных установок малой мощности. Турбина ТГУ 500К Калужского турбинного завода имеет следующие характеристики:

- мощность электрическая номинальная $N_э = 0,5$ МВт.

Номинальные параметры сухого насыщенного пара перед турбиной (рабочий диапазон):

- давление абс., МПа – 0,65 (0,5-1,5);
- температура – 250 °С (200-300);
- расход пара на номинальной мощности, т/ч (не более), – 4,0.

К основным показателям эффективности относят электрический и тепловой КПД установок

$$\eta_e = \frac{E}{B Q_p^H}$$
$$\eta_{th} = \frac{Q}{B Q_p^H}$$

где E и Q – производство электрической и тепловой энергии [МВт·ч], B – расход топлива, Q_p^H – низшая теплота сгорания топлива

Коэффициент мощности CF_j системы мини-ТЭЦ в месяц j определяется как отношение его фактически произведенная электроэнергия E_j (МВт·ч) в течение месяца j к его потенциальной производительности, если он работал на полной номинальной мощности P (МВт) непрерывно в течение месяца j :

$$CF_j = \frac{E_j}{P t_j} = \frac{\eta_e \cdot B \cdot Q_p^H}{P \cdot t_j}$$

где t_j (ч) это общее количество календарных часов месяца j .

Применяя систематический метод оценки можно провести более детальный анализ проекта, чтобы изучить потенциал технологий когенерации.

Литература:

1. Проект схемы теплоснабжения Трудармейского сельского поселения Прокопьевского муниципального района до 2028 года (актуализация на 2020 год);

2. Прогноз развития энергетики мира и России 2016 / под ред. А.А. Макарова, Л.М. Григорьева, Т.А. Митровой; ИНЭИ РАН–АЦ при Правительстве РФ – Москва, 2016. – 200 с. - ISBN 978-5-91438-023-3.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ В БАШЕННОЙ ГРАДИРНЕ С ЕСТЕСТВЕННОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ ВОЗДУХА

Ю.Э. Демина

**Самарский государственный технический университет, г. Самара,
demina.ye@samgtu.ru**

Научный руководитель: Кудинов А.А., д.т.н., профессор

В работе приводятся результаты численного моделирования системы защиты верхней части вытяжной башни градирни от образования наледи. Для отделения потока подогретого влажного воздуха от холодной стенки вытяжной башни градирни предлагается установить систему дополнительного нагнетания сухого атмосферного воздуха. Применение данной технологии позволяет повысить надежность башенной градирни и экономичность работы тепловой электрической станции, снизить вероятность аварийных ситуаций.

The article presents the results of numerical simulation of the system of protection of the upper part of the natural draught cooling tower against the formation of ice. To separate the heated wet air flow from the cold wall of the natural draught cooling tower, it is proposed to install the additional air charging system. The use of this technology makes it possible to increase the reliability of the natural draught cooling tower and efficiency of the thermal power plant operation, and to reduce the likelihood of emergency situations.

Тепловые электрические станции (ТЭС) являются основным источником энергии. От надежности работы отдельного оборудования в составе ТЭС зависит энергоэффективность источника в целом [1, 2]. Башенная градирня с естественной тягой предназначена для охлаждения циркуляционной воды, подогретой в конденсаторе паровой турбины, и является одним из ключевых объектов ТЭС. При отрицательных температурах наружного воздуха эффективность работы градирни может снижаться из-за обмерзания конструкций. В частности, образование наледи происходит в верхней её части при контакте паровоздушной смеси с холодными стенками. При положительных температурах окружающей среды лед отделяется от стенок вытяжной

башни градирни, падает с высоты и разрушает расположенные ниже элементы градирни, что снижает надежность тепловой электростанции.

Для предотвращения данного эффекта в верхней части вытяжной башни градирни по ее периметру предлагается установить воздухораспределительное устройство, состоящее из кольцевого коллектора постоянного сечения с щелевыми отверстиями равномерной раздачи воздуха. Предусмотрена подача сухого атмосферного воздуха настилающими струями [3, 4].

Для проверки возможности работы данной схемы выполнено численное моделирование в среде OpenFOAM с использованием оболочки SimScale для градирни, установленной на ПГУ-200 Сызранской ТЭЦ, в стационарной постановке для сплошной среды в Эйлеровой формулировке с помощью усредненных по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса [5]. Система уравнений была замкнута моделью турбулентности сдвигового транспорта $k-\omega$ SST [6]. Данная модель была выбрана из соображений необходимости описания пристенного пограничного слоя [7] и конвективного теплообмена в нем. Расчетная область представлена на рисунке 1.

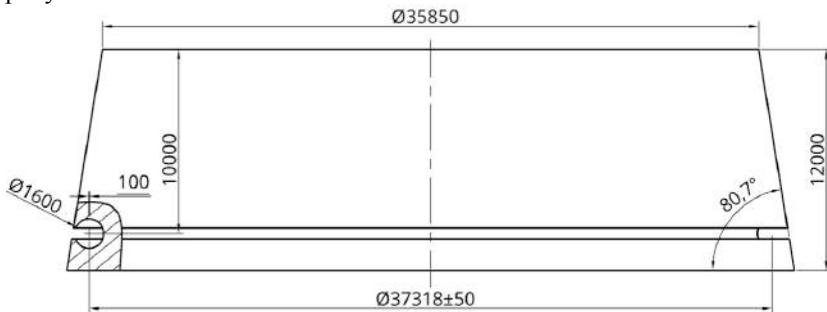


Рис. 1 - схема размещения воздуховода дополнительного нагнетания воздуха в градирне

В соответствии со схемой размещения воздуховода расчетная область была ограничена верхней частью градирни (Рисунок 2) и представляла собой усеченный конус высотой 12 м, с диаметрами нижнего и верхнего оснований 39,77 м и 35,85 м соответственно. На расстоянии 10 м от верхней кромки в конусе выполнена круговая проточка круглым профилем диаметром 1,6 м по осевому диаметру 37,32 м с открытым выходом на 0,6 м. По верхнему очерку круговой проточки выполнено условное разделение поверхности для формирования сплошной круговой щели шириной 0,1 м.

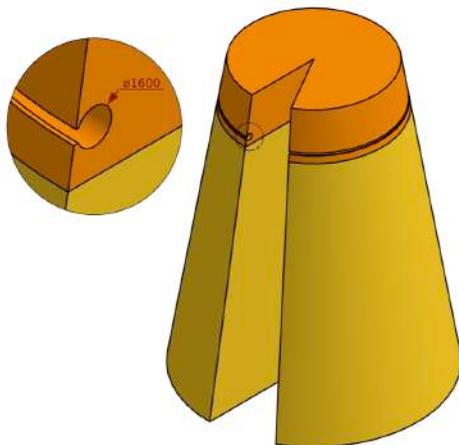


Рис. 2 - геометрия расчетной области градирни

Численное моделирование проводилось с целью выявления эффективности работы системы дополнительного нагнетания воздуха (поддува) в градирне от её режимных параметров (Таблица 1). В качестве критерия оценки эффективности системы дополнительного нагнетания воздуха было принято наличие гидродинамического защитного слоя по всей поверхности расчетной области градирни.

Таблица 1 – Исходные данные для моделирования

№ варианта расчета	Температура наружного воздуха, °С	Температура влажного воздуха градирни, °С	Расход влажного воздуха градирни, тыс. м ³ /ч	Расход воздуха поддува, тыс. м ³ /ч
1	0	7	5656	283
2	-5	2	5656	283
3	-10	-3	5656	283
4	-15	-8	5656	283
5	-20	-13	5656	283
6	-25	-18	5140	257
7	-30	-23	4704	235

В результате моделирования системы дополнительного нагнетания воздуха градирни в соответствии с режимными параметрами серии расчетов (Таблица 1) были получены пространственные распределения

скорости, давления, температуры и других термодинамических параметров в рассматриваемом объеме градири (Рисунок 3).

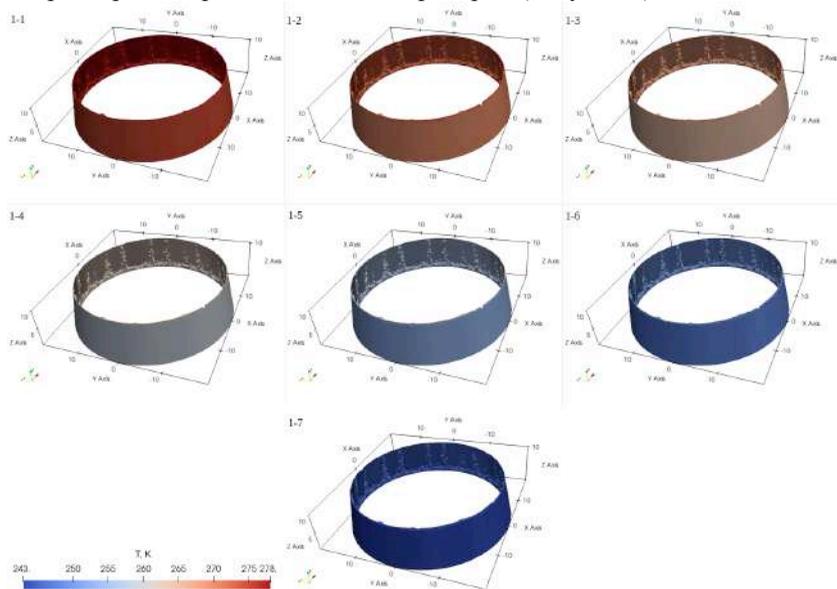


Рис. 3 - защитные слои

Результаты численного моделирования представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры защитного слоя

№ расчета	Объем слоя, м ³	Толщина слоя, мм	Температура слоя, К
1	292,88	253,4	1,8±0,5
2	292,64	253,1	-1,7±0,5
3	292,64	253,1	-7,5±0,3
4	292,64	253,1	-12,2±0,4
5	292,64	253,1	-17,4±0,7
6	295,60	255,7	-22,5±0,4
7	299,08	258,7	-27,7±0,3

Среднее значение толщины гидродинамического защитного слоя для всех расчетов составило 254,3 мм.

Выводы:

1. Предложено в верхней части вытяжной башни градирни с естественной вентиляцией воздуха установить систему дополнительного нагнетания воздуха для предотвращения обмерзания и образования наледи на ее внутренней поверхности. Произведено численное моделирование системы дополнительного нагнетания воздуха башенной градирни ПГУ-200 Сызранской ТЭЦ. Анализ результатов расчетов показал наличие гидродинамического защитного слоя по всей поверхности расчетной области вытяжной башни градирни.

2. Установлено, что имеется техническая возможность использования предложенного решения для повышения надежности и обеспечения снижения аварийности работы башенной градирни с естественной вентиляцией воздуха. Среднее значение толщины гидродинамического пограничного слоя системы дополнительного нагнетания воздуха составляет 254,3 мм.

Литература:

1. Буров В.Д. Тепловые электрические станции: учебник для вузов / В.Д. Буров, Е.В. Дорохов, Д.П. Елизаров и др. – Москва: Изд-во МЭИ, 2005. – 454 с.
2. Кудинов А.А. Тепловые электрические станции. Схемы и оборудование: учеб. пособие для вузов. – М.: ИНФРА-М, 2012. – 325 с. – ISBN 978-5-16-004731-7.
3. Патент 2704364, МПК F01K23/10 Российская Федерация. Парогазовая установка электростанции / Кудинов А.А., Зиганшина С.К., Демина Ю.Э. - № 2018125190; заявл. 09.07.18; опубл. 28.10.19, Бюл. N 31. – 5 с.
4. Демина Ю.Э. Повышение эффективности работы ТЭС за счет использования тепла оборотной воды // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство и строительные технологии: сборник статей 78-ой всероссийской научно-технической конференции. – Самара: Изд-во СамГТУ, 2021. – С. 728-733.
5. Кудинов, А.А. Техническая гидромеханика: учеб. пособие для вузов. – Москва: Изд-во Машиностроение, 2008. - 368 с.
6. Wilcox D. – Turbulens modeling for CFD. - San Diego: DWC Industries, 2006. – 515 p.
7. Schlichting H., Gersten K. – Boundary-Layer Theory. - Luxembourg: Springer, 2017. – 805 p.

ПАРОВОЙ РИФОРМИНГ КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЙ МЕТОД ПРОИЗВОДСТВА ВОДОРОДА

А.С. Жукова

Ивановский государственный энергетический университет,
г. Иваново, nastya.zhuk-@mail.ru

Научный руководитель: Григорьев Е.Ю., к.т.н., доцент

Водород в настоящее время начинает занимать достаточно высокую роль в различных отраслях. Такое положение создает необходимость увеличения его производства. На данный момент существует множество методов. Необходимо выбрать метод, который будет экономически обоснован.

Hydrogen is now beginning to occupy a high role in various industries. This situation creates the need to increase its production. Now, there are many methods. It is necessary to choose a method that will be economically justified.

На сегодняшний день мода на водород стремительно растет, естественно создается впечатление, что данный элемент может вытеснить нефть, газ и уголь. Водород является сырьем или реагентом в различных отраслях промышленности, его также начинают рассматривать как энергоноситель для решения климатических проблем, а также получения, накопления, хранения и доставки энергии.

В данный момент в мире потребление водорода, которые приходится на традиционные отрасли, составляет 95%. Наиболее перспективными областями, которые будут использовать водород в больших количествах: энергетический комплекс, промышленность, транспортный сектор, а также бытовое применение в жилищно-коммунальном хозяйстве.

Водород получают различными путями с использованием большого количества технологий. Одни используют установившиеся промышленные процессы, пока другие находятся еще на лабораторной стадии; какие-то вводятся немедленно для развития системы снабжения водородом. Водород является перспективным направлением для развития, а, следовательно, необходимо отметить преимущества:

- 1) Высокая применимость;
- 2) Запасы водорода практически безграничны;
- 3) Энергоэффективность водорода содержит практически в 3 раза больше энергии, чем топливо.

Следует также отметить и её недостатки:

- 1) Горючесть
- 2) Хранение и транспортировка, так как водород — самый легкий среди химических элементов, в заданном объеме его помещается значительно меньше, чем других видов топлива.

Как было отмечено ранее, водород получают различными методами:

- 1) паровая конверсия метана и природного газа;
- 2) газификация угля (преимущество: установки для получения водорода таким способом имеют довольно высокую удельную производительность, недостатки: ограничение по запасам угля и углекислого газа в атмосферу);
- 3) электролиз воды (преимущество: высокая чистота конечного продукта, недостаток: высокие энергозатраты);
- 4) пиролиз (преимущество: высокая экономичность производства, недостаток: высокие энергозатраты);
- 5) термохимические и комбинированные циклы (преимущество: производство больших объемов при низкой стоимости и без выброса парниковых газов, недостаток: сложность процесса производства);
- 6) биотехнологии (преимущество: потенциально большой ресурс, недостатки: малая скорость накопления водорода; требуются большие площади).

Лидером среди данных методов производства водорода является паровой риформинг, так как риформирование газового пара является самым популярным и самым дешевым способом производства водорода. По сравнению с, например, электролизом воды, количество водорода, полученного на единицу потребляемой энергии, намного выше. Мировое производство аммиака с использованием водорода, полученного в результате парового риформинга, составило 144 млн тонн в 2018 году. Потребление энергии снизилось со 100 ГДж/тону аммиака в 1920 году до 27 ГДж к 2019 году.

Паровая конверсия — получение чистого водорода из лёгких углеводородов (например метана, пропан-бутановой фракции) путём парового риформинга (каталитической конверсии углеводородов в присутствии водяного пара).

Риформирование парового природного газа обычно начинается с так называемого первого риформинга и осуществляется в трубах, заполненных никелевым катализатором, нанесенным на алюминиевую подложку. Тепло, необходимое для процесса, подается через стенки труб, нагретых снаружи путем сжигания другой части природного газа.

Обобщая все вышесказанное, можно сказать о том, что водород наиболее распространённый элемент в природе, он отличается своими уникальными характеристиками. Химия водорода очень проста и при этом он не теряет свою мощь. На сегодняшний день более 90% водорода производится благодаря методу парового риформинга.

Литература:

1. Радченко Р. В., Мокрушин А.С., Тюльпа В.В. Водород в энергетике: учеб. пособие— Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. — 229 с.
2. Гартман В.Л., Обысов А.В., Дульнев А.В., Афанасьев С.В., Новая базовая форма катализаторов для реакторов конверсии углеводородов // Катализ в промышленности. – 2012. – №3. – С. 57–61.
3. Дмитриевский А.Н., Мастепанов А.М., Бушуев В.В. Ресурсно-инновационная стратегия развития экономики России // «Вестник Российской академии наук». – 2014. – №10. – С. 867–873.
4. Конопляник А., Чистый водород из природного газа – новое перспективное направление сотрудничества России и ЕС. // «Газпром», – 2020, – №9. – С. 2–11.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПГУ С УТИЛИЗАЦИЕЙ ОТХОДЯЩЕГО ТЕПЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОРГАНИЧЕСКОГО ЦИКЛА РЕНКИНА

Е.С. Каршакова

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, karshakova.e@gmail.com

Научный руководитель: Францева А.А., к.т.н., доцент

В статье представлена парогазовая установка с органическим циклом Ренкина для выработки электроэнергии. Используя органическое рабочее тело, можно повысить эффективность установки. Анализируется эффективность работы установки с органическими рабочими телами при разной температуре окружающего воздуха.

The article presents a combined-cycle gas plant with an organic Rankine cycle for generating electricity. Using an organic working fluid, it is possible to increase the efficiency of the installation. The efficiency of the plant with organic working fluids at different ambient temperatures is analyzed.

В настоящее время парогазовые электростанции являются наиболее эффективными и наименее загрязняющими энергоблоками для выработки электроэнергии. Таким образом, парогазовые электростанции представляют собой наиболее передовую технологию производства электроэнергии на основе ископаемых видов топлива. В типовой конфигурации парогазовая установка состоит из газотурбинной установки и паротурбинной установки, работающей по циклу Ренкина. В парогазовой установке часть отработанной энергии на выходе из

газовой турбины рекуперируется в парогенераторе и преобразуется в дополнительную мощность в паровой турбине. Благодаря рекуперации тепло, отбрасываемое в атмосферу, значительно уменьшается. Это объясняет, почему производительность парогазовых электростанций выше, чем производительность обычных установок с газовыми или паровыми турбинами.

Эффективность цикла Ренкина можно улучшить, используя органическое рабочее тело. Благодаря теплофизическим свойствам органические рабочие жидкости способны вырабатывать энергию из низкотемпературных источников тепла (в диапазоне 80 – 300 °С) с более высоким КПД [1].

Представлены тепловые схемы ПГУ с утилизацией теплоты в органическом цикле Ренкина (рис. 1): ГТУ – газотурбинная установка, ПГ – парогенератор, ТП – турбина паровая, К – конденсатор, КН – конденсатный насос, ПН – питательный насос, Д – деаэратор, КУ – котел-утилизатор, ТОРТ – турбина органического рабочего тела, ВК – воздушный конденсатор, Р – регенератор.

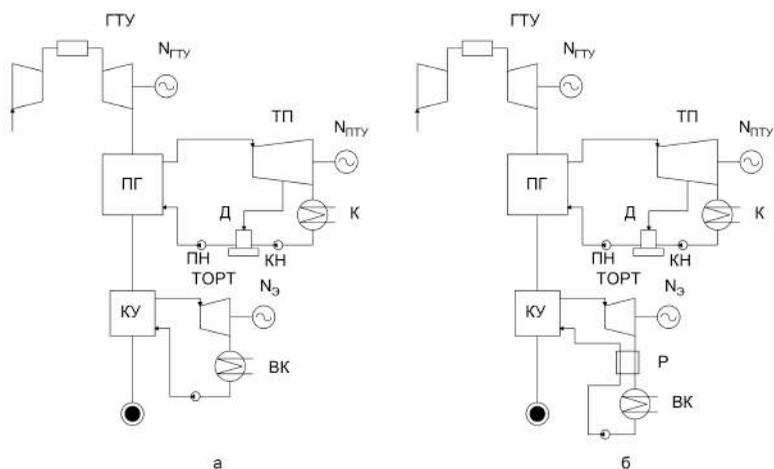


Рис.1 – Тепловые схемы ПГУ с органическим циклом Ренкина
а) без регенератора б) с регенератором

Дымовой газ, выбрасываемый из газовой турбины, проходит последовательно парогенератор и котел-утилизатор. Отработанное тепло, рекуперированное в ПГ и КУ, преобразуется в энергию в паровой турбине и в турбине органического тела.

Анализируемая установка основана на газотурбинном двигателе Orenda OGT15000 [1].

Результаты расчета ПГУ представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Зависимость основных показателей ПГУ от температуры окружающего воздуха

$t_{о.в.}, ^\circ\text{C}$	$G_{Г}, \text{кг/с}$	$N_{ГТУ}, \text{МВт}$	$N_{ПГУ}, \text{МВт}$	$N_{ШГУ}, \text{МВт}$	$B, \text{кг/с}$	$\eta_{ПГУ}$
-35	98,78	27,51	6,14	33,65	2,278	0,452
-30	96,74	26,20	6,01	32,22	2,193	0,449
-25	94,79	24,95	5,89	30,84	2,111	0,447
-20	92,92	23,75	5,78	29,53	2,032	0,444
-15	91,12	22,59	5,67	28,26	1,956	0,442
-10	89,39	21,48	5,56	27,04	1,883	0,439
-5	87,72	20,41	5,45	25,86	1,813	0,436
0	86,11	19,38	5,35	24,73	1,746	0,433
5	84,56	18,38	5,26	23,64	1,681	0,430
10	83,07	17,43	5,16	22,59	1,618	0,427
15	81,63	16,50	5,07	21,57	1,557	0,424
20	80,23	15,61	4,99	20,59	1,498	0,420
25	78,89	14,74	4,90	19,65	1,442	0,417
30	77,59	13,91	4,82	18,73	1,387	0,413
35	76,33	13,10	4,75	17,84	1,334	0,409

Выбор рабочего тела для органического цикла Ренкина был исследован и сделан вывод: тепловая эффективность цикла, как правило, выше для рабочих тел с более высокой критической температурой [2]. В результате анализа были выбраны R245fa, R600a.

Производительность установки складывается из трех выходных мощностей. Так как параметры горячего источника фиксированные и элементы цикла известны, мощность циклов будет зависеть от параметров холодного источника. Показан коэффициент полезного действия установки для двух выбранных рабочих тел при разной температуре окружающего воздуха (рис. 2). Сделан вывод, что внешняя температура холодного источника сильно влияет на эффективность установки. Выходная мощность возрастает с понижением температуры наружного воздуха.

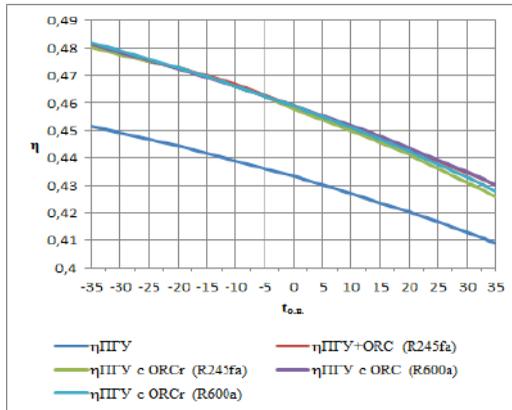


Рис.2 – Зависимость КПД от температуры окружающего воздуха

Согласно исследованию, рабочие тела не достигают температуры насыщения на выходе из турбины. Вместо отвода их тепла к холодному источнику, можно использовать его для предварительного нагрева рабочего тела путем добавления регенератора в основной цикл. Расчеты проведены при различной температуре окружающего воздуха. Введение регенератора может улучшить эффективность цикла. В зависимости от рабочего тела, улучшение может быть от 0,1% до 1 %[3].

Таким образом, эффективность органического цикла Ренкина составляет 10-25% в зависимости от температуры окружающего воздуха. Добавление органического цикла после парогазовой установки повышает общий КПД электростанции на 1-3%. Различия между эффективностью циклов исследуемых рабочих тел не очень значительны. Поэтому критерии, связанные с размерами установки, охраной окружающей среды и требованиями безопасности должны играть важную роль в будущих исследованиях.

Литература:

1. Balanescu D., Homutescu V. Performance analysis of a gas turbine combined cycle power plant with waste heat recovery in Organic Rankine Cycle // Procedia manufacturing. – 2019. – N 32. – P. 520-528.
2. Saleh B., Koglbauer G., Wendland M., Fischer J. Working fluids for low-temperature organic Rankine cycles // Energy – 2005. – N 32. – P. 1210–1221.
3. Liu B., Rivière P., Coquelet C., Gicquel R., David F. Investigation of a two stage Rankine cycle for electric power plants // Applied Energy – 2012. – N 100. – P. 285-294.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДАВЛЕНИЯ НА ВЫХЛОПЕ ТУРБИНЫ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ АЭС С УГЛЕКИСЛОТНЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ

Д.С. Писарев, Д.С. Ковалев, А.Н. Рогалев
Национальный Исследовательский Университет «Московский
Энергетический Институт», г. Москва, kov-d-s@mail.ru
Научный руководитель: Рогалев А.Н., д.т.н., доцент

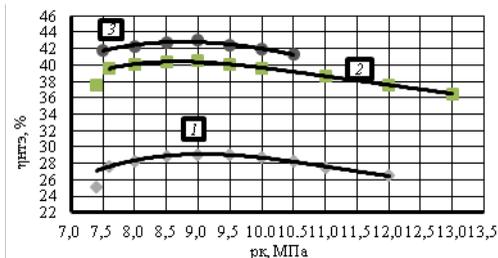
В тезисе исследовано влияние изменения давления на выходе турбины на углекислотном теплоносителе в АЭС с реакторами ВВЭР-1000, БН-800 и БРЕСТ-ОД-300. Выявлено, что максимальное КПД нетто циклов наблюдается при давлении на выходе турбины равном 9 МПа.

In the thesis, the effect of pressure changes at the outlet of a turbine on a carbon dioxide coolant in NPPs with VVER-1000, FN-800 and BREST-OD-300 type reactors is investigated. It was revealed that the maximum efficiency of net cycles is present at a pressure of 9 MPa.

Использование углекислотного теплоносителя позволяет добиться высокой энергетической эффективности цикла. Это обусловлено тем, что малая критическая температура диоксида углерода (30,98°C), близкая к температуре окружающей атмосферы, обеспечивает возможность сжатия рабочей среды вблизи линии насыщения, что снижает работу компрессора, а также температуру отвода теплоты из цикла без конденсации рабочей среды. Стоит отметить, что высокая плотность CO₂ при параметрах характерных работе углекислотной турбины определяет её малые габаритные характеристики.

В данной работе проведено исследование влияния изменения давления на выхлопе турбины на эффективность цикла Брайтона, который является внешним рабочим контуром атомных станций с реактором ВВЭР-1000, БН-800 и с БРЕСТ-ОД-300. Давление на выходе из турбины варьировалось с шагом 0,5 МПа в диапазонах от 7,4-12 МПа для реактора ВВЭР-1000, 7,4-13 МПа – для реактора БН-800 и 7,5-10,5 МПа – для реактора БРЕСТ-ОД-300.

Результаты исследований, представленные на рисунке 1, свидетельствуют о наличии единого для всех трех рассматриваемых энергетических комплексов оптимального значения давления на выхлопе турбины, равного 9 МПа. Максимальные значения КПД нетто при этом составляют 29,12, 40,44 и 42,98% для рекомпрессионных циклов с реакторами ВВЭР-1000, БН-800 и БРЕСТ-ОД-300 соответственно. [1,2]



1 – ВВЭР-1000; 2 – БН-800; 3 – БРЕСТ-ОД-300

Рис.1 – Зависимость КПД нетто от конечного давления за турбиной p_k для разных типов реакторов

Исследование проведено в НИУ “МЭИ” при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания № FSWF-2020-0020.

Литература:

1. Dostal V., Hejzlar P., Driscoll M. J. The supercritical carbon dioxide power cycle: comparison to other advanced power cycles // Nuclear technology. – 2006. – Т. 154. – №. 3. – С. 283-301.
2. Термодинамические циклы на сверхкритическом диоксиде углерода для ТЭС и АЭС / Роголев, А. Н., Киндра, В. О., Зонов, А. С., Постникова, М. С., Наумов, В. Ю. // Новое в российской электроэнергетике. – 2021. – №. 1. – С. 6-19.

РАЗРАБОТКА ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОЙ ТЕПЛОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ НА БАЗЕ ЦИКЛА АЛЛАМА

С.Л. Елистратов, В.А. Кругбелый

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, krva08@mail.ru**

Научный руководитель: Елистратов С.Л., д.т.н., зав. каф. ТЭС

В рамках программ по снижению выбросов оксидов углерода в атмосферу разрабатываются новые перспективные технологии с кислородным сжиганием топлива. Одним из таких является полузамкнутый цикл Аллама, в котором рабочее тело является диоксид углерода сверхкритических параметрах.

As part of programs to reduce emissions of carbon oxides into the atmosphere, new promising technologies with oxygen combustion of fuel are being developed. One

of these is the semi-closed cycle of Allam, in which the working fluid is carbon dioxide of supercritical parameters.

Потребление энергии в мире растет за последние 50 лет за счет роста населения и увеличения индустриализации стран. Наметившаяся тенденция предопределила ряд серьезных экологических последствий, среди которых глобальное потепление. С высокой вероятностью основной причиной наблюдаемого процесса является повышение концентрации углекислого газа в атмосфере.

Причина столь ощутимого вклада энергетики в общей структуре выбросов диоксида углерода заключается в широком распространении генерирующих объектов, работающих по традиционным циклам Ренкина и Брайтона-Ренкина, подвод теплоты в которых осуществляется за счет протекания реакции горения углеводородных топлив в воздухе. [1]

Существует несколько способов снизить величину выбросов диоксида углерода энергетическим сектором: 1) осуществление качественного перехода, связанный с повышением энергоэффективности существующих энергоблоков на органическом топливе [2] 2) развитие возобновляемых источников энергии, но на сегодняшний день в мире доля возобновляемых источников в общей структуре мощности не превышает 5 % (без учета гидроэнергетики). Причиной этого являются сложность регулирования нагрузки и дороговизна аккумулирования электроэнергии.

Эффективным способом снижения выбросов CO₂ в атмосферу, является создание замкнутых термодинамических циклов с кислородным сжиганием топлива. Энергоэффективность производства электроэнергии и отсутствие выбросов загрязняющих веществ в атмосферу – главные преимущества указанных технологий. Цикл Аллама в настоящее время является одним из перспективных среди кислородно-топливных энергетических установок нового поколения [3]. Технология, запатентованная в 2010 г. изобретателем Родней Джоном Алламом, позволяет достигать рекордного КПД нетто: 58,9 % – при работе на природном газе и 51,44 % – при работе на угле с учетом затрат на захоронение диоксида углерода.

Упрощенная принципиальная тепловая схема цикла R.J. Allam на природном газе представлена на рис. 1.

Диоксид углерода сжимается в компрессоре с промежуточным охлаждением до 80 бар, а затем подается в насос, после которого достигает максимального давления в цикле – в диапазоне от 200 до 400 бар. После насоса углекислый газ направляется в регенератор, где нагревается до 700–750 °С за счет теплоты рабочей среды на выходе из турбины и нагретого хладагента, использующегося для промежуточного охлажде-

ния кислорода в установке для его подготовки. Использование низкопотенциальной теплоты в регенераторе, получаемой за счет промежуточного охлаждения кислорода, позволяет снизить расход топлива на нагрев рабочей среды до температуры на входе в турбину. После регенератора большая часть потока углекислого газа направляется в камеру сгорания в целях ограничения максимальной температуры, меньшая часть – на охлаждение газовой турбины. Оставшаяся часть диоксида углерода смешивается с потоком сжатого кислорода и также направляется в камеру сгорания. В камере сгорания происходит повышение температуры рабочей среды до 1150 °С за счет сгорания топлива с кислородом. Расширение в проточной части газовой турбины происходит до давления 20–30 бар, что меньше критического давления для углекислого газа. На выходе из газовой турбины рабочая среда направляется в регенератор. Оптимальное давление рабочей среды на входе в газовую турбину находится в диапазоне от 200 до 400 бар, а степень понижения давления в турбине – в диапазоне от 6 до 12 [3].

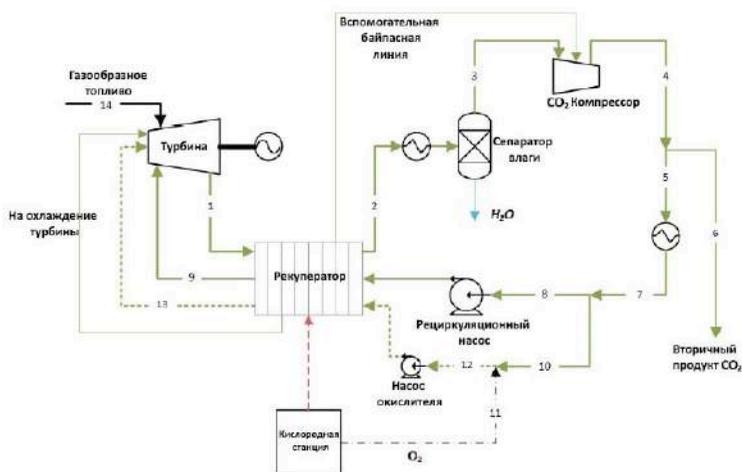


Рис.1 – Упрощенная схема цикла Аллама на природном газе

Термодинамический цикл R.J. Allam в p-h диаграмме для углекислого газа представлен на рис. 2.

Опираясь на опыт работы данной станции мы решили разработать свой опытный образец энергетической установки, которая будет работать на оборудовании российского производства со всеми необходимыми обслуживающими системами. Данная установка подразумевает выработку электроэнергии с нулевыми выбросами парниковых газов, а также реализацию остаточного объема углекислого газа.

