

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

**ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ**

II ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

Казань, 18–19 марта 2020 года

Материалы конференции

В двух томах

Том I

Казань
2020

УДК 621.3

ББК 31.2

П78

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО «КГЭУ» И.В. Ившин

доктор технических наук, профессор филиала ФГБОУ ВО УГНТУ

в г. Салавате Р.Г. Вильданов

Редакционная коллегия:

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

П78 **Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники:** матер. II Всерос. науч.-практ. конф. (Казань, 18–19 марта 2020 г.): в 2 т. / редкол.: Э.Ю. Абдуллазянов (гл. редактор) и др. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2020. – Т. 1. – 294 с.

ISBN 978-5-89873-561-6 (т. 1)

ISBN 978-5-89873-560-9

Опубликованы материалы II Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники» по следующим научным направлениям:

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

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

Как правило, сохранена авторская редакция. Ответственность за содержание материалов докладов возлагается на авторов.

УДК 621.3

ББК 31.2

ISBN 978-5-89873-561-6 (т. 1)

ISBN 978-5-89873-560-9

© Казанский государственный
энергетический университет, 2020

СЕКЦИЯ 1. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

УДК 621.315.3: 621.316.99

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕСУРСА КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

¹Азаров Николай Васильевич, ²Огреничев Александр Васильевич,
³Полуянович Николай Константинович, ⁴Дубяго Марина Николаевна
^{1,2,3,4}ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», г. Ростов-на-Дону
¹s.t.a.l.k.e.r999@yandex.ru, ²ogrenicheval@mail.ru,
³nik1-58@mail.ru, ⁴w_m88@mail.ru

Разработана нейросеть для определения температурного режима токоведущей жилы силового кабеля. Проведен сравнительный анализ экспериментальных и расчетных характеристик распределений температуры, при этом исследовались различные нагрузочные режимы работы и функции изменения тока кабеля. Разработка интеллектуальной системы прогнозирования температуры жилы кабеля способствует планированию режимов работы электросети с целью повышения надежности и энергоэффективности их взаимодействия с объединенной энергосистемой. Основное внимание в работе уделяется управлению пропускной способностью кабельных систем электроснабжения в режиме реального времени.

Ключевые слова: искусственный интеллект, нейронные сети, термофлуктуационные процессы, изоляционные материалы, прогнозирование, надежность систем энергоснабжения.

FORECASTING RESOURCE OF CABLE LINES WITH USING THE METHOD OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

¹Azarov Nikolay Vasilyevich, ²Ogrenichev Alexander Vasilyevich,
³Polyuyanovich Nikolay Konstantinovich, ⁴Dubyago Marina Nikolaevna
^{1,2,3,4}Southern Federal University, Rostov-on-Don
¹s.t.a.l.k.e.r999@yandex.ru, ²ogrenicheval@mail.ru,
³nik1-58@mail.ru, ⁴w_m88@mail.ru

A neural network was developed to determine the temperature regime of a current-carrying core of a power cable. A comparative analysis of the experimental and calculated

characteristics of the temperature distributions was carried out, while various load modes and the functions of changing the cable current were investigated. The development of an intelligent system for predicting the temperature of the cable core contributes to the planning of power grid operating modes in order to increase the reliability and energy efficiency of their interaction with the integrated power system. The main attention in the work is given to real-time control of the capacity of cable power supply systems.

Keywords: Artificial intelligence, neural networks, thermal fluctuation processes, insulation materials, forecasting, reliability of energy supply systems.

Важной характеристикой силовых кабельных линий (СКЛ) систем электроснабжения является нагрузочная способность, определяемая тепловым режимом, по которой рассчитываются площадь поперечного сечения и их пропускная способность [1, 2]. Допустимый длительный ток кабеля зависит от ряда факторов [3]:

$$I_{\text{ДОП}} = f(n, \theta_{\text{ж}}, \theta_{\text{с}}, \tau, S, R, P_n),$$

где n – количество жил в кабеле, шт; $\theta_{\text{ж}}$ – допустимая температура нагрева жилы кабеля при продолжительной нагрузке, °С; $\theta_{\text{с}}$ – температура окружающей среды, °С; S – суммарное тепловое сопротивление кабеля и окружающей среды, град см/Вт; R – электрическое сопротивление токопроводящей жилы кабеля, Ом; P_n – мощность, рассеиваемая в изоляции кабеля за счет диэлектрических потерь, Вт.

Уменьшение n , $\theta_{\text{с}}$, R , S и P_n , а также увеличение $\theta_{\text{ж}}$ способствует повышению $I_{\text{ДОП}}$.

Наиболее перспективным методом диагностики и прогнозирования термофлуктуационных процессов представляется метод искусственных нейронных сетей (ИНС), а для их обучения могут быть использованы в том числе открытые базы данных мониторинга энергетических систем и погодных явлений.

Ресурс изоляционных материалов зависит от таких параметров, как температура, ток, влажность [4, 5], поэтому исследуется температурное поле в сечении СКЛ (рис. 1). Задача создания нейросетей для оценки пропускной способности, расчёта и прогнозирования температуры жил СКЛ в режиме реального времени на основе данных системы температурного мониторинга с учетом изменения токовой нагрузки линии и внешних условий теплоотвода является актуальной. Помимо оценки пропускной способности к задачам мониторинга теплового режима относят оценку температуры жилы в режиме реального времени

и своевременное предотвращение токовых перегрузок СКЛ, а также требуется прогнозирование температур жил кабелей в режиме реального времени [6].

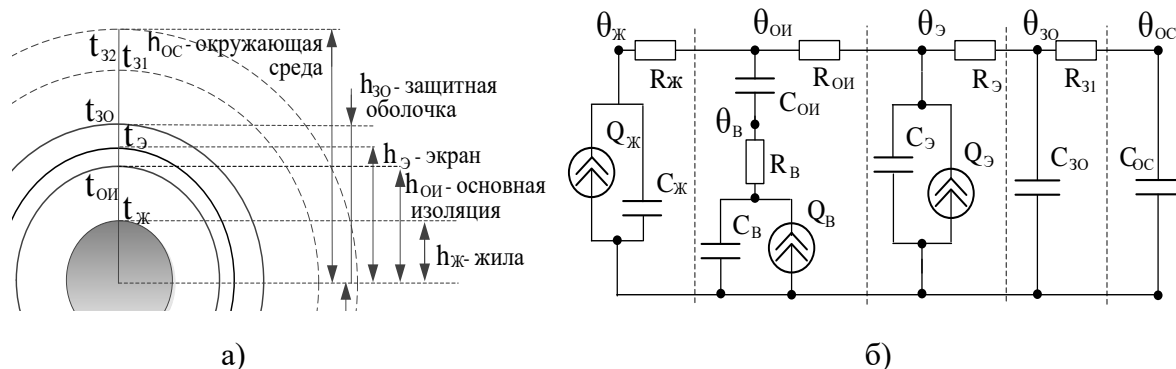


Рис. 1. Сечение кабеля и его эквивалентная тепловая схема замещения

Качество прогноза во многом зависит от выбранной математической модели [7]. Для определения температуры токоведущей жилы на основе температур внешней изоляции и окружающей среды было решено выбрать рекуррентную сеть, которая по принципу действия схожа с сетью Эльмана. Причина выбора обусловлена необходимостью прогнозирования нелинейных изменений температуры.

В ходе исследований был получен большой объем экспериментальных данных, которые были использованы для обучения программируемой сети. В качестве прогнозируемых параметров были определены: ток жилы кабеля, температура на поверхности кабеля, температура окружающей среды. Исходная выборка экспериментальных данных была изначально разбита на две группы: обучающую выборку для формирования прогнозной модели (изоляция СКЛ – без повреждений); контрольную выборку для оценки качества прогнозной модели (изоляция СКЛ – с повреждениями) [8]. В качестве обучающей выборки (задачника) были использованы результаты измерения динамики температуры на поверхности защитной оболочки силового кабеля в широком диапазоне значений токов жилы силового кабеля от 450 до 650 А. Разработанная конфигурация ИНС для прогнозирования температуры жилы СКЛ представляет собой рекуррентную сеть [9]. Блок-схема алгоритма обучения искусственной нейронной сети представлена на рис. 2. После расчета градиентных спусков в пространстве весов W_{ji} и W_{kj} и их корректировки вычисляется суммарная ошибка по всем образцам (блок 7) и производится проверка выполнения условия точности расчетов (блок 8).

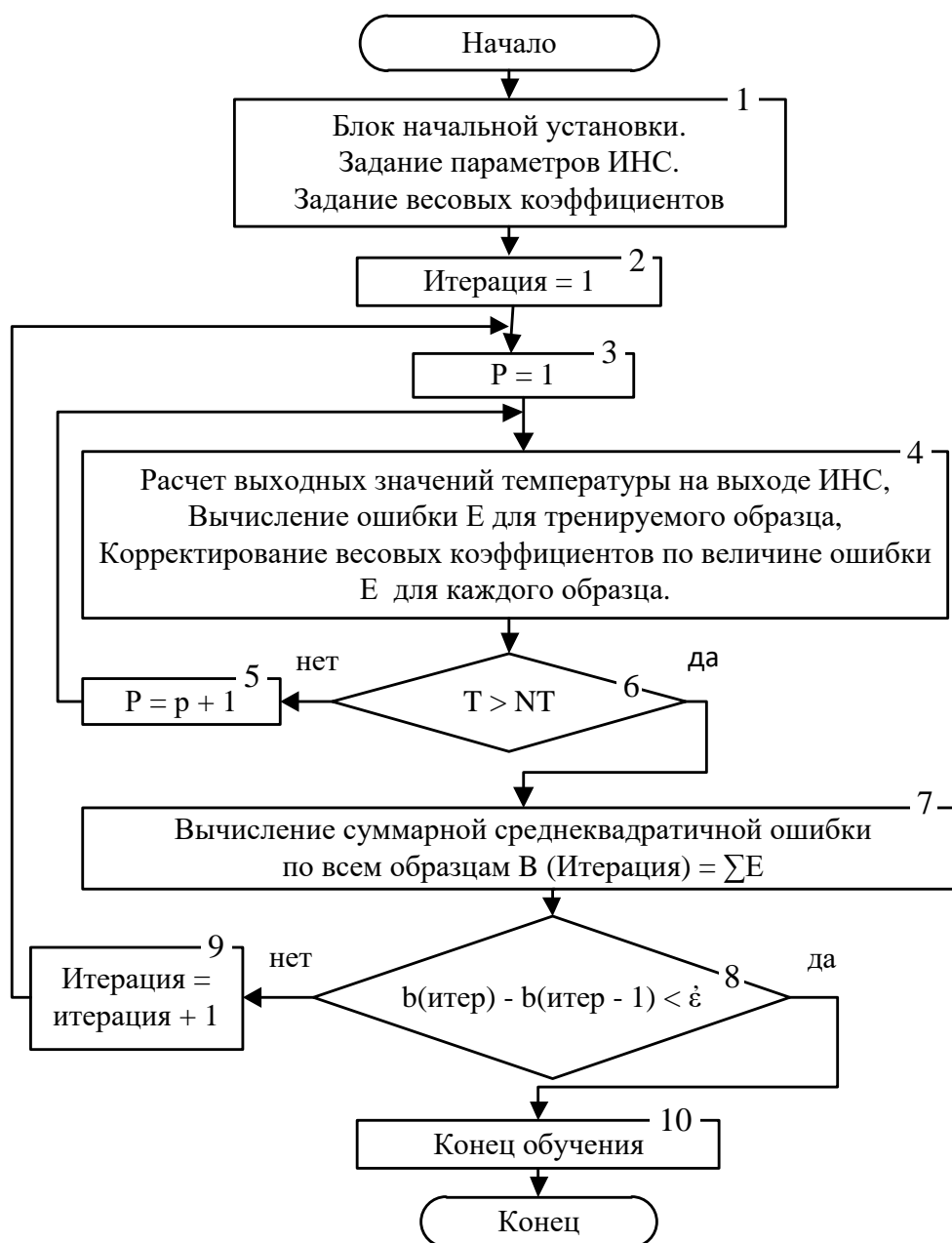


Рис. 2. Блок-схема алгоритма обучения ИНС

В случае выполнения условия точности расчетов процесс обучения заканчивается, в противном случае – процесс обучения повторяется.

Далее были исследованы термофлуктуационные процессы в силовом кабеле АПвПу г-1х240/25-10 в режиме реальной диаграммы действующего значения тока жилы кабеля (см. таблицу) и для разработанной модели прогноза с использованием искусственных нейронных сетей (ИНС) на ретроспективных данных температур исследуемого кабеля за 2015–2019 гг. В работе приведены результаты прогноза температуры жилы кабеля ($\theta_{ж}$) с помощью ИНС для исследуемого образца № 1.

Результаты прогнозирования температуры $\theta_{ж}$ образца № 1

Ток жилы, А	Средняя температура токоведущей жилы, °С	Средняя спрогнозированная температура токоведущей жилы, °С	Средняя величина ошибки прогноза, °С	Средняя величина ошибки прогноза, %
440	34,22	34,47195	1,045001	3,031455
450	38,75	42,567	3,817004	8,967048
455	38	41,10783	3,107835	7,560201
460	39,155	42,80692	3,879702	9,063258
470	38,28	38,79928	2,442176	6,294385
475	35,03	36,72509	1,695086	4,615608
480	37,47	36,26801	1,201989	3,314185
485	36,125	36,16032	0,609145	1,684567
490	36,435	38,53838	2,103384	5,457894
495	32,785	37,63504	4,850041	12,88704
500	36,185	36,09096	1,1344	3,143169
510	42,59582	39,47206	3,155809	7,995045
515	37,095	37,93254	0,837542	2,207977
525	39,655	37,49795	3,234812	8,626637
530	37,375	37,97731	0,724587	1,907947
540	47,065	43,94306	3,121937	7,104504
580	45,845	48,68854	2,843538	5,840262
600	48,47	48,55757	1,442092	2,969861

Средняя ошибка прогноза температуры жилы кабеля $\theta_{ж}$ при различных токах жилы (см. таблицу) не превышает 13 %, что свидетельствует о возможности применения метода искусственных нейронных сетей для целей прогнозирования температуры жилы кабеля по температуре на поверхности $\theta_{з,о}$ (рис. 1, б). Построены графики экспериментальной температуры исследуемых образцов и по полученным данным обучающей выборки и нейросети (рис. 3) на основе целевых и прогнозных данных для анализа погрешности нейросети при расчетах.