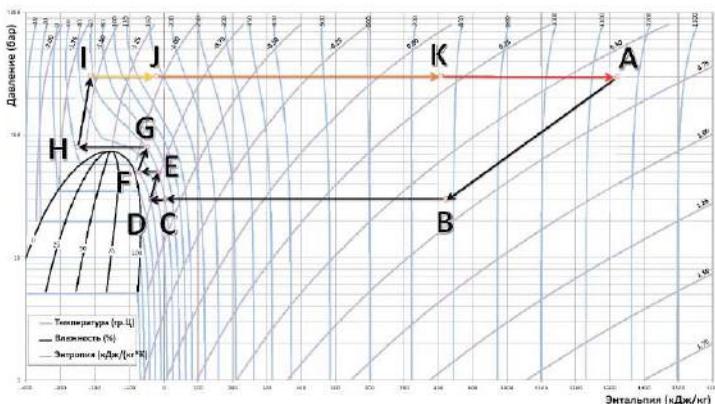


Рис.2 – Термодинамический цикл Аллама на p-h диаграмме

За основу комплекта оборудования был взят тепловой насос российского производства на диоксиде углерода THCO₂-23000 ПК Научно-производственная фирма «Экип», способный вырабатывать до 23000 кВт тепловой мощности [4]. Рис.3.

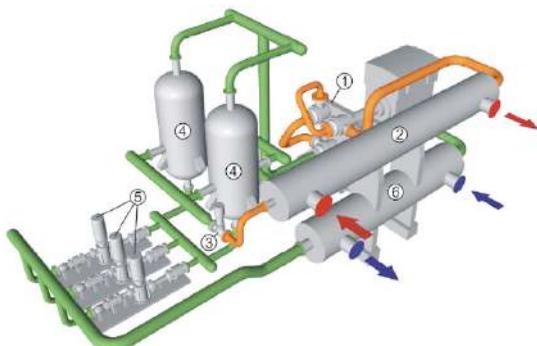


Рис.3 – Компоновка THCO₂-23000

1-турбокомпрессор, 2-водонагреватель, 3-регулирующий клапан, 4-отделитель жидкости, 5 - насос для циркуляции CO₂, 6 -водоохладитель

Агрегаты THCO₂ могут служить основным оборудованием для энергетической установки по циклу Аллама. Высокие параметры цикла (от 200 до 400 бар, 1150°C), а также нетрадиционный химический состав рабочей среды накладывают ряд ограничений при подборе газовой турбины.

Хотелось бы отметить, что на основании проведенного исследования ведется подбор и расчет подходящего экологически чистого оборудования, систем автоматизации и управления. Планируется разработка алгоритмов проектного и поверочного расчета с помощью электронно-вычислительных систем, результатом которых является создание модели опытного образца в блочно-модульном исполнении.

Литература:

1. P. Nejat. A global review of energy consumption, CO2 emissions and policy in the residential sector (with an overview of the top ten CO2 emitting countries) // Renewable and sustainable energy reviews P. Nejat, F. Jomehzadeh, M.M. Taheri et al. – 2015. – № 43. – P. 843–862.

2. Поляков Д. А. ТЭЦ с энергоблоками на ультра-сверх критических параметрах / Д. А. Поляков // Интеллектуальные энергосистемы, г. Томск : в 3 т. — Томск : Изд-во ТПУ, 2015. — Т. 2. — [С. 23-29].

3. Allam R. Demonstration of the Allam Cycle: an update on the development status of a high efficiency supercritical carbon dioxide power process employing full carbon capture / Allam R. et al. // Energy Procedia. – 2017. – № 114. – P. 5948–5966.

4. Калнинь, И.М Масштабы и перспективы применения тепловых насосов на диоксиде углерода / И.М Калнинь, С.Б. Пустовалов, Д.В. Кривцов. – Москва : , 2013.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ УДАЛЕНИЯ СОЕДИНЕНИЙ ЖЕЛЕЗА В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОДАХ ТЭС

К.М. Лебедева, Б.М. Ларин

**Ивановский государственный энергетический университет
им. В.И. Ленина, г. Иваново, ksenia_lebedeva_78@inbox.ru**

**Научный руководитель: Ларин Б.М., д.т.н., профессор кафедры
ХХТЭ ИГЭУ**

В работе дается краткий анализ состояния тепловых электрических станций России. Предложены наиболее эффективные способы предочистки природных вод с высоким содержанием железоорганических соединений, а также представлены методы снижения концентрации железа в оборотных системах водопользования. Кроме того, приводятся результаты исследований, выполненных сотрудниками кафедры ХХТЭ.

The paper provides a brief analysis of the state of thermal power plants in Russia. The most effective methods of pretreatment of natural waters with a high content of

organo-iron compounds are proposed, as well as methods for reducing the concentration of iron in circulating water use systems are presented. In addition, the results of research carried out by the staff of the department of XXTE are presented.

1. Состояние вопроса. Задачи исследования

Тепловая энергетика производит свыше 2/3 электроэнергии страны. Среди тепловых электростанций (ТЭС) различают конденсационные электростанции (КЭС) и теплоэлектроцентрали (ТЭЦ). Первые производят только электроэнергию (отработанный в турбинах пар конденсируется обратно в воду и снова поступает в систему), вторые - электроэнергию и тепло (нагретая вода идет к потребителям в жилые дома и на предприятия). [1]

Более половины тепловых электрических станций (ТЭС) России на текущий момент подошли или перевалили за 50-летний рубеж эксплуатации [2]. Необходим вывод из эксплуатации отработавших мощностей и ввод нового перспективного оборудования. [3]. Такими объектами являются, например, «Ивановские ПГУ», Череповецкая ГРЭС, источником водоснабжения которых является природная вода с повышенным (высоким) содержанием железо-органических примесей.

Железо в природной воде находится, как правило, в виде плохо удаляемых железоорганических соединений, часто, с гуминовыми веществами [4]. Поэтому обработка воды на ТЭС, т.е. получение добавочной воды различных систем из исходной (природной) воды, имеет целью, в первую очередь, снижение содержания железоорганических веществ и выполняется на стадии предочистки в осветлителях. [5]

Ниже приводятся результаты исследований, выполненных опытным путем сотрудниками кафедры ХХТЭ ИГЭУ и полученных на базе анализа литературных источников.

2. Исследования по снижению концентрации железоорганических веществ на стадии предочистки

2.1. Водоподготовительная установка (ВПУ) Ивановских ПГУ

Высокое содержание железоорганических веществ в исходной воде (р. Ухтохма), значительные сезонные изменения качества воды и частые изменения расхода обрабатываемой воды, потребовали реконструкции всей технологической схемы ВПУ. В 2009-2012 годах была проведена реконструкция ВПУ путем перевода предочистки в режим коагуляции сульфатом алюминия, последовательного включения Na-катионитных фильтров и двух УОО, доукомплектации схемы одной ступенью Н-ОН-ионированием [6].

На начальном этапе пуско-наладочных работ было установлено, что ФОП работает недостаточно эффективно. В связи с этим были установлены фильтры тонкой очистки (ФТО) для более глубокого удаления

железа перед УОО. В 2020 году с участием сотрудников кафедры ХХТЭ было проведено исследование состояния технологии обработки воды на ВПУ Ивановских ПГУ.

Исследования показали, что наибольший эффект дает использование сернокислого алюминия с дозой от $1,2 \div 1,25$ мг-экв/л, в присутствии анионактивного среднемолекулярного флокулянта AN923VHM с дозой 0,1–0,2 мг/л, а также, подщелачивание воды в случае значительного уменьшения ее щелочности. Следующей стадией обработки осветленной воды в рамках предварительной очистки является фильтрация на механических напорных фильтрах (МФ). Исследования фильтрации воды с разными фильтрующими материалами показали, что для воды с высоким содержанием железоорганических примесей (ИВПГУ) лучшие сорбционные свойства проявил «Purolite», несколько хуже – гидроантрацит, и еще хуже – кварцевый песок. Использование предложенных мероприятий позволит увеличить надежность работы теплоэнергетического оборудования.

2.2. ВПУ Череповецкой ГРЭС

Предварительная очистка воды р. Суда Череповецкой ГРЭС (п. Кадуй) осуществляется в двух осветлителях ЦНИИ 1 номинальной производительностью $250 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Большую часть года, при повышенных значениях жёсткости исходной воды, предварительная очистка ВПУ эксплуатируется в режиме известкования с коагуляцией. В паводковый период осветлители эксплуатируются в режиме коагуляции сульфатом алюминия с дозировкой полиакриламида (ПАА).

С целью повышения эффективности предочистки в условиях Череповецкой ГРЭС проведены лабораторные исследования коагуляции воды с использованием наиболее дешёвого коагулянта, используемого на ГРЭС, сульфата алюминия и новых альтернативных полиакриламиду флокулянтов производства компании SNF (Франция).

В пределах дозировки сульфата алюминия $0,44\text{--}1,64$ мг-экв/л, было определены эффективные значения рН и дозы коагулянта. С уменьшением значений pH_{25} эффективность удаления железо-органических соединений из воды увеличивается. Приемлемый результат визуально и по показаниям качества проб воды удалось получить при $\text{pH}_{25} = 5,8 \div 6,0$.

С увеличением дозы коагулянта при постоянном значении pH_{25} эффективность удаления органических соединений увеличивается. Наиболее эффективные результаты получены при коагуляции с флокулянтом FA 920 PWG.

3. Уменьшение скорости коррозионных процессов и снижение концентрации железа в циркуляционной воде оборотных систем ТЭС (по литературным данным)

Сотрудниками кафедры ХХТЭ ИГЭУ было проведено исследование водного режима СОЗК (система охлаждения замкнутого контура) энергоблока с ПГУ. Усредненные по декадам показатели качества охлаждающей воды (рН и концентрация железа) за последний год эксплуатации.

Анализ данных позволил заключить, что:

1. Имеет место высокая скорость коррозии конструкционных материалов СОЗК, характеризующаяся высокой концентрацией железа в циркуляционной воде;
2. Имеют место быть большие потери охлаждающей воды;
3. Контур заполняется и подпитывается недеаэрированной водой, что создает концентрацию кислорода на уровне $5\div 7$ мг/л;
4. Переход подпитки СОЗК на конденсат, вместо умягченной воды, позволяет уменьшить концентрацию железа в циркуляционной воде и, следовательно, уменьшить скорость коррозии стали.

В целях определения характера коррозии металла и состава отложений была произведена вырезка металла трубопровода охлаждающей воды СОЗК. Анализ снятых отложений показал следующее. Глубина коррозионного разрушения металла составляет $0,10\div 0,15$ мм, что позволяет характеризовать коррозию как сильную. Таким образом, основную массу отложений составляют продукты коррозии конструкционной стали при небольших включениях солей жесткости и кремниевой кислоты.

На основании проведенных исследований были рекомендованы следующие мероприятия по предотвращению (снижению) скорости коррозии металла СОЗК.

1. Очистка контура от продуктов коррозии:
 - путем химической промывки;
 - путем промывки водой с использованием диспергатора.
2. Применение ингибитора коррозии для дозирования в контур в форме ингибитора на основе сульфита натрия;

Вывод: анализ полученных результатов, выполненный с участием автора показал, что снижение концентрации кислорода в системе до значений менее 100 мкг/л обеспечивается достаточно эффективно. При расходе амината 20 л/ч достигается устойчивая концентрация кислорода $40\div 50$ мкг/л. С уменьшением концентрации кислорода значительно снижается скорость коррозии трубопроводов, однако накопленное ранее железо удаляется лишь с продувкой. Использование предложенных мероприятий позволит улучшить теплообмен оборудования.

Основные выводы:

1. Проведенные исследования на «Ивановских ПГУ» и «Череповецкой ГРЭС» показали целесообразность перехода от известкования в осветлителе воды с высоким содержанием железо–органических примесей, к коагуляции серноокислым алюминием с подбором эффективного флокулянта;

2. Отработана методика «пробной коагуляции», позволяющая найти наиболее эффективные дозировки коагулянта и флокулянта, в частности в условиях качества исходной воды Череповецкой ГРЭС:

– наиболее эффективным диапазоном рабочих значений pH_{25} является (5,5÷6,0);

– доза сульфата алюминия не должна быть ниже 1,6 мг-экв/дм³;

– целесообразна замена полиакриламида более эффективным по результатам лабораторных исследований флокулянтом FA 920 PWG с дозой $D_{фл} = 0,2$ мг/дм³.

Таким образом, правильный выбор реагентов позволит уменьшить концентрацию железо–органических соединений в технологических водах ТЭС, что способствует уменьшению величины отложений, снижению скорости коррозии, тем самым улучшается теплообмен оборудования.

Литература:

1. Скриган А.Ю. Экологические аспекты энергетической безопасности Беларуси, 2012 г. – 110 с.

2. Филиппов С.П. ТЭЦ в России / Филиппов, С.П., Дильман М.Д. // Теплоэнергетика, 2018. №11 С.5–22.

3. Ларин Б.М. Проблемы реализации ионообменных и мембранных технологий обработки воды в энергетике / Ларин Б.М., Юрчевский Е.Б. // Теплоэнергетика, 2019. – №10. – С. 66-73.

4. Копсов А.Я. Особенности развития инвестиционных проектов в российской энергетике / А.Я. Копсов // Теплоэнергетика, 2010. – №8. – С. 4–7.

5. Ларин Б.М. Органические соединения в теплоэнергетике / Б.М. Ларин, Ю.А. Морыганова // Уч.пособие. Иваново. ИГЭУ. 2001. 144с.

6. Балабан-Ирменин, Ю.В. Фокина Н.Г. Исследование ингибиторов внутренней коррозии трубопроводов систем теплоснабжения при высоком содержании кислорода в сетевой воде/ Балабан-Ирменин Ю.В. Фокина Н.Г. // Электрические станции. 2007. №6. С. 35-39.

7. Ларин Б.М. Совершенствование технологии обработки воды с высоким содержанием железо–органических примесей для энергоблока

ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ АБСОРБЦИОННЫХ ТЕРМОТРАНСФОРМАТОРОВ ПРИ РАБОТЕ НА РАЗЛИЧНЫХ ВОДНО-СОЛЕВЫХ РАСТВОРАХ

Н.В. Миронова

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, mironovaNina@inbox.ru
Научный руководитель: Елистратов С.Л., д.т.н., доцент**

Представлены результаты исследования циклов одноступенчатого абсорбционного термотрансформатора, работающего на водном растворе LiBr, LiCl и LiCl+CsCl. Рассмотрено влияние температуры греющего источника на энергетическую эффективность термотрансформатора.

The results of a study of the cycles of a single-stage absorption thermotransformer operating on an aqueous solution of LiBr, LiCl and LiCl + CsCl are presented. The influence of the temperature of the heating source on the energy efficiency of the thermal transformer is considered.

Технологии использования тепла низкого потенциала в абсорбционных термотрансформаторах (АТТ) нашли широкое применение во всем мире поскольку являются высокопроизводительными (единичная мощность до 35 МВт) и энергосберегающими (утилизируют до 40% бросовой теплоты), в качестве рабочих тел используют не токсичные вещества, которые не попадают в окружающую среду поскольку аппараты АТТ работают под давлением ниже атмосферного. При утилизации низкопотенциального тепла термотрансформаторы позволяют осуществить комбинированную выработку тепла и искусственного холода, без дополнительных затрат топлива, кроме небольшого расхода электроэнергии на приводы циркуляционных насосов.

В энергетике термотрансформаторы используются для снижения температуры больших расходов воды в системах охлаждения конденсаторов паровых турбин и вспомогательного оборудования, а также для охлаждения воздуха на входе в газотурбинные установки и дымовых газов. Полученное при этом тепло направляется на подогреватели низкого давления, либо используется для подогрева

сетевой воды, что позволяет отказаться полностью или частично от пароводяных теплообменников для нагрева сетевой воды.

В связи с тем, что электростанции производят большое количество бросового низкопотенциального тепла имеются хорошие предпосылки использования АТТ, работающих при совмещении прямого и обратного термодинамических циклов

Схема одноступенчатого АТТ представлена на рис.1. Из абсорбера через растворный теплообменник насосом слабый водно-солевой раствор подается в генератор, где при подводе тепла греющего источника выпаривается до необходимой концентрации. Образовавшийся в процессе выпаривания водяной пар поступает в конденсатор, конденсируется и подается на испаритель. В испарителе, за счет тепла низкопотенциального источника, происходит испарение конденсата. Образовавшийся пар поступает в абсорбер и поглощается высококонцентрированным раствором абсорбента. Тепло, выделившееся в процессе абсорбции, отводится охлаждающей водой для того, чтобы рабочий раствор сохранил свою поглощательную способность.

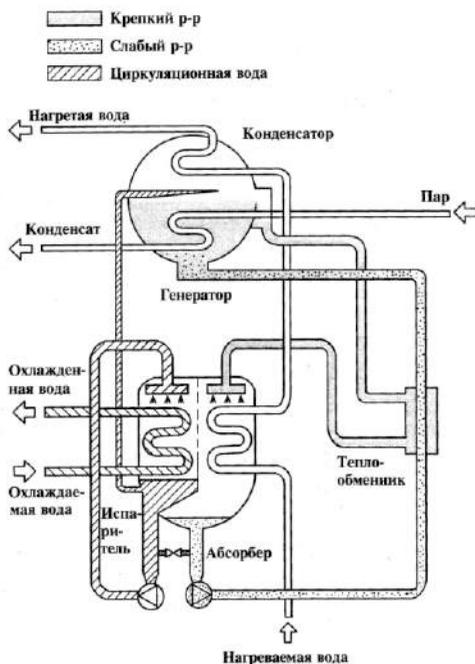


Рис.1 – Схема одноступенчатого абсорбционного термотрансформатора с паровым обогревом

Термодинамические и теплофизические параметры водных растворов LiBr, LiCl и LiCl+CsCl определяются по диаграммам состояния приведенным в [1]. Для определения основных параметров цикла АТТ использовалась методика, предложенная в работе [2].

Удельная тепловая нагрузка испарителя, кДж/кг:

$$q_0 = h_1' - h_3. \quad (1)$$

Удельная тепловая нагрузка конденсатора, кДж/кг:

$$q_k = h_3' - h_3. \quad (2)$$

Кратность циркуляции водно-солевого раствора:

$$a = \frac{\xi_r}{\xi_r - \xi_a} = \frac{\xi_r}{\Delta\xi}. \quad (3)$$

Удельная тепловая нагрузка абсорбера, кДж/кг:

$$q_a = h_1' + (a-1) \cdot h_8 - a \cdot h_2. \quad (4)$$

Удельная тепловая нагрузка ступени генератора, кДж/кг:

$$q_h = h_3' + (a-1) \cdot h_4 - a \cdot h_7. \quad (5)$$

Удельная тепловая нагрузка теплообменника растворов, кДж/кг:

$$q_{TR} = (a-1) \cdot (h_4 - h_8) q_{TR}. \quad (6)$$

Тепловой коэффициент:

$$\zeta = \frac{q_0}{q_h}. \quad (7)$$

Коэффициент трансформации:

$$\lambda = \frac{q_a + q_k}{q_h} \quad (8)$$

Расчеты показателей энергетической эффективности абсорбционных термотрансформаторов выполнены для сравнения трех рабочих растворов АТТ. Также рассмотрены зависимости коэффициента трансформации от температуры в генераторе и от температуры охлаждающей воды для всех рассматриваемых циклов. Диапазоны работы АТТ были выбраны таким образом, чтобы концентрация раствора LiCl не превышала 50%, для LiBr – 75%, а для LiCl+CsCl – 65% для исключения возможности кристаллизации рабочего раствора.

На рис. 2 представлены результаты исследования влияния температуры в генераторе на коэффициент трансформации для рабочих растворов. На графике видно, что показатели коэффициента трансформации для всех исследуемых циклов снижаются с повышением температуры в генераторе.

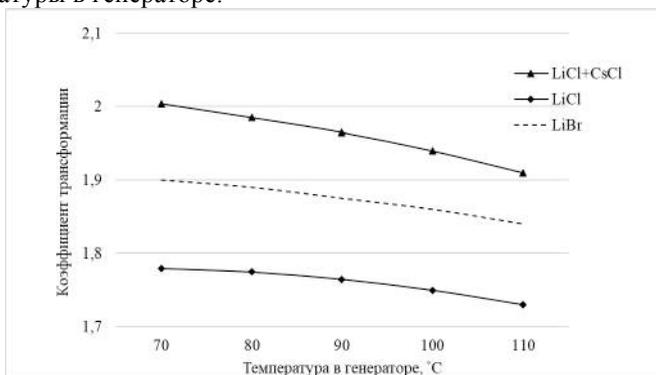


Рис.2 – График зависимости коэффициента трансформации от температуры греющего источника при работе АТТ на различных рабочих телах

Из исследуемых циклов наименьшие показатели коэффициента трансформации выявлены у циклов АТТ на LiCl. Связано это с низкой растворимостью и рисками кристаллизации при работе с LiCl.

Тем не менее LiCl может быть использован в качестве соли для рабочего раствора, поскольку он имеет низкую стоимость и более высокое, в сравнении с раствором LiBr, давление паров над поверхностью раствора, и при равных значениях давления и концентрации растворов, температура в случае использования LiCl будет ниже. Это позволит использовать в АТТ греющий источник тепла с относительно низкой температурой, что обеспечит стабильность процесса регенерации в аппаратах АТТ.

Также было отмечено, что показатели циклов АТТ с рабочим раствором $\text{LiCl}+\text{CsCl}$ превышают показатели термотрансформаторов, работающих на LiBr и LiCl . То есть водный раствор $\text{LiCl}+\text{CsCl}$ может выступить в качестве замены дорогостоящему раствору LiBr , сохранив при этом высокие показатели эффективности.

Литература:

1. Бараненко А.В. Водные растворы абсорбционных термотрансформаторов: моногр. А.В. Бараненко, С.В. Караван, О.А. Пинчук, Д.В. Караван. – М.: Изд-во «Перо», 2014. - 393 с.

2. Абсорбционные преобразователи теплоты: монография / А.В. Бараненко, Л.С. Тимофеевский, А.Г. Долотов, А.В. Попов. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2005. – 338 с.

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ РАБОТЫ В КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ КОТ-Д'ИВУАРА

И.Р. Нямба

Ивановский государственный энергетический университет,

г. Иваново, niambayesroland@gmail.com

Научный руководитель: Григорьев Е.Ю., к.т.н., доц.

Рассмотрены практические аспекты повышения мощности ГТУ с использованием абсорбционной бромистолитиевой холодильной машины. Объект исследования – ТЭС республика Кот-д'Ивуара. Основное внимание уделено на принципе работы АБХМ и анализу результатов. Полученные материалы позволяют высоко оценить практические перспективы технологии система АБХМ.

The practical aspects of increasing the power of the GTU with the use air cooling (ABHM - thermax). The object of the study is the thermal power plants (TPP) of the Republic of Ivory Coast. Analyse the principle of operation of the ABHM and the analysis of the results. The obtained materials allow us to highly evaluate the practical prospects of the ABHM system technology.

В современных условиях развития электроэнергетики в Кот д'Ивуаре, при переходе к рынку электроэнергии и мощности, крайне актуальным является внедрение высокоэкономичных генерирующих установок, созданных на базе прогрессивных технологий.

Развитие энергетики в Кот-д'Ивуаре имеет свои особенности, так как в течении сорока лет основным источником энергии были гидроэлектрические станции. Но электрическая мощность этих

установок имеет свои недостатки особенно в сухих сезонах. Кроме того, с экономическим и демографическим развитием спрос на электроэнергию в стране стал увеличиваться. Поэтому стратегия энергетической политики государства является создание новых типов тепловых электрических станций, в том числе, и за счет технического перевооружения существующих ГТУ ТЭС по парогазовому циклу с пристройкой котла-утилизатора и паровой турбины для повышения общей экономичности и надежности ТЭС, а также с целью сокращения удельных расходов топлива.

Степень влияния окружающей температуры воздуха на мощность газовой турбины зависит от типа турбины. Отметим что увеличение окружающей температуры от 15 °С до 35°С может уменьшить мощность ГТУ на 25% от номинальной мощности. Если необходимо, чтобы газовая турбина поддерживала свою номинальную мощность при высокой температуре воздуха, нужно охладить воздушный поток до 15 °С. Если охладить воздух ещё больше, мощность превысит номинальную ^[1].

Для достижения поставленной цели предлагается использовать в качестве охладителя система АБХМ. АБХМ – абсорбционная холодильная установка (чиллер), работающая за счет тепловой энергии, а не электричества ^[2].

АБХМ представляет собой холодильную установку, работающую за счет тепловой энергии. Источником тепловой энергии может служить горячая вода, выхлопные газы, пар, природный газ и другие виды топлива.

Принцип действия абсорбционной холодильной машины основан на определенных свойствах хладагента и абсорбента, которые обеспечивают отвод тепла, охлаждение и поддержание необходимого температурного режима.

Абсорбционные чиллеры производства Thermax применимы на любых типах объектов — как для снабжения холодом систем кондиционирования, так и для обеспечения промышленного холодоснабжения.

В качестве хладагента в АБХМ Thermax используется вода, а в качестве абсорбента — концентрированный раствор бромида лития LiBr.

Эти жидкости не токсичны, не горючи и не взрывоопасны, что делает АБХМ безопасной в применении.

Охлаждение воды (рис. 1). Вода-хладагент поступает в левую часть камеры — «испаритель». Внутри, в условиях глубокого вакуума,

происходит процесс кипения хладагента, который отводит тепло из охлаждаемой воды, циркулирующей по трубкам теплообменника.

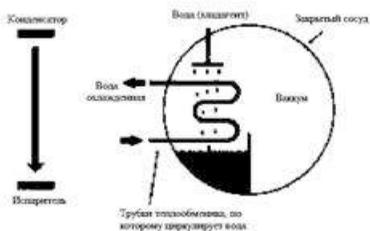


Рис.1 – процесс охлаждения воды

Этот процесс непосредственно охлаждает воду, циркулирующую в теплообменнике (Вода охлажденная) и выполняет главную задачу, стоящую перед абсорбционным чиллером.

Абсорбция (рис. 2). Концентрированный раствор бромида лития подается в правую часть камеры (абсорбер), где абсорбирует пары хладагента.

Для того, чтобы не допустить повышения температуры бромида лития и потери его абсорбирующих свойств, необходима охлаждающая вода, которая стабилизирует его температуру.

Полученный после процесса абсорбции раствор оседает на дне камеры. Этот процесс обуславливает принцип действия АБХМ и дает ей возможность работать без серьезного электропотребления.

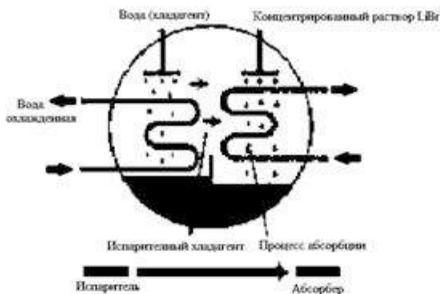


Рис. 2 – процесс абсорбции

Нагрев абсорбента (рис. 3). Раствор бромида лития, полученный после абсорбции, направляется в генератор при помощи насоса. Там под воздействием тепла из него выкипает часть воды. Это восстанавливает

изначальную концентрацию бромида лития в растворе, что нужно для поддержания его абсорбирующих свойств.

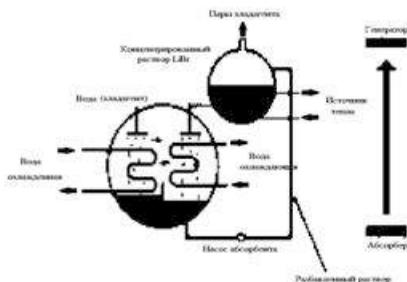


Рис. 3 – процесс нагрева абсорбента

Конденсация хладагента (рис. 4). В конденсаторе происходит процесс конденсации пара хладагента, образовавшегося при кипении раствора в генераторе. Далее эта вода-хладагент вновь попадает в «испаритель» (левую часть камеры) и цикл повторяется заново.

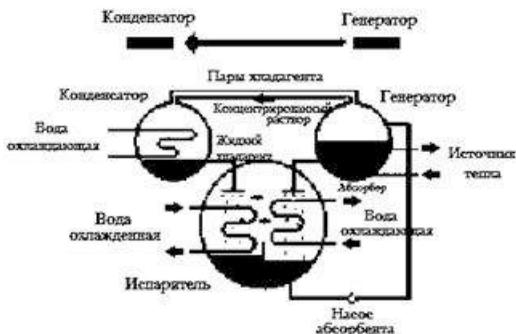


Рис. 4 – процесс конденсации хладагента

Во многих случаях абсорбционная холодильная машина позволяет радикально снизить эксплуатационные расходы на центральное кондиционирование и промышленное охлаждение за счет использования доступного альтернативного источника энергии, который часто бывает дешевле затрат на подключение и использование электрических мощностей.

Для АБХМ возможны различные варианты использования низко- и высокопотенциальных видов тепла. Это может быть горячая вода из тепловой магистрали, пар низкого и высокого давления от

технологического процесса или котельной, прямое сжигание топлива различных видов (дизель, газ и др.), выхлопные газы от оборудования. Технологии компании Thermax позволяют использовать несколько источников энергии и комбинировать их.

Была проведена оценка энергоэффективности использования АБХМ на природных газах ГТУ мощностью 100 МВт. С учетом дополнительных затрат на собственные нужды (привод АБХМ) прирост мощности от снижения температуры поступающего воздуха в ГТУ с 30 °С до 15 °С составил 6%.

Литература:

1. Рабенко В.С, Будаков И.В. Оптимизация температуры воздуха охлаждения проточной части ГТД-110. Иваново: Вестник ИГЭУ, вып. 2, 2009, стр.1-6.

2. <https://abxm-thermax.ru/abxm/abxm-na-gaze-i-dizele/>

РАЗРАБОТКА ТУРБИНЫ МОЩНОСТЬЮ 300 МВТ ДЛЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО ЦИКЛА R.J. ALLAM И ДАЛЬНЕЙШИЕ ЦЕЛИ

С.А. Павлычев

**Ивановский государственный энергетический университет,
г. Иваново, sar465@mail.ru**

Научный руководитель: Григорьев Е.Ю., к.т.н., доцент

Цикл R.J.Allam является перспективным проектом в энергетическом секторе для решения проблемы выбросов в атмосферу парниковых газов. Разработка направлена на подтверждение технико-экономических характеристик.

The R.J.Allam cycle is a promising project for an energy solution to the problem of greenhouse gases. The development is aimed at confirming the technical and economic characteristics.

Цикл R.J.Allam представляет собой замкнутый термодинамический цикл, основанный на кислородном сжигании топлива в большом количестве диоксида углерода на достаточно высокие параметры на входе в турбину: давление и температура на входе около 300 бар и 1150 °С соответственно, с коэффициентом расширения 10.

При рассмотрении турбины выявлены следующие особенности: в качестве рабочей среды используется диоксид углерода, высокое давле-

ние на входе свойственно паровым турбинам, а высокая температура газотурбинным установкам.

Работа была направлена на разработку турбины на диоксиде углерода мощностью 300 МВт.

На первоначальном этапе необходимо было оценить теплоноситель и экономические показатели. Далее был произведен анализ между циклом R.J. Allam, паротурбинным циклом Ренкина на суперсверхкритические параметры и циклом ГТУ с параметрами рабочей среды перед турбиной 11,5 бар, температурой 1060 °С. Анализ показал, что необходимо учитывать при разработке турбины, например, проблема с объемнымпуском первых ступеней из-за малого удельного объема.

Следующим этапом являлся расчет тепловой схемы для получения необходимых параметров для дальнейшей разработки турбины с помощью программы для расчета теплофизических свойств среды «REFPROP».

На основании полученных данных началась непосредственно сама разработка. Необходимо было оценить расходы на турбину и вспомогательное оборудование на заданную мощность в 300 МВт, а также была выполнена оценка для турбоагрегатов разной мощности. Расход рабочей среды на турбину составил 615 кг/с.

Далее нужно было выбрать базовые характеристики для проектирования проточной части турбины на основании полученных данных с учетом вышеописанных особенностей. После выбора характеристик, произвели сначала предварительный, а затем и подробный расчет проточной части турбины R.J. Allam мощностью 300 МВт

В результате получены следующие технические характеристики турбины для цикла R.J. Allam: мощность: 300 МВт; начальные параметры: давление: 30 МПа, температура: 1150 0С; конечное давление: 3 МПа; КПД турбины: 0,9 % количество ступеней: 7.

Используя полученные ранее характеристики, была выполнена разработка 3D модели данной турбины в программе Solid Works. Габаритные размеры 6000x2405x2800, также оценили массовые характеристики турбины и характеристики стали.

Произведен детальный расчет на прочность при растяжении и изгибе рабочей лопатки последней ступени. А также расчет на прочность внешнего и внутреннего корпуса турбины, фланце и болтов.

Рассматривая данный цикл, хочется отметить о необходимости рассмотрения каждого элемента. Разработка имеет свое будущее в целях поддержания экологии в мире. В ближайшее время наше внимание будет направлено на разработку вспомогательного оборудования и оценку

себестоимости производства электрической и тепловой энергии для нового типа турбины.

Литература:

1. Allam R. J. et al. High efficiency and low cost of electricity generation from fossil fuels while eliminating atmospheric emissions, including carbon dioxide //Energy Procedia. – 2013. – t. 37. – p. 1135-1149.

2. Рабенко, В.С., Буданов, В.А. Предварительный расчет проточной части паровой турбины: Предварительный расчет проточной части паровой турбины: учеб. Пособие/ ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2009. – 80 с

3. Дейч, М. Е., & Филиппов, Г. А. Газодинамика решеток турбомашин. М.: Энергоатомиздат, 1996, – 240с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА МЕТАЛЛИЗИРОВАННЫХ ГЕЛЕОБРАЗНЫХ ТОПЛИВ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАЖИГАНИЯ И ГОРЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ЛУЧИСТОГО НАГРЕВА

К.К. Паушкина, А.О. Плешко

**Национальный исследовательский Томский политехнический
университет, г. Томск, kkp1@tpu.ru**

Научный руководитель: Глушков Д.О., к.ф.-м.н., доцент

Выполнено экспериментальное исследование характеристик процессов, протекающих при зажигании и горении одиночных частиц массой 5 мг перспективного металлизированного гелеобразного топлива в высокотемпературной неподвижной воздушной среде.

We have experimentally investigated the characteristics of processes developing during the ignition and combustion of promising metallized single gel fuel particles with a mass of 5 mg in a high-temperature motionless air medium.

Введение

Гелеобразное топливо – это горючие жидкости, реологические свойства которых изменяют путем добавления определенных загустителей и проведения ряда операций, приводящих к образованию требуемой консистенции [1]. Консистенции гелеобразных топлив могут варьироваться от пастообразной (вязкопластичной) до твердой (упругодеформируемой). Данные топлива благодаря широкой

номенклатуре компонентов и преимуществами по сравнению с широко известными жидкими и твердыми топливами могут применяться, как в энергетической, так и в ракетно-космической и транспортной отраслях. Гелеобразные топлива, с одной стороны, мало подвержены утечкам и испарению [1], произвольному воспламенению в результате трения или электроразряда [2], изменению (за счет осаждения) распределения твердых компонентов в объеме топлива [3] и расслоению [4] в процессе хранения. С другой стороны, они имеют высокие энергетические характеристики, при нагревании становятся текучими и подвержены распылению и атомизации [5], их процесс зажигания и горения протекает относительно быстро и зачастую сопровождается микровзрывным диспергированием [6,7], небольшим недожогом и сравнительно низким уровнем антропогенных выбросов [8].

Экспериментальная методика

Группы составов гелеобразных топлив представлены в Таблице 1.

Таблица 1 – Составы гелеобразных топлив

№. состава	Концентрации компонентов						
	Водный раствор ПВС (10% масс.), % об.	Масло И-40А, % об.	Частицы угля, % мас.	Инертные частицы, % мас.	Частицы Си, % мас.	Частицы Аl, % мас.	Частицы Fe, % мас.
1	50*	50	–	–	–	–	–
2	50*	50	30	–	–	–	–
3	50*	50	–	30	–	–	–
4	50*	50	–	–	10	–	–
5	50*	50	–	–	30	–	–
6	50*	50	–	–	50	–	–
7	50*	50	–	–	–	30	–
8	50*	50	–	–	–	–	30

*с учетом добавки 2% об. эмульгатора (ПАВ)

Зажигание и горение топливных образцов производилось в рамках хорошо апробированной экспериментальной методики [9]. Высокотемпературная неподвижная воздушная среда генерировалась в полости трубчатой муфельной печи (внутренний диаметр 50 мм, длина 450 мм). Частица топлива массой 5 мг, расположенная на проволочном держателе, вводилась в предварительно прогретую до температуры T_g муфель-

ную печь с помощью координатного механизма. Высокоскоростная видеокамера располагалась на подвижной площадке координатного механизма так, что частица топлива находилась в фокальной плоскости объектива видеокамеры в течение всего индукционного периода.

При проведении экспериментального исследования регистрировалась группа характеристик: время задержки зажигания (t_d) частицы топлива; среднее значение скорости движения (V_p) мелкодисперсных фрагментов, разлетающихся при диспергировании капли расплава топлива.

На Рисунке 1 представлены зависимости времен задержки зажигания капель расплавов топлив от температуры разогретого воздуха.

Наименьшее t_d (при $T_g=600-1000$ °C) у топливного состава No. 2, содержащего мелкодисперсные частицы угля. Стоит отметить, что в процессе приготовления топливного состава No. 2 частицы угля, в связи со своей пористой структурой, пропитываются маслом. Благодаря этому при диспергировании вследствие испарения масла и выхода летучих из частицы угля сначала происходит зажигание парогазовой смеси в окрестности отлетающих фрагментов, а затем самих угольных частиц. Данный результат качественно соответствует результатам [10], полученным при зажигании частиц угля предварительно пропитанных маслом.

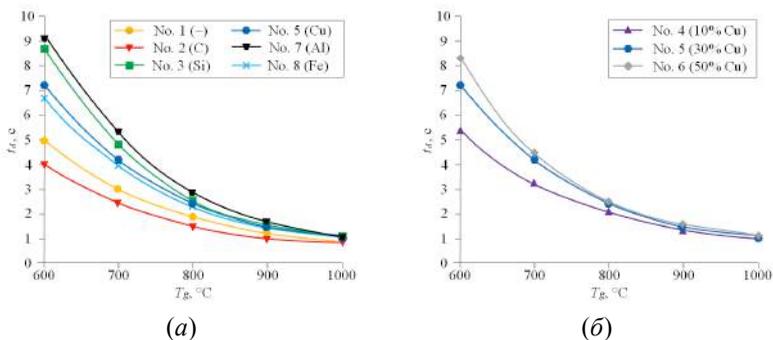


Рис.1 – Зависимости t_d частиц металлизированных гелеобразных топливных составов от температуры окружающего воздуха

На Рисунке 1б видно, что чем выше концентрация меди в составе топлива, тем больше t_d во всем диапазоне варьирования температур. Полученный результат можно объяснить следующим. Чем выше концентрация мелкодисперсных твердых частиц в составе криогеля, тем выше плотность полимерной матрицы, и, соответственно, больше энергии требуется для плавления гелеобразной структуры топливной части-

цы. Следовательно, медленнее происходит фазовый переход полимеризованных компонентов в жидкое состояние и снижается вероятность реализации микровзрывного диспергирования.

Скорости отлетающих фрагментов при микровзрывном диспергировании состава No. 2 также имеют наибольшее значение во всем диапазоне температур в муфельной печи (Рисунок 2а). Данный результат объясняется тем, что происходит существенный рост давления в пузырьках приповерхностного слоя капли расплава топлива и как результат увеличение скорости отлетающих фрагментов при диспергировании. Дополнительным источником энергии являются процессы, происходящие в частицах угля, которые могут приводить к повторному диспергированию. Жидкие компоненты топлива, заполняющие мелкие поры угля, также могут продуцировать паровые пузырьки, которые инициируют микровзрыв и ускорение дочерних фрагментов. Установлено, что скорости движения фрагментов диспергирования частиц гелеобразных топлив при варьировании концентрации меди для состава No. 4 выше, чем для составов No. 5 и No. 6 (Рисунок 2б). Таким образом можно судить о том, что оптимальная концентрация частиц меди в составе гелеобразного топлива, соответствующая наилучшим энергетическим характеристикам, находится в интервале от 10% и ниже.

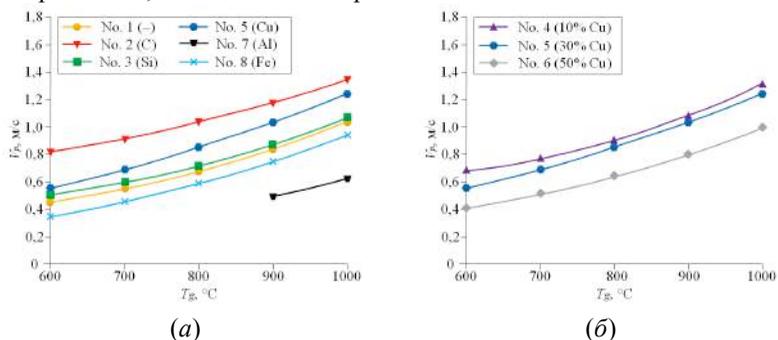


Рис.2 – Зависимости скоростей движения фрагментов диспергирования частиц гелеобразных металлизированных топливных составов от температуры окружающего воздуха

Заключение

В результате экспериментальных исследований для группы маслонаполненных криогелей, приготовленных с добавлением различных мелкодисперсных модификаторов (частицы угля, инертные частицы, Al,

Cu, Fe) и без них, установлено отличие механизмов зажигания и горения одиночных частиц в неподвижной высокотемпературной воздушной среде. Все полученные топливные составы воспламеняются при лучистом нагреве в диапазоне температур 600–1000 °С. Наиболее интенсивно происходит зажигание состава No. 2 с добавлением мелкодисперсных частиц угля. Гелеобразное топливо с частицами Al (состав No. 7) демонстрирует худшие характеристики зажигания и горения (наибольшее t_d , наименьшее V_p), что может быть связано с неоптимальным значением концентрации частиц в составе.

При варьировании температуры воздуха в муфельной печи от 600 до 1000 °С установлены времена задержки зажигания, а также скорости отлетающих фрагментов при диспергировании капель расплава топлива. t_d варьируются в пределах от 1 до 10 с, а V_p – от 0,3 до 1,4 м/с для разных топливных составов. При температурах разогретого воздуха выше 900 °С компонентный состав топлива не оказывает существенного влияния на времена задержки зажигания.

Исследование выполнено за счет гранта РФФИ № 18-13-00031 <https://rscf.ru/project/21-13-28043/>

Литература:

1. Gel propellants / M.B. Padwal, B. Natan, D.P. Mishra // Progress in Energy and Combustion Science. – 2021. – Vol. 83. – Article number 100885. – doi: 10.1016/j.peccs.2020.100885.
2. Some aspects on safety and environmental impact of the German green gel propulsion technology / H.K. Ciezki, K.W. Naumann // Propellants, Explosives, Pyrotechnics. – 2016. – Vol. 41. – P. 539–547. doi: 10.1002/prop.201600039.
3. Rheological properties of Carbopol containing nanoparticles / G. Baek, C. Kim // The Journal of Rheology. – 2011. – Vol. 55 – P. 313–330. doi: 10.1122/1.3538092.
4. Optimisation of processing conditions for gel propellant production / M. Varma, R. Pein // International Journal of Energetic Materials and Chemical Propulsion. – 2009. – Vol. 8. – P. 501–513. doi: 10.1615/IntJEnergeticMaterialsChemProp.v8.i6.30.
5. Effect of nozzle geometry on the atomization and spray characteristics of gelled-propellant simulants formed by two impinging jets / S. Fakhri, J.G. Lee, R.A. Yetter // Atomization and Sprays. – 2010. – Vol. 20. – P. 1033–1046. doi: 10.1615/atomizspr.v20.i12.20.
6. Ignition mechanism and characteristics of gel fuels based on oil-free and oil-filled cryogels with fine coal particles / D.O. Glushkov, G.V. Kuz-

netsov, A.G. Nigay, V.A. Yanovsky, O.S. Yashutina // Powder Technology. – 2020. – Vol. 360. – P. 65–79. doi: 10.1016/j.powtec.2019.09.081.

7. Effects of the initial gel fuel temperature on the ignition mechanism and characteristics of oil-filled cryogel droplets in the high-temperature oxidizer medium / D.O. Glushkov, A.G. Nigay, V.A. Yanovsky, O.S. Yashutina // Energy and Fuels. – 2019. – Vol. 33. – P. 11812–11820. doi: 10.1021/acs.energyfuels.9b02300.

8. The prospects of burning coal and oil processing waste in slurry, gel, and solid state / K.Y. Vershinina, G.S. Nyashina, V.V. Dorokhov, N.E. Shlegel // Applied Thermal Engineering. – 2019. – Vol. 156. – P. 51–62. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2019.04.035.

9. Municipal solid waste recycling by burning it as part of composite fuel with energy generation / D.O. Glushkov, K.K. Paushkina, D.P. Shabardin, P.A. Strizhak, N.Y. Gutareva // Journal of Environmental Management. – 2019. – Vol. 231. – P. 896–904. doi: 10.1016/j.jenvman.2018.10.067.

10. Influence of heating intensity and size of gel fuel droplets on ignition characteristics / D.O. Glushkov, A.O. Pleshko, O.S. Yashutina // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2020. – Vol. 156. – Article number 119895. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2020.119895.

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ СКЛАДСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ

В.В. Чуйко, Н.Ю. Саввин

**Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова,
г. Белгород, n-savvin@mail.ru**

Научный руководитель: Куцев Л.А., д.т.н., профессор

Рассмотрены системы отопления складских помещений. Их достоинства и недостатки. Даны рекомендации к применению с учетом особенностей эксплуатируемых помещений. Предложено сочетание водяной системы отопления и пластинчатого теплообменного аппарата.

Warehouse heating systems are considered. Their advantages and disadvantages. Recommendations for use are given, taking into account the characteristics of the operated premises. A combination of a water heating system and a plate heat exchanger is proposed.

Рост популярности цифровых платформ онлайн-заказов товаров приводит к росту спроса на складские помещения [1]. Отдельные ка-

тегории товаров, такие как продукты питания, лекарственные препараты, бумажная продукция и т.п., требует поддержания микроклимата с заданными параметрами температуры и влажности, в связи с чем возникает задача выбора экономичной системы отопления, способной обеспечить эти параметры [2].

В основном, для отопления складских помещений используют системы отопления с различными источниками теплоты.

В воздушной системе отопления теплоносителем является воздух, предварительно нагреваемый до требуемой температуры теплогенератором (рис. 1).



Рис.1 – воздушная система отопления

Затем нагретый воздух передается по воздуховодам в помещения. Данная система позволяет отапливать помещения большой площади, однако ее применение целесообразно в случае, когда требуется механическая вентиляция больших объемов воздушных масс [3]. Использование такой системы только в целях отопления экономически неэффективно.

Также воздушная система отопления имеет ряд недостатков: способствует возникновению пыли, за счет движения воздуха происходит перемешивание вредных выбросов, сушит воздух, не позволяет точно поддерживать параметры микроклимата.

В лучистых системах отопления (рис. 2) используются инфракрасные нагреватели, принцип работы которых основан на нагреве объектов и поверхностей в помещении, а не воздуха. К достоинствам данной системы можно отнести долговечность (в виду отсутствия вращающихся деталей), экономичность эксплуатации, отсутствие перемещений воздушных масс – что позволяет вентиляции работать в расчетном режиме [3].

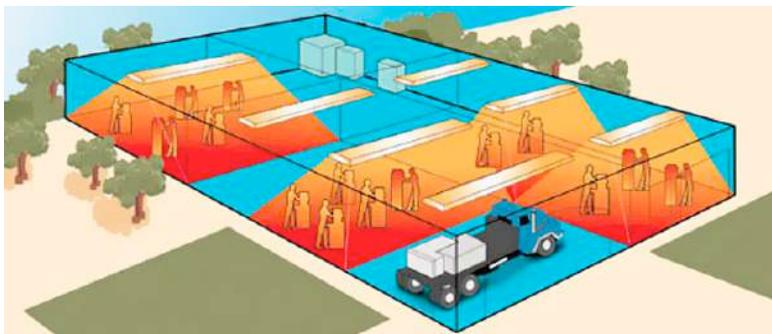


Рис.2 – лучистая система отопления

Системы отопления с инфракрасными излучателями неприменимы в помещениях с повышенными требованиями к пожарной безопасности, а также в складах с грузами, чувствительными к воздействию инфракрасного излучения. Помимо указанных недостатков, инфракрасные излучатели не устанавливаются на высоте менее 4 м, так как в противном случае излучение окажет влияние на здоровье людей, а температура на складе будет слишком высокой. В свою очередь, необходимость установки излучателей на высоте приводит к увеличению затрат на монтаж [4].

В системе парового отопления теплоносителем является насыщенный водяной пар, который нагревается котлом (рис. 3) и при прохождении по трубопроводу и радиаторам отдает тепло и возвращается в котел в виде конденсата. Паровая система отличается от водяной более высокой температурой и меньшим гидростатическим давлением в системе. Преимуществом данной системы является быстрый нагрев отопительных приборов.

Для систем парового отопления характерны следующие недостатки: повышенные потери теплоты паропроводов, снижение срока службы трубопроводов в результате коррозии, частичное разложение пыли на поверхностях отопительных приборов из-за высокой температуры теплоносителя [3].

Принцип работы системы водяного отопления схож с описанным выше, только в роли теплоносителя выступает не насыщенный пар, а вода. Основное преимущество водяного отопления заключается в том, что невысокая температура отопительных приборов не пересушивает воздух в помещении, а также обеспечивает равномерный прогрев помещений с небольшой площадью и потолками высотой не более 3 м.

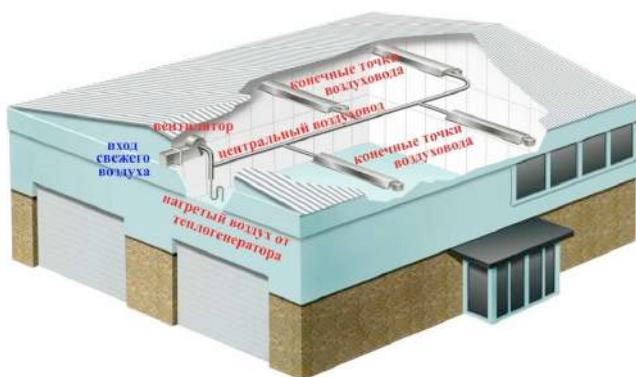


Рис.3 – паровая система отопления

Как следует из этих особенностей, водяное отопление неэффективно для помещений с высокими потолками: теплый воздух скапливается в верхней части помещения, а нижний уровень прогревается недостаточно. В таких случаях необходимо применение потолочных вентиляторов.

Для увеличения эффективности работы водяных систем отопления внедряются интеллектуальные котельные, центральным звеном которых выступает теплообменный аппарат. Использование пластинчатых теплообменников в системах теплоснабжения приводит к увеличению КПД теплового пункта, снижению величины недогрева, уменьшению трудозатрат при ремонте и обслуживанию. Такие преимущества объясняются малыми габаритными размерами при высоком значении коэффициента теплопередачи. Поэтому повышение энергоэффективности технологического оборудования тепловых сетей приводит к значительному экономическому эффекту.

Особенностью устройства пластинчатых теплообменников являются конструкция и форма поверхности теплообмена и каналов для рабочих сред. Поверхность теплообмена образуется из отдельных пластин, а каналы для рабочих сред имеют щелевидную форму. Рабочие среды движутся у поверхности теплообмена тонким слоем, что способствует интенсификации процесса теплопередачи. Формы пластин и профили их поверхности представлены на рисунке 4.

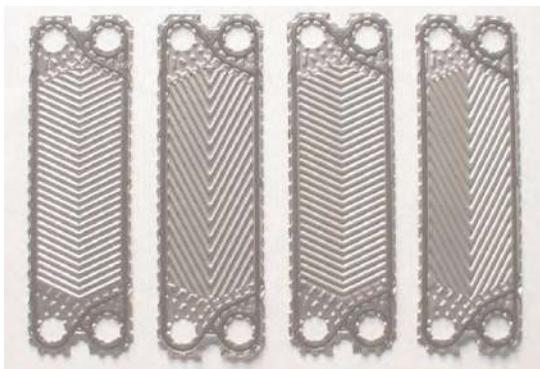


Рис.4 – формы пластин и профили поверхности

Исходя из перечисленных достоинств и недостатков рассмотренных систем отопления, для поддержания микроклимата в складских помещениях наиболее подходящей является водяная система отопления с пластинчатым теплообменным аппаратом. Повысить эффективность водяного отопления можно за счет турбулизации греющей жидкости в радиаторах.

Литература:

1. Мясникова Л. А. Цифровизация логистики в сетевой торговле //Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. – 2020. – №. 2 (122). - С. 98-112.
2. Логистика складирования: учеб.-метод. комплекс для студентов специальности 1-26 02 05 «Логистика» / М. Ж. Банзекуливахо, О. С. Гулягина. – Новополюк: ПГУ, 2015. – 268 с.
3. Калегин И. В. Сравнение и оценка эффективности видов отопления тепличных комплексов в зимний период //Наука. Исследования. Практика. – 2020. – С. 72-77.
4. Аверкин А. Г., Торопыгина С. А. Особенности проектирования инженерных систем отопления для складских помещений //Проблемы энергосбережения в промышленном и жилищно-коммунальном комплексах. – 2018. – С. 4-7.
5. Патент на полезную модель № 203923 U1 Российская Федерация, МПК F24D 3/00, F28F 1/40. Продольный канал секции отопительного прибора : № 2020143509 : заявл. 28.12.2020 : опубл. 28.04.2021 / Л.А. Кушев, С.С. Якшин, Н.Ю. Саввин [и др.]; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова».

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЦИКЛОВ НА УГЛЕКИСЛОМ ГАЗЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИХ КОНФИГУРАЦИИ И НАЧАЛЬНЫХ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

И.С. Садкин

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, sadkinvanya@mail.ru

Научный руководитель: Щинников П.А., д.т.н., профессор

В работе рассмотрены базовые варианты энергетических циклов на углекислом газе на основе циклов Аллама и ОИВТ. Кратко представлены результаты исследования эффективности данных циклов от начальной температуры и давления рабочего тела. В частности, авторами статьи предложены новые конфигурации цикла. Показано, что эффективность одноступенчатых циклов на CO_2 может достигать 53-66%.

This paper considers the main CO_2 power cycle configurations based on the Al-lam and OIHT cycles. In particular, the authors of the article have proposed new configurations of the power cycle. The efficiency of these cycles is studied as a function of the initial temperature and pressure of the working fluid. It is shown that the thermodynamic efficiency can reach 53-66%.

Введение

В связи с глобальным стремлением мирового сообщества снизить антропогенные выбросы парниковых газов в атмосферу, развитие получили такие технические решения, которые позволяют снизить углеродный след или исключить его полностью. К таким техническим решениям можно отнести энергетические циклы на углекислом газе, в которых рабочим телом цикла является сверхкритическая углекислота. В качестве топлива используется газ, а в качестве окислителя – кислород, благодаря чему продуктами сгорания являются только CO_2 и водяной пар, обусловленный водородом топлива. После процесса расширения рабочего тела в турбине вода конденсируется и остается чистый углекислый газ, пригодный к использованию в другом технологическом процессе или захоронению, что создает предпосылки для достижения нулевых выбросов в атмосферу при работе на органическом топливе.

Объект и метод исследования

В настоящей работе рассматриваются базовые варианты энергетических циклов на углекислом газе, рис. 1. Цикл 4 представляет собой упрощенный вариант цикла Аллама [1,2], цикл 1 – упрощенный вариант цикла ОИВТ [3,4]. Конфигурации циклов 2,3 предложены

авторами статьи. Более подробно эти варианты циклов, а также особенности их конфигурации описаны в работе [5].

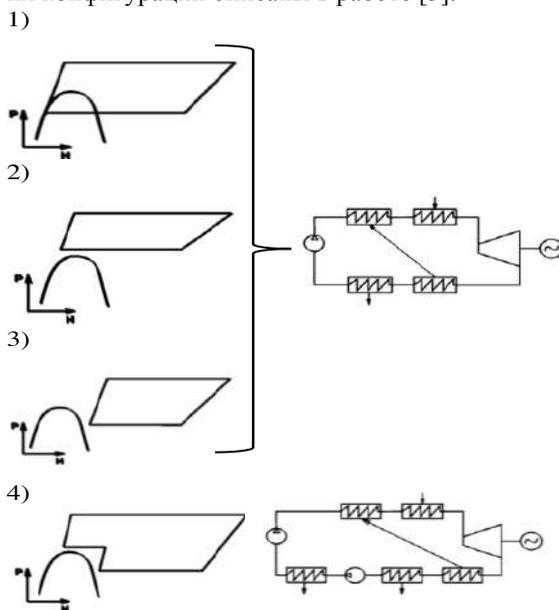


Рис.1 – Термодинамические циклы на углекислом газе и принципиальные схемы производства электроэнергии

В работе [5] проведен анализ эффективности циклов в зависимости от их конфигурации. Показано, что термический КПД всех вариантов циклов превышает показатели традиционных одноступенчатых циклов, используемых сегодня в энергетике. Эффективность представленных вариантов циклов составляет 57-63% при обеспечении начальных параметров (температура 1300 °С давление 300 бар) на уровне заявляемых в Цикле Аллама [1]. Конечное давление рассматриваемых вариантов цикла отличается между собой, таблица 1. Это объясняется технологическими особенностями каждого цикла [5].

Таблица 1 – Конечное давление рассматриваемых циклов

<i>Номер цикла:</i>	1	2	3	4
<i>Конечное давление, бар:</i>	57,2	75	30	30

Стоит отметить, что значения термического КПД для циклов, предложенных авторами статьи, не только не уступают широко описанным в литературе циклам Аллама и ОИВТ, но и в отдельных

случаях превосходят их. Однако подобные варианты циклов практически не представлены в литературе, поэтому целесообразно их дальнейшее изучение.

Настоящее исследование предполагает проведение анализа термодинамической эффективности CO_2 -циклов в зависимости от начального давления в широком диапазоне температур. Для этого используется методика расчета на основе уравнений материально-теплового баланса камеры сгорания и регенеративной системы, описанная в [5], термодинамические таблицы и диаграммы состояния CO_2 и водяного пара. В качестве расчетного топлива выбран метан. При сравнении вариантов затраты на собственные нужды (например, на подвод топлива) не рассматриваются. Учитываются только затраты на сжатие выводимого из цикла CO_2 (в процессе при $s=const$).

Результаты

Расчет термического КПД для каждого из рассматриваемых циклов (Рис.1) проведен в диапазоне температур 1000-1500 °С для трех начальных давлений: 200, 300 и 400 бар. Результаты расчетов представлены в виде графика, рис. 2. Номер на кривой графика соответствует типу цикла на рис. 1.

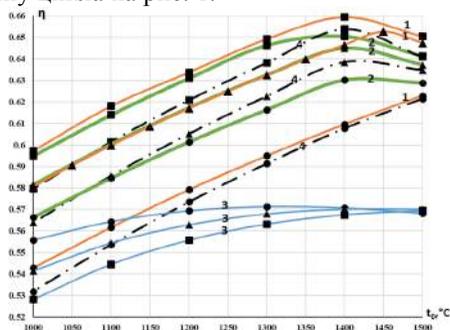


Рис.2 - График зависимости термического КПД циклов от начальной температуры при различном начальном давлении рабочего тела. Обозначения: линии с квадратом - начальное давление 400 бар, линии с треугольником - 300 бар, линии с кружком - 200 бар.

При начальном давлении в 200 и 300 бар практически во всем диапазоне температур наибольшую эффективность имеет цикл 2, целиком расположенный в зоне сверхкритических параметров и предложенный авторами статьи, затем располагается цикл 1 (упрощенный ОИВТ, с конденсацией) и цикл 4 (упрощенный Аллама, без фазового перехода). При повышении давления до 400 бар на первое

место выходит цикл 1, за которым располагаются цикл 2 и цикл 4 соответственно. Наименьшую эффективность показывает цикл 3.

Можно видеть, что по мере увеличения начального давления с 200 до 400 бар эффективность циклов 1,2,4 возрастает во всем исследуемом диапазоне температур 1000-1500 °С, тогда как для цикла 3 наблюдается снижение термического КПД. Это объясняется тем, что цикл 3 предполагает только компрессорное сжатие потока углекислого газа до рабочего давления. Такой вариант намного более энергозатратен и приводит к тому, что прирост теплоперепада от повышения начального давления происходит медленнее, чем возрастание затрат на сжатие рабочего тела в компрессоре. При повышении давления с 200 до 400 бар располагаемый теплоперепад возрастает в 1,33 раза, а работа сжатия в 1,54 раза. В циклах 1,2,4 используется двухступенчатый подъем давления: сначала в компрессоре до 75 бар, а затем в насосе до рабочего давления. Поэтому в данных конфигурациях циклов не возникает резкого роста затрат на сжатие.

Вместе с тем, для циклов 1,2,4 характерен перегиб кривых на графике КПД. Он возникает из-за влияния работы регенератора теплоты и свойств углекислого газа. В этот момент нагреваемый в регенераторе поток CO₂ не в состоянии воспринять всю теплоту греющего потока (из-за разности количества потоков, т.к. часть CO₂ выводится из цикла, и разностей теплоемкости углекислоты при различных давлениях нагреваемого и греющего потоков). В результате часть теплоты вынужденно отводится в окружающую среду, что снижает эффективность цикла.

Заключение

Рассмотрены базовые конфигурации энергетических циклов на углекислом газе и определена их термодинамическая эффективность при различных начальных давлениях (200, 300, 400 бар) в широком диапазоне начальных температур (1000-1500 °С), которая может достигать 65-66%, что согласуется с литературными данными (Цикл Аллама, Цикл ОИВТ). Показано, что большое влияние на термический КПД цикла оказывает наличие регенеративного теплообмена и свойства сверхкритического углекислого газа, которые требуют более детального изучения при рассмотрении циклов с более сложной конфигурацией.

Литература:

1. Demonstration of the Allam Cycle: An Update on the Development Status of a High Efficiency Supercritical Carbon Dioxide Power Process Employing Full Carbon Capture / Rodney Allam, Scott Martin and others // En-

ergy Procedia. – 2017. - Vol. 114. P. 5948-5966. - doi:10.1016/j.egypro.2017.03.1731.

2. High efficiency and low cost of electricity generation from fossil fuels while eliminating atmospheric emissions, including carbon dioxide / R.J. Allam et al // Energy Procedia. – 2013. - Vol. 37. P. 1135–1149. - doi:10.1016/j.egypro.2013.05.211/

3. Парогазовые установки с полным улавливанием диоксида углерода для чистой энергетики / В.В. Даценко, Ю.А. Зейгарник, Е.А. Калашникова, А.А. Косой, А.С. Косой, М.В. Синкевич // Теплофизика и аэромеханика. – 2020. – Т. 27. - № 5. – С. 1-8.

4. Концептуальная схема парогазовой установки с полным улавливанием диоксида углерода из продуктов сгорания / А.С. Косой, Ю.А. Зейгарник, О.С. Попель, М.В. Синкевич, С.П. Филиппов, В.Я. Штеренберг // Теплоэнергетика. - 2018. – №9. – С.1-10.

5. Efficiency of zero emission cycles on the basis of their configuration / P. Shchinnikov, O.Borush, A. Frantseva, I. Sadkin // E3S Web of Conferences. – 2021. - Vol. 289. - P. 02001. - doi: 10.1051/e3sconf/202128902001.

ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ ПОВЫШЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ГТУ

Д.А. Семькин

**Самарский государственный технический университет,
г. Самара, dima.siemykin.98@mail.ru**

Научный руководитель: Кудинов А. А., д. т. н., профессор

Сформулированы основные способы повышения эффективности газотурбинных установок, путем повышения начальной температуры рабочего тела перед газовой турбиной (ГТ) и степени повышения давления рабочего тела. Рассмотрено влияние степени повышения давления рабочего тела в турбокомпрессоре на КПД газотурбинной установки. Проведены необходимые расчеты, выполнен анализ оптимальных значений степени повышения давления.

The main ways of increasing the efficiency of gas turbine installations are formulated by increasing the initial temperature of the working fluid in front of the gas turbine (GT) and the degree of increase in the pressure of the working fluid. The influence of the degree of increase in the pressure of the working fluid in the turbocharger on the efficiency of a gas turbine installation is considered. The necessary calculations were carried out, the analysis of the optimal values of the degree of pressure increase was performed.

Повышение начальной температуры газов перед газовой турбиной (ГТ) является основным направлением увеличения КПД газотурбинной установки. В современных ГТУ эта температура достигает порядка 1350 °С и выше (для ГТУ пятого поколения). При этом анализ данных по эффективности работы газотурбинной установки показывает, что ГТУ простого цикла вплотную приблизились к технически возможному максимуму по экономичности. Дальнейшее развитие этого направления ограничено труднопреодолимыми проблемами создания высокопрочных жаростойких материалов и эффективных способов охлаждения деталей ГТУ. При дальнейшем повышении начальной температуры газов сверх уже достигнутого уровня темп прироста КПД ГТУ существенно снижается, а технические проблемы реализации проектов существенно возрастают. Дальнейшее повышение эффективности цикла ГТУ может быть достигнуто за счет увеличения верхнего уровня давления в цикле Брайтона, то есть увеличения степени повышения давления (отношение давления воздуха после турбокомпрессора к величине атмосферного давления) [1, 2]. Существует оптимальная степень повышения давления рабочего тела в турбокомпрессоре, соответствующая максимальной удельной работе для каждой температуры рабочего тела на входе в газовую турбину. Дальнейшее повышение верхнего давления рабочего тела в газотурбинном цикле за счет повышения давления воздуха в турбокомпрессоре приводит к увеличению температуры воздуха в конце процесса сжатия и, соответственно, к увеличению затрачиваемой работы на сжатие воздуха. В результате происходит снижение увеличения полезной удельной работы ГТУ и при некотором предельном значении работа этот показатель становится равным нулю [2].

Отношение развиваемой газовой турбиной мощности к мощности, потребляемой турбокомпрессором на сжатие воздуха, определяется по формуле [2, 3]:

$$\varepsilon = \frac{\eta_{ГТ} \cdot N_{ГТ}}{\frac{1}{\tau} \cdot N_{ТК}} = \eta_{ГТ} \cdot \eta_{ТК} \cdot \frac{N_{ГТ}}{N_{ТК}} = \eta_{ГТ} \cdot \eta_{ТК} \cdot \frac{\tau}{\beta^m} \quad (1)$$

Здесь τ – степень повышения температуры рабочего тела.

Результаты вычислений по формуле (1) при разных значениях τ и β приведены в таблице 1.

Анализ результатов расчетов, приведенных в таблице 2, показывает, что с ростом степени повышения давления (сжатия) β воздуха ε уменьшается, т.е. доля полезной мощности, вырабатываемой газотурбинной

установкой, снижается. Замедление уменьшения отношения ϵ с ростом значения β возможно при увеличении начальной температуры газов перед газовой турбиной.