При анализе было определено, что максимальное отклонение данных, полученных от нейросети от данных обучающей выборки, составило менее 13 %, что является вполне приемлемым результатом. Предложена методика оценивания текущего состояния изоляции и прогнозирования температурного режима токоведущей жилы силового кабеля.

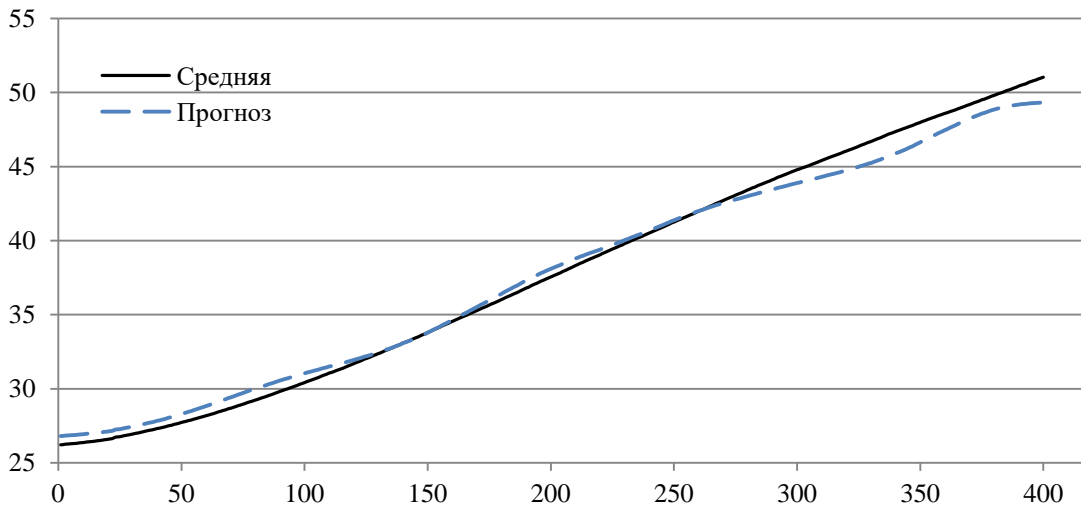


Рис. 3. График экспериментальной температуры образца № 1 и график, построенный на основе данных обучающей выборки и нейросети

Полученные результаты могут быть применены в экспертной системе прогнозирования технического состояния и остаточного ресурса ЭИ силового кабеля.

Работа выполнена при поддержке гранта «Разработка теоретических основ и методов построения интеллектуальных многосвязных систем управления процессами производства, транспортировки, распределения и потребления энергии», № ВнГр-07/2017-15.

Литература

1. Khaitan et al., «Design Techniques and Applications of Cyber Physical Systems: A Survey», IEEE Systems Journal, 2014.
2. Дубяго М. Н., Полуянович Н. К., Пшихопов В. Х. Оценка и прогнозирование изоляционных материалов силовых кабельных линий // Известия ЮФУ. Технические науки. 2015. №7 (168). С. 230–237.
3. Бачелис Д. С., Белорусов Н. И., Саакян А. Е. Электрические кабели, провода и шнуры: справ. М.: Энергия, 1971. 704 с.
4. Dubyago M. N., Poluyanovich N. K. Thermal processes of the isolating materials in problems of nondestructive diagnostics of the main and distributive power stations. EAI Endorsed Transactions on Energy Web and Information Technologies 18(16): e3. ж. SJR SCImago Journal & Coutry Rank.
5. Dubyago M. N., Poluyanovich N. K., Estimation of Insulating Materials Depreciation and Forecasting the Residual Cable Resource Considering the Current Core Temperature // International Journal of Materials, Mechanics and Manufacturing. 2019. Vol. 7. № 1. Pp. 415–420.

6. Шумилова Г. П., Готмэн Н. Э., Старцева Т. Б. Прогнозирование электрических нагрузок ЭЭС с использованием методов искусственного интеллекта // Сб. трудов Рос. симпозиума по энергетике. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2001. С. 103–106.

7. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс / 2-е изд. М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. 1104 с.

8. Сидоров С. Г., Вихарев А. В., и др. Многопроцессорная реализация нейросетевого алгоритма прогнозирования изменения характеристик электрической изоляции // Вестник ИГЭУ. 2011. Вып. 1. С. 99–101.

9. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации / Пер. с польского И.Д. Рудинского. М.: Финансы и статистика, 2002. 344 с.

УДК 621.316.06

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ В КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЯХ В СЕТЯХ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

Андреев Антон Андреевич

ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет», г. Тольятти

Bikurina@yandex.ru

Наиболее часто повреждаемыми элементами электрической сети являются линии электропередач. В зависимости от вида повреждения в линиях могут быть однофазными и многофазными. Так как наиболее частыми видами повреждений являются однофазные, то именно их определение находится в приоритете. В сетях среднего напряжения, работающих с изолированным режимом нейтрали, однофазные замыкания на землю не являются короткими замыканиями [1]. Также для воздушных линий более 90 % этих повреждений относятся к самоустраняемым. Для кабельных линий те же самые повреждения не могут быть устранены сами собой. Даже так называемый «заплывающий пробой» со временем перерастет в многофазное замыкание и вызовет аварийное отключение. Поэтому поиск однофазных замыканий на землю (ОЗЗ) в кабельных линиях необходимо производить сразу после их возникновения.

Ключевые слова: кабельные линии, изолированная нейтраль, однофазные замыкания на землю, «земля в сети», датчик замыкания на землю, ток утечки, трансформатор напряжения, электроснабжение.

DEFINITION OF EARTH CIRCUITS IN CABLE LINES IN NETWORKS WITH ISOLATED NEUTRAL

Andreev Anton Andreevich
Togliatti State University, Togliatti
Bikurina@yandex.ru

The most commonly damaged electrical network elements are power lines. Depending on the type, damage to the lines can be single-phase and multiphase. Since the most common types of damage are single-phase, it is their determination that is in priority. In medium voltage networks operating with isolated neutral mode, single-phase earth faults are not short circuits. Also, for overhead lines, more than 90% of these damage are self-repairing. For cable lines, the same damage cannot be repaired by itself. Even the so-called "floating breakdown" will eventually develop into a multiphase circuit and cause an emergency shutdown. Therefore, the search for single-phase earth faults (SPEF) in cable lines must be carried out immediately after their occurrence.

Key words: cable lines, isolated neutral, single-phase earth faults, "earth in the network", earth fault sensor, leakage current, voltage transformer, power supply.

Основная часть электрических городских сетей России выполнена кабельными линиями. В качестве защиты от замыканий на землю в основном применяются только обмотки контроля изоляции трансформаторов напряжения, которые производят фиксацию данных повреждений на всей секции шин. Другие существующие релейные защиты направленного и ненаправленного действия до сих пор не могут селективно и однозначно указать повреждение при однофазных замыканиях на землю (ОЗЗ). Поэтому проблема оперативного определения поврежденного участка остается до сих пор актуальной для кабельных сетей [2]. В качестве примера приведена цепочка подстанций городских электрических сетей с учетом их текущего состояния (рис. 1).

Согласно схеме электроснабжения городских потребителей, каждая питающая подстанция запитана последовательно друг относительно друга. Распределительный пункт (РП-1) подключен от соответствующей главной понизительной подстанции, которая в свою очередь является отходящим присоединением местной электростанции. Трансформаторные подстанции (ТП-1, ТП-2, ТП-3) подключены «по цепочке» от соответствующих секций шин РП-1, обеспечивая, таким образом, необходимое разделение источников питания для потребителей.

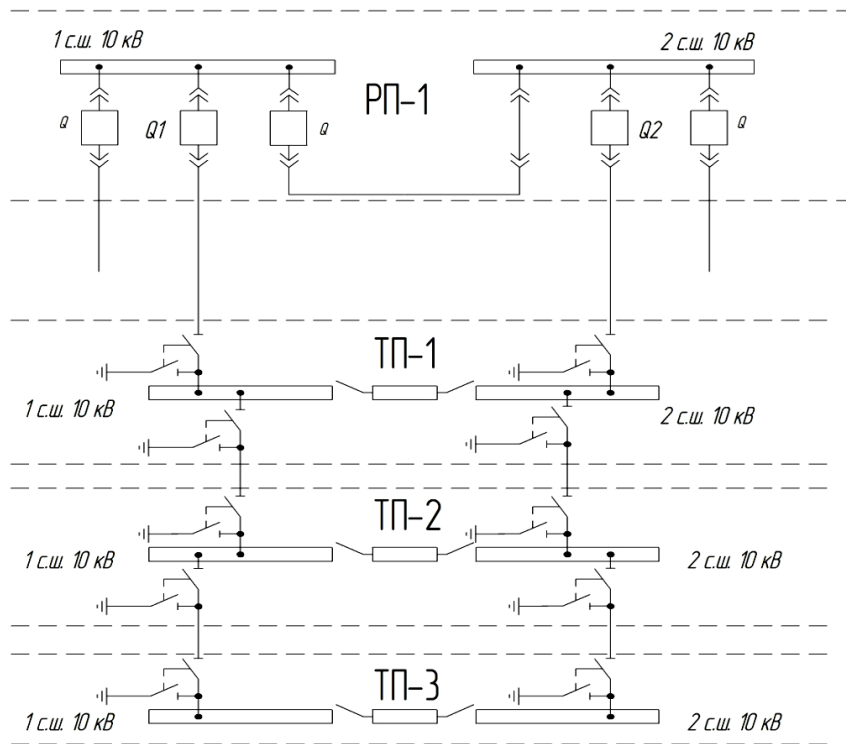


Рис. 1. Упрощенная электрическая схема цепочки подстанций

Коммутационная аппаратура подстанций по высокой стороне выполнена обычными выключателями нагрузки, а в качестве перемычки между секциями шин смонтированы шинные мосты с соответствующими секционными разъединителями.

При возникновении замыкания на землю оперативный персонал ГПП докладывает информацию соответствующему диспетчерскому центру. Так как во время ОЗЗ утечка происходит по всей секции, то количество отходящих присоединений на ГПП с «землей» всегда несколько [3]. Этот фактор затормаживает поиск «земли», так как появляется необходимость проверить все эти присоединения, указанные релейной защитой. А каждое присоединение – это РП со своими присоединениями. В результате этого, поиск нужно выполнять с поочередным отключением присоединений на соответствующих РП с контролем «земли». Это затягивает выявление замыкания, ведь вероятность «угадать» с РП всегда разная. Более того, после обнаружения «земли» в соответствующей отключенной цепочке, необходимо ещё определить между какими ТП находится поврежденный кабель (рис. 2).

В качестве решения этой проблемы предлагается произвести внедрение в оборудование ТП индикации ОЗЗ. Как известно, при возникновении «земли в сети» происходит перекося напряжений относительно нейтральной точки, и в нейтрали возникает так называемый ток утечки [4].

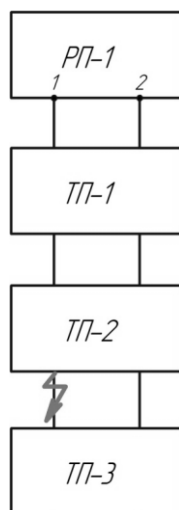


Рис. 2. Структурная схема цепочки подстанций

Он фиксируется трансформаторами напряжения, трансформаторами тока нулевой последовательности на ГПП и РП. Для селективной работы необходимо это фиксирование ещё осуществлять и на ТП. Для этого на кабельный ввод каждой подстанции необходимо установить датчик замыкания на землю (ДЗЗ). Их принцип действия схож с трансформаторами тока нулевой последовательности. При возникновении несимметрии в датчике наводится ток утечки, который при превышении порогового значения вызывает его срабатывание. Эти устройства применяются совместно с датчиками короткого замыкания (ДКЗ), которые позволяют определить поврежденную кабельную линию в результате уже межфазного КЗ (рис. 3).

Таким образом, при возникновении «земли» между ТП-2 и ТП-3 срабатывают соответствующие датчики, которые зафиксировали наибольшую утечку. Передачу этой информации возможно производить в одном блоке с охранной сигнализацией, которая присутствует на каждой ТП. Эти сведения передаются GSM связью на пульт телемеханики диспетчерского центра. Следовательно, поврежденный кабельный участок выявляется сразу, и аварийная бригада может быть направлена для соответствующих переключений и дефектовки поврежденной линии.

Расчет уставок проводится для простого короткого замыкания, так как ток замыкания на землю определяется суммой емкостных проводимостей неповрежденных фаз. Для приведенной цепочки подстанций схема замещения будет иметь вид, представленный на рис. 4.

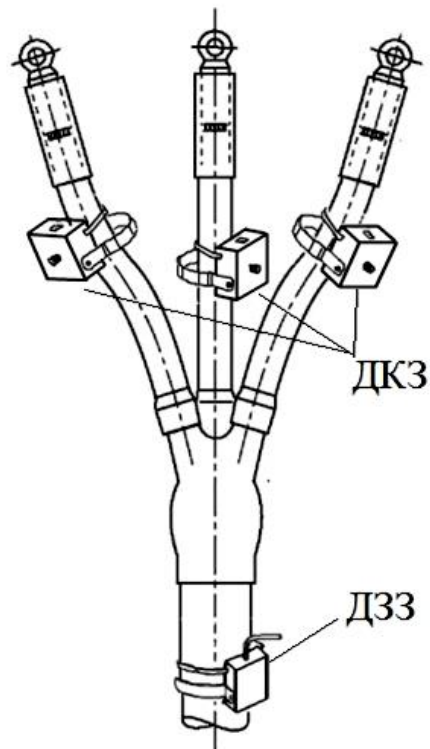


Рис. 3. Установка датчиков на кабельной заделке

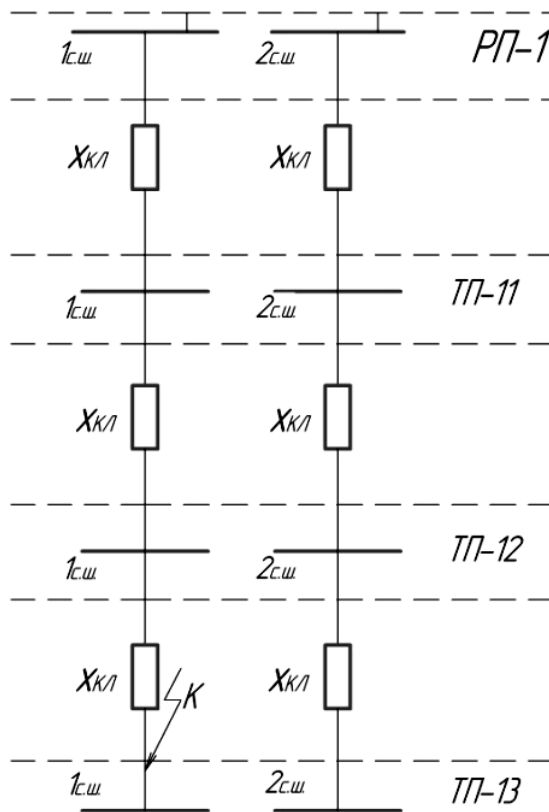


Рис. 4. Схема замещения для цепочки подстанций

Соответственно, ток замыкания на землю может быть определен соотношением:

$$I_K = \sqrt{3} \cdot U_H \cdot \frac{I_{KL}}{N_{KL}}.$$

Таким образом, поврежденный кабельный участок может быть выявлен раньше, и, следовательно, появляется возможность раньше приступить к ремонтно-восстановительным работам [5]. Благодаря этим преимуществам происходит быстрее нормальное электроснабжение потребителей.