Таблица 1 – Значения отношения мощностей ГТ и ТК ϵ газотурбинной установки при различных значениях β и τ

Значение степени сжатия β	Значение степени повышения температуры τ				
	4	4,5	5	5,5	6
	Величина отношения мощностей ϵ				
5	1,868	2,101	2,335	2,568	2,802
10	1,532	1,724	1,915	2,107	2,298
15	1,365	1,535	1,706	1,876	2,047
20	1,257	1,414	1,571	1,728	1,885
25	1,192	1,327	1,474	1,621	1,769
30	1,119	1,259	1,399	1,539	1,679
35	1,071	1,205	1,339	1,473	1,607

Далее по формуле (2) определяем влияние степени повышения давления β рабочего тела (воздуха) на КПД газотурбинной установки при разных значениях степени повышения температуры τ [2, 4]:

$$\eta_{ГТУ} = \frac{\tau \left(1 - \frac{1}{\beta^m}\right) \eta_{ГТ} - (\beta^m - 1) \frac{1}{\eta_{ТК}}}{\tau - 1 - (\beta^m - 1) \frac{1}{\eta_{ТК}}}, \quad (2)$$

где $m = \frac{k-1}{k} = \frac{1,4-1}{1,4} = 0,2857$.

Результаты расчетов приведены в таблице 4.

Таблица 3 – Значения КПД ГТУ при различных величинах β и τ

Величина степени повышения температуры	Величина степени сжатия β						
	5	10	15	20	25	30	35
	Значение КПД ГТУ						
4	25,8	30,6	30,8	29,1	26	21,6	15,9
4,25	26,4	31,9	32,9	32,2	30,4	27,8	24,3
4,5	26,9	32,9	34,6	34,6	33,6	32	29,7
4,75	27,3	33,8	35,9	36,3	36	35	33,6
5	27,7	34,5	36,9	37,8	37,8	37,3	36,4
5,25	28	35,1	37,8	38,9	39,3	39,1	38,6

По результатам расчетов, приведенных в таблице 2, построены графики зависимости КПД ГТУ от величины степени сжатия β (рис. 1).

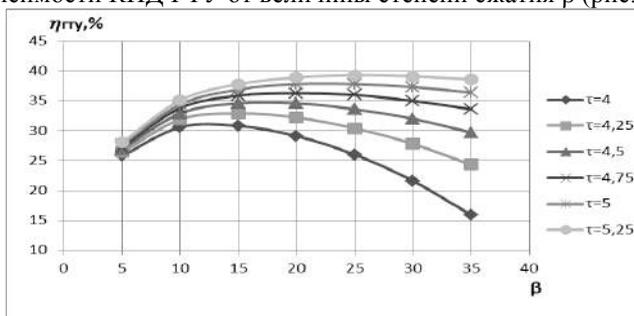


Рис. 1 Графики зависимости КПД ГТУ от величины степени сжатия β при разных значениях степени повышения давления τ

Анализ представленных расчетных данных показывает, что для каждого значения степени повышения давления τ соответствует свое оптимальное значение степени сжатия β , при котором КПД ГТУ принимает максимальное значение. Причем с увеличением величины τ это значение смещается вправо в сторону возрастания величины β .

Выводы:

1) с ростом степени повышения давления воздуха β отношение ϵ развиваемой газовой турбиной мощности к потребляемой турбокомпрессором ГТУ мощности уменьшается, то есть доля полезной мощности, вырабатываемой ГТУ, снижается. Замедление снижения значения ϵ можно предотвратить путем увеличения температуры рабочего тела (газов) перед газовой турбиной.

2) при увеличении степени повышения температуры τ максимальное значение КПД газотурбинной установки становится равным при более высокой величине β . То есть при изменении температуры продуктов сгорания перед газовой турбиной следует устанавливать определенное значение β , соответствующее максимальному значению КПД ГТУ.

Литература:

1. Кудинов А.А., Зиганшина С.К. Парогазовые установки тепловых электрических станций: учеб. пособие. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2019. 220 с.

2. Цанев С.В., Буров В.Д., Земсков А.С., Осыка А.С. Газотурбинные энергетические установки: учебное пособие для вузов / под ред. С.В. Цанева – М.: Издательский дом МЭИ, 2011. 428 с.

3. Усмонов Н.О. Оптимальные параметры регулирования режимов работы газотурбинных установок / Н.О. Усмонов, С.Р. Ахматова // Молодой ученый. – 2016. – №11. – С. 515-518.

4. Трухний А.Д. Парогазовые установки электростанций: учеб. пособ. для вузов. М.: Издательский дом МЭИ, 2013. 648 с.

МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ В ТОПКЕ С НТВ ТЕХНОЛОГИЕЙ СЖИГАНИЯ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА

М.В. Тиханов, Е.М. Пузырев

**Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова, г. Барнаул, mihail20-03-95@mail.ru
Научный руководитель: Пузырев Е.М., д.т.н., доцент**

Низкотемпературная вихревая (НТВ) технология сжигания твердого топлива на сегодняшний день является одной из самых перспективных. НТВ технология обладает рядом достоинств, одно из которых – существенное снижение выбросов оксидов азота благодаря снижению температуры в топке.

Low-temperature vortex solid fuel combustion technology is one of the most promising today. Low-temperature vortex technology has a number of advantages, one of which is a significant reduction in nitrogen oxide emissions due to a decrease in the temperature in the furnace.

Концепция НТВ сжигания топлива была разработана в Ленинградском политехническом институте под руководством профессора В.В. Померанцева, принцип которой заключается в многократной циркуляции твердого топлива грубого размола в топочной камере [1]. На сегодня имеется значительное количество внедрения НТВ технологии сжигания в энергетику, среди которых есть как вполне успешные, так и не оправдавшие ожидания [1].

Представленные в [2, 3] полезные модели разработаны с учетом этого, положительного и отрицательного опыта. Предложена топочная камера с расположенными на фронтальном экране прямооточными горелками, направленными вниз и установленными в холодной воронке соплами вторичного дутья, направленными вверх. При работе топки топливовоздушные струи горелок и воздушные струи нижнего дутья, действуя в паре, создают горящий вихрь, заполняющий холодную воронку и часть топочной камеры. Горящий поток топливовоздушной

смеси сначала натекает на задний экран, по нему движется вниз, сливается с нижним дутьем, далее разворачивается в нижней части холодной воронки и восходит по фронтальному экрану вверх. Этот разворот потока в нижней части холодной воронки будет сопровождаться выбросом горящих частиц топлива центробежными силами. Однако при этом струи, истекающие из нижних сопел встречного дутья, проходят между струй нижнего дутья и сливаясь формируют восходящий по заднему экрану встречно вихрю поток, который несколько тормозит вихрь и частицы, что снижает выброс частиц центробежными силами и уменьшает их провал. Далее этот встречный поток останавливается, оттесняется от экрана и скатывается с вихрем обратно, вместе с частицами. В итоге сопла встречного дутья, помимо своей основной функции – минимизация провала топлива в систему ШЗУ, выполняет функцию защиты заднего экрана от износа.

Предложенная НТВ топка содержит на фронтальном экране расположенные в ряд с наклоном вниз прямоточные горелки с двумя V образно расположенными каналами топливовоздушной смеси. Предполагается установка не менее двух горелок, причем крайние каналы крайних прямоточных горелок ориентированы в углы между прилежащими боковыми и фронтальными экранами, а другие их каналы ориентированы под соседние горелки.

Схема движения топливовоздушных струй показана на рисунке 1. Топливоздушные струи из крайних каналов устремляются вниз, в холодную воронку и далее, сливаясь с нижним дутьем, они восходят в угловых зонах между фронтальным и боковыми экранами вверх к потолочному экрану. Струи из средних каналов, так как они направлены под соседние горелки, сталкиваются, сливаются в среднем сечении между горелками и создают общие струи, которые ныряют в холодную воронку и с нижним дутьем восходят по фронтальному экрану между горелок вверх к потолочному экрану. Хотя в холодной воронке струи расширяются и постепенно сливаются, но восходящие горящие струи сталкиваются с исходящими из горелок топливовоздушными струями горелок периферийно. Они обеспечивают зажигание и стабилизацию горения исходящих топливовоздушных струй, но не отклоняют их, что минимизирует поток, отклоняющийся по заднему экрану. В итоге, почти весь горящий поток топливовоздушной смеси сначала натекает на задний экран, по нему движется вниз, сливается с нижним дутьем, далее восходит по фронтальному экрану до потолочного экрана и покидает топку.

На этом, наиболее длинном и длительном по времени пребывания частиц пути, причем с гравитационной сепарацией и удержанием

крупных частиц топлива, горящий поток глубоко выгорает, активно охлаждается по мере выгорания топлива, эффективно обеспечивая низкотемпературный режим горения во всем объеме НТВ топки. Конструкция этой НТВ топки наиболее проста, возможна без аэродинамических выступов и поэтому она эффективна при реконструкции котлов. Число горелок и соответственно мощность котлов может быть любой. В итоге предлагаемые технические решения обеспечивают заявленные: высокую экономичность, эффективный теплообмен с поддержанием низкотемпературно топочного процесса.

Для расчетного обоснования организации топочного процесса на основе НТВ технологии, в том числе и по предлагаемому варианту [2, 3] сейчас создаются: методика расчета топочной камеры и стенд для моделирования аэродинамической обстановки.

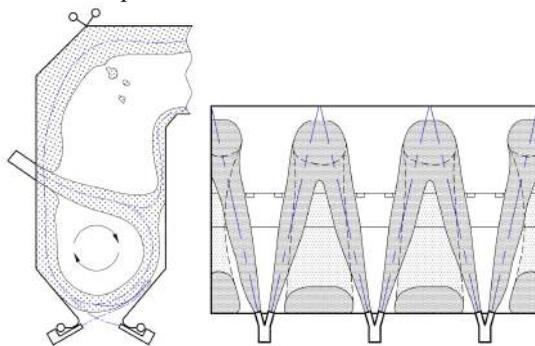


Рис. 1 – Схема движения топливоздушных струй

Топочный процесс представляет собой совокупность процессов аэродинамики, диффузии, химических реакций, фазовых превращений и теплообмена, поэтому является крайне сложным для точного математического описания. Методика расчета основана на рассмотрении соударения струй с задним экраном при разных углах натекания. При этом определяется распределение импульса между образующимися при соударении струями. Для дальнейшего анализа используется методика [4] расчета характеристик топочных струй. Учитывается, что струи являются затопленными и благодаря эжекции, по мере движения в объеме топочной камеры, взаимодействуют с окружающей топочной средой.

Для изучения струйной модели топочной камеры и проверки принятых технических решений, на базе лаборатории аэродинамики газозвуковых трактов и котлов Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, был спроектирован и изготовлен

лабораторный стенд. Стенд представляет собой топочную камеру, геометрически подобную топочной камере котла БКЗ-75-39 в масштабе 1:10. Модель стенда представлена на рисунке 2.

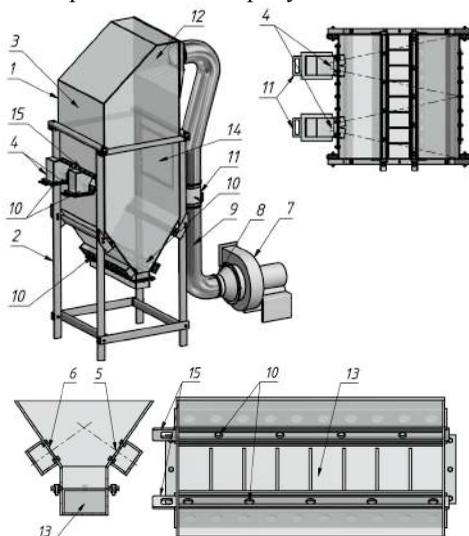


Рис. 2 – Модель стенда

Топочная камера 1 выполнена из оргстекла толщиной 3 мм единым блоком, опирается на каркас 2. Каркас выполнен из прямоугольного профиля 40x20x2 и является разборным. На фронтном экране 3 топочной камеры расположены две V-образные прямоточные горелки 4. В области холодной воронки расположены сопла нижнего 5 и встречного 6 дутья. Работа стенда планируется под разрежением, для этого установлен дутьевой вентилятор 7, всасывающий патрубок 8 которого соединен с топочной камерой 1 при помощи воздуховода 9. Воздух в сопла горелок, а также в сопла нижнего и встречного дутья, будет забираться из атмосферы, через всасывающие отверстия 10. Сечения сопел подобрано таким образом, чтобы расход на сопла основных горелок и на сопла нижнего и встречного дутья делился в соотношении 70% на 30%, а также исходя из рекомендованной скорости среды в них 30 м/с. Сопла нижнего и встречного дутья расположены по встречнорасположенной схеме, сечение сопел подобрано исходя из рекомендованной скорости 30 м/с и расхода среды в них в соотношении 65% на 35%. Для регулирования расхода среды на стенде установлены шиберы 11. В выходном окне топочной камеры установлен перфорированный лист 12, выполняющий роль сопротивления, которое в реальных условиях вызы-

вает ширмовый пароперегреватель. Для оценки количества провала топлива в систему ШЗУ и оценки распределения провала по ширине топочной камеры установлен съемный сборник провала 13, разделенный на секции по ширине топочной камеры. На заднем экране установлен ревизионный люк 14. Для возможности проверки различных конфигураций сопел горелок, а также сопел нижнего и встречного дутья блоки с соплами 15 выполнены съемными.

Данный стенд позволит изучить характер распространения струй в топочной камере с технологией НТВ сжигания, дать оценку эффективности принятых в [2, 3] технических решений.

Литература:

1. Тиханов М.В., Пузырев Е.М., Опыт внедрения низкотемпературной вихревой технологии сжигания твердых топлив // Современные научные исследования и инновации. 2021. № 1

2. Низкотемпературная вихревая топка: полезная модель №197085 РФ: МКП F23C 5/24 / Пузырёв М.Е., Пузырёв Е.М., Жуков Е.Б., Тиханов М.В.; Патентообладатель Пузырёв М.Е. // №2020100775, заявл. 14.01.2020, опубл. 30.03.2020. Бюл. 10.

3. Твердотопливная низкотемпературная вихревая топка: полезная модель №198069 РФ: МКП F23C 5/24 / Пузырёв М.Е., Пузырёв Е.М., Жуков Е.Б., Тиханов М.В.; Патентообладатель Пузырёв М.Е. // №2020100840, заявл. 14.01.2020, опубл. 17.06.2020. Бюл. 17.

Шатиль А.А., Топочные процессы и устройства / А. А. Шатиль. - СПб.: АООТ "Научно-произведенное объединение по исследованию и проектированию энергетического оборудования", 1997. – 182

СОУДАРЕНИЯ ДВУХФАЗНЫХ КАПЕЛЬ ЖИДКОСТИ В РАЗОГРЕТОЙ ГАЗОВОЙ СРЕДЕ

П.П. Ткаченко, Н.Е. Шлегель

**Национальный исследовательский Томский политехнический
университет, г. Томск, ppt1@tpu.ru**

Научный руководитель: П.А. Стрижак, д.ф.-м.-н., профессор

Представлены результаты экспериментальных исследований интегральных характеристик процессов, протекающих при соударении двухфазных капель жидкостей в разогретой газовой среде (400–500 °С). Опыты выполнены в замкнутом пространстве теплообменной камеры, заполненной воздухом. Установлены различия режимов соударений и распределений вторичных фрагментов

по размерам. Определены площади поверхности жидкости после и до распада исходных капель.

The paper presents the experimental research findings for the integral characteristics of processes developing when two-phase liquid droplets collide in a heated gas medium (400–500 °C). The experiments were conducted in a closed heat exchange chamber space filled with air. Differences in the collision regimes and in the distribution of secondary fragments by size were identified. The areas of liquid surface before and after the initial droplet breakup were determined.

Двухфазные газопарокапельные потоки активно используются в энергетических системах вследствие повышенных значений интегральных характеристик теплопередачи относительно однофазных потоков [1–3]. Цель настоящей работы – определение влияния доли пара в двухфазных каплях жидкостей на критические условия реализации режимов и характеристики соударений капель по результатам экспериментальных исследований.

При проведении экспериментов использовался стенд, схема которого представлена на рисунке 1. Использованная установка позволяет нагревать газовую среду в цилиндрической камере до 950 °С. Для предотвращения перегрева индукционного нагревателя использовалась замкнутая система жидкостного охлаждения. В контуре циркулировал антифриз. Угол столкновения (α_d) варьировался от 30 до 90°, радиусы капель (R_{d1} , R_{d2}) от 0,1 до 1,3 мм. Скорости движения капель (U_{d1} , U_{d2}) изменялись от 1,2 до 4 м/с. Рассчитывалась (рисунок 1) результирующая скорость взаимодействия капель исследуемых жидкостей по теореме косинусов $U_{rel} = (U_{d1} + U_{d2} - 2 \cdot U_{d1} \cdot U_{d2} \cdot \cos(\alpha_d))^{1/2}$. Число Вебера (We_1) варьировалось в диапазоне от 0 до 600 и вычислялось с учетом результирующей скорости движения капель. Число Вебера капель с пузырями пара (We_2) рассчитывалось после определения плотности такой капли по формуле $\rho_2 = \rho_{вод}(1 - \gamma) + \rho_{пар} \cdot \gamma$. Линейный параметр взаимодействия капель ($B = b/(R_{d1} + R_{d2})$) изменялся от 0 до 1. Температура воздуха (T_g) в цилиндре поддерживалась в пределах 400–460 °С.

Изучались интегральные характеристики сформированных вторичных фрагментов. Для этого измерялись радиусы (r_d) всех регистрируемых вторичных капель и подсчитывалось их количество (N). Вычислялось значение отношения (S_1/S_0), т.е. площади свободной поверхности образованных вторичных капель ($S_1 = 4 \cdot \pi \cdot \sum r_{di}^2$) к площади свободной поверхности двух исходных капель ($S_0 = 4 \cdot \pi \cdot (R_{d1}^2 + R_{d2}^2)$).

Опыты проводились с дистиллированной водой, подаваемой из одной емкости, и водой с небольшим добавлением поверхностно-активного вещества Tween-80 (концентрация составляла не более 0,5%). Таким образом удалось снизить поверхностное натяжение состава и

добиться более быстрого его испарения в разогретой газовой среде в сравнении с водой. При обработке видеокadres анализировались четыре режима взаимодействия капель [4, 5]: отскок, коагуляция, разлет и дробление.

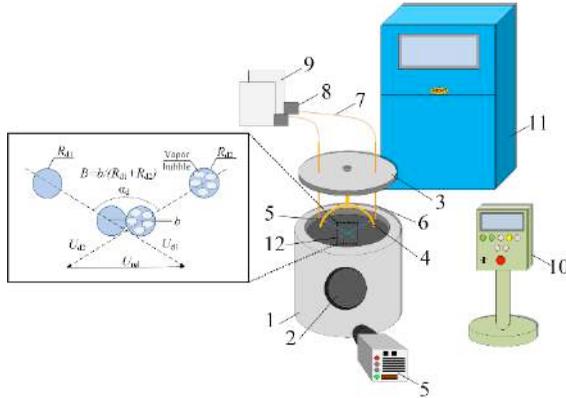


Рис. 1 – Схемы стенда и регистрации параметров соударения капель:

1 – металлическая цилиндрическая камера; 2 – смотровое окно; 3 – крышка; 4 – кольцевой держатель; 5 – сопла; 6 – медные трубки; 7 – силиконовые трубки; 8 – насосы; 9 – емкости с жидкостью; 10 – пульт управления индукционным нагревателем; 11 – система жидкостного охлаждения; 12 – область регистрации

На рисунке 2а приведены зависимости отношения площади свободной поверхности жидкости после и до взаимодействия капель с различной долей паровых пузырей для диапазона числа Вебера от 200 до 900. Показано, что для капель с долей пара от 0 до 20% рост площади свободной поверхности после и до взаимодействия максимален. Это объясняется равномерно направленным во все стороны распределением энергии в жидкости при столкновении двух капель. Малая доля пара в каплях влияет на распространение энергии незначительно. В случае высокой концентрации пара в каплях (более 40%) паровые полости в каплях за счет процесса сжатия-расширения поглощают часть энергии в зоне соударения. Вследствие этого на разделение слоев жидкости в капле ее приходится меньше. Значения отношения S_1/S_0 снижались при увеличении объемной доли паровых пузырей в каплях. На рисунке 2б вычисленные числа Вебера (We_2) проводилось для капли с паровыми пузырями. Вследствие существенно меньшей плотности пара относительно воды значения числа Вебера оказались значительно ниже, чем при его расчете относительно капли воды без паровых пузырей.

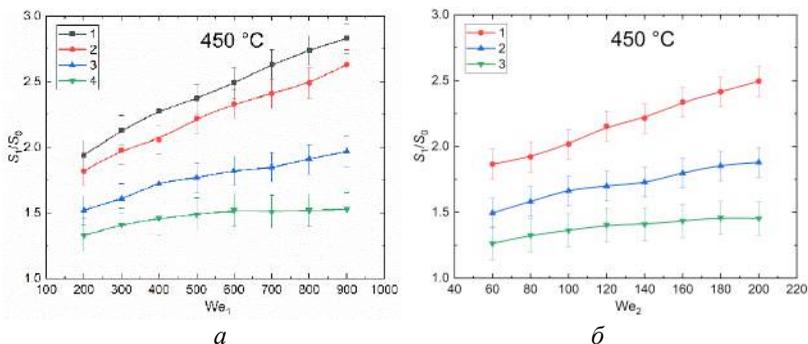


Рис. 2 – Отношения площади свободной поверхности жидкости после и до взаимодействия капле с различной долей пузырей в зависимости (а) от значения числа Вебера (We_1), рассчитанного для капли воды: 1 – две капли без пара; 2 – капля без пузырей и капля с долей пара около 10%; 3 – капля без пузырей и капля с долей пара около 60%; 4 – капля без пузырей и капля с долей пара около 90%; в зависимости (б) от числа Вебера (We_2), рассчитанного для двухфазной капли: 1 – капля без пузырей и капля с долей пара около 10%; 2 – капля без пузырей и капля с долей пара около 60%; 3 – капля жидкости без пузырей и капля с долей пара около 90%

Распределения вторичных фрагментов жидкости представлены на рисунке 3. В подавляющем большинстве проведенных экспериментов при столкновениях капле с $B > 0,2$ они распадались с образованием цепочки разноразмерных вторичных фрагментов. При этом вторичные капли всех исследуемых жидкостей представлены двумя относительно крупными фрагментами ($r_d > 0,3$ мм) и несколькими ($N = 2-9$) мелкими. Распределение достигало экстремума вблизи значения $r_d = 0,1$ мм. Количество капле с размерами $r_d = 0,15-0,3$ мм составляло от 15 до 30. Полученные распределения вторичных фрагментов позволили сделать вывод о том, что относительная доля пара в каплях может быть использована, как исходный параметр для варьирования характеристик вторичных капле совместно с B и We .

В результате экспериментального изучения соударений двухфазных капле жидкости в разогретой газовой среде определено влияние пузырьков пара на характеристики и режимы их взаимодействия. Используются двухфазные капли с различной объемной долей паровых пузырей в них (от 10 до 90%). Описаны особенности дробления двухфазных капле при столкновении с каплями воды без пузырей. Определены максимальные отношения площади свободной поверхности фрагментов жидкости после и до соударения капле. Максимальные значения S_1/S_0 получены при столкновении двух капле воды (до 2,8), минимальные –

при столкновении капли воды и каплями с объемной долей пара 80–90%, представляющих большой паровой пузырь (до 1,4). Получены распределения вторичных фрагментов жидкости по размерам, которые можно использовать при выборе параметров работы систем вторичного измельчения капель.

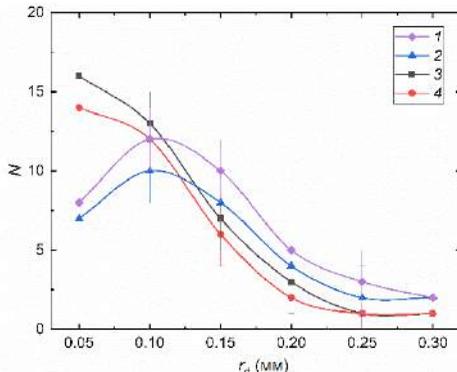


Рис. 3 – Распределение вторичных фрагментов жидкости после дробления двух соударяющихся капель с различной долей пузырей:

1 – две капли без пузырей; 2 – капля без пузырей и капля с долей пара около 10%; 3 – капля без пузырей и капля с долей пара около 60%; 4 – капля без пузырей и капля с долей пара около 90%

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ №18-71-10002-П (<https://rscf.ru/en/project/21-71-03001/>)

Литература

1. Mukin, R. V Modeling of bubble coalescence and break-up in turbulent bubbly flow. *Int. J. Multiph. Flow* 2014, 62, 52–66.
2. Almohammed, N.; Breuer, M. Towards a deterministic composite collision outcome model for surface-tension dominated droplets. *Int. J. Multiph. Flow* 2019, 110, 1–17.
3. Podgórska, W.; Marchisio, D.L. Modeling of turbulent drop coalescence in the presence of electrostatic forces. *Chem. Eng. Res. Des.* 2016, 108, 30–41.
4. Tkachenko, P.P.; Shlegel, N.E.; Strizhak, P.A. Collisions of water droplets in the high-temperature air. *Int. J. Heat Mass Transf.* 2021, 170. Demidovich, A. V; Kralinova, S.S.; Tkachenko, P.P.; Shlegel, N.E.; Volkov, R.S. Interaction of Liquid Droplets in Gas and Vapor Flows. *Energies* 2019, 12.

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ВОЗВРАТА УНОСА В КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ

Ф.У. Умирзаков

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, umirzakov.faridjon@mail.ru
Научный руководитель: Бойко Е.Е., доцент**

В данной работе рассматриваются возможности повышения экономичности и производительности котельных установок (снижения потерь тепла, определение оптимального соотношения «топливо-воздух», увеличения КПД) за счет специальных систем возврата уноса недогоревшего топлива в топку.

In this paper, the possibilities of increasing the efficiency and productivity of boiler installations (reducing heat losses, determining the optimal fuel-air ratio, increasing efficiency) are considered due to special systems for returning the entrainment of unburned fuel in the furnace.

В настоящее время в России существует энергетическая стратегия развития до 2030 года. Главной целью настоящей Стратегии является создание инновационного и эффективного энергетического сектора страны, адекватного как потребностям растущей экономики в энергоресурсах, так и внешнеэкономическим интересам России, обеспечивающего необходимый вклад в социально ориентированное инновационное развитие страны [1].

Для достижения стратегической цели инновационной и научно-технической политики в энергетике необходимо решение ряда задач, но мы затронем только часть из них, это:

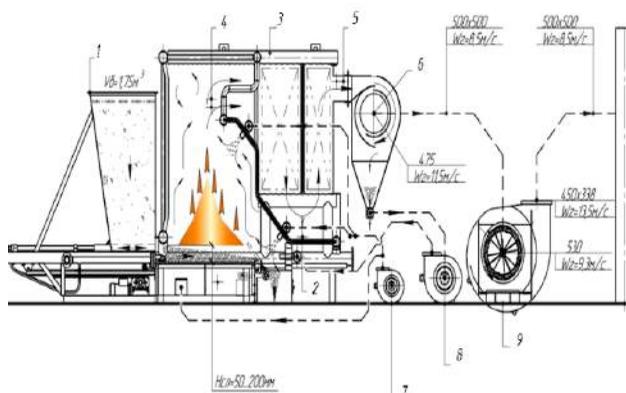
- коренное обновление производственно-технологической базы топливно-энергетического комплекса;
- ресурсосбережение;
- повышение экономичности, надежности, безопасности и экологичности энергетических установок и систем [1].

В качестве приоритетных направлений научно-технического прогресса в энергетическом секторе помимо многих других существует направление "Угольная промышленность", одной из основных целей которой является коренное техническое перевооружение и усовершенствование имеющегося оборудования до требуемого уровня [1].

Одной из основных проблем слоевых топков являются большие тепловые потери. За счет дутья в воздушный короб топки котла мелкие частицы топлива уносит из топочной камеры недогоревшими [2].

Для решения данной проблемы применяют систему возврата уноса предназначенную для снижения потерь с уносом топлива. Повышенное содержание горючих в уносе из слоевых топков (от 45% и более), делает целесообразным возврат уноса в топочную камеру котла. По опыту эксплуатации котлов КВМ-2,15КБ. масса осажденных частиц в газоходах котла достигает значения от 20 до 50% по отношению ко всему уносу в зависимости от нагрузки и температуры обратной воды на входе в котел. Коэффициент полезного действия применяемого золоуловителя от 50% и более в зависимости от нагрузки котла [2].

В работе представлено сравнение работы котла КВМ-2,15КБ. с системой возврата уноса и без нее. Возврат уноса осуществляется за счет рециркуляции (отбора) продуктов сгорания из зольного короба золоуловителя.

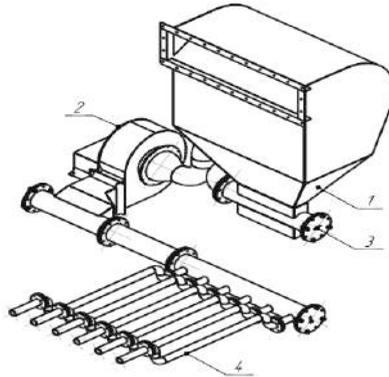


- 1 – топка механическая ТМУ-2,0; 2 – разворотный короб;
 3 – котел КВМ-2,15КБ; 4 – выход из топки; 5 – выход из котла;
 6 – золоуловитель; 7 – вентилятор дутьевой; 8 – дымосос рециркуляции;
 9 – дымосос Дн-9

Рис. 1 – Схема котельной установки

На рисунке 1 показано как продукты сгорания, образующиеся в топочной камере, отводятся в выпускное окно топки, проходят последовательно конвективные поверхности нагрева и выходят из котла 4. Далее уходящие газы двигаются по газоходу к устройству газоочистки 6. Устройство газоочистки представляет собой инерционный золоуловитель, где происходит сепарация твердых частиц, уносимых из котла. Из золоуловителя очищенные газы поступают в дымосос Дн-9 9 и перемещаются в общий газоход. По общему газоходу продукты сгорания поступают в дымовую трубу, с помощью которой попадают в атмосферу. Дымосос рассчитан на

обеспечение разрежения в топочной камере в пределах 20-100 Па и преодоление аэродинамического сопротивления газового тракта котла, золоуловителя, газоходов, и дымовой трубы.



1 – золоуловитель; 2 – дымосос рециркуляции;
3 – всасывающий коллектор; 4 – сопла возврата уноса

Рис. 2 – Система возврата уноса

На рисунке 2 показана более укрупнённое изображение системы возврата уноса. Эта система предназначена для снижения потерь с уносом топлива. В золоуловителе 1 крупные частицы попадают в дымосос 2 через всасывающий коллектор 3, затем через сопла возврата уноса 4 попадают обратно в топку. По законам сепарации возвращенные частицы не выносятся сразу из топочной камеры. Наиболее мелкие частицы уносятся вновь, крупные оседают на слой, либо догорают над слоем. Имеет место и многократная циркуляция частиц уноса.

Такая схема была применена на котле КВм-2,15КБ ст.№4., установленного на объекте: отопительная котельная №4 «Доволенское муниципальное унитарное предприятие "Теплосеть №1"», Новосибирская область, с. Довольное. Расчетная техническая характеристика СВУ при среднем режиме работы котла приведена в таблице 1.

Таким образом видно, что для разных типов сжигаемого угля (бурого или каменного), введение системы возврата уноса дает уменьшение доли уносимых с уходящими газами горючих частиц и содержания горючих веществ в них. Поэтому СВУ уменьшает механический недожог топлива с 7% до 5% и с 5,5% до 4,5% для

каменного и бурого углей соответственно, и на эту же величину увеличивает КПД котла.

Таблица 1 - Техническая характеристика СВУ при среднем режиме работы котла (75% от номинальной нагрузки)

Наименование	Ед. изм.	Значение без СВУ	Значение с СВУ
Влажность (каменный уголь)	%	не более 12	не более 12
Влажность (бурый уголь)	%	не более 38	не более 38
Зольность на сухую массу (каменный уголь)	%	не более 12	не более 12
Зольность на сухую массу (бурый уголь)	%	не более 38	не более 38
Максимальный размер топлива	мм	не более 100	не более 100
Содержание мелочи 0...6 мм	%	не более 40	не более 40
Производительность котла	МВт	1,875	1,875
Диапазон рабочего регулирования котла	%	68 - 133	68 - 133
Доля уноса (каменный уголь)	%	21	16
Доля уноса (бурый уголь)	%	18	14
Содержание горючих в уносе (каменный уголь)	%	77	40
Содержание горючих в уносе (бурый уголь)	%	73	35
Потери с механическим недожогом (каменный уголь)	%	7,0	5
Потери с механическим недожогом (бурый уголь)	%	5,5	3,5

Литература:

1. Распоряжение Правительства РФ от 13.11.2009 N1715-р «Об Энергетической стратегии России на период до 2030 года».
2. *Перлов, И.С.* Эксплуатация котельных установок - Москва: Хлебоиздат, 1957. - 160с.

ГИДРОПАРОВЫЕ ТУРБИНЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

Ф.У. Умирзаков

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, umirzakov.faridjon@mail.ru

Научный руководитель: Бойко Е.Е., доцент

В данной статье рассматривается принцип работы гидропаровой турбины, применение гидропаровых турбин в энергетике, а также представлен опытный образец гидропаровой турбины мощностью 10 кВт, разработанный и изготовленный специалистами ЗАО НПВП «Турбокон».

This article discusses the principle of operation of a hydro-steam turbine, the use of hydro-steam turbines in the power industry, and also presents a prototype of a hydro-steam turbine with a capacity of 10 kW, developed and manufactured by specialists of ZAO NPVP "Turbokon".