Литература

1. Правила устройства электроустановок / 7-е изд. М.: Издательство Моргкнига, 2016. 576 с.

2. Степанов В. М., Борисов П. А. Диагностика технического состояния силовых кабельных линий напряжением 35–500 кВ // Известия ТулГУ. Технические науки. 2011. Вып. 6. Ч. 1. С. 66–71.

3. Готман В. И. Короткие замыкания и несимметричные режимы: учеб. для вузов. М: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. 240 с.

4. Ульянов С. А. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах. М.: Энас, 2012. 519 с.

5. Хорольский В. Я., Таранов М. А. Надежность электроснабжения. М.: ДРОФА, 2013. 238 с.

УДК 681.513.3

ХАРАКТЕРИСТИКИ И НОРМАТИВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

¹Баймеева Диляра Рамилевна, ²Галиуллина Илина Замировна,

³Хизбуллин Роберт Накибович

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Объектом исследования являются системы внешнего и внутреннего электроснабжения и подвижной состав городского электротранспорта.

Ключевые слова: электроснабжение, подвижной состав, электротранспорт, тяговый ток.

CHARACTERISTICS AND STANDARDS OF DESIGN OF POWER SUPPLY SYSTEMS

¹Baimeeva Dilyra Ramilevna, ²Galiullina Ilina Zamirovna, ³Khizbullin Radik Nakibovich
^{1, 2, 3}KSPEU, Kazan

The object of the study is the system of external and internal power supply and rolling stock of urban electric transport.

Keywords: power supply, rolling stock, electric transport, traction current.

Системы внешнего и внутреннего электроснабжения и подвижной состав городского электрического транспорта взаимодействуют. Режимы работы подвижного состава (ПС) устанавливают нагрузки системы электроснабжения и уровни на токоприемниках транспорта, а уровень напряжения устанавливает режим работы транспорта. Но на практике подсчёт этого взаимодействия вызывает затруднение, вызванное характером тяговых нагрузок. В связи с этим, расчёты электроснабжения производят с рядом допущений, которые позволяют рассчитывать тяговые нагрузки ПС и системы электроснабжения по отдельности.

На основе схемы расположения районной подстанции (РП) электроснабжения и результатов транспортного расчёта системы городских путей сообщения в составе генерального плана производят выбор и расчёт схем внешнего электроснабжения городского электро-транспорта (ГЭТ). Основа расчётов – тяговые расчёты, в результате которых находят тяговые нагрузки системы электроснабжения и расположение тяговой подстанции (ТП). На основе данных находят варианты внешнего электроснабжения, производят технические и экономические анализы, после чего выбирают самый целесообразный, который при необходимости подвергают корректировке и оптимизации.

Необходимость в корректировке и оптимизации расчетов появляется из-за взаимной зависимости оптимальных проектных решений внешнего и внутреннего электроснабжения. Территориальная плотность размещения ТП – основной параметр, который характеризует тяговое электроснабжение. Этот параметр определяется количеством ТП на 1 км² территории обслуживаемого города. Повышение территориальной плотности ТП приводит к уменьшению требуемой мощности отдельных ТП, снижению потерь электрической энергии в ЛЭП внешнего

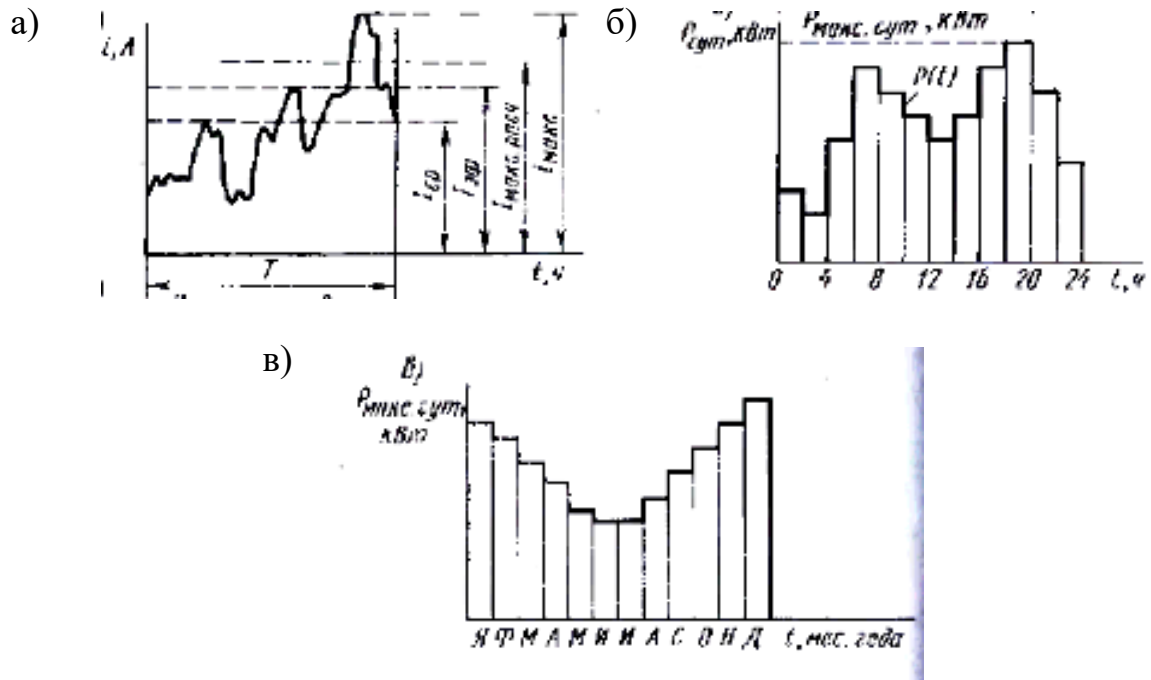
электроснабжения и тяговой сети, способствует стабилизации уровня напряжения в контактной сети (КС), повышению скорости движения поездов и улучшению общих показателей. Также уменьшаются токи в КС, и повышаются токи короткого замыкания. Это обеспечивает надёжность бесперебойного электроснабжения.

Уменьшение сопротивления КС повышает воздействие внешних характеристик ТП на распределение между ними тяговых нагрузок и нивелирует нагрузки ТП за счет уравнивающих токов. Это позволяет снизить закладываемый в них запас мощности. С другой стороны, увеличение количества ТП соответственно увеличивает «постоянную часть» расходов на ТП капиталовложения в ЛЭП внешнего электроснабжения, расходы на содержание и обслуживание ТП. В общем случае повышение территориальной плотности ТП увеличивает инвестиции, но наблюдающаяся тенденция снижения стоимости ТП за счет модернизации строительно-монтажных работ, сокращение обслуживающего персонала за счет внедрения автотелеуправления повышают экономическую эффективность прогрессивных систем электроснабжения. Повышению территориальной плотности ТП способствуют автоматическое регулирование напряжения на шинах ТП и внедрение ПС с рекуперативным торможением. Тяговые подстанции метрополитенов работают в основном с обслуживающим персоналом, но кроме местного управления имеют автоматику переключений коммутационных аппаратов.

На основе требований надежности и бесперебойности питания тяговой нагрузки электроэнергии нужного качества выбирают нормативы проектирования системы электроснабжения ГЭТ. Работу системы снабжения ГЭТ определяют нагрузкой тока тяговой сети и ТП, уровнем напряжения на токоприемнике транспорта, падением напряжения и токами КЗ на шинах ТП и КС.

Максимальные параметры, возможные в системе электроснабжения с учётом всех особенностей устройства, характеризуют технические нормы. «Нормы и технические условия проектирования систем электроснабжения трамваев и троллейбусов» устанавливают предельно допустимые нагрузки тока выпрямительных устройств ТП, среднее падение напряжения, допустимые значения падения напряжения и т.д.

Токовая нагрузка компонентов тяговой сети постоянно изменяется (см. рис., а). За некоторый расчетный период времени T ее характеризуют средним $I_{\text{ср}}$, максимальным $I_{\text{макс}}$ и эффективным $I_{\text{эф}}$ значением тока.



Кривая мгновенных изменений тягового тока во времени (а), суточный график активной нагрузки тяговой подстанции (б) и суточных максимальных нагрузок по месяцам (в)

Среднее значение тягового тока $I_{ср}$ пропорционально объему транспортной работы, выполненной ПС на линии, а эффективный ток $I_{эф}$ характеризует равномерность потребления затраченной электрической энергии. При равных объемах транспортной работы в периоды времени T_1 и T_2 , средние токи $I_{1ср}$ и $I_{2ср}$ равны, а эффективные токи определяются организацией движения и могут заметно различаться, особенно при резких отклонениях движения от регуляторного, заданного расписанием.

С целью учета колебаний тяговой нагрузки во времени, определяемых колебаниями объемов пассажироперевозок, строят суточные (см. рис., б) и годовые (см. рис., в) графики нагрузок элементов тяговой сети. Первые из них показывают изменения среднесуточной нагрузки ТП, вторые – изменения максимальной суточной нагрузки месяца. Суточные графики нагрузок позволяют планировать оперативные переключения числа агрегатов ТП, годовые – определять число агрегатов, которое должно находиться в работе и в соответствии с этим составлять планы капитального ремонта оборудования ТП. Их используют для технико-экономических расчетов необходимого количества и параметров оборудования ТП и тяговых сетей.

Для оценки характеристик нагрузки ТП используют следующие коэффициенты.

1. Коэффициент нагрузки (заполнения графика нагрузки) $k_{\text{нагр}}$ – это отношение средней $P_{\text{ср}}$ мощности, потребляемой ТП за рассматриваемый период времени T , к максимальной $P_{\text{макс}}$ или отношению величины A , фактически расходуемой ЭЭ за период времени T , к расходу ЭЭ, который мог бы быть при безостановочной работе ТП в период времени T с нагрузкой $P_{\text{макс}}$:

$$k_{\text{нагр}} = P_{\text{ср}} / P_{\text{макс}} = A / (T \cdot P_{\text{макс}}). \quad (1)$$

2. Коэффициент использования установленной мощности $k_{\text{уст}}$ – отношение средней мощности $P_{\text{ср}}$, потребляемой ТП за рассматриваемый период времени T , к суммарной номинальной мощности $P_{\text{уст}}$ всех установленных электроприемников, включая резервные:

$$k_{\text{уст}} = P_{\text{ср}} / P_{\text{уст}} = A / (T \cdot P_{\text{уст}}). \quad (2)$$

При $k_{\text{нагр}} = k_{\text{уст}}$ тяговая подстанция работает без резерва.

3. Величину и степень использования оборудования ТП характеризуют коэффициентом резерва $k_{\text{рез}}$, определяемым отношением годового коэффициента нагрузки $k_{\text{нагр.год}}$ к годовому коэффициенту использования установленной мощности $k_{\text{уст.год}}$ или продолжительностью использования установленной мощности $T_{\text{уст}}$:

$$k_{\text{рез}} = k_{\text{нагр.год}} / k_{\text{уст.год}}; T_{\text{уст}} = A / P_{\text{уст}} = k_{\text{уст}} \cdot T. \quad (3)$$

4. Коэффициент одновременности $k_{\text{одн}}$ – отношение присоединенной мощности $P_{\text{пр.раб}}$ электроприемников, работающих в часы максимума, к полной присоединенной мощности $P_{\text{пр}}$ всех электроприемников:

$$k_{\text{одн}} = P_{\text{пр.раб}} / P_{\text{пр}}. \quad (4)$$

5. Коэффициент загрузки $k_{\text{загр}}$ – отношение фактически используемой мощности $P_{\text{раб}}$ работающих электроприемников в часы максимума к присоединенной $P_{\text{пр.раб}}$:

$$k_{\text{загр}} = P_{\text{раб}} / P_{\text{пр.раб}}. \quad (5)$$

6. Коэффициент одновременности использования присоединенной мощности:

$$k_{\text{одн.и}} = k_{\text{одн}} \cdot k_{\text{загр}} \quad (6)$$

7. Коэффициент спроса $k_{\text{спр}}$ – отношение мощности, потребляемой ТП от РП энергосистемы к полной присоединенной мощности $P_{\text{пр}}$ всех электроприемников ТП:

$$k_{\text{спр}} = (1 + P_{\text{пер}} / 100) \cdot k_{\text{одн}} \cdot k_{\text{загр}} / k_{\text{ср}} \quad (7)$$

Допустимые нагрузки элементов системы электроснабжения определяют средние, эффективные и максимальные токи.

Максимальный ток $I_{\text{макс}}$ элементов системы электроснабжения определяется наложением в сети тяговых токов отдельных поездов, имеющим случайный характер (см. рис., а). Наибольшее значение $I_{\text{макс}}$ соответствует случаю одновременного пуска всех поездов, находящихся на участке.

Итак, средние, эффективные и наибольшие нагрузки системы электроснабжения ГЭТ определяются условиями пассажироперевозок и организацией движения, являются исходными данными при выборе параметров системы электроснабжения и поэтому нормированию не подлежат. Подлежат нормированию предельные нагрузки, которые допускаются для выбранных типов проводов КС и кабелей по условиям нагрева.

Литература

1. Курс лекций по дисциплине «Силовые преобразователи электрической энергии в электрическом транспорте»: учеб. пособие / сост. Р. Н. Хизбуллин: Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2005. 84 с.
2. Бурков А. Т. Электронная техника и преобразователи: учеб. для вузов ж.-д. трансп. М.: Транспорт, 2001. 464 с.
3. Силовые преобразователи электрической энергии в электрическом транспорте: программа и метод. указания по изучению дисциплины / сост.: Р. Н. Хизбуллин, М. Ф. Замалтдинов. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2013. 42 с.
4. Гусев В. Г., Гусев Ю. М. Электроника и микропроцессорная техника: учеб. для вузов / 4-е изд. М.: Высшая школа, 2006.
5. Волович Г. И. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств. М.: Изд. Дом «Додэка-XXI», 2005.

УДК 62-501.72:62-501.5

КОРРЕЛЯЦИОННО-СПЕКТРАЛЬНЫЙ ИДЕНТИФИКАТОР В КОНТУРЕ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

Буштрук Татьяна Николаевна

ФГБОУ ВО «Самарский государственный университет путей сообщения», г. Самара,
btnsam@mail.ru

Эффективное решение эксплуатационных задач в электроэнергетике во многом определяется наличием и получением достоверных моделей технологических процессов. Ход процессов электроэнергетики характеризуется высокой степенью изменчивости. Успешно решать задачи функционирования можно, используя адаптивную систему управления, которой требуется адекватная и достоверная модель текущего процесса.

Ключевые слова: корреляционно-спектральный идентификатор, система управления, адаптивная система, структурная и параметрическая идентификация, временной ряд, энергосистема.

CORRELATION-SPECTRAL IDENTIFIER IN THE POWER SYSTEM CONTROL

Bushtruk Tatiana Nikolaevna

Samara State Transport University, Samara
btnsam@mail.ru

The effective solution of operational problems in the power industry is largely determined by the presence and receipt of reliable models of technological processes. Electric power industry processes are characterized by a high degree of variability. Successfully solve the problems of functioning can be using an adaptive control system, which requires an adequate and reliable model of the current process.

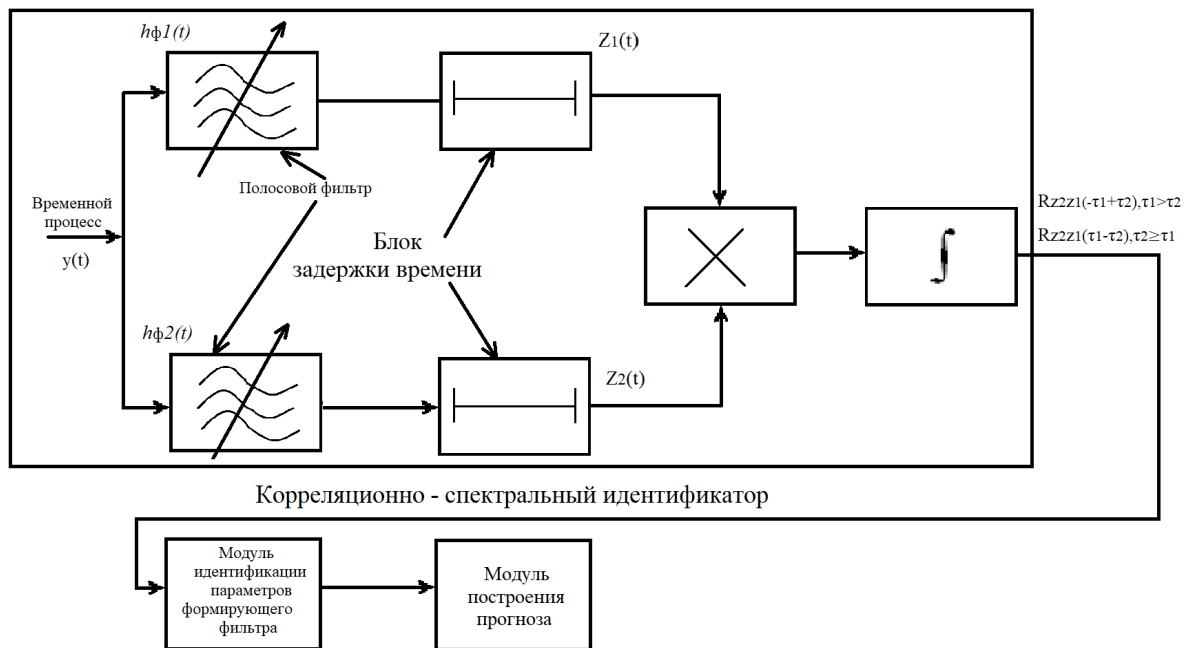
Keywords: correlation-spectral identifier, control system, adaptive system, structural and parametric identification, time series, power system.

С каждым изменением текущих параметров энергосистемы возникает ситуация неопределенности, которую можно минимизировать оперативным исследованием результатов зондирования процесса, обработкой полученных данных и получением оценок параметров текущей модели. Создание адаптивных систем управления требует оперативного получения модели временного процесса, то есть решения

задачи идентификации по определению вида функционала и его параметров [6, 7].

Реализация этого подхода возможна на основе использования адаптивной системы идентификации. Процесс адаптации системы управления возможен только в результате более достоверной информации об объекте, что позволит эффективно корректировать не только параметры, но и структуру управляющей системы.

Известно, что временной ряд генерируется линейным формирующим фильтром (ФФ) при подаче на его вход сигнала типа белый шум [8]. Следовательно, чтобы провести идентификацию временного ряда, необходимо определить структуру и параметры передаточной функции ФФ. В результате проведения процедуры идентификации получаем оценки параметров передаточной функции фильтра (метод Буштрука А. Д.) [3, 4]. На рисунке представлена структурная схема корреляционно-спектрального идентификатора.



Структурная схема корреляционно-спектрального идентификатора
в контуре управления

Приведенная схема является универсальной: меняя параметры фильтра и значение времени задержки сигнала, вводя нелинейные статические элементы, можно влиять на точность идентификации. При этом получаем предварительную модель, определяющую диапазон исследования, или более точную. Используя сигналы, показанные на схеме, и учитывая, что переходные процессы в нелинейном объекте

и в полосовых фильтрах конечны, получим выражение для взаимных корреляционных функций, измеренных между входным сигналом, пропущенным через линейный полосовой фильтр, и выходным (выражения приведены для функционального оператора Заде):

$$R_{z_1y}(\tau_1) = \sum_{i=1}^{l_2} a_{2i-1} \int_0^{t-\tau_1} \int_0^t h_{2i-1}(\theta) h_{\Phi_2}(\mu_1) m_{1,2i-1}(\tau_1 - \mu_1 + \theta) d\theta d\mu_1 + R_{z_1\gamma}(\tau_1),$$

$$R_{z_1y}(-\tau_1) = \sum_{i=1}^{l_2} a_{2i} \int_0^{t-\tau_1} \int_0^t h_{2i-1}(\theta) h_{\Phi_2}(\mu_1) m_{1,2i-1}(-\tau_1 - \mu_1 + \theta) d\theta d\mu_1 + R_{z_1\gamma}(-\tau_1), \quad (1)$$

$$R_{z_2y}(\tau_2) = \sum_{i=1}^{l_2} a_{2i} \int_0^{t-\tau_2} \int_0^t h_{2i}(\theta) h_{\Phi_2}(\mu_2) m_{2,2i}(\tau_2 - \mu_2 + \theta) d\theta d\mu_2 + R_{z_2\gamma}(\tau_2),$$

$$R_{z_2y}(-\tau_2) = \sum_{i=1}^{l_2} a_{2i} \int_0^{t-\tau_2} \int_0^t h_{2i}(\theta) h_{\Phi_2}(\mu_2) m_{2,2i}(-\tau_2 - \mu_2 + \theta) d\theta d\mu_2 + R_{z_2\gamma}(-\tau_2), \quad (2)$$

где l_1 и l_2 – число нечетных и четных членов в модели фильтра Заде, $m_{1,2i-1}(\pm\tau)$ и $m_{2,2i}(\pm\tau)$ – автокорреляционные моменты [2, 3], образованные безынерционными элементами с характеристиками вида $f_{2i-1} = x^{2i-1}$ и $f_{2i} = x^{2i}$. Для примера используется модель – функциональный оператор фильтра Заде. Алгоритм процедуры идентификации и вид уравнений справедливы и для других функциональных операторов данного класса.

Корреляционные выражения (1) и (2) являются ключевыми уравнениями для реализации процедуры идентификации временной последовательности технологического процесса. Уравнения (1) и (2) записаны с учетом квазистационарности входного и выходного сигналов нелинейного динамического объекта. Для преобразования интегралов (1) и (2) используется теорема Бореля о свертке. Методика вычисления подобных интегралов приведена в [2, 3, 6].

При преобразовании (1) и (2) учитывается, что:

1) $h_{\Phi_i}(t)$ – импульсно-переходные характеристики полосовых фильтров на квазистационарных участках симметричны, т.е. для них выполняется соотношение $h_{\Phi_i}(t) = (k_{\Phi}/T_{\Phi}) \exp\{-|t|/T_{\Phi}\} \cos \omega_0^{(p)} t$, где $p=1,2$, $\omega_0^{(2)} = 2\omega_0^{(1)}$ при $\omega_0^{(1)} = \omega_0$;

2) предел $\lim h_{\Phi i}(t) = \cos \omega_0 t$ при $T_p \rightarrow \infty$ и $k_p/T_p = 1$.

Симметричность $h_{\Phi i}(t)$ ($p \div 1, 2$) обеспечивает выполнение равенства

$$F\{h_{\Phi i}(t)\} = \frac{1}{2}\delta(f - f_0^{(p)}) + \frac{1}{2}\delta(f + f_0^{(p)}), \quad (3)$$

где F – Фурье преобразование, $-\infty \leq t \leq +\infty$.

Равенство (3) выполняется при соблюдении условий 1, 2. Используя фильтрующее свойство δ -функции и свойство эрмитовой симметрии [9] $K_i(\omega) = K_i(-\omega)$ и $\Psi_i(\omega) = \Psi_i(-\omega)$, ($i \div 1, n$) для модулей комплексных коэффициентов передачи и фазовых характеристик линейных звеньев в структуре фильтра Заде [2, 3, 5, 6], получим:

$$R_{z_1 y}(\tau_1) = \sum_{i=1}^{l_2} a_{2i-1} \sigma_{xx}^{2i}(t) S_{1,2i-1}^H(\omega_0) K_{2i-1}(\omega_0) \cos(\omega_0 \tau_1 - \Psi_{2i-1}(\omega_0)) + R_{z_1 \gamma}(\tau_1),$$

$$R_{z_1 y}(-\tau_1) = \sum_{i=1}^{l_2} a_{2i} \sigma_{xx}^{2i}(t) S_{1,2i-1}^H(\omega_0) K_{2i-1}(\omega_0) \cos(\omega_0 \tau_1 + \Psi_{2i-1}(\omega_0)) + R_{z_1 \gamma}(-\tau_1), \quad (4)$$

$$R_{z_2 y}(\tau_2) = \sum_{i=1}^{l_2} a_{2i} \sigma_{xx}^{2i+2}(t) S_{2,2i}^H(2\omega_0) \cos(2\omega_0 \tau_2 - \Psi_{2i}(2\omega_0)) + R_{z_2 \gamma}(\tau_2),$$

$$R_{z_2 y}(-\tau_2) = \sum_{i=1}^{l_2} a_{2i} \sigma_{xx}^{2i+2}(t) S_{2,2i}^H(2\omega_0) \cos(2\omega_0 \tau_2 + \Psi_{2i}(2\omega_0)) + R_{z_2 \gamma}(-\tau_2), \quad (5)$$

где $S_{1,2i-1}(\omega;t) = \sigma_{xx}^{2i}(t) S_{1,2i-1}^H(\omega)$, $S_{2,2i}(\omega;t) = \sigma_{xx}^{2i+2}(t) S_{2,2i}^H(\omega)$; $S_{1,2i-1}^H(\omega)$ и $S_{2,2i}^H(\omega)$ – нормированные относительно дисперсий спектральные плотности входного сигнала соответствующих размерностей. Корреляционные моменты и спектральные плотности входного сигнала связаны между собой следующими соотношениями:

$$S_{1,2i-1}(\omega;t) = F\{m_{1,2i-1}(\tau,t)\}, S_{2,2i}(\omega;t) = F\{m_{2,2i}(\tau,t)\}.$$

Используя уравнения идентификации (4) и (5), получаем оценки взаимных спектральных плотностей $\hat{S}_{1,2i-1}(\omega,t)$ и $\hat{S}_{2,2i}(\omega,t)$ при условии, что $\alpha_i = 1$, $K_i(\omega) \exp\{-j\Psi_i(\omega)\} = 1$ при ($i \div 1, n$). После определения оценок

спектральных плотностей соответствующей размерности входного сигнала $x(t)$ можно получить из (4) и (5) частотно-временные коэффициенты или критерии, которые являются функциями частоты ω_0 и временного сдвига τ (метод Буштрука А. Д.). Частотно-временные критерии – это логарифмические функции и их разности от информационных параметров $b_i(\omega_i)$, а также знакопеременные функции [2]:

$$\begin{aligned} \hat{L}_k^{(0)} &= \hat{L}_k^{(0)}(\omega^{(m)}, \pm\tau_k), \hat{L}_k^{(-\pi/2)} = \hat{L}_k^{(-\pi/2)}(\omega^{(m)}, \pm\tau_k), \\ \hat{L}_k^{(\pi/2)} &= \hat{L}_k^{(\pi/2)}(2\omega^{(m)}, \pm\tau), \text{sign}\hat{b}_k^{(0)} = \text{sign}\hat{b}_k^{(0)}(2\omega^{(m)}, \pm\tau_k), \\ \text{sign}\hat{b}_k^{(\pi/2)} &= \text{sign}\hat{b}_k^{(\pi/2)}(2\omega^{(m)}, \pm\tau_k), \\ \text{sign}\hat{b}_k^{(0)} &= \text{sign}\hat{b}_k^{(0)}(\omega^{(m)}, \pm\tau_k), \text{sign}\hat{b}_k^{(-\pi/2)} = \text{sign}\hat{b}_k^{(-\pi/2)}(\omega^{(m)}, \pm\tau_k), \\ \text{где } k &\div \overline{1, n}, \hat{L}_k^{(\cdot)} = 20\lg|b_k^{(\cdot)}(d\omega^{(m)}, \tau)|, d \div 1, 2. \end{aligned}$$

Передаточная функция ФФ дает будущие значения ряда, т.е. прогноз. По полученным прогнозным значениям временного ряда исследуемого технологического процесса можно корректировать модель технологического процесса и настроечные параметры системы управления. Введение в измерительно-вычислительную систему нелинейного полосового фильтра позволит уменьшить время переходного процесса [6].