В настоящее время особую важность получила задача увеличения доли электроэнергии, вырабатываемой за счет нетрадиционных и возобновляемых видов энергоресурсов. Это связано, во-первых, с растущей стоимостью добываемого углеводородного топлива, и, во-вторых, с ратификацией нашей страной в 2004 году Киотского протокола по снижению выбросов парниковых газов в атмосферу. Одной из составляющих комплексного решения данной задачи может быть полезное использование источников низкопотенциальной теплоты, например, воды с температурой 100-150 °С. Температура этого энергоносителя слишком мала для экономически оправданной реализации паротурбинного цикла. Альтернативой паротурбинному циклу, в данном случае, может стать гидропаровой цикл. Одним из возможных вариантов практической реализации гидропарового цикла является гидропаровая турбина, работающая по принципу сегнерова колеса. На вход в сопла гидропаровой турбины поступает недогретая до кипения жидкость, которая вскипает в турбине во время ее работы. На выходе из сопел гидропаровой турбины конденсатором создается разрежение. В результате тяга турбины складывается из двух составляющих: традиционной гидравлической тяги от истекающей из сопел жидкости и реактивной тяги интенсивно кипящей жидкости. Турбина не имеет традиционного лопаточного аппарата и связанной с ним проблемы эрозии от течений парожидкостных смесей. Для обеспечения возможности как автономной, так и параллельной работы с региональной энергосистемой отопительной котельной с водогрейными котлами предлагается новый тип двигателя для производства электроэнергии. Он будет обеспечивать электроэнергией питательный и

сетевой насосы. Целью использования гидропаровых турбин является возможность обеспечения автономной работы котельных при авариях в центральной энергосистеме и постоянное производство электроэнергии [1, 2].

Перейдем к рассмотрению ГеоТЭС с гидропаровой турбиной. На рисунке 1 показана принципиальная схема ГеоТЭС, где ГПТ включена параллельно паровой турбине и срабатывает тепловой перепад термальной воды, которая в простейшей схеме не используется [3].

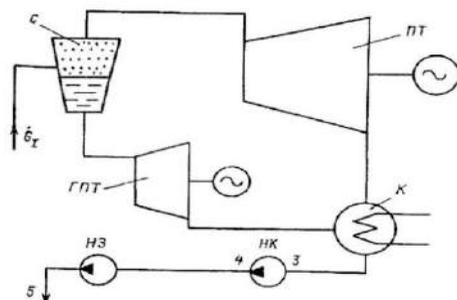


Рис. 1 - Принципиальная схема ГеоТЭС с параллельным включением ГПТ

Достоинство схемы заключается в том, что ГПТ не влияет на работу паровой турбины и ее конструкцию, и поэтому такие установки создаются уже в настоящее время на источниках с невысокой сухостью и низкой минерализацией термальной воды.

Схема, где вместо расширителя используется ГПТ, показана на рисунке 2.

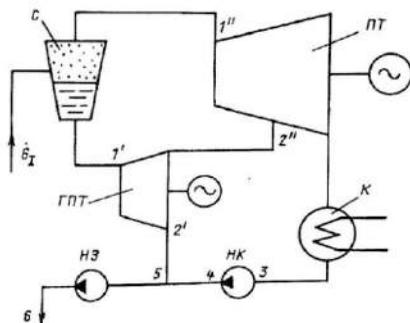


Рис. 2 - Оптимизированная установка с паровой и гидропаровой турбинами

Здесь парожидкостный поток из скважины поступает в сепаратор, в котором смесь разделяется на капельную жидкость и сухой насыщенный пар. Далее паровая фаза направляется в паровую турбину, а вода – в гидропаровую турбину [3].

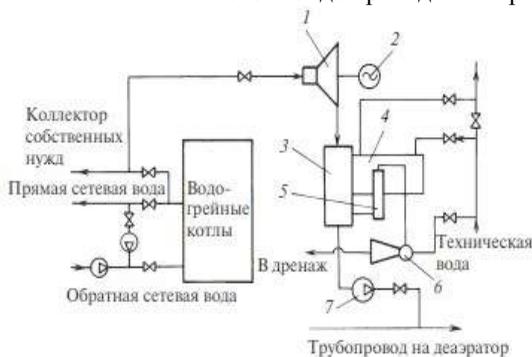
Специалистами ЗАО НПВП «Турбокон» разработан, изготовлен и установлен в котельной МУП «Калугатеплосеть» опытный стенд для испытаний ГПТ (гидропаровая энергоустановка) мощностью 10 кВт. Цель испытаний этой установки — определение характеристик турбины, а также соответствия мощностных и энергетических параметров расчетным значениям [4].

Опытный образец гидропаровой турбины мощностью 10-15 кВт.



Рис. 4 - Опытный образец ГПТ.

Тепловая схема испытательного стенда приведена на рисунке 5.



- 1 — турбина; 2 — электрогенератор; 3 — гравитационный сепаратор-конденсатосборник; 4 — конденсатор; 5 — сепаратор;
6 — водоструйный эжектор; 7 — конденсатный насос

Рис. 5 - Стенд для испытаний гидропаровой турбины, размещенный в котельной МУП «Калугатеплосеть».

Таблица 1 - Расчетные параметры гидропаровой энергоустановки электрической мощностью 10 кВт

Параметр	Значение
Расход рабочей воды G , кг/с	4,5
Температура рабочей воды t_0 , °С	115
Давление:	
рабочей воды p_0 , кПа	0,25
в конденсаторе p_2 , кПа	10
Располагаемый теплоперепад h_0 , кДж/кг	27,8

1. Разработана и изготовлена экспериментальная установка для исследования истечения вскипающей воды в атмосферу в диапазоне параметров $t_0= 100-145^\circ\text{C}$, $p_0=0,3-0,7$ МПа и расходом до 0,5 кг/сек.

2. Экспериментально определен КПД насосного эффекта рабочего колеса гидропаровой турбины ГПА-10 ($\eta=0,7$). Это позволяет с большей точностью проводить термодинамический расчет ГПТ и производить выбор ее оптимальных параметров.

3. Для оценки влияния режимных параметров на мощностные характеристики ГПТ разработаны программа и методика тепловых испытаний гидропаровой турбины ГПА-10 в составе котельной, проведены тепловые испытания, определено влияние начальных параметров рабочего тела (P_0 , T_0) и противодавления P_2 на мощность и КПД турбоустановки.

4. Испытания гидропаровой турбины на стенде отопительной водогрейной котельной подтвердили ее работоспособность, надежность и простоту эксплуатации. Размещение таких турбин целесообразно при условии полезного использования тепла отработавшей воды в системах теплоснабжения, а также на геотермальных месторождениях.

5. Термодинамическими расчетами показано, что применение гидропаровых турбин вместо паровых при использовании малых разностей температур промышленных и природных вод дает возможность увеличить выработку электроэнергии в 2,1 раза.

6. Целесообразно применять гидропаровые турбины на потоках сбросной воды электростанций и при использовании разности температур воды в океане.

Литература:

1. Шевелев Д. В., Карышев А. К. Режимы истечения самоиспаряющейся жидкости из сопел // Проблемы газодинамики и теплообмена в энергетических установках: Труды XV Школы-семинара молодых ученых и специалистов под руководством академика

РАН А. И. Леонтьева. В 2-х т Т 1 — М. - Издательство МЭИ, 2005. – С. 206-209.

2. Шевелев Д. В., Карышев А. К., Жинов А. А., Парсегов Э. А. Экспериментальное исследование процесса адиабатного истечения самоиспаряющейся жидкости из сопл // Проблемы тепломассообмена и гидродинамики: Труды IV Школы-семинара молодых ученых и специалистов под рук. академика РАН В. Е. Алемасова – Казань. - Издательство КГУ, 2004 – С. 219-226.

3. Барилевич В.А. Гидропаровые турбины и их применение в геотермальной энергетике // Теплоэнергетика. – 1993. -№3. – С. 35-38.

4. Тепловые испытания гидропаровой турбины в отопительной котельной / В.А. Федоров, О.О. Мильман, А.К. Карышев, Д.В. Шевелев, А.Г. Михеев, С.А. Бурмистров, Л.А. Ахлебинин // Теплоэнергетика. – 2009. - №4. – С. 61-63.

ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АБСОРБЦИОННЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН С НИЗКИМИ ПАРАМЕТРАМИ ГРЕЮЩЕГО ИСТОЧНИКА

В.А. Хорева, С.Л. Елистратов

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, khorevavalentina@yandex.ru

Научный руководитель: Елистратов С.Л., д.т.н., доцент

Представлены результаты численного исследования циклов абсорбционной бромистолитиевой холодильной машины с двухступенчатой абсорбцией и трехступенчатой генерацией пара рабочего вещества и одноступенчатой абсорбционной бромистолитиевой холодильной машины с одноступенчатой генерацией раствора с низкотемпературным водяным обогревом и проведен сравнительный анализ эксергетической эффективности их работы.

The article presents the results of a numerical study of the cycles of an absorption refrigeration machine based on lithium bromide with two-stage absorption and three-stage generation of vapors of the working substance and a single-stage absorption refrigeration machine based on lithium bromide with one-stage generation of a solution with a low-temperature regime. presented water heating and carried out a comparative analysis of the exergy efficiency of their work.

На Рис. 1 приведена схема АБХМ с двухступенчатой абсорбцией и трехступенчатой генерацией. Условные обозначения на схеме: SC – солнечный коллектор; HST – бак-аккумулятор; Е – испаритель; С –

конденсатор; G – генератор; HE – теплообменник; P, SP – насосы; A – абсорбер; CT – градирня; CC – потребитель холода.

Все данные для расчета АБХМ с двухступенчатой абсорбцией и трехступенчатой генерацией взяты из [1].

Для расчета температуры окружающей среды в эксергетической функции температура окружающей среды была приравнена к средней логарифмической температуре испарителя, как точке с самой низкой температурой в установке, так как эксергия окружающей среды по определению равна нулю.

Полученные численные данные эксергетического кпд АБХМ с двухступенчатой абсорбцией и трехступенчатой генерацией пара рабочего вещества приведены в Таблице 1.

Полученные численные данные эксергетического кпд АБХМ с одноступенчатой генерацией раствора с низкотемпературным водяным обогревом приведены в Таблице 2.

В качестве примера для расчета абсорбционной бромистолитиевой холодильной машины с одноступенчатой генерацией раствора с низкотемпературным водяным обогревом приведена АБХМ типа АБХМ-600Вн-10 производства ОКБ «Теплосибмаш».

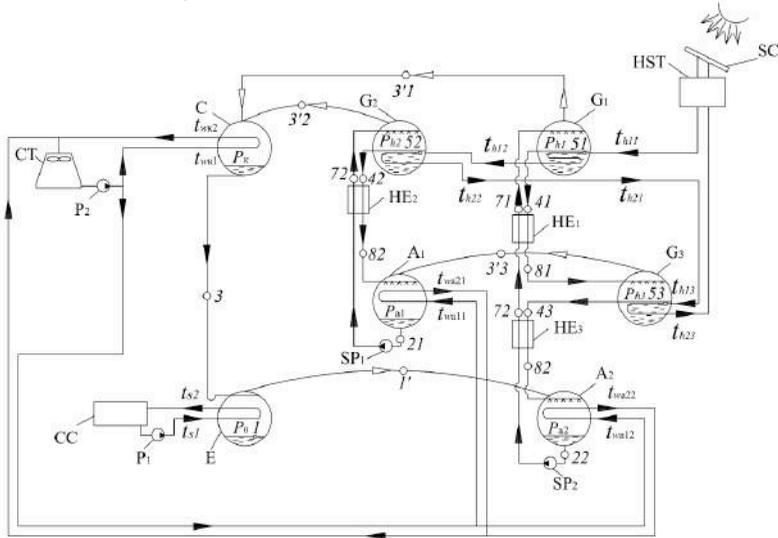


Рис.1 – схема АБХМ с двухступенчатой абсорбцией и трехступенчатой генерацией

Таблица 1 – Зависимость эксергетического кпд абсорбционной бромистолитиевой холодильной машины с двухступенчатой абсорбцией и трехступенчатой генерацией пара рабочего вещества от входных параметров установки

$t_{охл.вход}, ^\circ\text{C}$	$t_{охл.выход}, ^\circ\text{C}$	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	$t_{гор.вход}, ^\circ\text{C}$	$Q_{исп}, \text{кВт}$	$\eta_{экс}$
20	27	8,1	62,8	2570	0,595
25	35	10,0	74,5	2570	0,673
30	40	12,0	86,7	2570	0,681
35	45	13,7	97,7	2570	0,696
20	27	7,6	63,8	2550	0,583
25	35	9,4	75,5	2550	0,661
30	40	11,4	87,8	2550	0,669
35	45	13,1	98,7	2550	0,685
20	27	7,1	64,8	2450	0,567
25	35	8,8	76,6	2450	0,643
30	40	10,8	88,8	2450	0,653
35	45	*	*	2450	*

Таблица 2 – Зависимость эксергетического кпд абсорбционной бромистолитиевой холодильной машины с одноступенчатой генерацией раствора с низкотемпературным водяным обогревом

$t_{охл.вход}, ^\circ\text{C}$	$t_{охл.выход}, ^\circ\text{C}$	$t_{гор.вых}, ^\circ\text{C}$	$t_{гор.вход}, ^\circ\text{C}$	$Q_{исп}, \text{кВт}$	$\eta_{экс}$
34	27	80	90	550	0,501

Из Таблицы 1 и Таблицы 2 видно, что наибольший эксергетический кпд имеет АБХМ с двухступенчатой абсорбцией и трехступенчатой генерацией пара рабочего вещества с параметрами температура входящей охлаждающей воды $t_{охл.вход} = 35^\circ\text{C}$, температура выходящей охлаждающей воды $t_{охл.выход} = 45^\circ\text{C}$, перепад температур в генераторах $\Delta t = 13,7^\circ\text{C}$, температура воды на входе в первую ступень генератора $t_{гор.вход} = 97,7^\circ\text{C}$.

Литература:

1. Малинина О.С., Бараненко А.В., Лядова Е.Е. Анализ эффективности термодинамического цикла абсорбционной бромистолитиевой холодильной машины с двухступенчатой абсорбцией и трехступенчатой генерацией со связанным потоком массы // Вестник МАХ. – 2020. № 4. – С. 12–19.

2. Ge T.S., Wang R.Z., X, Z.Y., Pan Q.W., Du S., Chen X.M., Ma T., Wu X.N., Sun X.L., Chen J.F. Solar heating and cooling: present and future development // Renewable energy. 2018. P 126.

3. Loan Sarbu and Calin Sebarchievici, Solar heating and cooling systems. Ch. 2. Solar Radiation – TNQ Books and Journals, 2017. – 441 p.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АБСОРБЦИОННЫХ ТЕРМОТРАНСФОРМАТОРОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ НА ТЭС

Н.С. Швецов, С.Л. Елистратов

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, niki98nikita@gmail.com**

Научный руководитель: С.Л. Елистратов д.т.н., доцент

В настоящее время на рынке появились высокопроизводительные абсорбционные холодильные машины, способные охлаждать теплоноситель до температуры -5°C , что расширяет возможности их эффективного применения на ТЭС для дополнительной выработки электрической энергии за счет улучшения вакуума в конденсаторе турбоустановки.

Currently, there are high-performance absorption refrigeration machines on the market capable of cooling the coolant to a temperature of -5°C , which expands the possibilities of their effective use at TPPs for additional generation of electrical energy by improving the vacuum in the condenser of the turbine unit.

Известно [1], что эффективность генерации электроэнергии на ТЭС в значительной степени определяется температурой охлаждающей воды в конденсаторе турбины. Её всегда стараются приблизить к минимально возможной. В летний период времени градирни не всегда справляются с этой задачей, что приводит на практике к снижению реализуемого в турбине теплоперепада. Для решения этой проблемы могут быть использованы абсорбционные холодильные машины [2], не требующие значительных затрат электроэнергии. В последние годы на рынке появились серийные абсорбционные бромистолитиевые холодильные машины (АБХМ) единичной холодопроизводительностью до 10 МВт [3], способные производить охлаждение незамерзающих теплоносителей до отрицательных температур (до -5°C). Применительно к технологии охлаждения воды в градирнях такого рода машины способны производить ее охлаждение на входе в конденсаторы до 0°C . В этом случае мы можем реализовать на тур-

бине максимально возможный теплоперепад для выработки механической работы.

На рис. 1 схематично представлен процесс адиабатного расширения пара в турбине с учетом параметров водяного пара в конденсаторе.

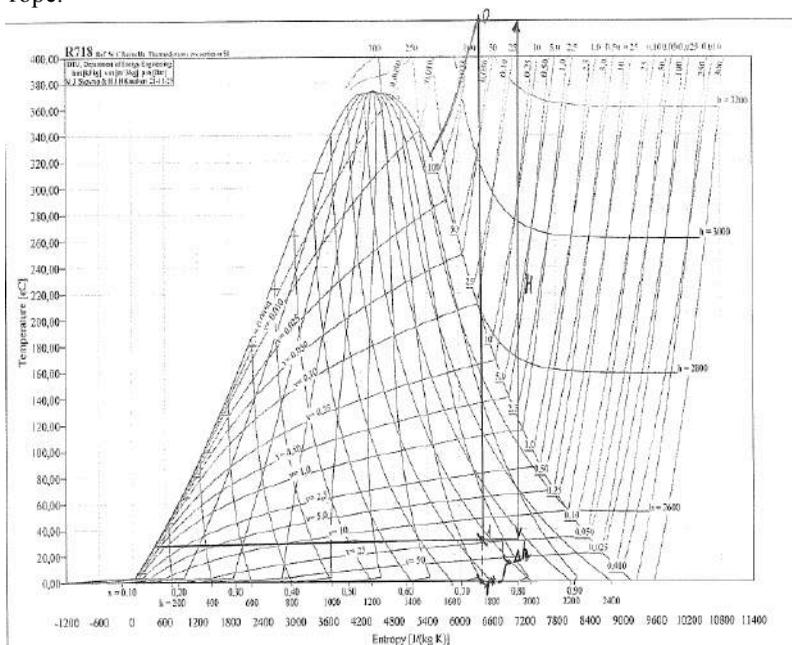


Рис.1 – Процесс расширения пара в турбине

Относительный эффект от применения АБХМ можно определить, как:

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{H},$$

где: Δh - эффект от дополнительного охлаждения воды на входе в конденсатор, кДж/кг; H - располагаемый теплоперепад на турбине без АБХМ, кДж/кг.

Применительно к процессу расширения пара в турбине типа Т-50/60-130 с начальными параметрами пара на входе $T_0 = 555$ °С, $p_0 = 12,8$ МПа получим следующие показатели (см. табл. 1).

Таблица 1. Эффективность дополнительного охлаждения циркуляционной воды

Показатели	Турбина Т-50/60-130				
	Без АБХМ	С АБХМ			
Температура конденсата, °С	33,2	25	10	5	0
Давление пара в конденсаторе, кПа	5	3,2	1,2	0,87	0,61
H , кДж/кг	1207				
Δh , кДж/кг	-	307	403	435	469
ε , %	-	25	33	36	38

Можно видеть, что относительное приращение теплоперепада на турбине в случае применения АБХМ нового поколения максимально может составить 38 %.

В работе [4] представлен новый термодинамический цикл АБХМ с многоступенчатыми процессами абсорбции и десорбции водного раствора соли LiBr со связанными потоками массы. Авторами показано, что можно за счет оптимизации рабочего цикла многоступенчатой АБХМ практически вдвое увеличить ее холодопроизводительность при низких температурах греющей среды 81-96°С. Источниками теплоты такого уровня на ТЭС для использования в АБХМ могут быть сбросной пар, отборы турбин, дренажи и другие тепловые стоки. При этом можно получить реальный энергосберегающий эффект в масштабах ТЭС. Например, возможна модернизация такой многоступенчатой АБХМ для реализации одновременной выработки как холода с температурой 7°С для охлаждения воды на входе в конденсаторы турбоустановок, так и тепла с температурой 50-70 °С для нагрева воды в системе химводоподготовки ТЭС.

Таким образом, абсорбционные термотрасформаторы нового поколения в перспективе могут способствовать повышению эффективности работы ТЭС.

Литература

1. Основы современной энергетики. Курс лекций для менеджеров энергетических компаний. В двух частях / Под общей редакцией чл.-корр. РАН Е.В. Аметистова. – Часть 1. Трухний А.Д., Макаров А.А.,

Клименко В.В. Современная теплоэнергетика: – М.: Издательство МЭИ, 2002. – 368 с.

2. Абсорбционные преобразователи теплоты / А.В. Бараненко, Л.С. Тимофеевский, А.Г. Долотов, А.В. Попов: Монография. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2005. – 338 с.

3. Официальный сайт представительства компании Thermax в России: <http://thermaxglobal.ru>.

4. Малинина О. С., Бараненко А. В., Аль-Фураиджи М. А., Лядова Е. Е., Комаров К. А. Эффективность абсорбционной бромистолитиевой холодильной машины с многоступенчатыми процессами абсорбции и генерации со связанным потоком массы // Омский научный вестник. Сер. Авиационно- ракетное и энергетическое машиностроение. 2021. Т. 5, № 2. С. 9–17. DOI: 10.25206/2588-0373-2021-5-2-9-17.

МОТИВАЦИЯ ПЕРСОНАЛА

Е.Ю. Андрейченко, Л.Н. Юдина
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, elizaveta.andreychenko02@mail.ru
Научный руководитель: Юдина Л.Н., к.э.н., доцент

Одной из главных задач любой компании является выбор эффективных способов мотивации персонала. Как заставить своих сотрудников трудиться с наибольшей самоотдачей и получать от этого удовлетворение? Какие виды мотивации для этого выбрать? Как организовать индивидуальный подход в мотивации персонала? На эти и другие вопросы вы сможете найти ответы в данной статье.

One of the main tasks of any company is to choose effective ways to motivate staff. How to make your employees work with the greatest dedication and get satisfaction from it? What types of motivation should I choose for this? How to organize an individual approach to staff motivation? You can find answers to these and other questions in this article.

Мотивация персонала – совокупность приемов, разрабатываемая и применяемая в компании для повышения производительности труда путем увеличения вовлеченности сотрудников в трудовую деятельность. Она выступает ключевым направлением кадровой политики любого предприятия. Самая рентабельная мотивация персонала – это «мотивация на результат»; только такая мотивация является совершенной системой, ведь она позволяет сотрудникам увеличивать доход в соответствии с приложенными усилиями, а предпринимателю обосновывает выплату вознаграждений.

Существует несколько теорий мотивации персонала, которые наиболее часто применяются на практике:

1. Теория потребностей А. Маслоу [1]. Автор данной теории иерархически систематизировал и разделил все человеческие потребности на пять основных групп:

- физиологические потребности, необходимые для поддержания жизнедеятельности человека (питание, сон и т.д.);
- потребности в безопасности (защита от опасностей со стороны окружающего мира);
- социальные потребности (необходимость в общении, социальном окружении);
- потребности в уважении, признании;

- потребности в саморазвитии и познании.

Согласно этой теории, любой человек всегда испытывает те или иные потребности. Когда низшие (базовые) потребности удовлетворяются, мотивирующим фактором становятся потребности более высокого уровня.

2. Теория повышения эффективности труда Д. МакКлелланда [2]. По этой теории базовые потребности человека считаются удовлетворенными, а высшие потребности разделены на три группы:

- потребности во власти;
- потребности в успехе;
- потребности в причастности.

Высшие потребности здесь равнозначны; именно они выступают в роли мотивирующего фактора.

3. Теория ожиданий В. Врума [3]. Данная теория основана на мысли, что человеческие поступки и поведение базируются на основе прогнозируемых последствий. Человек выбирает определенный тип поведения, чтобы достигнуть желаемый результат. Причем положительный результат является мотивирующим фактором, а отрицательный – демотивирующим.

Исходя из всех вышеперечисленных теорий, мы можем сделать вывод, что основополагающим фактором для индивидуального подхода при разработке системы мотивации сотрудников является удовлетворение персональных потребностей человека.

В современных российских реалиях большую роль играет материальная мотивация. К ней можно отнести:

- 1) Премии за перевыполнение плана за конкретный период времени – квартал, полугодие, год. Такие премии могут быть назначены определенному работнику в индивидуальном порядке или же в составе коллектива;
- 2) Доплаты за наставническую деятельность; выполнение дополнительных функций, не входящих в должностные обязанности;
- 3) Единовременные бонусы при заключении крупных контрактов, запуска проекта и т.п.

В последнее время стала возрастать роль нематериальной мотивации [4]. Такой вид мотивации персонала основан на удовлетворении потребностей, не связанных с денежными выплатами. Сюда можно отнести:

- 1) Оборудование мест для проведения досуга – комнаты отдыха, тренажерный зал;
- 2) Оплату дополнительного обучения сотрудников;
- 3) Систему подарков и поздравлений сотрудников;

4) Корпоративные мероприятия – коллективные выезды на природу, посещение выставок, спектаклей и т.п.

Помимо этих видов существует и отрицательная мотивация, методы которой не менее эффективны: лишение премии, дисциплинарные взыскания, отказ от предоставления льгот и компенсаций, понижение в должности. Однако использовать такой способ следует крайне осторожно, справедливо и обосновано.

Во время процедур разработки и внедрения системы мотивации персонала, регламентированных кадровой политикой организации, необходимо соблюдать следующие принципы:

1. Прозрачность и понятность мотивационной системы;
2. Использование четких критериев оценки, общих для большинства сотрудников;
3. Информационная доступность системы поощрений (порицаний);
4. Зависимость материальной мотивации от трудового вклада работника, а не от занимаемой им должности;
5. Использование преимуществ нематериальной мотивации;
6. Персонализация мотивации, учет потребностей и предпочтений сотрудника.

При разработке мотивационной системы, чтобы наиболее детально разобраться, какие из факторов играют важную роль, а какие – нет, необходимо проводить тестирование, используя мотивационный профиль Ш. Ричи и П. Мартина. Именно результаты такого исследования должны стать фундаментом для программ организационной и индивидуальной мотивации.

Подводя итог, скажем, что мотивация персонала играет одну из главных ролей в организации компании. Четко разработанная мотивационная система ведет не только к повышению эффективности трудовой деятельности и увеличению экономических показателей компании, но и к сплочению коллектива, повышению его вовлеченности в трудовой процесс и заинтересованности в достижении целей организации, снижению текучести кадров и самореализации каждого сотрудника в полном объеме.

Литература:

1. Пирамида Маслоу – ее структура и смысл [Электронный курс] // Блог – URL:<https://zen.yandex.ru/media/sharaut/piramida-maslou--chto-eto-takoe-ee-struktura-i-smysl-60e3f416b5e3de27eac61e6c>

2. Ногалес К. Теория мотивации МакКлелланда [Электронный курс] // Блог. – URL:<https://4brain.ru/blog/теория-мотивации-макклелланда/>

3. Теория ожиданий Врума [Электронный курс] // INFOMANAGEMENT – URL:

http://infomanagement.ru/lekciya/Tyeoriya_ozhidaniy_vruma

4. Мотивация персонала [Электронный курс] // Статья в электронной энциклопедии Википедия – 2021. – URL:

https://ru.wikipedia.org/wiki/Мотивация_персонала

МЕНЕДЖМЕНТ В ЭНЕРГЕТИКЕ И ЭЛЕКТРОМАШИНОСТРОЕНИИ

О.В. Батырева

Ивановский государственный энергетический университет имени

В. И. Ленина, г. Иваново, batoryeva22@yandex.ru

Научный руководитель: Тарасова А.С., к.э.н., доцент

В статье рассматривается менеджмент в энергетике и в электромашиностроении, сегодня основной задачей, стоящей перед современными способами повышения эффективности энергокомпаний, можно назвать формирование эффективной системы управления предприятием, его бизнес-процессами и сферами деятельности предприятия. Производители, конкуренты, инвесторы, как участники рынка, контрагенты и партнеры, уделяют особое внимание вопросам оптимизации бизнес-процессов энергетической компании

The article discusses management in the energy sector and in electrical engineering; today, the main task facing modern methods of increasing the efficiency of energy companies is the formation of an effective management system for an enterprise, its business processes and areas of enterprise activity. Manufacturers, competitors, investors, as market participants, counterparties and partners, pay special attention to the optimization of business processes of an energy company

Одним из способов повышения энергоэффективности энергокомпаний может стать применение процессного подхода. Так как сотрудники компании в большинстве заинтересованы в выполнении отдельных функций, то важно сосредоточить внимание на цепочке операций, а не на отдельных функциях, так как эффективность компании в целом и эффективность отдельных бизнес-процессов взаимосвязаны.

Применение процессного подхода в управлении предполагает формализацию бизнес-процессов на энергетических предприятиях. Бизнес-процесс - это совокупность логически связанных действий, имеющих «вход», то есть использование ресурсов предприятия с целью

переработки объекта, направленные на достижение «выхода», то есть достижение определенных измеримых результатов (целей организации, создания продукции, удовлетворения спроса потребителя и так далее).

В настоящее время довольно актуальна тема менеджмента в энергетике и в электромашиностроении, и она обусловлена продолжающейся эволюцией инструментов управления на предприятии, также значительным опережением теории и практики управления бизнес-процессов в Мире по сравнению с РФ, а также технологии, применяемые в менеджменте при управлении бизнес-процессами предприятий, не подразумевают увязку каждой функции бизнес-модели с показателями финансово-хозяйственной деятельности предприятия, хотя на практике существует большое количество бизнес-моделей компаний.

За последние несколько лет предприятия нуждаются в совершенствовании своих бизнес-моделей, так как клиенты и покупатели требуют более лучшей товарной продукции.

Одним из наиболее эффективных инструментов совершенствования системы управления является внедрение системы менеджмента качества (СМК) на предприятии. Данный инструментарий помогает компании повысить собственный имидж, это особенно актуально для крупных компаний-лидеров рынка и для компаний новичков. Это повышает доверие к предприятию со стороны других игроков рынка: потребителей, поставщиков, государства и других организаций [2].

Помимо всего вышеперечисленного, внедрение СМК является преимуществом для компании с точки зрения соответствия международным и отечественным стандартам, благодаря чему создается благоприятная среда для налаживания внутренних процессов в компании, а именно, ключевых бизнес-процессов. Развитие отрасли электроэнергетики, ее реформирование, обуславливает потребность в использовании СМК и ее интеграции с другими системами менеджмента, такими как:

- система безопасности;
- система энергетического менеджмента;
- система экологического менеджмента;
- система охраны труда и др.

Современная модель менеджмента качества, которая реализуется на предприятиях отрасли электрической и тепловой энергии, основывается на принципах международных стандартов серии ISO 9000. А именно, актуальным на текущий момент становится соответствие стандартам ГОСТ Р ИСО 9001-2015. [1; 3].

Ключевыми принципами стандарта серии ГОСТ Р ИСО 9001-2015 является:

- Ориентация на конечного потребителя продукции, соответствие ожиданиям (в данном случае потребителям электрической и тепловой энергии);
- Принцип объективности (принятие обоснованных решений);
- Лидерство руководства (ответственность, делегирование полномочий между кадрами, продуктивное взаимодействие между иерархией компании);
- Анализ потенциальных несоответствий (риск-ориентированное мышление);
- Процессный подход в управлении (взаимосвязь определенных бизнес-процессов, согласование работы между ними, обеспечение ресурсами);
- Вовлечение, мотивация и обучение сотрудников компании при реформировании или внедрении СМК на предприятии (проведение курсов повышения квалификации, информирующих семинаров, круглых столов, доведение текущих целей и стратегии);
- Постоянное улучшение СМК (улучшение процессов, решение текущих вопросов и предотвращение рисков);
- Поддержание взаимовыгодных контактов с партнерами, поставщиками и т.д. [5].

Среди компаний, использующих международные стандарты и сертификаты, можно увидеть такие, как нефтяная компания «Лукойл», компания в области издательского менеджмента «APS Group», московский аэропорт «Домодедово», ГМК «Норильский никель» и многие другие.

Примером крупной энергетической компании, которая успешно реализует внедрение СМК, может служить ПАО «Газпром». Данные реформы Общество распространяет не только внутри головной компании, но и по всей цепочке дочерних предприятий (внутренних и внешних поставщиков): ООО «Газпром Энергохолдинг», ПАО «ОГК-2» и ПАО «ТГК-1».

В стандартах ГОСТ Р 9001:2015 применен подход, который включает в себя три ключевых и актуальных принципа: процессная модель, цикл Деминга «Планируй-Делай-Проверяй-Воздействуй» (PDCA) и риск-ориентированное мышление [6].

- Процессный подход позволяет организации планировать свои процессы и их взаимодействие, и что самое главное - организовать в структуре подразделения внутреннего «контроллера», который бы использовал самопроверку своей деятельности и, как следствие,

повышение общей эффективности компании. Помимо стратегических показателей эффективности деятельности крупной организации, необходимо оценивать и анализировать самостоятельно каждому сотруднику насколько эффективно организована его работа.

- Внедрение цикла Деминга (цикл PDCA) позволяет организации обеспечить непрерывное и последовательное развитие, анализ и улучшение процессов.

- Риск-ориентированное мышление позволяет организации определять факторы, которые могут привести к отклонению от запланированных результатов процессов и системы менеджмента, а также проводить превентивные действия в целях максимального снижения вероятности негативных последствий, минимизации возможных несоответствий и наиболее эффективного использования возникающих вариантов развития.

Таким образом, энергоснабжающие и электромашиностроительные организации учитывают единство технологического процесса цепочки производство, сюда относят потребление. В первую очередь, сюда относят услуги по выполнению узкоспециализированных и те, которые требуют высокой квалификации персонала.

Для электроэнергетики очень важно создать положительный имидж энергетических предприятий. С этой целью должны использоваться все направления и методы взаимоотношений с обществом, сюда можно отнести: установление положительного отношения с потребителями, органами власти, общественными организациями и так далее.

В энергетике назначением регулирования может являться создание правил, которые максимально приближены к рыночным отношениям.

Цели и задачи регулирования приводят к увеличению эффективности монополий. Энергетическое обеспечение для государства это достаточно актуальный вопрос, это связано с тем, что энергетический запас исчерпаем, а источников альтернатив нет. Стабильное обеспечение стран энергией это одним из важных аспектов всеобщей безопасности. Кроме того, электроэнергия это основной источник получения прибыли.

Поэтому внедрение СМК на предприятии различных сфер, в том числе такой крупной и движущей, как сфера энергетики, является актуальной возможностью повысить эффективность деятельности и отдельных бизнес-процессов, имеющих вес в производственной и административной иерархии предприятия [4].

Таким образом, сделан вывод, что деятельность предприятий в энергетике и в электромашиностроении, должна соответствовать не только определенным техническим характеристикам и нормам, но и

требованиям потребителей и самого предприятия, то есть деятельность должна быть нацелена на качество.

Литература:

1. Куделина Д.В., Руднев В.В. Разработка автоматизированной системы для контроля изоляции электрооборудования. Современная наука как основа инновационного прогресса: сборник научных статей по материалам Международной научно-практической конференции (7 августа 2018г., Волгоград). - Саратов: «Академия Бизнеса» – 2018. – С.52-57.

2. Камаева О.А., Куделина Д.В., Ларин О.М. Разработка алгоритма определения ущерба при нарушении электроснабжения объектов производственных систем. Молодежь и XXI век -2019: материалы IX международной молодежной научно-практической конференции (21-22 февраля 2019 г., Курск). - Курск: ЗАО «Университетская книга». – 2019. – С. 211-215.

3. Нечеткое моделирование нахождения оценки эффективности функционирования региональной энергетической системы. Альтернативная и интеллектуальная энергетика/ Бирюлин В.И., Горлов А.Н., Куделина Д.В., Ларин О.М., Чернышев А.С., Гладышкин А.О.:/ материалы международной научно-практической конференции (6-8 декабря 2018 г., Воронеж). – Воронеж: Воронежский гос. тех. университет – 2018. – С.125-127.

4. Анализ эффективности региональной энергетики [монография]/ Бирюлин В.И., Горлов А.Н., Куделина Д.В., Гайдаш Н.М. Чернышев А.С., Валишвили О.В., Шаповалов В.В., Игнатенко А.Н., Гладышкин А.О. - Курск: ЗАО «Университетская книга». – 2018. – 123 с.

5. Рогалев Н.Д., Максимов Б.К., Молодюк В.В. Современная электроэнергетика России и рынок электроэнергии. М.: Издательство МЭИ – 2018. – 204 с.

6. Белобрагип В.Я. Стабилизация. Анализ отчета The ISO Survey-2019 // Стандарты качество. – 2020. – №12. –С. 88-95.

ОЦЕНКА РИСКОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

А.Д. Быстров, Е.А. Гришина
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, nstuenergy@mail.ru
Научный руководитель Гришина Е.А., к.э.н., доцент

Активизация процессов освоения возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в России требует изучения рисков, которые возникают при создании и эксплуатации энергетических объектов. В настоящий момент на территории России действует программа, начатая в 2014 и завершающаяся в 2024 году. Комплекс поддерживающих мер направлен на строительство и развитие возобновляемых источников энергии по проектам, отобранным на конкурсной основе. Им гарантируется 15-летняя окупаемость вложений и базовая доходность в 12 % годовых.

The revitalization of the development of renewable energy sources (RES) in Russia requires the study of the risks that arise during the creation and operation of energy facilities. At the moment, a program that began in 2014 and ends in 2024 is operating in Russia. A set of supporting measures is aimed at the construction and development of renewable energy sources according to projects selected on a competitive basis. They are guaranteed a 15-year return on investment and a base rate of return of 12% per annum.

Оценку инвестиционной эффективности проектов с возобновляемыми источниками энергии необходимо производить с учетом рисков в условиях неопределенности. Под неопределенностью понимается неполнота или нечеткость информации об условиях реализации проекта, в том числе связанных с ними затрат.

Риски можно условно разделить на две категории:

1. Риски, связанные с зависимостью выработки электрической энергии от метеорологических и климатических условий. Для ветроэнергетических установок (ВЭУ) - это отсутствие ветра в период пикового потребления, для солнечной энергетики – облачность и прочие метеорологические условия. Производительность малых гидроэлектростанций (МГЭС) может снижаться в период засухи летом, а в зимних условиях эксплуатация МГЭС в определенный момент времени не представляется возможной. Всем указанным системам генерации возобновляемых источников энергии требуется резервный источник питания. Эту функцию может взять на себя существующая дизельная электростанция или когенерационная установка.

2. Риски, связанные с выходом из строя отдельных элементов и узлов генерирующего объекта. Современные возобновляемые

источники энергии представляют собой сложные системы, состоящие из множества взаимодействующих друг с другом разнородных элементов, число которых может достигать нескольких тысяч. Вместе с тем ужесточаются требования к эффективности функционирования и качеству производимых возобновляемых источников энергии. Во многом это связано с риском возникновения опасностей и аварий при эксплуатации таких систем.

Для объектов возобновляемой энергетики необходим учет рисков на всех этапах разработки проекта: при подготовке технико-экономического обоснования, при проектировании, при организации инвестирования и проведении тендеров, непосредственно при строительстве, а также на этапе эксплуатации.

В настоящее время существует две группы оценки рисков: качественная и количественная.

Качественный анализ предполагает выявление:

- источников риска;
- этапов и работ, при выполнении которых возникает риск (установление потенциальных зон риска, изменение риска в динамике, выявление всех положительных и отрицательных моментов, связанных с реализацией решения, содержащего риск).

Количественная оценка позволяет:

- выявить математическую вероятность возникновения обнаруженных рисков;
- определить значения потерь (или прибыли) от действий в рискованной ситуации, которые будут являться объектом дальнейшего анализа для принятия решения об управлении рисками;
- определить степень влияния различных факторов на рискованную ситуацию;
- подготовить оптимальный план управления проектом на ВИЭ в рискованной ситуации.
- внешнеэкономический риск (возможность введения ограничений на торговлю и поставки оборудования, закрытие границ и т.п.).

В качестве объекта будет рассмотрена Азовская ВЭС, которая была построена в 2021 году. Настоящий объект расположен в юго-западной части России и северо-восточной части Азовского моря. На месте установлена только одна метеомачта. Измерительные мероприятия продолжались в течение около трех. На основании собранных данных проводится прогнозирование. Ниже представлены формулы для прогнозирования ВЭП и мощности ВЭС:

$$W = 0,5 * \rho(\square) * \int_0^{V=\infty} V^3 * f(v) dV \approx \rho(\square) * \sum_{i=1}^{15} f_i(\Delta V_i(\square)) * (V_i^{cp})^3$$

$$P_{ВЭС} = K_{mz}(n) * K_{НИД}(H_{БК}) * \frac{\rho(H_{БК})}{\rho_0} * \int_{V_0}^{V_{БВР}} \rho(V) * f_i(V(H_{БК})) dV$$

$$\approx K_{ТТ}(n) * K_{НИД}(H_{БК}) * \frac{\rho(H_{БК})}{\rho_0} * \sum_{i=1}^i \rho(V_i) * f_i(\Delta V_i(H_{БК}))$$

где V_i^{cp} (h) и $f_i(\Delta V_i(\square))$ – скорость ветра и ее повторяемость в середине i-той градации на заданной высоте h или высоте оси ВКВЭУ НВК;

$f_i(\Delta V_i(\square))$ – функции плотности вероятности распределения сезонных и годовых скоростей ветра на заданных высотах h и $H_{БК}$, аппроксимирующие их эмпирические повторяемости;

$V_{БВР}$ – наибольшая скорость рабочего диапазона ВЭУ (буревая скорость ветра);

$\frac{\rho(H_{БК})}{\rho_0}$ – отношение реальной ρ и стандартной ρ_0 (1,225 кг/м³) плотности воздуха;

$K_{ТТ}(n)$ – коэффициент технической готовности ветроэнергетической установки к работе;

$K_{НИД}(H_{БК})$ – коэффициент неидеальности работы ветроэнергетической установки, зависящий от ветроклиматических и технических факторов, снижающих мощность и выработку «идеальных» ВЭУ и ВЭС;

$\rho(V)$ – рабочая характеристика ветроэнергетической установки – функция технических параметров ветроэнергетических установок и скорости ветра; i – число градаций скорости при определении эмпирической повторяемости скорости ветра на заданной высоте.

Прогнозные значения могут отличаться от реальных из-за ряда факторов:

- 1) температурные ограничения;
- 2) ледово-изморозевые и снеговые отложения;
- 3) нелинейность высотного профиля скорости ветра;
- 4) высотный сдвиг направления ветра;
- 5) инерционность систем ориентации ветроэнергетической установки;
- 6) собственное энергопотребление ветроэнергетической установки;
- 7) потери во внутренних сетях ВЭС;

- 8) затенение ветроэнергетических установок друг другом и окружающими объектами;
- 9) влияние рельефа и подстилающей поверхности на характеристики ветра;
- 10) уменьшение ресурса при повышенной турбулентности;
- 11) многолетняя регрессия коэффициента технической готовности ВЭУ;
- 12) влияние атмосферных осадков на энергетические показатели ВЭУ;
- 13) грозы и опасные метеорологические явления.

Для идентификации рисков и выбора инструментов управления ими, существуют различные механизмы: Прогнозирование, анализ чувствительности, моделирование, построение карт процессов.

Вывод: Инвесторы принимают решения о поддержке проектов на ВИЭ на основе анализа будущих доходов и оценки основных рисков, которые могут потенциально повлиять на проект. Объемы и условия финансирования находятся в тесной связи с тем, насколько высок уровень риска проекта и какие существуют инструменты для их снижения. Таким образом, возможности получения необходимых инвестиций и кредитов на проекты возобновляемой энергетики зависят от степени эффективности управления рисками в этой отрасли.

Литература:

1. Акционерное общество «Администратор торговой системы [https оптового рынка электроэнергии](https://www.atsenergo.ru/vie/proresults)» – АО «АТС»: [Электронный ресурс]. URL: <https://www.atsenergo.ru/vie/proresults>.
2. Артемьев А.Ю., Шакиров В.А., Яковкина Т.Н. Многокритериальный выбор районов для размещения ветровых электрических станций // Системы. Методы. Технологии. –2016. – № 3 (31). – С. 116-122.
3. Законодательная поддержка ВИЭ в РФ. РАВИ. М. – 2018. – 12 с.
4. Национальный стандарт Российской Федерации «Рекомендации по определению ветроклиматических характеристик и технико-экономических показателей малых ветроэнергетических установок». Москва. – Стандартинформ. – 2021.

СОЦИАЛЬНО-ПСИХОЛОГИЧЕСКАЯ АДАТАЦИЯ НОВЫХ СОТРУДНИКОВ НА ПРЕДПРИЯТИИ

Д.Л. Дороднова, Л.Н. Юдина
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, ddorodnovad@mail.ru
Научный руководитель: Юдина Л.Н., к.э.н.

Важной частью организации приема новых сотрудников на предприятие является их адаптация на рабочем месте. Она представляет одну из главных проблем кадровых служб. В данной статье мы более подробно рассмотрим социально – психологическую адаптацию новых сотрудников.

An important part of the organization of hiring new employees at the enterprise is their adaptation in the workplace. It represents one of the main problems of HR services. In this article, we will take a closer look at the social and psychological adaptation of new employees.

Для начала разберемся что такое адаптация персонала. Адаптация – это процесс приспособления организма к изменениям окружающей среды или к изменениям внутри самого организма. Она важна как для самих работников, так и для работодателей, поскольку учитывает интересы двух сторон. Новичку хочется побыстрее влиться в коллектив, узнать побольше о предстоящих задачах. А лицу, предоставляющему работу, нужно, чтобы новый человек сохранил свою заинтересованность в данной компании. Из этого следует, что адаптация персонала представляет собой процесс ознакомления, приспособления работников к содержанию и условиям трудовой деятельности, а также к социальной среде организации.

Адаптация персонала производится в несколько этапов:

1. Вводный первый день. В этот день нового сотрудника представляют коллегам, знакомят с основами организации работы предприятия [1].
2. Пространство организации. Знакомство с отделами, службами и людьми, с которыми будет непосредственно связана работа нового сотрудника [1].
3. Рабочее пространство. Новичку показывают его рабочее место, проводят инструктаж.
4. Знакомство с руководством. Этот пункт может выполняться не сразу, т.к. вполне возможно, что директора (или директоров) не будет на рабочем месте. Но все же рано или поздно знакомство состоится, т.к. это неотъемлемая часть успешной адаптации [1].

5. Индивидуальная часть программы адаптации. Сотруднику предоставляется полный перечень его задач и обязанностей, и инструментов для выполнения работы. Бывает, что в компаниях для облегчения освоения работника на новом рабочем месте, к нему приставляется куратор, у которого он может консультироваться по многим вопросам. Такой вариант адаптации сотрудника достаточно эффективен [1].

Конечно, приспособления сотрудника в каждой компании происходит по-разному, в основном это зависит от самого человека, принимающего новую должность, но все ожидают одного эффекта – это успешное освоение работника в компании и его эффективная дальнейшая работа в ней.

Адаптация новых сотрудников на рабочем месте является важнейшим звеном управления персоналом. Ключевыми моментами в этом вопросе является накопление опыта и интереса к работе, а также личных взаимоотношений с другими сотрудниками коллектива. Вовлечение в общественную деятельность, проявление интереса к достижениям организации. Новые сотрудники должны придерживаться своей роли в организации и подчиняться сложившимся традициям компании, а также предлагать свои варианты улучшения взаимоотношений на предприятии. К сожалению, важность мер по адаптации новых сотрудников в нашей стране не воспринимается достаточно серьезно. До сих пор многие государственные и частные компании даже не имеют базовых программ адаптации.

Самый длительный период адаптации обычно совпадает с испытательным сроком (3 месяца). Социально-психологическая адаптация — это адаптация к новому окружению (коллективу), новым устоям рабочей жизни, новым правилам поведения в организации [3]. Проблемы в адаптации новых сотрудников могут возникать из-за неправильной оценки предстоящих трудностей, к которым можно отнести, например, не оправдавшиеся ожидания быстрого успеха. Большинство людей в первые дни работы боятся не справиться с обязанностями, обнаружить недостаток опыта или знаний, не найти общего языка с руководителем или коллегами и как итог - потерять работу. Психологическая адаптация заключается в согласии и соблюдении новым членом коллектива установленных в компании правил поведения. А также в ознакомление с целями и задачами компании, ее традициями, отношениями между руководителями и подчиненными, между смежными подразделениями.

Социально-психологическая адаптация – процесс слияния нового сотрудника с коллективом компании. Важную роль в этом процессе

играет наращивание новичком личностных, формальных и неформальных отношений с другими сотрудниками компании. В процессе социально-психологической адаптации человек начинает сравнивать свои ожидания от новой работы с реалиями данной компании. Он изучает взаимоотношения в коллективе, ценностную ориентацию компании, чему люди уделяют больше внимания в работе. Психологическая адаптация выражается в обретении дружественных отношений с коллегами по работе и руководителями, а также в достижении объединения работника и коллектива. Суть успешной социально – психологической адаптации заключается в бесконфликтных отношениях между всеми членами коллектива и руководством компании [2].

Выявление особенностей социальной и психологической адаптации сотрудников в компании позволяет их правильно оценить и создать необходимые условия для успешной адаптации. Это позволит избежать появления у новых сотрудников стресса и эмоционального дискомфорта. Статистика показывает, что наибольшее количество нанятых людей уходит в течение первых трех месяцев. Главная причина - несоответствие между ожиданиями и реальностью, а также сложность процесса адаптации.

Большинство людей легко могут приспособиться к новому месту работы, к новому окружению, т.к. человек – существо социальное. Но случаются ситуации, когда человек не может самостоятельно влиться в работу и коллектив, и в это ему требуется помощь кадровой службы.

Человек, оказавшийся на новом рабочем месте, в новом окружении включается в систему внутриорганизационных отношений, занимая в ней одновременно несколько позиций. К каждой позиции присуще свои нормы и требования, а также правила поведения и обязанности, образующих социальную роль сотрудника в коллективе, как подчиненного, коллеги, руководителя и т.д. Коллектив требует от человека, занимающего все эти позиции определенных действий и соответствующего поведения. Поступая на работу в ту или иную организацию, человек имеет определенные цели, потребности, нормы поведения. В соответствии с ними сотрудник предъявляет определенные требования к организации: к условиям труда и его мотивации. Руководствуясь полученными данными необходимо говорить о том, что проблема социально – психологической адаптации является одной из актуальных проблем, т.к. кадровый менеджмент часто выпускает ее из области своей работы. В результате чего, новый сотрудник, не пройдя социально – психологическую адаптацию к новому рабочему месту вынужден уволиться в первые три месяца своей

работы. Необходимо облегчить их процесс адаптации, сопровождая новых сотрудников различными тренингами, беседами, консультациями. Для этого необходимо разработать методические пособия и рекомендации для работников кадрового менеджмента, которые в дальнейшем смогут работать с приспособляющимися к новой среде сотрудниками.

Как итог можно сказать, что социально – психологическая адаптация работника на новом рабочем месте – одна из главных составляющих успешной организации работы всего коллектива и в целом компании. Кадровым службам нужно уделять больше внимания этой проблеме, т.к. в современном мире у людей все больше проблем с ментальным здоровьем. Это влечет за собой сложности в социализации, а также освоение на новом рабочем месте.

Литература:

1. Жук М. Адаптация новых сотрудников в организации [Электронный ресурс] // Интернет-журнал Подбор кадров - 2021

2. Словарь-справочник Управление персоналом [Электронный ресурс] // URL: <https://psyfactor.org/personal/personal1-07.htm>.

3. Адаптация персонала [Электронный ресурс] // URL: <https://hrhelpline.ru/adaptasiya-personala/>.

ЭФФЕКТИВНЫЙ ПОДБОР ПЕРСОНАЛА

А.С. Ключагина, Л.Н. Юдина

**Новосибирский Государственный Технический Университет,
г. Новосибирск, udinaln@ngs.ru klyuchagina9998@gmail.com**

Научный руководитель Юдина Л.Н. к.э.н., доцент

Одной из самых актуальных проблем любой компании является проблема подбора персонала: где найти адекватных кандидатов с нужной квалификацией, опытом и ответственным отношением к работе? Кадровая служба и руководитель совместно ищут кандидатов на вакантную должность. Выбор и поиск персонала, как правило, всегда находится на повестке дня почти каждого руководителя. Правильная организация процесса отбора может не только обеспечить свой бизнес необходимым персоналом, но и повысить эффективность, а также сократить время и прочие ресурсы на поиск персонала

One of the most pressing problems of any company is the problem of personnel selection: where to find adequate candidates with the right qualifications, experience and responsible attitude to work? The personnel service and the manager are jointly

looking for candidates for the vacant position. The selection and search of personnel is usually always on the agenda of any manager. The proper organization of the selection process can not only provide your business with the necessary staff, but also increase efficiency, as well as reduce the time and other resources for finding personnel.

С чего же следует начать подбор персонала? Сначала нужно составить профиль вакантной должности, описав в нем портрет идеального кандидата.

Для начала работодатель должен максимально подробно описать требования к будущему сотруднику: образование, опыт работы, знания, навыки, умения, хобби и т.д. Также следует описать условия работы, бонусы, предполагаемую зарплату, которую может получить сотрудник.

Законодательство РФ запрещает включать в профиль должности требования к личностным качествам кандидата, и отказывать в трудоустройстве ссылаясь на них. Но качества личности также важны, поэтому на это можно обратить внимание при собеседовании с кандидатом.

На сегодняшний день принято думать, что если работодатель правильно составил описание должности, то в течение месяца на вакантную должность должно обратиться не меньше 3 кандидатов (зависит от должности). Если кандидатов меньше – запросы компании слишком высоки и не соответствуют реальной ситуации на рынке труда. Если же кандидатов пришло больше – описание вакансии нетребовательно и нужно обозначить более высокие и конкретные требования.

Где же размещать вакансии? Можно воспользоваться бесплатными площадками по трудоустройству в Интернете (рекомендуется задействовать порядка двадцати сайтов). Вакансия окажется «на виду» у кандидата, если при размещении использовать ключевые слова, которые помогут людям быстрее найти нужное свободное рабочее место. Также можно разместить объявление о поиске работника в Центре Занятости, это совершается бесплатно.

Если в течение месяца работодатель не получит ожидаемого результата, тогда можно задуматься о подключении платных ресурсов: кадровые агентства, реклама, СМИ, составление креативного текста. Или просто пересмотреть текст вакансии.

Когда работодатель получил нужный ему отклик от кандидатов, следует запросить у них резюме, с помощью него можно увидеть, насколько соискатель подходит на должность, как умеет себя презентовать. Если информации в резюме недостаточно – следует прислать кандидату заранее составленный специальный бланк «анкеты

кандидата» с просьбой заполнить его и прислать обратно. Таким образом, можно уточнить недостающую информацию.

Если кандидат подходит – приглашаем на собеседование (перед личным собеседованием может быть телефонная беседа с кандидатом, но это по усмотрению работодателя).

Какое собеседование проводить? Существует несколько видов собеседований: хронологическое интервью, структурированное интервью, бизнес кейсы, стрессовое интервью т.д. Но я хочу остановиться на структурированном интервью, на нем претендентам задают стандартные вопросы о компании и должности, на которую они хотят устроиться, просят привести примеры ситуаций, которые бы лучшим образом описали поведение человека на данной должности, далее сравниваются ответы всех кандидатов и выбирается самый сильный кандидат. Я понимаю, что данный тип интервью может показаться старомодным и непрогрессивным, но мне кажется, именно такое интервью является самым результативным, по сравнению с другими.

Существует два главных принципа подбора персонала (остальные определяются компанией):

- а) объективность;
- б) отсутствие любых форм дискриминации.

Во время проведения интервью работодателю необходимо опираться на данные принципы.

Как проводить собеседование? Для начала следует проверить документы у соискателя (паспорт, документы об образовании). Даже если будет отсутствовать хотя бы временная регистрация на территории РФ, это не позволит работодателю заключить трудовой договор. Это делается, чтобы проверить, не лжет ли кандидат ради желаемой должности.

Если есть отзывы от предыдущих работодателей, нужно обратить внимание только на ту информацию, которую могут подтвердить несколько организаций. Есть работодатели, которые специально дают негативные отзывы в надежде удержать кандидата или отомстить ему за «бегство» с прошлой должности. Такие моменты также надо учитывать. Вопросы интервью должны быть составлены заранее, во время проведения беседы желательнее всего создать непринужденную, свободную атмосферу, чтобы кандидат легче себя чувствовал и не волновался. Лучше не отвлекаться от слов соискателя и не проявлять раздражение, иначе кандидатур на должность совсем не останется.

Я выделила несколько вопросов для успешного интервью с кандидатом:

1. Как Вам кажется, за что Вы будете нести ответственность?
2. Расскажите о причинах увольнения с прежнего места работы?
3. Расскажите о самой серьезной ошибке на прошлом месте работы и как Вы ее исправили?
4. Опишите типичный конфликт в прежней организации?
5. Как Вы себя вели?
6. Как бы повели себя сейчас?
7. В какой момент Вы обратитесь за помощью?
8. Как Вы себя ведете в состоянии стресса?
9. Какие организации, в которых Вы прежде работали, были наиболее интересны?
10. Опишите самого худшего из прежних руководителей.
11. Что именно Вам в нем не нравилось?
12. За какой срок Вы сможете показать себя на работе?
13. У Вас есть конкретные карьерные планы? и т.д.

Во время собеседования важно задавать вопросы, которые подталкивают кандидата на оценочные суждения. При оценке и анализе суждений важно обращать внимание на глаголы и прилагательные.

Также многие работодатели во время собеседования применяют технику психоанализа, но данный метод нужно использовать аккуратно, так как даже не все «гуру по оценке персонала» умеют использовать данную методику и до конца не понимают механизм ее работы. Лучше не использовать этот метод, если есть сомнения в его применении.

Если кандидат во время собеседования пытается отклониться от любых оценок, то рекомендуется не рассматривать его кандидатуру. Такой человек стремится избегать ответственности вместо попыток взять все под контроль, а такой работник не принесет пользу компании.

После собеседования компания может провести для кандидата еще дополнительное тестирование. Это даст работодателю дополнительную информацию о профессиональных навыках и умениях сотрудника.

После завершения всех этапов проверки соискателя, принимается решение о его приеме на работу и заключается трудовой договор.

Система отбора персонала совершенствуется с каждым днем, ожидания соискателей меняются, появляются новые методы отбора персонала. Например, сейчас большую роль в обществе играют социальные сети, с их помощью работодатель может легко найти кандидатов на ту или иную должность.

Также большую роль играют личные рекомендации, кандидаты пытаются найти нужную должность с помощью друзей и знакомых, что нередко бывает эффективно. Хотя, есть и другая сторона этого метода, ведь людей могут устраивать на должность по блату, а навыков для

данной работы у человека может и не быть, как следствие – торможение рабочего процесса из-за нехватки навыков у сотрудника. А ведь ну эту должность мог бы устроиться другой человек, который делал бы все быстрее и эффективнее.

Все большую популярность набирают методики, использующие искусственный интеллект для отбора персонала. Такие программы могут оценивать профиль кандидата, его поведение в соц. сетях и прогнозируют вероятность увольнения на испытательном сроке.

Хочу сказать, что в любом случае качество человеческого капитала будет определять тенденции развития бизнеса и рынка предоставляемых товаров и услуг. Поэтому вопрос эффективного найма и отбора персонала всегда будет в первую очередь актуален среди управленческих задач руководителей и отдела кадров предприятия.

Литература:

1. Валинуров И. Рекрутинг на 100%: искусство привлекать лучших! / И. Валинуров – М.: Феникс, 2014. – 128 с.
2. Иванова С. Оценка компетенций методом интервью. Универсальное руководство. / С. Иванова – М.: Альпина Паблишер, 2014. – 160 с.
3. Йеттер В.. Эффективный отбор персонала. Метод структурированного интервью./ В. Йеттер – М.: Гуманитарный центр, 2018. – 356 с.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ БИОКОТЕЛЬНЫХ В РОССИИ

А.С. Ключагина, Е.А. Гришина

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, nstueenergy@mail.ru

Научный руководитель Гришина Е.А., к.э.н., доцент

Актуальность данной темы обусловлена тем, что в настоящее время переход на более экологичное производство энергии занимает одно из главных мест среди перспективных проблем во многих странах мира. Древесное топливо позволяет сохранить запас невозобновляемых источников энергии и не несет большой вред экологии. Проведенный анализ позволил показать преимущество биокотельных над стандартными котельными.

The relevance of this topic is due to the fact that currently the transition to greener energy production occupies one of the main among the promising problems in many countries of the world. Wood fuel allows you to maintain a supply of non-

renewable energy sources and does not cause much harm to the environment. The analysis made it possible to show the advantage of bio boilers over standard boiler houses.

Одной из главных проблем в современной энергетике является рост цен на энергоресурсы, в основном на углеводородное топливо. Широко используемые энергоресурсы, например природный газ, уголь, нефть, являются исчерпаемыми.

Освоение новых месторождений в малодоступных зонах приводит к тому, что людям необходимо использовать более прочное и современное оборудование. Предоставление таких ресурсов конечному потребителю начинает становиться все сложнее, потому что появляется потребность в новых технических сооружениях для их транспортировки, поэтому происходит подорожание производства и перевозки топливных ресурсов, и, как следствие, рост цен на топливо.

В таблице представлены технико-экономические характеристики котельных топлив.

Таблица 1. Технико-экономические характеристики котельных топлив

Вид топлива	Теплотворная способность, ккал/кг	Влажность, %	Ориентировочная цена
Дизельное топливо	10300	2-3	40000 руб./т
Мазут	9600	До 5	18000 руб./т
Электричество	-	-	2.6-3,6 руб./кВт
Каменный уголь	4500	10-12	3000 руб./т
Бурый уголь	4000	12-20	2000 руб./т
Древесная щепа	2000	55	1000 руб./пл. м ³
Древесные пеллеты	4000	8-12	5500 руб./т
Природный газ	11765	2-3	5200 руб./тыс. м ³

Проанализировав данную таблицу, можно прийти к выводу, что на котельных для производства тепловой энергии возможно использование альтернативных видов топлива. Самым подходящим топливом могут стать отходы деревообрабатывающей промышленности.

Во многих странах с достаточным количеством лесов вводятся технологии сжигания биотоплива как сырья (топливная щепа, дрова, опилки), так и в виде топливных брикетов (пеллет, гранул).

Главное преимущество котельных на щепе - это доступность топлива. Щепа представляет собой отходы деревообработки, и цена

на такое топливо минимальна. Котельные на щепе также являются универсальными, то есть они могут работать не только на щепе, но и на другом твердом топливе, например пеллетах, стружке, опилках. Котельные гарантируют небольшой расход энергии, они довольно просты в эксплуатации и имеют небольшой уровень вредных выбросов в окружающую среду.

Использование древесного топлива может способствовать уменьшению негативного влияния объектов энергетики на окружающую среду. Топливная древесная щепа – экологичное топливо с содержанием золы не более 3%. При сжигании этого вида топлива в атмосферу выбрасывается ровно столько CO_2 , сколько было поглощено растением во время роста.

В процессе сжигания древесного топлива снижается температура уходящих газов, из-за этого увеличивается КПД котла и понижается загрязнение атмосферы.

В качестве объекта исследования были взяты котельные Красноярского края. По Федеральному проекту «Чистый воздух», целью которого является снижение загрязнения воздуха, проверяются технические возможности действующих котельных на предмет перевода на древесную щепу и пеллеты.

Технически и технологически проблема решается путем производства котлоагрегатов, работающих на биотопливе, или двухтопливных котлов, которые должны будут обеспечить надежность теплоснабжения в случае сбоя поставок пеллет.

Проведя расчеты, были сделан вывод, что срок окупаемости котельной при использовании покупного топлива около 2 лет.

Экономическая и общественная польза в процессе использования древесных отходов, как топлива, не используемого вследствие обработки древесины, очевидна. Расходы на техническое переоснащение котла для изготовления на древесных отходах малы, поэтому можно сказать, что срок окупаемости довольно небольшой.

Финансовая и экономическая результативность применения альтернативного топлива демонстрирует сокращение платы за счет отсутствия выбросов вредных веществ в окружающую среду. Также можно заметить, что альтернативное топливо является удобным в «эксплуатации».

Все вышеперечисленные факты показывают, что популярность и распространение древесины как топлива для котельных еще не достигли своего пика, но будущее топливного рынка за биотопливом. Наиболее выгодно использовать древесину в западной части России, которая удалена от угольных разрезов.

Конечно, котельные такого вида наиболее востребованы именно на деревообрабатывающих предприятиях, так как они могут выполнять не только функцию отопления, но и утилизируют отходы производства.

Литература

1. Биль Н. И. Использование угля и пеллетов в автономных источниках теплоснабжения, и их влияние на загрязнение приземного слоя атмосферы. – 2019. – С. 13 – 17.

2. О модернизации систем теплоснабжения населенных пунктов на основе строительства биотопливных котельных и перевода действующих котельных на биотопливо [Электронный курс] – URL: <http://lib.knigi-x.ru/23tehnicieskie/157837-1-o-modernizacii-sistem-teplosnabzheniya-naselennih-punktov-osnove-stroitelstva-biotoplivnih-k.php> (дата обращения - 12.11.2021).

3. Дербин М. В., Емельяненко А. А. К вопросу о целесообразности использования котельных установок на биотопливе [Электронный курс] // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: электрон. науч.-техн. журн. – 2015. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25116411> (дата обращения - 12.11.2021).

4. Истягина Е. Б., Молоков С. Е. Технологический процесс перевода котельной на альтернативное топливо [Электронный курс] // Образовательные ресурсы и технологии: электрон. науч.-техн. журн. – 2016. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26159744> (дата обращения - 12.11.2021).

ПОДБОР ПЕРСОНАЛА

Е.А. Кунгурцева, Л.Н.Юдина

**Новосибирский государственный технический университет,
г.Новосибирск, rainbow27z12@gmail.com**

Научный руководитель: Юдина Л.Н., к.эн., доцент

В статье рассматриваются методы и проблемы, которые применяются для подбора. Также не смотря на малый объем, автор попытался обосновать все решение и необходимость создания программы по подбору персонала.

The article discusses the methods and problems that are used for selection. Also, despite the small volume, the author tried to justify the whole decision and the need to create a recruiting program.

Подбор персонала в организацию

От качества персонала зависит успех организации. Основной задачей подбора персонала является качественное планирование потребностей в персонале, выбор из числа кандидатов такого работника, который сможет успешно выполнять порученную ему задачу и тем самым внести свой вклад в достижения общей цели организации.

Методы подбора персонала:

Как известно, существует не так уж и много методов подбора персонала. Их всего четыре

1. Рекрутер- это такой специалист, который занимается подбором персонала, заниматься во время нужды в кадрах занимается поиска и наймов работников на требуемую должность

2. Exclusivesearch (эксклюзивный поиск, прямой) – Прямой поиск персонала, направленный на поиск редких специалистов, которые в дальнейшем должны занимать высокопоставленные места. Поиск ведется как среди свободных специалистов, так и еще работающих.

3. Headhunting - Это разновидность эксклюзивного поиска для переманивания кандидата в компанию. Это непростой метод поскольку требует хороший уровень профессионализма и ресурсов.

4. Preliminaring (прелиминаринг) - привлечение на работу или стажировку перспективных молодых специалистов (студентов и выпускников вузов), многие компании заключают с учебными заведениями договор на дипломную практику, сопровождение выпускника, то есть компания приглашает на работу, подписывает срочный трудовой договор.

Если спрашивать какой метод лучше, но нельзя их сравнивать, по отдельности эти методы не так эффективны, как вместе, и поэтому многие специалисты употребляют по три или четыре метода сразу. [2]

Метод сбора информации о вакансии

Опрос и интервью - если подбирать сотрудника в отдел, мы должны поставить в известность руководителя этого отдела, спросить какими ключевыми компетенциями должен обладать его сотрудник (человек на этой должности).