Достоверность полученной модели обеспечивается адаптацией измерительно-вычислительной системы. Полученные модели можно использовать в системах управления, построении прогнозов, тренингах персонала. Проведение идентификации временных последовательностей и получение порядка структуры модели и ее параметров позволяют строить прогнозы формирования последующих кодов производственных операций и временных затрат по алгоритму, предложенному в [1]. Оперативные результаты идентификации обеспечивают принятие оптимальных управленческих решений по формированию энергетических и технических ресурсов.

Литература

1. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. Вып. 1. / пер. с англ. М.: Мир, 1974.

2. Буштрук А. Д. Структурная идентификация нелинейных динамических объектов // Автоматика и телемеханика. 1989. № 10. С. 84–96.

3. Буштрук А. Д., Буштрук Т. Н. Структурная идентификация нелинейных динамических объектов в режиме пассивного эксперимента // А и Т. 2001. № 8. С. 61–67.

4. Буштрук А. Д., Буштрук Т. Н., Фазлыев И. И. Корреляционно-спектральный метод идентификации квазистационарных временных процессов с разрешением противоречия между точностью и быстродействием // А и Т. 2011. № 7. С. 147–158.

5. Буштрук Т. Н., Царыгин М. В., Кленюшин Д. С. Компьютерный обучающий комплекс для персонала предприятий вагонного хозяйства с модулем идентификации и прогнозирования временных рядов // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2015. № 4(224). С. 105–113.

6. Буштрук Т. Н., Буштрук А. Д. Методы идентификации объектов и процессов. Самара: СамГАПС, 2005. 150 с.

7. Буштрук Т. Н. Двухэтапная идентификация нелинейных объектов и процессов в адаптивных системах управления // Вестник транспорта Поволжья: научно-технич. журнал. Самара: СамГУПС, 2019. Вып. № 1 (73). С. 72–79.

8. Быков В. В. Цифровое моделирование в статистической радиотехнике. М.: Советское радио, 1971.

9. Макс Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях. М.: Мир, 1983. Т. 2.

УДК 537.77

ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ КВАЗИПОСТОЯННЫХ ТОКОВ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

Бычков Александр Владимирович

ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет», г. Тольятти

omgwtf955@gmail.com

Данная статья посвящена причинам возникновения квазипостоянных токов в электроэнергетической системе, а конкретно влиянию солнечно-земных связей на силовое электрооборудование электроэнергетической системы.

Ключевые слова: квазипостоянный ток, электроэнергетическая система, силовой трансформатор, солнечно-земная связь, магнитная буря.

REASONS FOR THE ORIGIN OF QUASI-CONSTANT CURRENTS IN THE ELECTRICITY SYSTEM

Bychkov Alexander Vladimirovich
Togliatti State University, Togliatti
omgwtf955@gmail.com

This article is devoted to the causes of quasi-constant currents in the electric power system, and specifically the influence of solar-terrestrial connections on the power electric equipment of the electric power system.

Keywords: quasi-constant current, electric power system, power transformer, solar-terrestrial communication, magnetic storm.

Квазипостоянные токи (КПТ) впервые были зафиксированы в конце XIX века. Частота квазипостоянных токов варьируется от 0,001 до 1 Гц. Данные токи могут проявляться в любых проводниках планеты Земля (линии электропередачи, газопроводы и т. д.). В качестве источника квазипостоянного тока выступает токовая струя, образующаяся в ионосфере на высоте 100–120 км от уровня моря. Интенсивность струи прямо пропорциональна солнечной активности. Данное явление имеет научное название «солнечно-земная связь», а токовая струя – «электроджет».

Одна из крупнейших в электроэнергетической системе аварий, связанных с увеличением протекания квазипостоянного тока, произошла 12–13 марта в 1989 г. в Канаде (провинция Квебек). В результате аварии в провинции полностью отсутствовало электроснабжение потребителей на протяжении восьми часов, а устранение последствий данной аварии заняло несколько недель. Было выявлено, что во время магнитной бури произошел скачок квазипостоянного тока в ЛЭП, в результате чего в силовых трансформаторах стал протекать ток в нейтрали, что привело к режиму нелинейной работы силовых трансформаторов и появлению высших гармоник.

В данной статье будут затронуты темы солнечно-земных связей и электроэнергетической системы, как главного приемника квазипостоянных токов.

Величина квазипостоянных токов определяется количеством процессов, происходящих в магнитосфере. Сама магнитосфера – это некая область, которая располагается в сверхзвуковом потоке плазмы солнечного ветра и взаимодействует с магнитным полем земли (рис. 1).

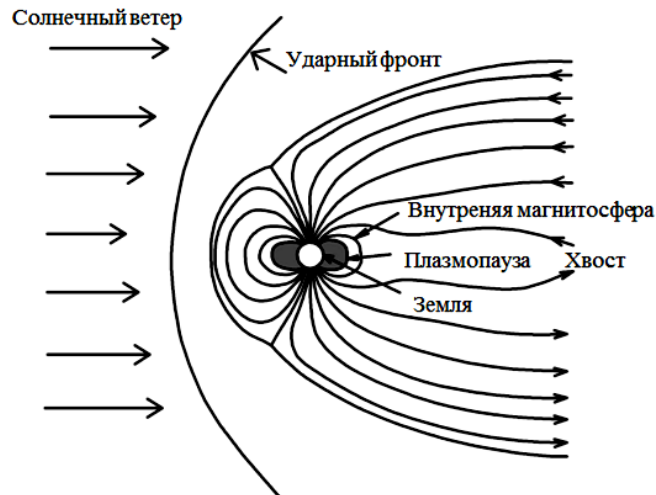


Рис. 1. Процесс взаимодействия магнитного поля земли с солнечным ветром

В теории (отсутствие магнитных бурь) при идеальной проводимости магнитосферы не оказывает влияние на внешнюю плазму солнечного ветра, а может всего лишь незначительно изменять форму плазмопаузы.

Однако при наличии магнитных бурь в межпланетном магнитном поле присутствует компонента, которая параллельна земному магнитному диполлю, и при соприкосновении магнитного поля Земли и межпланетного магнитного поля происходит нарушение идеальной проводимости плазмы, и магнитосфера наполняется солнечным ветром и энергией, переносимой этим ветром [1]. Существует три возможных варианта развития событий при попадании в внутреннюю магнитосферу солнечного ветра и ее энергии.

1. Скорость поступления солнечного ветра равна или меньше скорости стационарной диссипации внутри самой магнитосферы, в таком случае влияние является несущественным и неощутимым.

2. Скорость поступления солнечного ветра больше скорости стационарной диссипации внутри самой магнитосферы. Как следствие, часть энергии покидает магнитосферу по энергетическому каналу. В качестве энергетического канала выступает магнитная суббуря. Хвостовой ток, проходящий вдоль магнитных линий, замыкается через ионосферу, и происходит освобождение накопленной в магнитосфере энергии (преимущественно область полярного овала). Данный ток является «электроджетом». Механизм высвобождения энергии носит пульсирующий характер и может функционировать в течение 2–3 часов [1].

3. Скорость поступления солнечного ветра много больше скорости

стационарной диссипации внутри самой магнитосферы, в результате чего происходит глобальное изменение магнитосферы и ионосферы, что влечет за собой сильные геомагнитные возмущения на Земле. Отличие от второго варианта развития событий в том, что при сильных геомагнитных возмущениях полярное сияние может опускаться на 25–30 ° к экватору и просматриваться на более низких широтах [1].

Солнечно-земные связи оказывают существенное влияние на магнитосферу и ионосферу Земли. Уровень проявления квазипостоянных токов зависит от силы тока, протекающего в системах естественного характера, а изменение кольцевого тока во время магнитной бури во много раз больше значения токовой струи «электроджет». Однако кольцевые токи находятся намного дальше от Земли, чем ток «электроджет», и влияние кольцевого тока намного меньше, чем влияние тока «электроджет». Их отличие заключается еще и в том, что кольцевые токи носят глобальный характер, а ток «электроджет» является локальным.

Российской Федерации принадлежит огромная территория, поэтому для электроснабжения потребителей и передачи электроэнергии на большие расстояния используются протяженные линии электропередачи (ЛЭП). Зачастую именно через линии электропередач квазипостоянный ток растекается в электроэнергетической системе. Величина квазипостоянного тока зависит от протяженности линии, непосредственного нахождения данной линии относительно полярного круга; также следует учитывать геофизическую обстановку, которая зависит от солнечной активности в данной местности. Так как территория РФ составляет 17 125 191 км², а выше было отмечено, что протяженность линий тоже оказывает влияние на распространение квазипостоянных токов, то есть смысл отразить информацию о протяженности линий электропередач в нашей стране по классам напряжения [2] (см. таблицу).

Протяженность ЛЭП в Российской Федерации по классу напряжения

Класс напряжения, кВ	Длина, тыс. км
0,4	785
3–20	1028
35	177
110–150	221
220 и выше	134

Процесс протекания квазипостоянного тока в электроэнергетической системе представлен на рис. 2.

При протекании квазипостоянного тока происходит подмагничивание сердечника силового трансформатора и, как следствие, смещение его рабочей точки. В результате искажение формы тока намагничивания в электроэнергетической сети появляются высшие гармоники. Наличие этих гармоник имеет целый ряд отрицательных последствий, влияющих на силовое оборудование, но мы остановимся на том, которое в большей мере повлияло на силовой трансформатор в Канаде при геомагнитной буре.

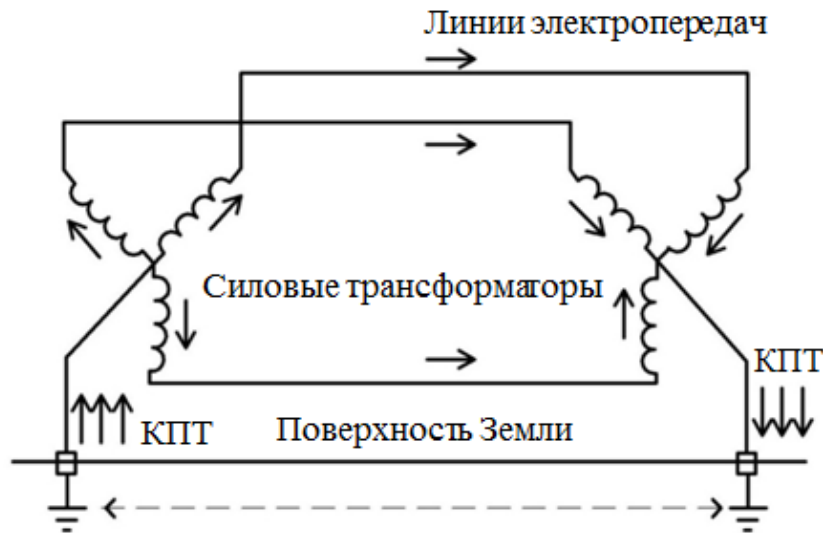


Рис. 2. Процесс протекания квазипостоянных токов в трехфазной системе

Для этого рассмотрим формулу тангенса угла диэлектрических потерь:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\sigma}{\omega \cdot \varepsilon_a} \quad (1)$$

где $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ – угловая частота; ε_a – относительная диэлектрическая проницаемость; f – частота; $f = f_0 \cdot n$ (f_0 – промышленная частота сети; n – номер гармоники); σ – удельная проводимость.

Из выражения (1) относительная диэлектрическая проницаемость и удельная проводимость – величины неизменные. Анализируя (1), получаем, что функцией от n является частота сети f . Что приводит

к ухудшению диэлектрические свойств изоляции силового трансформатора. В результате увеличились тепловые потери в конструктивных элементах, и произошёл пробой диэлектрика и, как следствие, выход силового трансформатора из работы [3].

Литература

1. Беленькая Е. С. Магнитосферы планет обладающих собственным магнитным полем // Успехи физических наук. 2009. Т. 179. № 8. С. 809–835.

2. Вариводов В. Н. Компактные высоковольтные линии электропередач // Электро. 2006. № 2. С. 2–6.

3. Вахнина В. В., Кузнецов В. Н., Шаповалов В. А. Тепловая нагрузка бака силового трансформатора при глубоком насыщении магнитной системы // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. 2011. № 4 (18).

УДК 620.4:62-531.9

ПОДХОД К АНАЛИЗУ БАЛАНСОВ МОЩНОСТЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА

¹Волгушев Павел Алексеевич, ²Бурнаев Александр Игоревич,
³Агеев Вадим Александрович, ⁴Душутин Константин Александрович
ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва», г. Саранск
¹volgushev.pascha@yandex.ru, ²alex_speis@mail.ru, ³ageyevva@mrsu.ru,
⁴dushutink@mail.ru

Предложен подход к анализу балансов мощностей с применением программного комплекса для расчета электрических сетей, основанный на определении линий связи между структурными подразделениями (районами электрических сетей) электроснабжающих организаций путем анализа схемы замещения. Это позволяет определить перетоки мощности и энергии между районами и подготовить информацию для последующей обработки в соответствии с требованиями нормативной документации.

Ключевые слова: программный комплекс, энергосистема, район электрических сетей, баланс мощности, линия электропередачи, параметр режима.

APPROACH TO ANALYSIS OF POWER BALANCES USING THE SOFTWARE

¹Volgushev Pavel Alexeevich, ²Alexandr Igorevich Burnaev, ³Vadim Alexandrovich
Ageev, ⁴Konstantin Alexandrovich Dushutin
¹⁻⁴National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk
¹volgushev.pascha@yandex.ru, ²alex_speis@mail.ru, ³ageyevva@mrsu.ru,
⁴dushutink@mail.ru

An approach to the analysis of power balances with the use of software for the calculation of electric networks, based on the definition of communication lines between structural units (areas of electric networks) of power supply organizations by analyzing the substitution scheme, is proposed. It allows to define power and energy flows between districts and to prepare information for the subsequent processing according to requirements of normative documentation.

Keywords: software, power system, area of electric networks, power balance, power line, mode parameter.

Единая энергетическая система России (ЕЭС России) состоит из 71 региональной энергосистемы, которые образуют 7 объединенных энергетических систем [3]. Централизованное оперативно-диспетчерское управление объединенных энергетических систем осуществляет акционерное общество «Системный оператор Единой энергетической системы» (АО «СО ЕЭС»). Для взаимодействия АО «СО ЕЭС» с субъектами электроэнергетики, органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации, территориальными органами Ростехнадзора и МЧС России в регионах, энергосистемами которых управляют укрупненные региональные диспетчерские управления, созданы региональные представительства Системного оператора.