Метод критических инцидентов – это тоже опрос, интервью, но мы выявляем здесь критические ситуации (форс-мажоры), сжатые сроки, несколько собеседований за раз.

Изучение документов – должностные инструкции

Наблюдение, хронометраж – это подсчет времени, которое тратиться на ту или иную функцию если это необходимо для описания должности, например, за HR- менеджерам можно понаблюдать, сколько они тратят

на времени на поиск резюме на телефонные звонки и сколько примерно они проводят собеседований в день.

Первичный отсев происходит до личного общения с руководителем, на этапе, когда резюме попадает в руки рекрутеру, которые не внимательно читают и отсеивают опытных и хороших специалистов, обращают внимание только на формальность написания резюме. Как для меня этот этап очень важен так как от этого этапа зависит многое, необходимо просто научиться «читать между строк» и тогда хорошие сотрудники будут на своих местах. [5,6]

Интервью

Проективная методика – проективные вопросы, поведение человека зависит от чего, от того что он может или от того чего он хочет - это вопросы не именно к конкретному человеку адресованы, а вообще ситуация как бы он поступил, он проецирует эти ситуации на себе. Например, в каких ситуациях оправдана ложь? Все будут отвечать на этот вопрос как бы они поступили, и соответственной он не адресован лично.

Анализ метапрограммы – это особенности мышления человека, то есть человек получает информацию и от этой информации он делает выводы. Пример некоторых метапрограмм:

1. Активный, много двигаются, есть цели, быстро говорит, а потом думает;
2. Пассивный, медленнее, много рассуждают, медленнее ходят.

Проверка достоверности информации – это средство общения, может быть вербальные и невербальные.

Вербальное проявление лжи - его можно услышать, когда изменяется темп речи, резкое увеличение слов-паразитов, уход от вопроса, и так далее.

Невербальное проявление лжи – это можно увидеть по телу человека, закрытые позы, или наоборот много двигается, чешется, глаза бегают, покраснения кожи, учащения дыхания и так далее.

Основные идеи при проведении интервью

Нет хороших и плохих кандидатов, есть подходящие и не подходящие, то есть если кандидат не подходит под эту вакансию, то значит он не подходит под эту вакансию может быть на других специальностях он больше проявит интереса и желания. [6]

Телефонное интервью

Самая главная цель телефонного интервью - это договориться о встрече, после того как HR-менеджер изучил резюме, его следует передать руководителю компании, после чего он проводит опрос по телефону в ходе которого выясняются моменты, которые не входили в

резюме и уточняет готов ли он работать в этой фирме. Если рассматривать этот метод тут есть свои плюсы и минусы.

Плюсы - телефонное интервью удобный метод, он не занимает много времени и сил, но многие руководители отказываются от него, и зря! Потому что это самый распространенный метод сейчас.

Минусы – такой не может нам передать невербальное общение, мы не можем понять, как ведет себя человек, поскольку нет зрительного контакта, что помогает лучше раскрыть личность человека и показать какие-либо его качества. [6]

Лидерство

Это очень ответственный вопрос, для человека, так же большие риски кладутся на человека, который занимается этими поисками, так как нужно точно подбирать вопросы, чтобы в итоге компания не понесла вред от неправильного подбора персонала, поэтому, нам нужен очень точный вопрос, какого человека назначить? и вот проблема, некоторые стандартные собеседования не всегда могут выявить то что нам нужно. [3,4]

Собеседование

- это самый распространенный метод отбора, который применяется везде и всегда при поиске сотрудника и подбора персонала.

Подготовка – это самый долгий и сложный, на этом этапе идет подготовка вопросов, предположение аргументов, планирование.

Вход в беседу – на этом этапе уже вы начинаете беседу, тут мы должны сделать так, чтобы собеседник был расслабленным задавать вводные вопросы, которые не входят в тему собеседования, надо расположить к себе человека.

Основная часть беседы – идет обмен мнениями, вопросами.

Выход из беседы – принятия решения или тайм-аут для принятия решения.

Анализ результатов – следует поблагодарить соискателя, сделать вывод по проделанной работе, и дальше принять решение подходит ли он нам или нет. [1,2]

Проблемы собеседования

Собеседования сами по себе ничего не гарантируют, когда мы говорим о правильном выборе сотрудника и прежде всего мы не можем предугадать психологию человека, мы не знаем, как он поступит, о чем он думает, предугадать как человек себя поведет, очень сложно [5]

Подводя итоги

Основные методы показали нам что подбор кандидата является самым тяжелым, специалисты по подбору должны понимать, что они приводят в компанию людей, которые увеличивают стоимость

компании, позволяют компании развиваться выводят компанию на новый уровень, то есть постоянное движение вверх, а не просто людей, которые выполняют свою работу.

Стоит отметить, что каждый из методов хорош по-своему, но есть те руководители, которые предпочитают отталкиваться от собственного опыта, так как есть подходящие и не подходящие конкретной компании, должности и ситуации. Но все равно методы должны использоваться не по отдельности, а вместе, так они эффективней.

Литература

1. Трудовая функция [Электронный курс] // https://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/reestr-trudovyh-funkcij/index.php?ELEMENT_ID=45645&CODE=45645
2. Кто такой HR менеджер (менеджер по управлению персоналом)? [Электронный курс] // URLL: <https://brammels.com/career/who-is-hr-manager/>
3. Современные методы подбора персонала [Электронный курс] // URLL: <https://hr-portal.ru/article/sovremennye-metody-podbora-personala>
4. Интервью при подборе персонала. [Электронный курс] // URLL: <https://www.hr-director.ru/article/66295-qqq-16-m9-02-09-2016-intervyu-pri-podbore-personala>
5. Методы подбора персонала – изучаем важные нюансы [Электронный курс] // URLL: <https://vesbiz.ru/personal/metody-podbora-personala.html>

ЗНАЧИМОСТЬ РУКОВОДИТЕЛЯ В ПРЕДУПРЕЖДЕНИИ КОНФЛИКТНЫХ СИТУАЦИЙ НА КОММЕРЧЕСКОМ ПРЕДПРИЯТИИ

В.С. Лопаткина, Л.Н. Юдина
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, lopatkina.vs@mail.ru
Научный руководитель: Юдина Л.Н., к.э.н.

Данная статья посвящена актуальной теме – значимость руководства в стрессовых для коллектива или отдельного сотрудника ситуациях, вызванных тем или иным конфликтом в рамках коммерческой организации. Большое влияние факторов внешней среды и постоянных изменений в рыночной экономике, способствуют росту напряжения в коллективе, что

влечет за собой и повышение напряжения в самой коммерческой организации. Неизбежно вышесказанное приведет к ухудшению социально-психологического климата и расхождению в совместной деятельности сотрудников компании. Важнейшей задачей руководителя, в свою очередь, является предупреждение деструктивных конфликтных ситуаций.

Abstract: This article is devoted to an urgent topic – the importance of leadership in stressful situations for a team or an individual employee caused by a conflict within a commercial organization. The great influence of environmental factors and constant changes in the market economy contribute to an increase in tension in the team, which entails an increase in tension in the commercial organization itself. Inevitably, the above will lead to a deterioration of the socio-psychological climate and discrepancies in the joint activities of the company's employees. The most important task of the head, in turn, is the prevention of destructive conflict situations.

У самых истоков данной статьи важно понимать, что же вообще такое конфликт. Конфликт – это противоречие, которое возникает между людьми или коллективами в процессе их совместной трудовой деятельности из-за непонимания или противоположности интересов, а также отсутствия согласия между двумя или более сторонами. Если разбирать коммерческую организацию, то в целом, она сама по себе в большинстве случаев имеет конфликтогенный характер [1].

Принимает она этот конфликтогенный характер по ряду причин:

1. Ограниченность ресурсов: проблема решаема, если ресурсы действительно ограничены, хуже, если сотрудникам только кажется, что их коллеги находятся в более выгодном положении.

2. Стиль управления: чрезмерный контроль ведет к нервному напряжению и срывам внутри коллектива, из-за халатного отношения со стороны менеджера снижается производительность труда, возникают споры и ссоры.

3. Низкая заработная плата: в этом случае каждый мобилизует силы и пытается добиться большей заработной платы, то есть, некоторые сотрудники готовы подставлять коллег, только ради своей выгоды, избавляясь от конкурентов такими методами.

4. Давление со стороны лидера: почти в каждой организации есть сотрудник, который продвигает негласные правила и если с ним, кто-то не согласен, начинается конфликт.

5. Искажение или недостаток информации: в ходе общения факты искажаются, появляются слухи и домыслы, в последствии чего формируется неправильное восприятие ситуации, которое влечет за собой конфликт.

6. Недостаточная сплоченность коллектива: чаще всего это происходит по вине руководства, например, если он ограничивает

людей в общении с целью увеличить производительность труда.

7. Поведенческие факторы: сотрудники не могут найти общий язык из-за разного жизненного опыта и манеры общения.

8. Назойливость коллег: мало кто хочет слушать наставления, советы, жалобы на жизнь и начальство, как только вторая сторона дает это понять, развивается конфликт.

Зачастую руководитель организации предпочитает ни в чем не разобравшись решить конфликтную ситуацию самым простым способом – административным. Административные методы решения подразумевают под собой различные штрафы, взыскания и даже увольнения. Когда руководитель идет такими методами коллектив разобщается еще больше и происходят уже разлады отделов, что может повлечь за собой серьезные внешние и внутренние проблемы коммерческой организации. Исходя из этого появляется потребность анализа инструментов предупреждения конфликтных ситуаций коммерческой компании, лицами, осуществляющими управление [2].

Руководитель – по своему существу играет решающую роль в детальном разборе того или иного конфликта между сотрудниками или целыми отделами коммерческой организации.

В коммерческой организации, роли руководителя условно можно разделить на 3 группы:

1. Роли, относящиеся к принятию решений – заключаются в определении направления роста организации, проведение корректировочных действий при сбое в работе сотрудников организации, а также ведение переговоров [3];

2. Роли информационного характера – заключаются в информировании партнеров компании о намерениях, планах и итогах по работе организации, а также сбор и донесение до сотрудников фактов и нормативных установок [3];

3. Роли межличностного характера – заключаются в поддержании общего благоприятного психоэмоционального состояния в коммерческой организации, а также мотивирование сотрудников к профессиональному росту и достижению всех поставленных целей компании [3].

Для качественной реализации всех этапов, каждой из ролей профессиональное поведение руководителя должно удовлетворять требованиям, которые М.Х. Мескон делит на две группы:

Первую группу составляют знания и умения выполнять профессиональную работу в управлении, а также и умение аргументировать принятие решений в ситуациях неопределенности и непостоянства.

Вторую группу требований составляют способности взаимодействия руководителя с людьми, а также умение держать и самого себя в руках, оставаясь спокойным и рассудительным даже в самых неприятных ситуациях, таким образом руководитель заслужит уважение со стороны персонала, ведь в свою очередь он сам их уважает.

Важным элементом управления организацией является предупреждение конфликтных ситуаций.

Предупреждение конфликтных ситуаций – было, есть и будет самым значимым моментом в управлении любой компанией. Для того чтобы конфликтных ситуаций не было, ну или хотя бы для сведения таких ситуаций к минимуму необходимо с самого начала прорабатывать между сотрудниками вопросы, касаемые должностей, прав и обязанностей, а также границ между персоналом, которые они должны соблюдать[2].

Когда - то Мураками Х. сказал очень мудрую фразу, и она сквозь года и поколения остается актуальной до сих пор: «Любая система разрушается изнутри неуправляемыми конфликтами». Если подумать над этой эту фразой, то можно четко увидеть связь компании, руководителя и конфликтной ситуации, ведь любой нерешенный спор или несогласие, в который не смог вмешаться и урегулировать хороший руководитель, рано или поздно начнет пагубно влиять на саму компанию в целом.

В завершении всего вышеизложенного, можно сделать вывод, что для урегулирования той или иного конфликтной ситуации, руководитель должен полностью направить все свои силы и энергию на нейтрализацию причины и поиск источников разлада. Руководитель коммерческой организации может создать лучшие условия труда для сотрудников своей компании, обеспечить соблюдение всех правил и традиций компании, а также проследить за систематическим проведением различных тренингов, повышений и дружеского взаимодействия между отделами. Все эти действия, как минимум улучшат психозмоциональный климат внутри коллектива и минимизируется негативное влияние внешней и внутренней среды. Если все эти моменты будут выполняться со стороны руководителя организации, то сотрудники будут также в свою очередь направлять свои силы и энергию на работу и рост организации, а не на конфликты и разлад коллектива. Коммерческая организация также будет достигать новых вершин и обязательно станет одной из лидирующих на рынке.

Литература:

1. Носс И.Н. Профессиональная психодиагностика: Психологический отбор персонала. - Методическое пособие для студентов и практических психологов. - М.; Психотерапия, – 2009. – 464 с.
2. Гагаринская Г.П. Внедрение организационного конфликт-менеджмента в систему управления // Интернет-журнал Науковедение. – 2014.
3. Кулапов М.Н., Одегов Ю.Г. «Эффективные менеджеры» - цена последствий их деятельности // Интернет-журнал Лидерство и менеджмент. – 2016.

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ БИЗНЕС – АНАЛИЗА ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ТЭК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕРАКТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ АНАЛИТИКИ «MS POWER BI»

И.С. Нахабин, Е.В. Крылова

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, krylova@corp.nstu.ru; nakhabin99@gmail.com**

Тематика статьи связана с внедрением системного бизнес-анализа для организаций топливно-энергетического комплекса с использованием интерактивных информационных систем аналитики на базе платформы MS POWER BI. Внедрение проводится для ООО «Сибирская Генерирующая Компания».

The subject of article is related to the introduction of business intelligence systems for fuel and energy-sources organizations with using interactive information analytics systems based on the MS POWER BI platform. The implementation is carried out for LLC «Siberian Generating Company».

Одной из основных проблем анализа деятельности предприятий, в нынешних условиях «информационного хауса», предстает сложность обработки данных в силу их разнородности и большого объема. Особенно это актуально для топливно-энергетического комплекса, где сталкиваются разные меры исчислений на базе в десятки тысяч данных.

Управленческие решения, зачастую, нуждаются в оперативности действий, но информация из всевозможных отчетностей требует большего количества времени для ее обработки. Более того, проблема также заключатся и в самой процессе анализа данных - через звенья этой цепи проходит ряд специалистов, каждый и которых трактует

задачу руководителя субъективно, в силу своего склада ума. Это может привести к некорректной интерпретации данных, на основе которых принимаются важные стратегические решения.

Анализ выявленной проблемы проводился в период производственной практики на ООО «СГК», где основными задачами были:

1. На каком этапе подводить последнюю линию;
2. По какому графику идет строительство;
3. Как оптимизировать данный анализ, не прибегая к оценке с помощью личного присутствия;
4. Как учитывать непредвиденные издержки в случае отклонения от графика подключения.

Для решения перечисленных задач были изучены и проанализированы следующие открытые информационные сервисы: «Интерфакс»; «N1.ru»; «НАШ ДОМ. РФ», наиболее полно отражающие информацию необходимую для решения поставленных задач.

Анализ открытых информационных сервисов представлен в таблице 1.

Исследование показало, что применение существующих сервисов не может обеспечить полное информационное раскрытие выявленной проблемы.

Использование аналитических программ для систематизации процесса подготовки отчетов способно облегчить и ускорить диагностику деятельности предприятий, и что более важно, отражать реальное положение дел на данный момент. Такое построение операционной деятельности предприятия, как единой производственно-экономической системы позволит организовать эффективную структуру управления и контроля в условиях постоянной изменчивости микро и макросреды.

Стимулом для этого может выступить уровень глобального инновационного индекса (ГИИ), представленный в статье по вычислению ГИИ на начало 2020 года уровень составил 46% (рисунок 1).

Для сохранения конкурентоспособности в отрасли необходимо внедрять новые инструменты управления и аналитики.

Развитие рынка интерактивной аналитики (BI – услуг) обусловлено развитием цифровой экономики во всем мире. Капитализация данного направления к 2025 году увеличится в 9 раз и достигнет отметки в \$147,19 млрд. Для того чтобы оставаться конкурентоспособным предприятием необходимо иметь обоснованность для принятия управленческих решений, а без внедрения современных инструментов управления это практически невозможно.

Таблица 1 – Преимущества и недостатки информационных сервисов

Сервис	Преимущества	Недостатки
Интерфакс	<ul style="list-style-type: none"> - возможность выбора нужной нам отрасли - наличие всех видов отчетностей - возможность поиска по периоду времени 	<ul style="list-style-type: none"> - не всегда есть свежие данные - загрузка пустых отчетов - есть информации толькоо застройщиках
NI.ru	<ul style="list-style-type: none"> - удобство поиска (есть сайты приложение) - сервис специально длянашего региона - самые актуальные визуальные ежемесичныеотчетности - прямой выход на застройщика через приложение 	<ul style="list-style-type: none"> - аналитические данные только, только касательные ценовой политики жилья
НАШ ДОМ. РФ	<ul style="list-style-type: none"> - множество сервисов - большая выборка -есть раздел проблемногожилья - самый большой сбор данных по России. (это незначит, что и по Региону тоже) 	<ul style="list-style-type: none"> - проблемы с поисковой системой интересующихобъектов - не самые актуальные данные - отражение фактов, а неследствий.



Рис. 1 – динамика показателей ГИИ

Литература:

1. Басовский Л.Е. Современный Стратегический Анализ // Менеджмент в России и за рубежом. – 2019. С. 112–154.
2. Бык Ф.Л., Китушин В.Г. Концептуальная модель развития и задачи менеджмента // Менеджмент в России и за рубежом. – 2017. – №6. – С. 38–44.
3. Горбенко М. В. Схема разработки проекта организации инновационного развития предприятия / М. В. Горбенко, О. В. Селиверстова ; науч. рук. В. Г. Китушин // Производственный менеджмент: теория, методология, практика : сб. материалов 2 междунар. науч.-практ. конф. , Новосибирск, 15 мая 2015 г. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2015. – С. 57-61.
4. Как развиваются инновации в России. [Электронный ресурс]: // Режим доступа: Дата обращения (11.11.2021) <https://www.vedomosti.ru/partner/articles/2019/10/09/813027-razvivayutsya-innovatsii>
5. IQBI. [Электронный ресурс]: // Дата обращения (11.11.21) Режим доступа: <https://iqbi.pro/>

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ Г. СОЧИ

Ю.А. Поляченко, А.А. Варенник

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, polyachenko8975@gmail.com**

**Научный руководитель: Варенник А.А., старший преподаватель
Новосибирского государственного технического университета**

В статье рассмотрены особенности энергосистемы г. Сочи, исследована возможность использования возобновляемых источников энергии в регионе, приведены ресурсы солнечной энергетики и ветровой энергетики.

In the article the features of the energy system of Sochi are considered, the possibility of using renewable energy sources in the region is investigated, the resources of solar energy and wind energy are given.

Снабжение потребителей доступной и качественной электроэнергией является главной задачей предприятий энергетического комплекса. Особую актуальность вопросы удовлетворения спроса на энергетические ресурсы имеет место в активно развивающихся районах.

Примером такого района является городской округ г. Сочи.

Город протягивается 145-километровой полосой между Главным Кавказским хребтом и берегом Черного моря между двумя реками на северо-западе и на юго-востоке. Сочи можно назвать уникальным по своим климатическим условиям. Главный Кавказский хребет защищает город от холодных ветров, а со стороны Черного моря приходит тепло. Сочи расположен на северной границе субтропиков, зимой иногда возможны заморозки и снегопады, но на побережье городской черты они бывают очень редко и держатся в течение одного–пяти дней, в предгорьях и горных районах снежный покров (например, в районе поселка Красная Поляна) лежит в течение 7-8 месяцев, с ноября по июнь [1].

Во многие районы города проведение сетей централизованного энергоснабжения затруднено наличием факторов географического, климатического, техногенного и др. характера. В то же время динамическое развитие региона, проведение мероприятий мирового значения, массовое жилищное и промышленное строительство, расширение курортно-рекреационной сферы являются причиной увеличения нагрузки на электросетевой комплекс.

На территории Краснодарского края функционируют четыре крупных производителя электроэнергии – Краснодарская ТЭЦ, Сочинская ТЭЦ, Адлерская ТЭЦ, Джубгинская ТЭЦ, и объекты генерации меньшей производительности такие как Краснополянская и Белореченская ГЭС, и около 40 ТЭС малой мощности. Суммарная установленная мощность действующих электростанций на территории Краснодарского края на январь 2020 составила 2370,87 МВт, том числе ТЭС – 2301,27 МВт, ГЭС – 69,6 МВт.

В целом энергосистема Краснодарского края характеризуется высоким удельным потреблением электрической энергии на душу населения, сопоставимым по величине с крупнейшими городами Российской Федерации такими как Москва и Санкт-Петербург. Удельный показатель потребления электроэнергии на человека составляет 1786 кВт*ч [2].

Краснодарский край производит около трети от потребляемой электрической энергии. Собственная выработка электроэнергии в регионе в 2020 году составила 10,6 млрд кВт*ч. Потребление за данный период – 27,419 млрд кВт*ч. Дефицит генерирующих мощностей на территории Кубанской энергосистемы покрывался за счет перетоков электроэнергии и мощности из смежных энергосистем Республики Адыгея и Республики Крым, Ставропольского края и Ростовской области ОЭС Юга [3].

При этом в городе Сочи не наблюдается дефицита собственной энергии. По программе строительства к Олимпиаде-2014 в Сочинском регионе создавались новые объекты энергоснабжения и производилась реконструкция распределительной сети города. На данный момент имеющиеся потребители покрывают генерирующие станции района – Адлерская ТЭС (360 МВт), Сочинская ТЭС (160 МВт) и Краснополянская ТЭС (48 МВт) [2]. Таким образом, общая мощность генераций города Сочи составляет 565 МВт, а суммарная мощность потребления по оценкам администрации г. Сочи на данный момент около 550 МВт.

Относительно стоимости электроэнергии можно сказать следующее. Тарифы формируются исходя из стоимости ресурса и стоимости его транспортировки, это объясняется различными природно-климатическими условиями регионов, а также особенностями их коммунальной инфраструктуры. Поэтому тарифы могут отличаться друг от друга в разных городах, республиках и областях.

Одноставочный тариф на электроэнергию в 2020 году в Краснодарском крае для городского населения составил 4,81 и 5,02 руб./кВт*ч за первое (с 1.01.2020 по 30.06.2020) и второе полугодие (с 1.07.2020 по 31.12.2020) соответственно [4]. В 2021 году для этой же категории потребителей установлены тарифы 5,02 и 5,24 руб./кВт*ч [4,5]. Данные значения выше средних показателей по России: в 2020 году средний тариф на электроэнергию в стране составил 3,4 руб./кВт*ч, в 2021 году – 3,6 руб./кВт*ч [6]. Завышенный тариф может объясняться дефицитностью региона, а также высокими затратами на строительство сетей вследствие особенностей рельефа региона.

Существующая энергосистема предполагает в основном традиционное централизованное энергоснабжение и подключение новых потребителей осуществляется путем строительства сетей. Проведенная оценка типового проекта строительства линий электропередач в Краснополяском районе показала эффективность подобных проектов. Значение срока окупаемости проекта 4 года, что значительно ниже расчетного срока проекта (20 лет). Индекс рентабельности инвестиций составил 1,13, что подтверждает целесообразность вложений в строительство линии электропередач.

Однако анализ выявил достаточно высокую стоимость строительства сетей, большая часть которой ложится на потребителя. Все это заставляет задуматься о возможных альтернативах сетям, в качестве которых рассматриваются децентрализованные возобновляемые источники энергии.

Краснодарский край по оценкам специалистов имеет хороший потенциал для использования ВИЭ.

По анализу территориального распределения ветровых ресурсов по Краснодарскому краю можно сделать вывод, что ветроэнергетика перспективна для прибрежных территорий, так как мощность ветрового потока растёт по мере приближения к побережью Черного моря [7], например в Темрюкском, Туапсинском районах, в городах Анапа и Новороссийск. В районах же с горным рельефом, удаленных от береговой линии, скорость ветра будет недостаточной для использования ветроустановок. Например, среднегодовая скорость ветра на высоте 10м в Краснополянском районе составляет 1,2 – 1,4 м/с, а средний показатель в течение года в г. Сочи составляет около 2,5 м/с [8-11]. В этом заключается одна из основных проблем ветровых станций: их эффективность мала при низких скоростях ветра, стартовая скорость большинства современных ВЭУ располагаться в пределах 2,5 - 4 м/с [12].

Краснодарский край обладает значительными ресурсами солнечной энергии. При расчете систем на солнечных батареях первостепенное значение имеет фактическая инсоляция – это величина, определяющая количество облучения поверхности пучком солнечных лучей, которая определяется на основе наблюдений. Среднегодовая инсоляция в Сочи равна 4,64 кВт*ч/м² в сутки [13], годовая суммарная солнечная радиация –1571,4 кВт*ч/м² [14]. Данный показатель достаточно высок по сравнению с другими регионами.

Одно из возможных препятствий для СЭС – это наличие достаточной площади для установки панелей. Для предварительной оценки рассмотрим типового потребителя – гостиницу из 3 этажей на 45 номеров. Среднее потребление зимнего месяца (декабря) по расчетам составляет 3475 кВт*ч. Если учесть, что инсоляция в декабре (наименее солнечный месяц) 62 кВт*ч/м² [14], то для энергоснабжения понадобится 56 м² панелей, которые могут поместиться на крышу. Однако потребуются накопитель энергии, т.к. расчет примерный и не учитывает разницу в выработке и потреблении в течение суток.

Таким образом, нарастающее потребление электроэнергии в г. Сочи, динамика роста тарифов и географические факторы затрудняют проведение централизованного энергоснабжения в отдельные районы и делают его дорогостоящим. Вместе с этим город, благодаря своим природно-климатическим характеристикам, является привлекательным для развития генерации электроэнергии с использованием ВИЭ. Эти факторы позволяют говорить о перспективности применения солнечных электростанций в г. Сочи. В то же время для выбора наиболее

рационального варианта энергоснабжения следует рассмотреть установку СЭС более подробно и привести в сравнение по стоимости и эффективности с централизованным снабжением, что может быть выбрано в качестве направления дальнейших исследований.

Литература:

1. Вокруг света. Энциклопедия [Электронный ресурс]. – URL:<https://www.vokrugsveta.ru/encyclopedia/index.php?title=Сочи>.
2. Министерство топливно-энергетического комплекса и жилищно-коммунального хозяйства Краснодарского края. Официальный сайт [Электронный ресурс]. – URL:<https://newgkh.krasnodar.ru/activity/elektroenergetika>.
3. Электростанции Кубани в 2020г увеличили выработку электроэнергии на 2,5%, потребление снизилось на 0,8% [Электронный ресурс] // Интерфакс Россия.– URL:<https://www.interfax-russia.ru/south-and-north-caucasus/news/elektrostancii-kubani-v-2020g-uvlechili-vyработку-elektroenergii-na-2-5-potreblenie-snizilos-na-0-8>.
4. Приказ от 11 декабря 2019 года N 33/2019-э»Об установлении цен (тарифов) на электрическую энергию для населения и потребителей, приравненных к категории население, по Краснодарскому краю и Республике Адыгея».
5. Приказ от 11 декабря 2020 года N 41/2020-э «Об установлении цен (тарифов) на электрическую энергию для населения и потребителей, приравненных к категории население, по Краснодарскому краю и Республике Адыгея».
6. Рейтинг стран по стоимости электроэнергии [Электронный ресурс] // Новости Швеции, Дании, Норвегии, Исландии, Финляндии и России.– URL:<https://svspb.net/novosti/rejting-stran-elektroenergii/>.
7. Григораш О.В., Хамула А.А., Квитко А.В. Ресурсы возобновляемых источников энергии Краснодарского края [Электронный ресурс]// Научный журнал КубГАУ. – 2013. - №92(08).– URL:<http://ej.kubagro.ru/2013/08/pdf/12.pdf>.
8. Карта ветров России [Электронный ресурс] // Energywind. – URL:<http://energywind.ru/recomendacii/karta-rossii/yug/krasnodarskij-kraj>.
9. Архив погоды в Красной Поляне [Электронный ресурс]. – URL:https://global-weather.ru/archive/krasnaya_polyana_sochi
10. Архив погоды в Красной Поляне [Электронный ресурс]. – URL:https://gp5.ru/Архив_погоды_в_Красной_Поляне
11. СНиП 230199 Строительная климатология. Утверждены приказом № 259/пр от 24.12.2020 г.

12. Быстрицкий Г.Ф. Основы энергетики: учебник. - М.: Инфра-М, 2005. - 278 с.

13. Инсоляция в Сочи [Электронный ресурс]. – URL:<https://nova-sun.ru/insolyatsiya-v-rossii/sochi>

14. Таблицы инсоляции для расчета СК [Электронный ресурс]. – URL:<https://optontechno.ru/informatsiya/stati/tablitisy-insolyatsii-dlya-rascheta-sk/>.

МОТИВАЦИЯ ПЕРСОНАЛА

З.О. Степанова, Л.Н. Юдина

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, rainbow27z12@gmail.com**

Научный руководитель: Юдина Л.Н., к.э.н., доцент

В статье рассматриваются понятия мотивации. Также автором обоснована необходимость создания понятной и ясной программы по мотивации персонала.

The article discusses the concepts of motivation. Also, the author substantiates the need to create an understandable and clear program for staff motivation

Мотивация играет не малую роль в управлении персоналом. В современной экономике существуют множество факторов влияющих на управление персоналом, так как с их помощью любая организация становится эффективнее в производительности труда, прибыльнее и конкурентоспособнее.

Одним из важных факторов в управлении персоналом и менеджменте является мотивация. Мотивация – это побуждение к действию, то, что должно предать твоим действиям активность с целью удовлетворения необходимых потребностей. В менеджменте это неотъемлемая часть рабочего процесса.

У мотивированного сотрудника рабочий процесс проходит намного эффективнее, и все запланированные задачи он успевает выполнять вовремя.

В системе мотивации есть две главные составляющие:

1. Материальная форма мотивации;
2. Нематериальная форма мотивации.

Материальная форма мотивации выражена в денежной форме, в виде премий и дополнительных выплат.

Нематериальная форма представляет собой общественное признание, повышение квалификации или же организацию корпоративных праздников.

Во многих организациях есть проблемы связанные с темпами работы персонала. Это может проявляться как и в обстановке рабочего пространства, так и в отсутствии даже малейшего вознаграждения за продуктивную работу.

Давайте выделим основные моменты, которые могут влиять на мотивацию персонала:

- организация и условия труда,
- обстановка рабочего места,
- заработная плата,
- вознаграждения,
- взаимоотношения с руководством, сотрудниками
- личные проблемы (не связанные с работой) и т.д.

Существует два вида мотивации:

1. Положительная
2. Отрицательная.

Положительная мотивация проявляется в стимуле работы из-за заработной платы, какого-либо вознаграждения или просто из-за приятной атмосферы.

Отрицательная мотивация у персонала возникает из-за боязни наказания, уменьшения прибыли и получения отрицательных эмоций, как от руководства, так и от более успешных сотрудников. Давайте разберёмся в этом чуть лучше.

К примеру, мы работаем в организации, нам необходимо выполнить какое-либо задание. Вам было бы комфортнее выполнять его, думая, что за это вам повысят заработную плату в этом месяце или, боясь, того, что вас уволят или понизят в должности? Конечно! На этом примере сразу видно, какая мотивация эффективнее. Естественно руководству удобнее наорать на вас, чем платить дополнительные деньги, но со временем вы совсем потеряете какую-либо мотивацию или уволитесь.

С основными моментами о мотивации сотрудников мы ознакомились. Но как внедрять эту систему мотивации?

Для того чтобы внедрить систему мотивацию, в первую очередь необходимо выявить проблемы организации. Это может быть и низкая эффективность труда, текучесть кадров, сложный режим работы и т.д.

Далее нужно составить список задач, в которые входили бы и повышение производительности труда и сплочение коллектива. Затем необходимо провести систему онлайн-тестирования, которая позволит лучше узнать, оценить сотрудника, как он относится к организации.

После того, как данные все получены, нужно разработать систему мотивацию, установить последовательность. Рассчитать финансовые затраты. Считаю, что нужно составить для работников детальные инструкции, где будет описана система оценивания, как будут начисляться штрафы и бонусы. Затем по истечению короткого времени подбиваются результаты мотивации и если результаты не подходящие, неудовлетворительные, то нужно систему усовершенствовать. Повторно делается опрос, и ставятся цели заново.

Нужно понимать, что от успешно продуманной системы мотивации во многом зависит успешность организации.

«Для оказания помощи руководству в выявлении внутренних потребностей персонала была разработана и предложена методика для предприятий, включающая следующие пункты»: [5].

- «Провести анкетирование всех сотрудников. Проанализировав анкетирование составить мнение о ситуации в организации со стороны сотрудников.

- Организовать собрание, обсудить результаты и предпринять необходимые изменения» [5].

- «Провести такой метод, как мозговой штурм среди руководителей на тему: «Повышение мотивации сотрудников».

- По результатам метода разработать план, сроки, ответственные за мероприятия и привести в исполнение.

- Обеспечив персонал к увеличению мотивации на предприятии.

- Через определенное время провести повторное анкетирование и сравнить результаты с первым.» [5].

Система мотивации персонала, конечно же, не может быть одинаковой для всех компаний и должностей. Должны учитываться стратегические цели, планы компании, а также особенности должности. Именно в этом случае систем мотивации станет инструментом, который позволит менеджменту компании получить желаемый результат.

Системы мотивации персонала включают в себя:

- систему прямой материальной мотивации (система оплаты труда);
- систему косвенной материальной мотивации (система бенефитов);
- систему нематериальной мотивации.