При осуществлении оперативно-диспетчерского управления необходимо учитывать ввод в эксплуатацию новых объектов и вывод из эксплуатации неэффективного и устаревшего оборудования, которые приводят к изменению параметров режима работы электрических сетей. Изменение параметров режима, происходящее при изменении состава оборудования, конфигурации сетей и т. д. можно смоделировать при помощи специализированных программных комплексов для расчета режимов электрических сетей. Подобные программные комплексы должны предусматривать возможность учета структуры энергообеспечивающих организаций при вводе расчетных схем электрических сетей.

Одним из таких комплексов является программный комплекс для расчета электрических сетей, разработанный в Институте механики и энергетики ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва» [2, 5]. Особенностью программного комплекса является деление энергоснабжающих организаций на объединения, филиалы и районы, что позволяет с достаточной степенью точности воспроизвести их реальную структуру. Окно редактирования объединений, филиалов и районов представлено на рис 1.

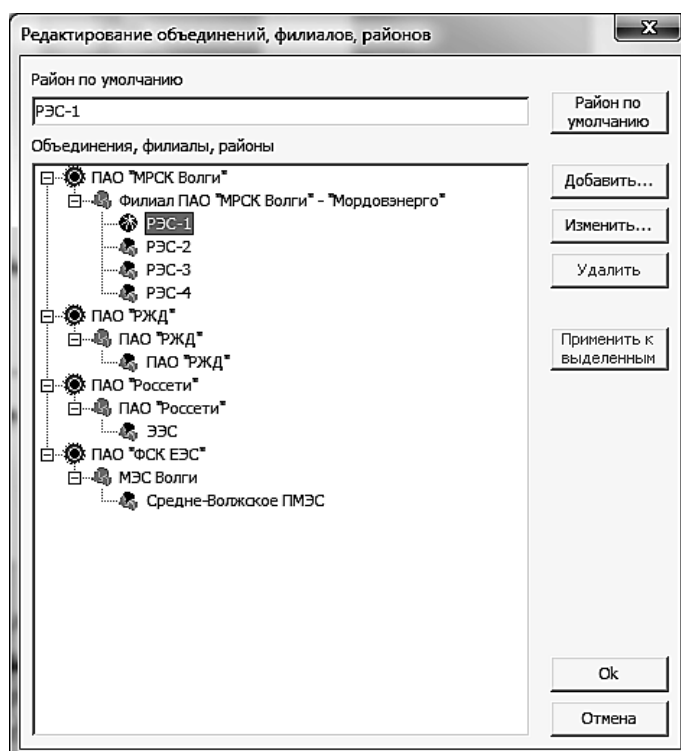


Рис. 1. Окно редактирования объединений, филиалов и районов

При вводе элементов расчетной схемы для каждого элемента указывается принадлежность к структурному подразделению. Таким образом, после создания расчетной схемы на ней указывается граница существующих структурных подразделений (рис. 2).

При анализе данных о балансах мощности и потерях электроэнергии, а также других показателей режима электрических сетей недостаточно знать принадлежность элемента к тому или иному структурному подразделению системы электроснабжения. Для вычисления перетоков мощности требуется определить элементы электрических сетей, как правило, линии электропередачи, соединяющие смежные структурные подразделения. Поэтому задача разработки алгоритма поиска таких элементов будет являться актуальной.

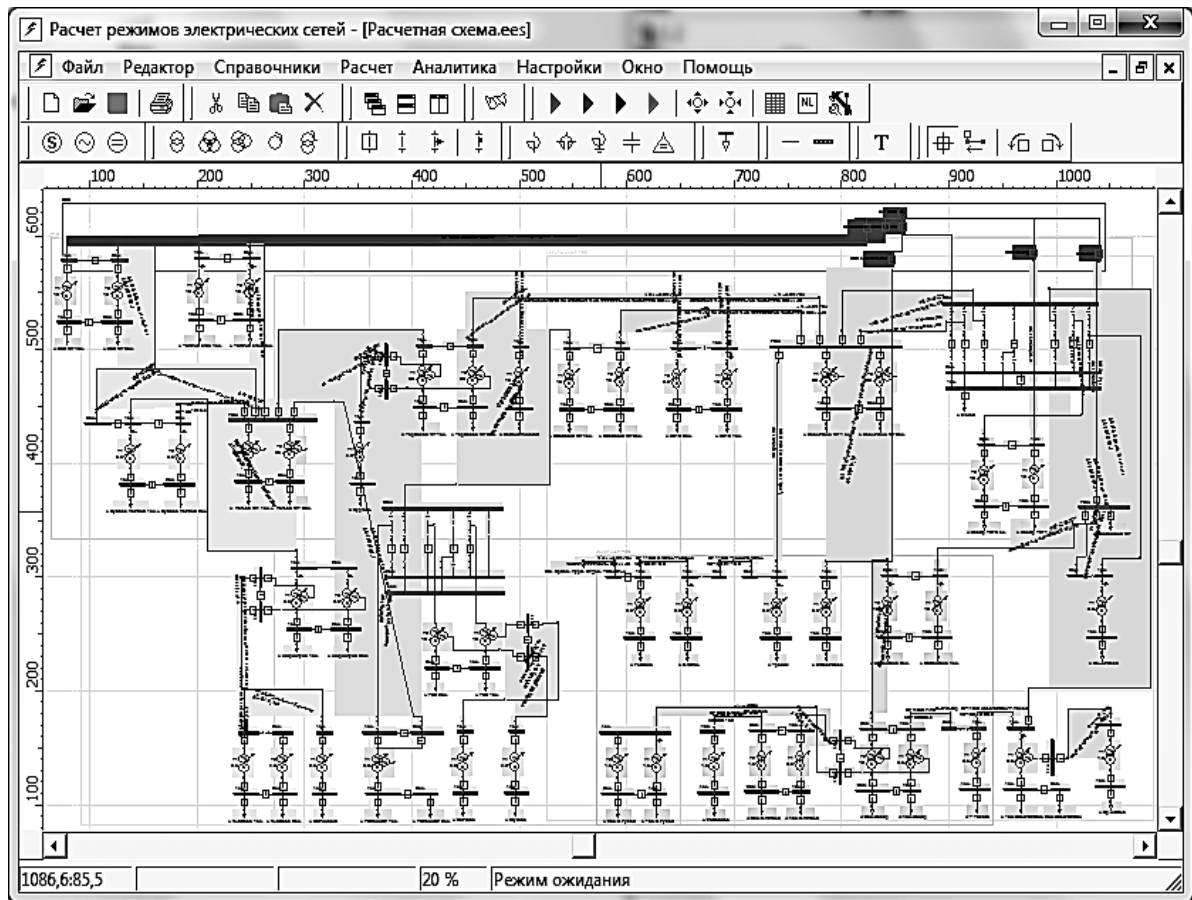


Рис. 2. Расчетная схема электрической сети

При формировании в программном комплексе схемы замещения на основе расчетной схемы может сложиться следующая ситуация. Узлы, являющиеся началом и концом линии электропередачи, могут принадлежать к двум различным структурным подразделениям, а сама линия – к третьему. Данная особенность не оказывает никакого влияния на расчет установившегося режима [1], поскольку параметры режима никак не связаны с принадлежностью элемента к структурному подразделению, но затрудняет определение линий связи.

Блок-схема алгоритма, осуществляющего поиск линий связи с учетом указанной особенности схемы замещения, представлена на рис. 3.

Алгоритм представляет собой основной цикл по всем доступным структурным подразделениям (районам электрических сетей), в котором производится анализ всех линий на принадлежность к линиям связи. Кроме того, имеется процедура, осуществляющая проверку начала или конца линии на принадлежность к другому району и на наличие связи с элементами другого района.

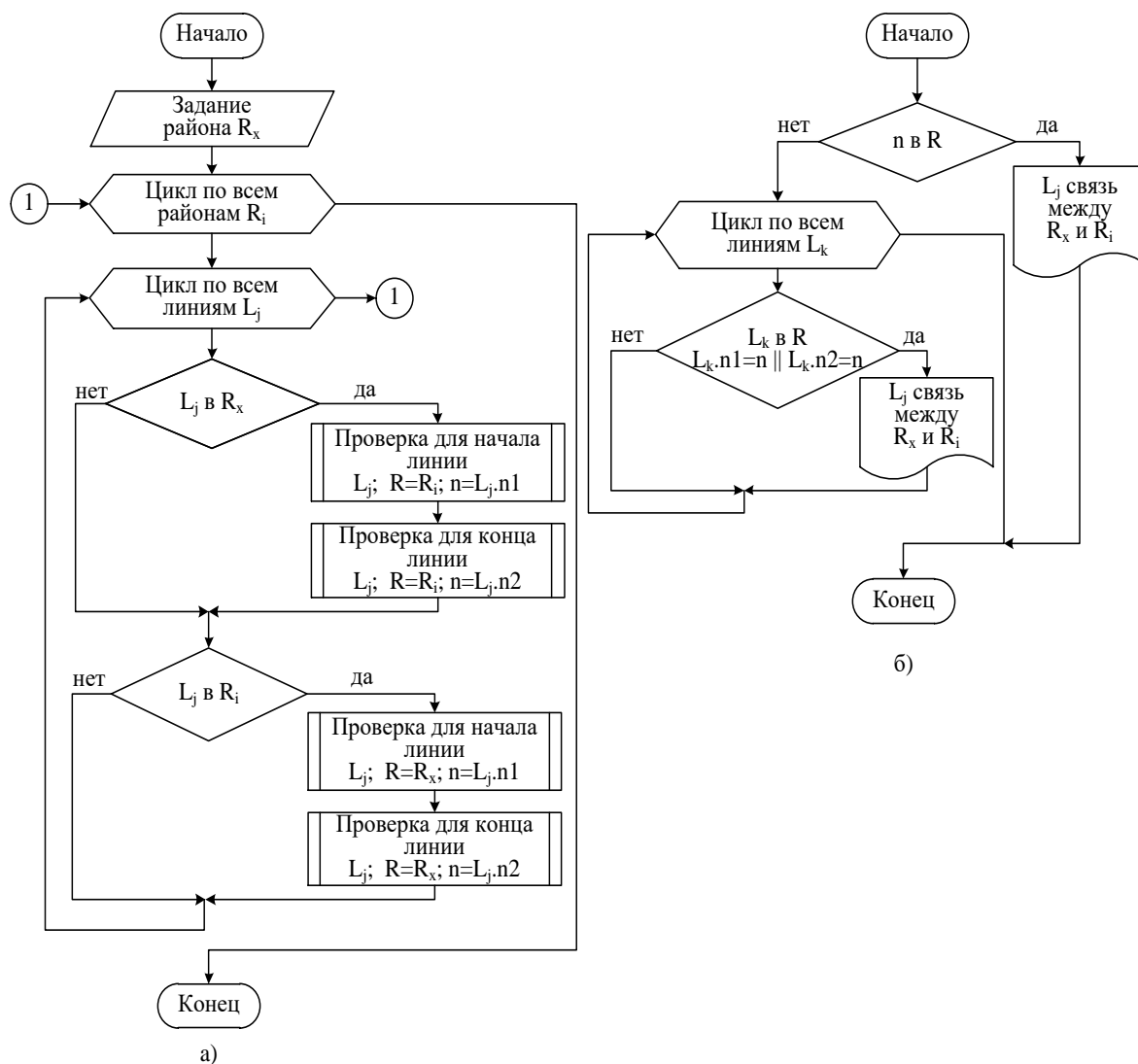


Рис. 3. Блок схема алгоритма поиска линий связи между структурными подразделениями: а) основного цикла; б) процедура анализа линии

В результате работы данного алгоритма для каждой линии связи между структурными подразделениями на основе расчета установившегося режима выводятся токи, мощности, падения напряжения, потери мощности, загруженность по току относительно длительно допустимого и другие параметры. Набор параметров произвольно изменяется в зависимости от потребностей пользователя и целей расчета. Пример окна с вкладкой, содержащей параметры линий связи между районами, представлен на рис. 4. Для удобства последующей обработки результатов возможен их экспорт в приложение Microsoft Excel.

Район электрических сетей: РЭС-2, Филиал ПАО "МРСК Волги" - "Мордовэнерго", ПАО "Мг"

В Excel | Всё в Excel | Оборуд. в Excel

Название	$S_n = P + jQ$, МВ·А	$S_k = P + jQ$, МВ·А	П/Дном, %	$dU = dU' + jdU''$, кВ	$dS = dP + jdQ$, МВ·А	dP, МВт
Связь между районами "РЭС-2" и "РЭС-1".						
ВЛ-11 110кВ, 4,10	0,772+j0,150	0,772+j0,283	0,960	0,009+j0,010	0,000-j0,134	0,000
ВЛ-17 110кВ, 5,40	5,007-j0,459	5,004-j0,287	5,869	0,043+j0,107	0,002-j0,172	0,002
ВЛ-7 110кВ, 19,10	4,233-j0,436	4,227+j0,175	4,969	0,142+j0,313	0,006-j0,611	0,006
Связь между районами "РЭС-2" и "ПАО "РЖД""						
ВЛ-38 110 кВ, 2,20	0,353+j0,110	0,353+j0,181	0,464	0,003+j0,002	0,000-j0,072	0,000
ВЛ-23 110кВ, 42,30	5,126+j0,065	5,106+j1,399	6,218	0,527+j0,768	0,019-j1,334	0,019
ВЛ-19 110 кВ, 21,90	3,184+j0,246	3,180+j0,949	3,891	0,182+j0,241	0,004-j0,703	0,004
ВЛ-25 110 кВ, 21,90	2,472+j0,633	2,470+j1,336	3,298	0,185+j0,166	0,003-j0,703	0,003

Общая информация | Нагрузки | Генераторы | Связи между РЭС

Рис. 4. Окно с вкладкой, содержащей параметры линий связи между районами

Таким образом, предложенный подход к анализу балансов мощностей с применением программного комплекса для расчета электрических сетей позволяет выполнить анализ состояния электрических сетей, находящихся на балансе отдельного структурного подразделения, определить линии связи между смежными структурными подразделениями и вывести их параметры. Результаты могут быть использованы при подготовке информации о балансах мощности и потерях электроэнергии в соответствии с требованиями [4].

Литература

1. Агеев В. А., Душутин К. А., Дудин А. В., Волгушев П. А., Бурнаев А. И. Сравнительный анализ методов расчета режимов электрических сетей // Сельский механизатор. 2018. № 1. С. 30–33.
2. Агеев В. А., Душутин К. А., Волгушев П. А. Программный комплекс для расчета режимов электрических сетей // Проблемы электротехники, электроэнергетики и электротехнологии (ПЭЭЭ-2017): V Всерос. науч.-техн. конф. (к 50-летию юбилею кафедры «Электроснабжение и электротехника» института энергетики и электротехники), Тольятти, 1-2 ноября 2017 г.: сб. трудов. Тольятти: Изд-во ТГУ, 2017. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). С. 4–10.
3. Акционерное общество «Системный оператор Единой энергетической системы» (АО «СО ЕЭС») [Электронный ресурс]. URL: <https://www.so-ups.ru> (дата обращения: 02.12.2019).
4. Приказ Министерства энергетики РФ от 30 декабря 2008 г. № 326

«Об организации в Министерстве энергетики Российской Федерации работы по утверждению нормативов технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям» [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/195516/> (дата обращения: 23.01.2020).

5. Агеев В. А., Волгушев П. А., Душутин К. А. Программный комплекс для расчета режимов электрических сетей. Патент России № 2018612344. 2017. Бюл. № 2.

УДК 621.311

УЧЕТ ФАЗНОЙ ВЗАИМОИНДУКЦИИ ДВУХЦЕПНОЙ ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ОПЕРАТИВНЫХ РАСЧЕТАХ ТОКА КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В ПВК RASTRWIN3

¹Галеева Раиса Усмановна, ²Фадеев Павел Сергеевич, ³Петров Алмаз Радикович

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

¹raisa_gal.52@mail.ru, ²mirp@bk.ru, ³petroval13@mail.ru

Надежное и качественное проектирование электрических сетей, выбор устройств противоаварийной автоматики зависит от качества моделирования аварийных переходных процессов, оперативности расчетов токов короткого замыкания. Предлагаемый метод учета фазной взаимоиנדукции двухцепных воздушных линий высокого напряжения, регулирующих устройств автотранс-форматоров при оперативных расчетах в ПВК RASTRWIN3, позволит принять персоналу обоснованное и технически грамотное решение.

Ключевые слова: двухцепная трехфазная воздушная линия, взаимоиנדукция, метод фазных координат, ток отсечки, регулирование нагрузки под напряжением, контролируемое сопротивление.

ACCOUNTING THE PHASE OF MUTUAL INDUCTION OF HIGH VOLTAGE IN TWO TARGET WORKS FOR CALCULATION OF SHORT CURRENT IN RASTRWIN3

¹Galeeva Raisa Usmanovna, ²Fadeyev Pavel Sergeyeovich, ³Petrov Almaz Radikovich

KSPEU, Kazan

¹raisa_gal.52@mail.ru, ²mirp@bk.ru, ³petroval13@mail.ru

Reliable and high-quality design of electrical networks, the choice of emergency control devices depends on the quality of simulation of emergency transients, the speed of

calculation of short circuit currents. The proposed method for taking into account the phase mutual induction of double-circuit high voltage overhead lines, regulating autotransformer devices during operational calculations in the RASTRWIN3 will allow the staff to make an informed and technically competent decision.

Keywords: two-circuit three-phase overhead line, mutual induction, phase coordinate method, cutoff current, voltage load regulation, controlled resistance.

Расчет токов коротких замыкания (КЗ) является одной из важнейших проектных и эксплуатационных задач, которые решаются персоналом диспетчерских центров, электросетевых компаний и проектных организаций [1–3]. Наиболее сложной задачей является процесс моделирования аварийного режима системы с учетом всех взаимовлияющих факторов. Двухцепные воздушные линии (ВЛ) высокого напряжения, нашедшие широкое применение в сетях 35, 110 и 220 кВ, обладают рядом особенностей ввиду уменьшенными расстояниями между осями параллельных ВЛ. В этом случае становится заметным влияние цепей друг на друга через взаимную индуктивность и емкость. Для учета взаимоиндукции разных фаз друг на друга, расположения проводов ВЛ, длины провеса, высоты подвески проводов относительно земли, эквивалентного радиуса и других особенностей применялся метод фазных координат (МФК) для многофазной схемы замещения (МСЗ) двухцепной ВЛ. МФК предполагает составление матрицы собственных $Z_{i,i}$ и взаимных $Z_{i,j}$ фазных сопротивлений (табл. 1).

Таблица 1

Матрица собственных и взаимных фазных сопротивлений

Номер цепи	Z_{ij}	I			II		
		A	B	C	a	b	c
I	A	Z_{AA}	Z_{AB}	Z_{AC}	Z_{Aa}	Z_{Ab}	Z_{Ac}
	B	Z_{BA}	Z_{BB}	Z_{BC}	Z_{Ba}	Z_{Bb}	Z_{Bc}
	C	Z_{CA}	Z_{CB}	Z_{CC}	Z_{Ca}	Z_{Cb}	Z_{Cc}
II	a	Z_{aA}	Z_{aB}	Z_{aC}	Z_{aa}	Z_{ab}	Z_{ac}
	b	Z_{bA}	Z_{bB}	Z_{bC}	Z_{ba}	Z_{bb}	Z_{bc}
	c	Z_{cA}	Z_{cB}	Z_{cC}	Z_{ca}	Z_{cb}	Z_{cc}

По главной диагонали матрицы располагаются собственные полные сопротивления фаз A, B, C цепи I и фаз a, b, c цепи II – $Z_{i,i}$,

недиагональные элементы представляют собой взаимные сопротивления фаз первой и второй цепей – $Z_{i,j}$.

Используя программный комплекс ПК Matlab Powergui Compute RLC Line Parameters, в соответствии с [3] были получены матрицы удельных активных сопротивлений и индуктивностей для тестируемой модели (рис. 2, 3).

```
>> power_lineparam
R_matrix =
0.1436 0.0472 0.0474 0.0469 0.0472 0.0474
0.0472 0.1441 0.0477 0.0472 0.0474 0.0477
0.0474 0.0477 0.1446 0.0474 0.0477 0.0479
0.0469 0.0472 0.0474 0.1436 0.0472 0.0474
0.0472 0.0474 0.0477 0.0472 0.1441 0.0477
0.0474 0.0477 0.0479 0.0474 0.0477 0.1446
```

Рис. 2. Матрица удельных активных сопротивлений двухцепной ВЛ

```
L_matrix =
0.0023 0.0010 0.0009 0.0010 0.0009 0.0009
0.0010 0.0023 0.0010 0.0009 0.0009 0.0009
0.0009 0.0010 0.0023 0.0009 0.0009 0.0010
0.0010 0.0009 0.0009 0.0023 0.0010 0.0009
0.0009 0.0009 0.0009 0.0010 0.0023 0.0010
0.0009 0.0009 0.0010 0.0009 0.0010 0.0023
```

Рис. 3. Матрица удельных индуктивностей двухцепной ВЛ

Пересчет реактивностей производился в ПК *Matlab Powergui* по выражению:

$$X = 314 \times L_matrix.$$

В качестве тестируемой модели была рассмотрена система С напряжением $U_c = 220$ кВ, связанная через двухцепную ВЛ Л1 и автотрансформаторами АТ1 и АТ2 с генератором Г и нагрузкой (рис. 4).

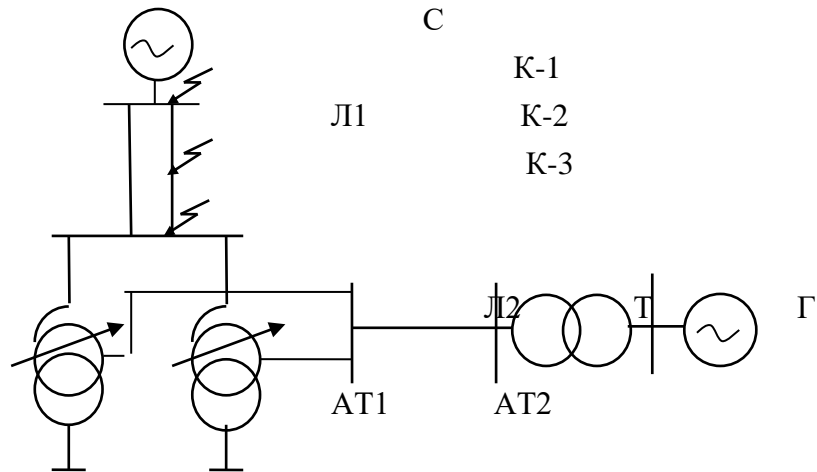


Рис. 4. Исследуемая схема

Двухцепная ВЛ выполнена на одностоечных опорах типа П220-2 (провод марки АС-300/39) со следующими параметрами: эквивалентный радиус провода $R_{ЭК} = 11,4$ мм; напряжение линии $U = 220$ кВ; длина $L = 100$ км; сопротивление земли $R_3 = 180$ Ом·м; сопротивление системы С: $X_C = 16,2$ Ом. Параметры генератора Г: номинальная мощность $S_H = 57$ МВА, напряжение $U_H = 6$ кВ, переходное сопротивление $X''_d = 0,192$. Параметры трансформатора Т: номинальная мощность $S_{HT} = 63$ МВА, высшее напряжение $U_{BH} = 115$ кВ, низшее напряжение $U_{HH} = 6,3$ кВ, напряжение короткого замыкания $U_K = 10,5$ %. Автотрансформаторы АТ1 и АТ2 типа АТДЦН-63000 с РПН на стороне среднего напряжения с диапазоном регулирования $\pm 8 \times 1,5$ %: высшее напряжение $U_{BH} = 230$ кВ, среднее напряжение – $U_{CH} = 115$ кВ, низшее напряжение – $U_{HH} = 35$ кВ, напряжение короткого замыкания $U_{КВН-CH} = 14,4$ %, $U_{КВН-HH} = 18,9$ %, $U_{КСН-HH} = 19,3$ %. Параметры линии Л2: длина $l = 63$ км, погонное индуктивное сопротивление $X_{уд} = 0,405$ Ом/км, погонное активное сопротивление $R_{уд} = 0,12$ Ом/км.

В качестве расчетного эксперимента выполнялся расчет периодической составляющей начального тока симметричного трехфазного КЗ в точках К-1, К-2 и К-3, контролируемого сопротивления и токовой отсечки без учета взаимных связей между фазами ВЛ (вариант 1) и с учетом связей (вариант 2) при различных регулировочных ответвлениях АТ1.

Моделирование расчетного аварийного режима тестируемой сети проводилось в программном вычислительном комплексе (ПВК) RASTRWIN3 [5]. Результаты расчётов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчета начального тока КЗ и контролируемого сечения при различных ступенях регулирования АТ1 в ПВК RASTRWIN3

Точка КЗ	№ варианта	$X_{л1}$, Ом	Напряжение, U , кВ	Положение РПН	Ток КЗ I_K , кА	Контролируемое сопротивление Z_K , Ом
К-1	1	44,48	89,98	«-8»-«-8»	8,502	10,58
				«0»-«0»	8,485	10,605
				«+8»-«+8»	8,452	10,646
К-1	2	70	89,90	«-8»-«-8»	8,48	10,601
				«0»-«0»	8,47	10,614
				«+8»-«+8»	8,45	10,64
К-2	1	44,48	93,5	«-8»-«+8»	3,8	24,61
				«0»-«+0»	3,78	24,74
				«+8»-«+8»	3,75	24,93
К-2	2	70	99,9	«-8»-«-8»	5,9	16,93
				«0»-«0»	5,88	16,99
				«+8»-«+8»	5,86	17,05
К-3	1	44,48	97,6	«-8»-«-8»	2,525	38,65
				«0»-«0»	2,499	39,04
				«+8»-«+8»	2,471	39,49
К-3	2	70	107,9	«-8»-«-8»	1,882	57,33
				«0»-«0»	1,857	58,12
				«+8»-«+8»	1,828	59,03

Проведенные исследования с использованием МФК показали, что учет взаимовлияния фазных проводов двухцепной воздушной линии приводит к уменьшению зоны действия токовой отсечки на 7 %. Погрешность в определении тока срабатывания отсечки составляет 25 %. Изменение отпак РПН автотрансформатора на средней стороне оказывает незначительное влияние на ток срабатывания токовой отсечки.

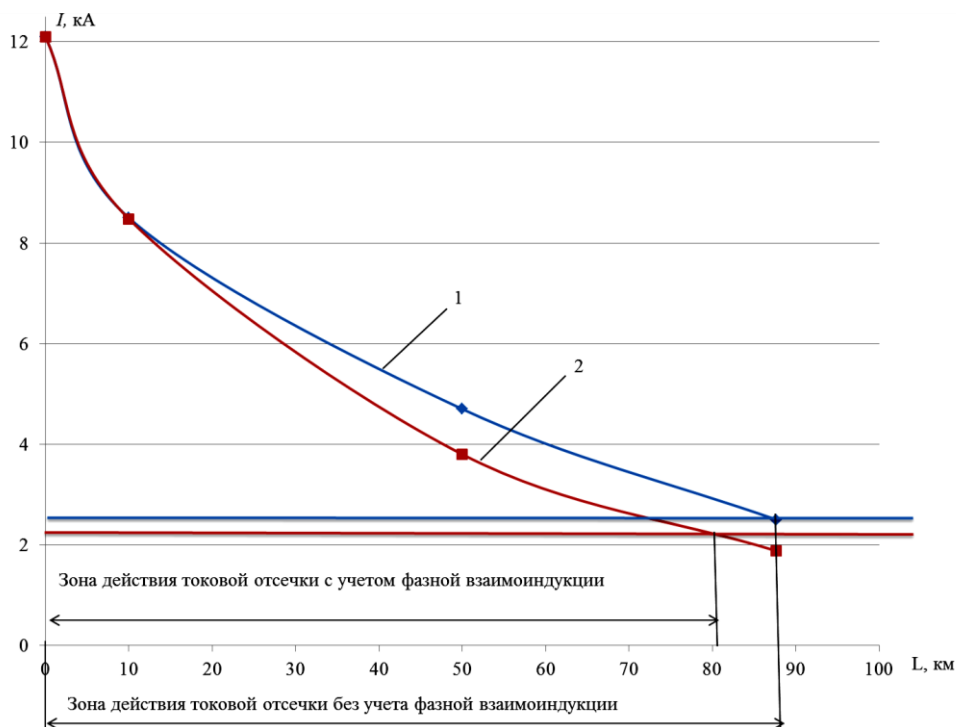


Рис. 5. Графическое определение зоны действия отсечки мгновенного действия:
 1 – зависимость начального тока от длины линии без учета фазной взаимоиנדукции проводов; 2 – зависимость начального тока от длины линии с учетом фазной взаимоиנדукции проводов

При определении тока срабатывания коэффициент надежности принимался $K_H = 1,15$.