Для того чтобы эффективно управлять людьми, важно знать причины и мотивы, интересы, которые привели человека именно на это предприятие, а также механизм проявления их в трудовом поведении человека.

В конечном итоге грамотно выстроенная система мотивации персонала является инструментом, повышающим стоимость компании – через усиление эффективности работы всего коллектива в целом и

значительное снижение затрат на подбор и адаптацию персонала (при снижении текучести кадров компании) [4, с. 120].

Литература;

1. Мотивация персонала в организации [Электронный ресурс]. – [https://vk.com/away.php?to=https%3A%2F%2Fhrhelpline.ru%2Fmotivatsiya-personala%2F&cc_key=]

2. Мотивация персонала: реалии и перспективы [Электронный ресурс]. – https://vk.com/away.php?to=https%3A%2F%2Fcyberleninka.ru%2Farticle%2Fn%2Fmotivatsiya-personala-realii-i-perspektivy%2Fviewer&cc_key=

3. Мотивация персонала как фактор повышения эффективности функционирования организации [Электронный ресурс]. – [https://vk.com/away.php?to=https%3A%2F%2Fcyberleninka.ru%2Farticle%2Fn%2Fmotivatsiya-personala-kak-faktor-povysheniya-effektivnosti-funktsionirovaniya-organizatsii%2Fviewer&cc_key=]

4. Мерманн Э. Мотивация персонала: инструменты мотивации для успеха организации. [Текст] / Э. Мерманн. - Харьков: Гуманитарный Центр, 2012. –182 с.

5. Кузнецова, И. Н. Мотивация персонала / И. Н. Кузнецова. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2018. — № 21 (207). — С. 258-259. — URL: <https://moluch.ru/archive/207/50827/> (дата обращения: 19.11.2021).

СОВРЕМЕННЫЕ ПРАКТИКООРИЕНТИРОВАННЫЕ ПОДХОДЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СПЕЦИАЛИСТОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

К.П. Тюменцева

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, tmntsva98@mail.ru**

Научный руководитель: Троянова Е.Н., канд.экон.наук., доцент

В статье рассмотрены стратегические направления развития цифровизации дополнительного образования специалистов энергетической отрасли, как одной из основных возможностей удовлетворения потребности в новых специалистах-энергетиках. Также выявлены достоинства и недостатки дистанционной формы переподготовки и повышения квалификации в сфере энергетики.

Abstract. The article discusses strategic directions for the development of digitalization of additional education of specialists in the energy industry, as one of the main opportunities to meet the need for new energy specialists. The advantages and disadvantages of the remote form of retraining and advanced training in the field of energy are also revealed.

Сегодня многие страны, в том числе и Россия, вступили в эпоху цифровой трансформации, решения которой уже применяются во всех сферах жизни общества. В связи с этим, на данный момент в программах дополнительного образования специалистов набирает популярность дистанционный формат обучения.

Данный вид обучения обладает рядом преимуществ:

1. Возможность совмещения курсов без отрыва от производства, поскольку специализированные платформы для обучения персонала не требуют непосредственного присутствия на занятиях. Такими современными платформами являются Moodle, ATutor, Eliademy, Forma LMS, iSpring Learn.

2. Приступить к переподготовке сотрудник сможет вне зависимости от формирования группы и самостоятельно выбрать график и режим обучения.

3. Снижение затрат на переподготовку, поскольку стоимость очных образовательных программ в учебных заведениях выше дистанционных.

4. Образовательной организацией обеспечивается доступ для обучающихся к обширной базе учебных материалов, с которыми можно ознакомиться в любой момент.

5. Ориентация сотрудников на самообразование.

Вместе с тем, с применением дистанционных образовательных технологий выделяется ряд проблем:

1. Технические сбои в системе дистанционного обучения (образовательные организации должны иметь сотрудника, обеспечивающего бесперебойную и корректную работу образовательной платформы).

2. Проблема аутентификации сотрудника при итоговом контроле знаний.

Для российской энергетики в настоящее время подготовка квалифицированных кадров является одной из острых проблем, с которыми сталкиваются предприятия энергетической отрасли. Одним из основных факторов влияния на возникновение данной проблемы является снижение престижа и популярности профессии энергетика, как среди молодых специалистов, так и опытных специалистов старшего поколения. Это привело к тому, что преемственность между

сотрудниками была нарушена, знания не передавались, повышение квалификации не проводилось.

Главной же проблемой кадрового кризиса в энергетике в настоящий момент времени является внедрение цифровизации и программ с технологиями искусственного интеллекта, к обслуживанию и применению которых еще не готова подавляющая часть кадрового состава энергетических предприятий. Современная наука в корне изменила характер инженерной деятельности, сделав ее многогранной, соединяющей одновременно знания нескольких научных областей, вследствие этого возникла потребность в новых специалистах-энергетиках, для которых органично сочетаящимися и предельно важными были бы знания энергетики и цифровых технологий [1].

Решение данной проблемы участники энергетического рынка нашли в профессиональной переподготовке кадров. Большая часть энергетических предприятий создает собственные учебные центры, в которых действующие сотрудники организаций проходят повышение квалификации. Вместе с тем, работники могут пройти переподготовку на базе высших учебных заведений по предложенным образовательным программам.

Инструментом найденного решения может выступить дистанционная форма обучения, поскольку программы повышения квалификации применимы для действующих сотрудников электроэнергетических компаний, и направлены на приобретение знаний и навыков в сфере новых технологий.

При подготовке новых образовательных программ необходимо ориентироваться на информационные технологии, которые начинают применяться в энергетике, следовательно, крайне необходимо дать возможность при обучении получить знания в области цифровых преобразований в электроэнергетике и освоить современные программные продукты, которые используются при проектировании и анализе энергетических объектов. Такими программами являются RastrWin, AutoCADElectrical, EUROSTAG, АРУ РЗА, АРМ РЗА, ModelStudio CS, EnergyCS и многие другие [2].

Вместе с тем, с масштабированием цифровых решений в области энергетики появилась возможность использования алгоритмов искусственного интеллекта для прогнозирования выработки и потребления энергии, оптимизации работы оборудования, мониторинга данных о фактическом энергопотреблении, обработки результатов мониторинга состояния энергетических объектов, управления нагрузкой и пр. На данный момент уже внедряются системы виртуального мониторинга и прогностики состояния генерирующего оборудования, цифровой диспетчеризации энергетических объектов. В городах и

регионах строятся и вводятся в эксплуатацию цифровые подстанции, внедряются в эксплуатацию системы дистанционного управления оборудованием на магистральных линиях электропередачи [3].

Таким образом, программы переподготовки и повышения квалификации должны быть ориентированы на обучение специалистов энергетики в следующих областях: интеллектуальные системы в электроэнергетике, цифровые подстанции, цифровая техника и микроконтроллеры управления в электроэнергетике, автоматизированные системы управления и автоматическое в цифровой электроэнергетике, интеллектуальный учет и измерения в электроэнергетике, сетевые технологии в объектах электроэнергетики, кибербезопасность в электроэнергетике и др. [2].

Литература:

1. Щедрин В.А. Актуальные проблемы кадрового обеспечения электроэнергетики в современных условиях//Вестник Чувашского университета. – 2019. – № 2. – С. 179–187.

2. Профиль: Цифровые технологии в электроэнергетике: [Электронный ресурс]. URL: https://ciu.nstu.ru/kaf/aees/study_activity/specs/spec_info?id_facultet_okso=3205&id_training_form=1&dist=0&id_spec=7841 (дата обращения: 15.10.2021).

3. Текслер А.Л. Цифровизация энергетики: от автоматизации процессов к цифровой трансформации отрасли// Энергетическая политика. – 2018. – № 5. – С. 3–6.

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА ЛИНИЯХ 0,4-10кВ

К.П. Тюменцева

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, tmntsva98@mail.ru

Научный руководитель: Гришина Е.А., к.э.н., доцент

В статье рассмотрены стратегические направления повышения надежности электроснабжения в распределительных электрических сетях напряжением 0,4-10 кВ. Выявлены достоинства метода перехода на самоизолированные несущие провода (СИП), а также показана необходимость внедрения автоматических коммутационных аппаратов-реклоузеров, ведущих к наибольшему сокращению частоты отключения потребителей и повышению надежности электроснабжения.

The article discusses the strategic directions for improving the reliability of power supply in distribution electrical networks with a voltage of 0.4-10 kV. The advantages of the method of switching to self-insulated carrier wires (SIP) are revealed, and the need for the introduction of automatic switching devices-reclosers is shown, leading to the greatest reduction in the frequency of disconnection of consumers and an increase in the reliability of power supply.

Для обеспечения надежного электроснабжения потребителей создаются электрические сети, системы связи, транспортные, информационные и другие структуры. Непрерывность развития данных структур, оперативное и техническое обслуживание, а также постоянная модернизация и ремонт напрямую связаны с проблемой обеспечения и поддержания их надежности и эффективности [1].

Чтобы создать высокоэффективную, экономичную и в то же время надежную систему эксплуатации, возникает необходимость рассмотрения нескольких вариантов развития электрической сети, используя количественные оценки надежности. Все сравниваемые варианты должны обеспечивать одинаковый полезный отпуск электроэнергии потребителям при заданном режиме потребления мощностей [2], поддерживая надежность, требования к которой определяются «Правилами устройств электроустановок» [3].

Наиболее повреждаемым элементом в системе электроснабжения являются воздушные линии (ВЛ). Надежность функционирования ВЛ характеризуется количеством и длительностью отключений, вероятностью повреждения (отказов), а также длительностью плановых отключений при ремонтах [1]. Согласно [4], 76% аварийных отключений происходит именно на ВЛ, причем большая часть отключений происходит по причине замыканий в линиях напряжением 0,4 – 10 кВ. Наиболее часто встречающимися факторами, вызывающими аварийные ситуации в сетях электроснабжения, являются гололедно-изморозевые нагрузки, падения деревьев и динамическое поведение проводов в ветровом потоке, а именно пережоги проволок проводов ввиду их опасных сближений и схлестываний. Все это приводит к коротким замыканиям, ослабленному состоянию проводов, их обрыву, и, как следствие, к нарушению электроснабжения.

Решением данной проблемы является переход в воздушных электросетях 0,4-10 кВ на самонесущие изолированные провода (СИП). СИП-это жгут, в конструкции которого имеется несколько алюминиевых токопроводящих жил и нулевая несущая жила [5]. Особенностью данного провода является изоляция, выполняемая из полиэтилена и покрывающая все жилы или только некоторые. Полиэтилен не требует больших затрат и обладает такими свойствами,

как: влагонепроницаемость, механическая прочность, высокое пробивное напряжение. Для упрочнения структуры данного материала, его подвергают нагреву в среде нейтрального газа под давлением или производят добавление соединений кремния с водородом-силанов. Эти мероприятия позволяют повысить температурный предел материала в режиме короткого замыкания до 250°C. Ввиду использования дополнительных материалов и стадий обработки провода, стоимость СИП выше стоимости неизолированного провода приблизительно на 20%. Однако в дальнейшем первоначальные затраты в процессе эксплуатации и ремонта энергосистем быстро окупаются и компенсируются рядом преимуществ [6]:

1. Строительство воздушных линий с изолированными проводами (ВЛИ) возможно без специальной подготовки трассы, соответственно отсутствует необходимость в вырубке широкой просеки;

2. Простота конструктивного исполнения опор (отсутствие траверс и изоляторов);

3. Возможность прокладки СИП по фасадам зданий, что исключает установку части опор и повышает экономию на затратах;

4. Малый риск коротких замыканий между нулевой несущей и токопроводящими жилами;

5. Повышение надежности в зонах интенсивного образования гололеда и налипания мокрого снега;

6. Меньшая вероятность обрыва проводов ввиду высокой механической прочности жил;

7. Возможность проведения ремонтных работ и технического обслуживания под напряжением, без отключения потребителей;

8. Снижение потерь напряжения и технических потерь электрической энергии вследствие малого реактивного сопротивления СИП.

Все эти преимущества позволяют сократить объемы и время аварийно-восстановительных работ, снизить эксплуатационные затраты более, чем на 80%. Таким образом обеспечивается высокая надежность и бесперебойное электроснабжение потребителей.

Помимо перехода на СИП, эффективным методом повышения надежности в воздушных распределительных сетях 6-10 кВ является секционирование ВЛ коммутационными аппаратами [7]. На данный момент времени в существующих распределительных сетях в большей мере применяется ручной подход к управлению аварийными режимами. При таком подходе работа секционных аппаратов напрямую зависит от решений диспетчера. Вместе с тем, при повреждении, защитный аппарат на отходящем фидере отключается, и потребители теряют питание на продолжительное время, поскольку для ликвидации

повреждения на фидер выезжает оперативная бригада и вручную определяет поврежденный участок.

В связи с этим возникает необходимость реализации автоматизированного (децентрализованного) подхода к управлению аварийными режимами. Суть данного подхода заключается в применении аппаратов на базе интеллектуальных устройств, анализирующих параметры режимов работы сети и, согласно установленному алгоритму, автоматически локализующих место повреждения. При таком подходе выводится из строя только определённый участок сети, что позволяет снизить число пострадавших потребителей, увеличить быстродействие устройств релейной защиты и автоматики (РЗА) и уменьшить длительность перерыва в электроснабжении.

Универсальным автоматическим пунктом секционирования на среднем напряжении является вакуумный реклоузер, представляющий собой совокупность вакуумного коммутационного модуля со встроенной системой измерения токов и напряжения и шкафа управления с микропроцессорной системой РЗА [7]. Реклоузер не обслуживается на протяжении всего срока службы, что является большим преимуществом. Вместе с тем, данный аппарат выполняет большое количество функций, таких как: измерение параметров режимов работы сети, их обработка и передача информации; оперативные переключения в распределительной сети; автоматическое выделение и отключение поврежденного участка линии; автоматическое повторное включение (АПВ); автоматический ввод резерва питания (АВР); проведение самодиагностики [7].

Поскольку высокое число коротких замыканий в сетях самоустраняемы, то отключение линии и дальнейшее применение АПВ устраняет фактор повреждения, что снижает возможность длительного перерыва в электроснабжении, это в свою очередь повышает надежность функционирования воздушных линий. Таким образом, внедрение реклоузеров является еще одним эффективным методом повышения надежности электроснабжения, а также ведет к наращиванию уровня автоматизации в управлении электрическими сетями.

Литература:

1. Васильев А.П., Турлов А.Г. Средства обеспечения надежности электроснабжения потребителей // Проблемы энергетики. – 2006. – № 3-4. – С. 19–34.
2. Ананичева С.С., Котова Е.Н. Проектирование электрических сетей : учеб. пособие. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2017. — 164 с.

3. Правила устройства электроустановок. Все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7. М.: Норматика, 2016. 464 с.

4. Трофимова, С.Н. К вопросу о надёжности электроснабжения сельских потребителей // Наука ЮУрГУ: материалы 66-й научной конференции. Секции технических наук. – Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2014. – С. 1495–1499

5. Самонесущий изолированный провод СИП: [Электронный ресурс]. URL: <https://lemzspb.ru/samonesushchiy-izolirovannyy-provod-sip-eto/> (дата обращения: 15.11.2021).

6. Преимущества ВЛИ с СИП: [Электронный ресурс]. URL: https://studwood.ru/1632871/matematika_himiya_fizika/preimuschestva (дата обращения 16.11.2021).

7. Воротницкий В., Бузин С. Реклоузер – новый уровень автоматизации и управления ВЛ 6(10) кВ // Новости электротехники. – 2005. – № 3(33).

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ЗАКУПОК ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ РЕГИОНАЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

А.Д. Хорошилова

**Новосибирский государственный технический университет
г. Новосибирск**

Актуальность выбранной темы обусловлена необходимостью повышения эффективности закупочной деятельности в рамках реализации государственной программы в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности.

The relevance of the chosen topic is due to the need to improve the efficiency of procurement activities in the framework of the implementation of the state program in the field of energy conservation and energy efficiency.

Государственные целевые программы в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности отражают основные направления энергетической политики образования в области энергосбережения и повышения энергоэффективности и способствуют решению социально-экономических, энергетических и экологических

проблем путем рационального и экологически ответственного использования энергетических ресурсов.

Программа разрабатывается на основании и в соответствии с нормативно-правовыми актами:

Некоторые положения Программы могут учитывать законные (нормативные акты) и программы местных органов самоуправления.

Перечень мероприятий включает в себя предусмотренные Федеральным законом об энергосбережении и другими нормативными правовыми актами мероприятия, классифицируемые по следующим направлениям:

- мероприятия по энергосбережению и повышению энергетической эффективности жилищного фонда;

- мероприятия по энергосбережению и повышению энергетической эффективности систем коммунальной инфраструктуры;

- мероприятия по энергосбережению в бюджетных организациях муниципального образования и повышению энергетической эффективности этих организаций;

- мероприятия по энергосбережению, повышению энергетической эффективности и сокращению потерь энергетических ресурсов;

- мероприятия по модернизации оборудования, используемого для выработки и передачи коммунальных ресурсов, в том числе замене оборудования на оборудование с более высоким коэффициентом полезного действия.

В Новосибирской области действует программа по энергосбережению и повышению энергетической эффективности Новосибирской области на 2020–2025 годы. По итогам реализации программы доля затрат на энергоресурсы должны снизиться более чем на 6 %. [2]

Целью программы является снижение энергоемкости валового регионального продукта, переход к рациональному и экологически ответственному использованию энергетических ресурсов. Из бюджета Новосибирской области на ее реализацию планируется направить 924 млн руб., из местных бюджетов – 240 млн руб., из внебюджетных источников – 12,67 млрд руб.

В разрезе данной программы реализуется большое количество государственных и муниципальных закупок в рамках Федерального Закона от 05.04.2013 года «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ и услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд» № 44-ФЗ.

В Федеральном Законе от 05.04.2013 г. №44-ФЗ прописаны основные принципы контрактной системы, ее задачи и функции, регламентированы закупочные процедуры, описано планирование. [2]

В рамках программы с 2015 года было проведено большое количество государственных закупок (запросов котировок, аукционов и конкурсов), но к сожалению, не все из них были проведены успешно.

В данном случае под успешностью понимается не только окончательный результат закупки – заключение контракта, но и фактическое выполнение работ, оказание услуг и поставка товара согласно условиям, прописанным в государственном контракте.

Самой большой сложностью является грамотное составление технического задания или описания объекта закупки для проведения конкурсной процедуры. Законодательство Российской Федерации не позволяет покупать в конкурсных процедурах конкретный товар, конкретную торговую марку, конкретный товарный знак, не позволяет прописывать условия, которые ведут к нарушению конкуренции на рынке.

В связи с этим заказчики вынуждены проводить сравнительный анализ, усреднять многие технические характеристики, что приводит к поставкам некачественных товаров, выполнению некачественных работ.

Еще одной проблемой, значительно осложняющей процесс, является неорганизованность коммуникаций и обмена знаний между сотрудниками. Имеется в виду отсутствие инженерных знаний у специалистов по закупкам, а у инженеров знаний по Федеральному Закону № 44-ФЗ.

В связи с вышеизложенным для успешного процесса реализации государственной программы необходимо проводить следующие организационные мероприятия:

1. Назначение лица, ответственного за мероприятия по энергосбережению;
2. Обучение персонала, ответственного за обеспечение мероприятий по энергосбережению;
3. Модернизация порядка работы предприятия и совершенствование работы систем освещения, вентиляции и водоснабжения;
4. Проведение разъяснительной работы с сотрудниками по вопросам Энергосбережения;
5. Разработка и введение системы поощрения сотрудников учреждения за действия по энергосбережению и повышению энергетической эффективности;
6. Повышение технических знаний в вопросах энергосбережения отдельных категорий сотрудников предприятия;
7. Повышение знаний в государственном заказе у отдельных категорий сотрудников предприятия;
8. Составление грамотной технической документации;
9. Стимулирование на заключение энергосервисных контрактов.

Литература

1. Федеральный Закон от 05.04.2013 «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ и услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд» № 44-ФЗ;

2. Постановление Правительства Новосибирской области от 16.03.2015 № 89-п «Об утверждении государственной программы Новосибирской области «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности Новосибирской области».

ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА КАК ФАКТОР ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ОБРАЗОВАНИЯ СПЕЦИАЛИСТОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

В.С. Черёмушкин

**Новосибирский государственный педагогический университет,
г. Новосибирск, tchsw2012@yandex.ru**

**Научный руководитель: Троянова Е.Н., канд. экон. наук, доцент
кафедры информационных систем и цифрового образования
Института физико-математического, информационного и
технологического образования.**

В статье освещена тема развития и внедрение искусственного интеллекта в очень значимой сфере нашей жизни - энергетики. В развитие данной темы рассматриваются такие вопросы, как основные процессы энергетического производства и применение в них искусственного интеллекта. Цифровую трансформацию образования специалистов энергетической отрасли, как один из основных требуемых факторов повышения эффективности применения технологий искусственного интеллекта в данной экономической сфере.

The article highlights the topic of the development and implementation of artificial intelligence in a very important area of our life - energy. In the development of this topic, such issues as the main processes of energy production and the use of artificial intelligence in them are considered. Digital transformation of the education of specialists in the energy industry, as one of the main required factors for improving the efficiency of the use of artificial intelligence technologies in this

Искусственный интеллект проникает абсолютно во все отрасли. И сфера электроэнергетики не стала для него исключением. В ней процессы цифровизации проходят на всех уровнях. Например, ключевые узлы станций в системах генерации электроэнергии сегодня

оборудуются системами диагностики и «умного» мониторинга, таких как EcoStruxure™ Asset Connet и Power Monitoring Expert. Для эффективного распределения энергии в электрических сетях применяют системы Smart Grids, а конечные потребители электроэнергии все чаще прибегают к технологии «Умный дом» или же устанавливают смарт-счетчики, которые накапливают и передают информацию, а также осуществляют расчеты за коммунальные услуги.

Внедрение решений, использующих предиктивную аналитику, помогает существенно сокращать расходы компаний и минимизировать появление критических ситуаций. Технологии предиктивной аналитики позволяют осуществлять постоянный контроль технического состояния оборудования, предусматривать плановое обслуживание, ремонт и устранение отказов тех или иных устройств и установок. [2]

На сегодняшний день IT-специалисты обладают большим опытом в оцифровке информации. Нейронные сети используют данные, которые предварительно собраны, но часто их объема недостаточно, он ограничен или нерепрезентативен. Поэтому ответственность за агрегацию информации из разных источников и за риски принятия решения лежит в первую очередь на специалистах, а задача современных технологий — предоставить максимум возможных инструментов для принятия более эффективных и объективных решений.

Технологии искусственного интеллекта в энергетике используются в обработке данных, автоматизации рутинных задач, распознавании и интерпретации речи и голоса, анализе видеопотока и изображений. Более широко стали применяться рекомендательно-прогностические системы, которые функционируют самостоятельно или в составе цифровых двойников.

Перспективным направлением применения искусственного интеллекта в энергетике является работа с конечными потребителями. Примером практического применения, является проект «Робот-оператор», запущенной группой «Россети».

Искусственный интеллект может применяться и для оптимизации энергопотребления, прогнозирования выработки погодозависимых ВИЭ и ГЭС, диагностики повреждения объектов. Для решения задач по прогнозу потребления энергоресурсов используются модели машинного обучения, которые анализируют исторические данные и дополнительные параметры.

В электроэнергетике создаются интеллектуальные системы принятия решений по управлению аварийно-восстановительными работами после крупных технологических нарушений (предиктивная аналитика). Предиктивная аналитика будет внедряться в составление годовых

графиков ремонтов, модернизации и реконструкции оборудования, а также при оценке рисков возникновения отказов оборудования, оценки готовности к отопительному сезону [1].

Применение технологий искусственного интеллекта является основным фактором, формирующим систему основных требований для специалистов энергетической отрасли, активно заменяет тех специалистов, которые выполняли задачи, требующие аналитики. То есть замещение ушло далеко за пределы выполнения рутинной работы на производстве. С каждым годом эта тенденция будет только усиливаться. [3]

Цифровизация меняет структуру рынка труда. Ряд профессий под влиянием искусственного интеллекта исчезают, но взамен повышается востребованность других специальностей. Например:

1. Data Scientist. Это специалисты, которые создают системы, способные обрабатывать большие массивы данных, анализировать их и формировать выводы. Дата-сайентисты учат компьютер самообучению, что является основой полноценной работы ИИ. И сейчас наблюдается сильный дефицит специалистов по машинному обучению.

2. Архитекторы автоматизации. Они создают алгоритмы всех необходимых процессов. То есть сценарии поведения роботов при различных условиях.

3. Копирайтеры, создающие тексты для диалоговых интерфейсов и ботов. Это скорее модернизация существующей профессии. Если раньше такие специалисты писали скрипты для сотрудников службы поддержки и отдела продаж, то сейчас они работают над построением эффективных коммуникаций между роботом и человеком.

4. Системные операторы. Те ИИ, которые внедряются сейчас, нельзя назвать сильными. Они могут допускать ошибки (хотя и редко), и не всегда демонстрируют нужный уровень гибкости в процессе принятия решений. По этой причине необходим человек, который будет следить за работой системы. Его активность будет минимальной, но от этого важность подобной работы не снижается.

В июне 2018 г президиумом Совета при Президенте РФ по стратегическому развитию и национальным проектам была утверждена Национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации». Одним из направлений развития которой, является «Кадры для цифровой экономики». Основная цель его решение задач по обеспечению подготовки высококвалифицированных кадров для цифровой экономики, частью которой является энергетический сектор. [4]

Несомненно, с приходом цифровых технологий и современных решений в корне меняется и подход к обучению специалистов. Сегодня

человек должен иметь возможность в любой момент получить доступ к необходимым знаниям, не отходя от рабочего места. В этом ему будут помогать решения в области виртуальных помощников, чат-ботов и баз знаний, созданных с помощью искусственного интеллекта на основе внутренних ресурсов компаний (историй переписок, документов, акронимов, терминов и так далее).

Специалисты энергетической отрасли после перехода на новый уровень развития искусственного интеллекта будут вынуждены получить новые навыки и переквалифицироваться, в противном случае на их место придут новые кадры. Конечно же для этого будут созданы специальные курсы и образовательные программы, позволяющие специалистам получить новые теоретические знания, а также обучиться работе с новыми системами, в которых присутствует искусственный интеллект.

Со временем искусственный интеллект будет внедряться абсолютно во все отрасли энергетической промышленности, и то образование, которое дается при обучении специалистов потеряет свою актуальность, и с каждым годом образовательные программы будут меняться, и произойдет цифровая трансформация образования специалистов энергетической промышленности, что приведёт к минимизации совершения ошибок при работе специалистов в будущем, уменьшит погрешности и неточности в их работе, а также увеличит прибыль компаний в связи с сокращением штата сотрудников и уменьшения возможных ошибок и аварий в энергетической отрасли.

Литература:

1. Энергетики России сэкономят триллионы рублей за счет искусственного интеллекта [Электронный ресурс] // Научный портал «Атомная энергия 2.0» – 2020 – URL: <https://www.atomic-energy.ru/articles/2020/12/23/110061> (дата обращения: 06.11.2021).

2. Незаменимый человек. Искусственный интеллект в энергетике [Электронный ресурс] // Журнал «Energyopolis», федеральное русскоязычное издание. – 2019 – URL: <https://energy-polis.ru/cifra/4716-nezamenimyj-chelovek-iskusstvennyj-intellekt-v-jenergetike.html> (дата обращения: 6.11.2021)

3. Как искусственный интеллект меняет рынок труда [Электронный ресурс] // Проект «Хабр» - 2020 - URL: <https://habr.com/ru/company/vdsina/blog/512506/> (дата обращения: 06.11.2021).

4. Цифровая экономика Российской Федерации // [Электронный ресурс] // Официальный сайт Правительства РФ - 2019 - URL: <http://government.ru/info/35568/> (дата обращения: 06.11.2021).

СОДЕРЖАНИЕ

НАУЧНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ – ЭНЕРГЕТИКА

Секция СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ

Богомолова Ю.И., Иванова Е.М.	Новосибирск	3
Боярова Д.А.	Новосибирск	7
Григорьев Д.А., Логинова Е.С.	Северск	12
Гришин Н.В.	Новосибирск	17
Денисов В.В.	Новосибирск	21
Дулов И.В., Хатыленко Р.М., Фролова Я.А.	Новосибирск	25
Жукова Е.С.	Новосибирск	30
Захарченко А.С.	Новосибирск	34
Зеленских А.А.	Новосибирск	39
Иванова Е.М., Богомолова Ю.И.	Новосибирск	43
Курбатова А.Е.	Новосибирск	47
Лактионов А.И.	Новосибирск	51
Ламонов И.А.	Новосибирск	55
Липунова К.В.	Новосибирск	59
Ляпко А.С.	Новосибирск	64
Малахов А.В., Фролов М.Ю.	Новосибирск	68
Михайлишин Л.А.	Новосибирск	73
Гладков Д.С., Мячина А.В.	Новосибирск	77
Неустроев А.Д., Сергиевичев Л.Ю.	Новосибирск	82
Ожюлас В.А.	Новосибирск	87
Перегудов В.В.	Новосибирск	92
Подлеснов Е., Дорогов М.В., Нигаматдянов М.Г.	Санкт-Петербург	96
Пятакова А.В.	Новосибирск	100
Свиридова П.А.	Новосибирск	105
Сергеев Н.Н.	Новосибирск	109

Софронеев А.А.	Новосибирск	114
Степанович Р.Ю., Фролов М.Ю.	Новосибирск	119
Шипицин Т.П.	Новосибирск	123
Юрков С.А.	Новосибирск	128

**Секция РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА,
ВЫСОКОВОЛЬТНОЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ,
ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

Авдюхин А.В.	Новосибирск	132
Аверьянов С.С.	Новосибирск	136
Бочкарев Г.Д.	Самара	141
Графов М.Д.	Казань	145
Жексенаева А.Г.	Новосибирск	149
Коротченко В.В.	Новосибирск	154
Косенкова О.Д.	Новосибирск	157
Кривошеин Д.В., Логинова Е.С.	Северск	161
Лебедев А.А.	Новосибирск	165
Любецкая Ю.Н.	Новосибирск	170
Новикова А.В.	Новосибирск	173
Сегеда О.Д.	Новосибирск	178
Селивановский М.В, Федянин А.Л.	Северск	182
Сидорова А.А., Корнилович Д.В.	Новосибирск	184
Литвинов И.И., Титов В.А., Трофимов А.С.	Новосибирск	189
Файль И.А.	Новосибирск	192
Фёдорова В.А., Кириченко В.Ф.	Новосибирск	196
Халиман А.О.	Новосибирск	200
Хасбиуллин М.И.	Казань	206
Чеганова Н.Ф., Мюльбаер А.А., Черненко Н.А.	Новосибирск	210
Шевченко В.Е.	Новосибирск	215
Шмаков И.В., Любецкая Ю.Н., Идубалин А.А.	Новосибирск	218

Секция ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

Ахметжанова Э.У.	Москва	222
Вагабова Н.С.	Новосибирск	226
Волков Н.И.	Новосибирск	230
Демина Ю.Э.	Новосибирск	232
Жукова А.С.	Новосибирск	237
Каршакова Е.С.	Новосибирск	239
Писарев Д.С., Ковалев Д.С., Рогалев А.Н.	Москва	243
Елистратов С.Л., Кругбелый В.А.	Новосибирск	244
Лебедева К.М., Ларин Б.М.	Иваново	248
Миронова Н.В.	Новосибирск	252
Нямба И.Р.	Иваново	257
Павлычев С.А.	Иваново	261
Паушкина К.К., Плешко А.О.	Томск	263
Чуйко В.В., Саввин Н.Ю.	Белгород	268
Садкин И.С.	Новосибирск	273
Семькин Д.А.	Самара	276
Тиханов М.В., Пузырев Е.М.	Барнаул	281
Ткаченко П.П., Шлегель Н.Е.	Томск	285
Умирзаков Ф.У.	Новосибирск	290
Умирзаков Ф.У.	Новосибирск	294
Хорева В.А., Елистратов С.Л.	Новосибирск	298
Швецов Н.С., Елистратов С.Л.	Новосибирск	301

**Секция МЕНЕДЖМЕНТ В ЭНЕРГЕТИКЕ
И В ЭЛЕКТРОМАШИНОСТРОЕНИИ**

Андрейченко Е.Ю., Юдина Л.Н.	Новосибирск	305
Батырева О.В.	Иваново	308
Быстров А.Д., Гришина Е.А.	Новосибирск	313
Дороднова Д.Л., Юдина Л.Н.	Новосибирск	317
Ключагина А.С., Юдина Л.Н.	Новосибирск	320
Ключагина А.С., Гришина Е.А.	Новосибирск	324
Кунгурцева Е.А., Юдина Л.Н.	Новосибирск	327
Лопаткина В.С., Юдина Л.Н.	Новосибирск	331
Нахабин И.С., Крылова Е.В.	Новосибирск	335
Поляченко Ю.А., Варенник А.А.	Новосибирск	338
Степанова З.О., Юдина Л.Н.	Новосибирск	343
Тюменцева К.П.	Новосибирск	346
Тюменцева К.П.	Новосибирск	349
Хорошилова А.Д.	Новосибирск	353
Черёмушкин В.С.	Новосибирск	356

НАУКА. ТЕХНОЛОГИИ. ИННОВАЦИИ

**XV Всероссийская научная конференция молодых ученых,
посвященная Году науки и технологий в России
г. Новосибирск, 06-10 декабря 2021 г.**

Сборник научных трудов в 10 частях

Часть 4

Под редакцией Соколовой Д.О.

Подписано в печать 15.12.2021. Формат 60×84/16. Бумага офсетная.

Уч.-изд. л. 21,15. Печ. л. 22,75. Тираж 100 экз. Заказ № Р-00573

Отпечатано в типографии

Новосибирского государственного технического университета

630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20