Литература

1. Шишков Е. М., Ведерников А. С., Гольдштейн В. Г. Влияние несимметрии параметров воздушной линии электропередачи // *Электричество*. 2013. № 4. С. 9–18.
2. Альмендеев А. А. Математическая модель для расчета установившихся режимов двухцепных воздушных линий // *Вестник СамГТУ серия «Технические науки»*. 2009. № 2(24). С. 200–203.
3. Копьев В. Н. Релейная защита. Принципы выполнения и применения: учебное пособие. Томск: Изд-во ТПУ. 2009. С. 153.
4. Галеева Р. У., Назаров А. В., Хасаншин А. А. Влияние электромагнитных связей между проводами двухцепной воздушной линии и поверхностью земли на переходные режимы // *Известия вузов. Проблемы энергетики*. 2019. Т. 21. № 1–2. С. 67–76.
5. Ерошенко С. А. Расчет токов коротких замыканий в энергосистемах: учеб. пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та. 2019. С. 47–68.

УДК 621.314.21

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ГЕОИНДУЦИРОВАННОГО ТОКА НА ИСКАЖЕНИЕ СИНУСОИДАЛЬНОЙ ФОРМЫ НАПРЯЖЕНИЯ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ЗНАЧЕНИЯХ КОЭФФИЦИЕНТОВ МОЩНОСТИ НАГРУЗКИ

Дайнеко Алексей Владимирович

ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет», г. Тольятти

fancydude@yandex.ru

Исследовано влияние протекания геоиндуцированного тока по обмоткам силового трансформатора на искажение синусоидальной формы кривой напряжения на шинах силового трансформатора при различных значениях коэффициента мощности нагрузки.

Ключевые слова: силовой трансформатор, геоиндуцированный ток, насыщение магнитопровода, модель электрической сети, показатели качества электрической энергии, искажение синусоидальной формы напряжения.

ANALYSIS OF THE GEO-INDUCED CURRENT INFLUENCE ON THE POWER TRANSFORMER VOLTAGE SINUSOIDAL FORM DISTORTION AT DIFFERENT LOAD POWER FACTOR VALUES

Daineko Aleksei Vladimirovich

Togliatti State University, Togliatti

fancydude@yandex.ru

The given scientific article reveals the influence of geo-induced current flow through the windings of a power transformer on the distortion of sinusoidal form voltage curve on dsxpower transformer busbars at different power factor values.

Keywords: power transformer, geo-induced current, saturation of the magnetic circuit, the electrical circuit model, electrical energy quality indicators, voltage sinusoidal form distortion.

Силовые трансформаторы (СТ) являются самым важным компонентом в электроэнергетической системе (ЭЭС). При эксплуатации СТ возникают режимы, при протекании которых сердечник СТ переходит в режим насыщения: перевозбуждение СТ при повышении напряжения

на первичной обмотке и номинальной частоте или при понижении частоты и номинальном напряжении; короткое замыкание во внешней ЭЭС, подключенной к вторичной обмотке СТ; включение СТ в режим холостого хода, протекание по обмоткам силового трансформатора квазипостоянных геоиндуцированных токов (ГИТ). Насыщение магнитопровода СТ приводит к смещению рабочей точки на кривой намагничивания в область насыщения магнитопровода, что вызывает появление высших гармоник в кривых напряжения и тока, отклонение напряжений от номинальных значений. Также протекание ГИТ может привести к дефициту реактивной мощности в ЭЭС, т.к. у СТ значительно увеличивается ток намагничивания.

В статье рассмотрено влияние ГИТ, протекающих по заземленным обмоткам высокого напряжения (ВН) силовых трансформаторов ТДЦ 200000 220/15,75, на искажение синусоидальной формы кривой напряжения на шинах низкого напряжения (НН) силового трансформатора ТДЦ 200000 220/15,75 при различных значениях коэффициентов мощности нагрузки, подключенной к силовому трансформатору ТДЦ 200000 220/15,75.

Паспортные данные силового трансформатора представлены в табл. 1. Параметры схемы замещения силового трансформатора ТДЦ 200000 220/15,75 представлены в табл. 2.

Таблица 1

Паспортные данные ТДЦ 200000 220/15,75
со схемой соединения обмоток Y_H/Δ

Параметр	Значение	Параметр	Значение
$S_{НОМ}$, МВ·А	200,0	$U_{1НОМ}$, кВ	242,0
U_k , %	11,0	$U_{2НОМ}$, кВ	15,75
P_k , кВт	660,0	I_0 , %	0,4
P_0 , кВт	130,0	$f_{НОМ}$, Гц	50,0

Таблица 2

Параметры схемы замещения трансформатора ТДЦ 200000 220/15,75
со схемой соединения обмоток Y_H/Δ

Параметр	Значение, о.е.
$R_1 = R_2$	0,0017
$L_1 = L_2$	0,055
R_m	1561,4
L_m	253,1

Для расчета параметров схемы замещения использовалась методика, предложенная в работе [2] Новашем И. В. и Румянцевым Ю. В.

Схема модели электрической сети, созданная в программном комплексе *Matlab*, изображена на рис. 1. Схема включает в себя синхронный генератор ТВВ 200/15,75, повышающий и понижающий силовые трансформаторы ТДЦ 200000 220/15,75, трехфазную воздушную линию 220 кВ и нагрузку. Геоиндуцированный ток моделируется с помощью источника постоянного напряжения, подключенного между заземленными нейтральными силовых трансформаторов через сопротивление заземляющих устройств.

Для анализа влияния ГИТ на искажение синусоидальной формы кривой напряжения на шинах низкого напряжения ТДЦ 200000 220/15,75 были выбраны следующие величины геоиндуцированных токов: 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300 А при следующих коэффициентах мощности нагрузки: 1; 0,9; 0,8; 0,7; 0,6; 0,5.

В табл. 3 представлены значения коэффициентов гармонических составляющих напряжения на шинах низкого напряжения ТДЦ 200000 220/15,75 для различных коэффициентов мощности нагрузки.

В результате моделирования установлено, что протекание ГИТ вызывает искажение синусоидальной формы кривой напряжения. Зависимость суммарного коэффициента гармонических составляющих (K_U) от $\cos \varphi$ и величины ГИТ представлена на рис. 2. При ГИТ в 25 А значение K_U превышает нормально допустимое значения ГОСТ 32144-2013 [1] уже при $\cos \varphi = 0,9$ и при более низком значении $\cos \varphi$. Нормально допустимые значения K_U превышаются при любом $\cos \varphi$ при ГИТ равном или большем 50 А. При ГИТ равном 25 А K_U превышает предельно-допустимые значения только при $\cos \varphi = 0,8$. При ГИТ равном 50 А, K_U превышает предельно-допустимые значения при $\cos \varphi = 0,8$, а также и при более низком $\cos \varphi$. K_U превышает предельно допустимые значения при любых значениях $\cos \varphi$, когда ГИТ равняется или превышает 75 А.

Таким образом, подмагничивание магнитопровода СТ геоиндуцированным током приводит к превышению допустимых пределов, устанавливаемых ГОСТ 32144-2013 в отношении искажения синусоидальной формы кривой напряжения, что приводит к снижению качества электроэнергии, поставляемой конечным потребителям.

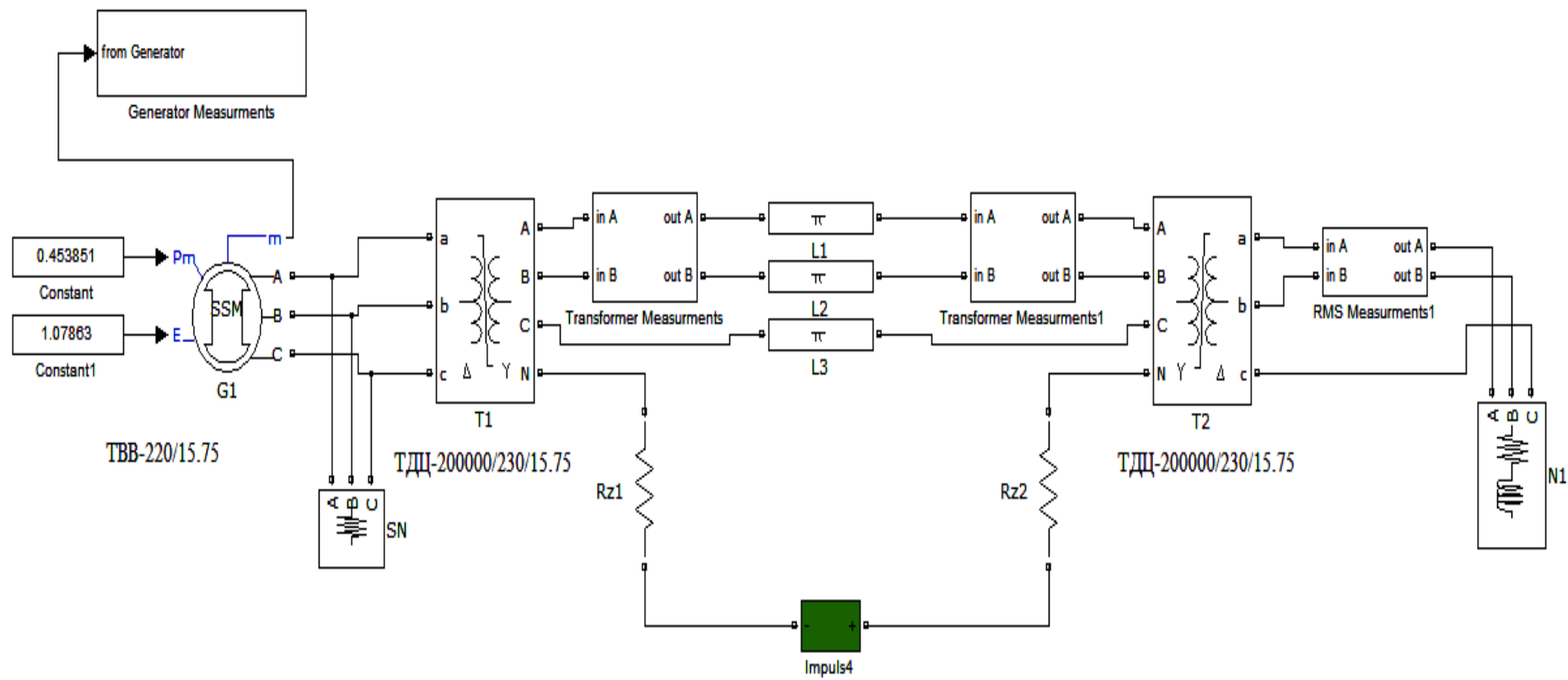


Рис. 1. Схема модели электрической сети

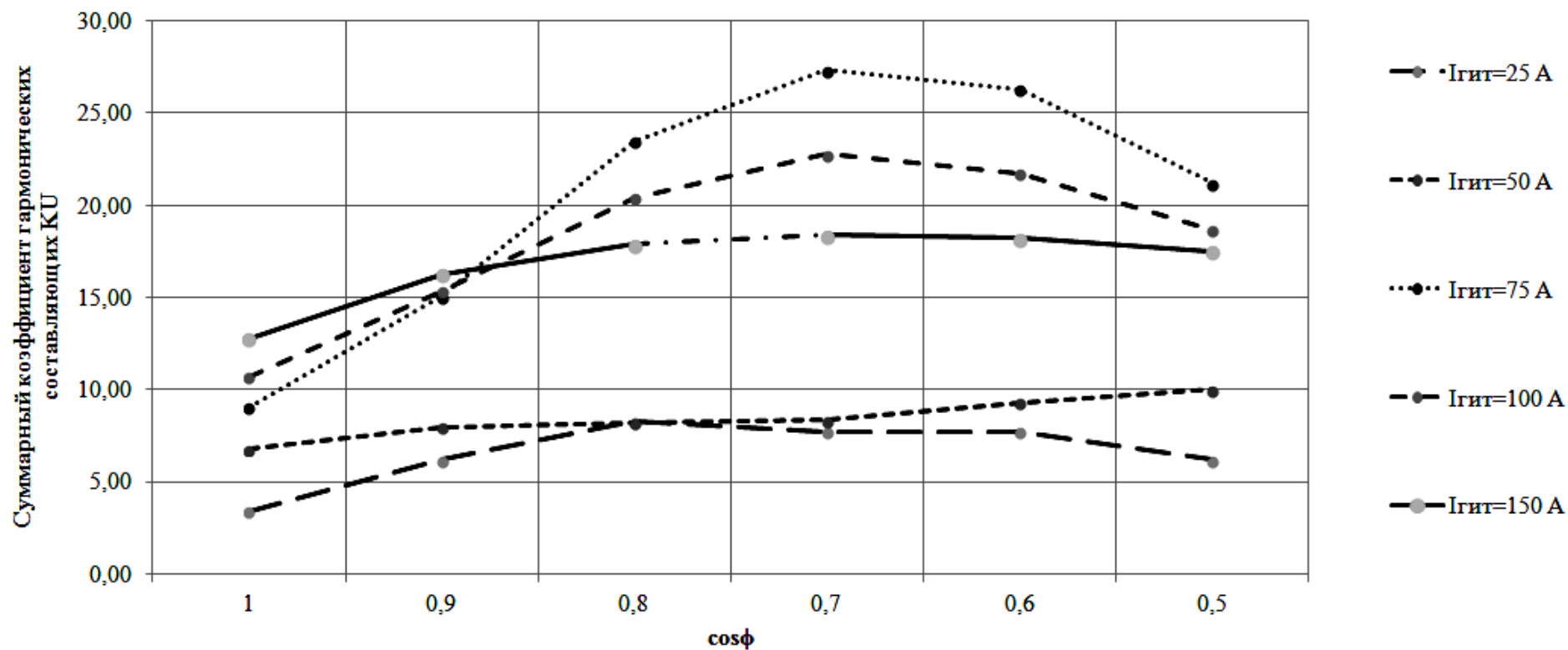


Рис. 2. График зависимости значения суммарного коэффициента гармонических составляющих от $\cos\phi$ при различных значениях ГИТ

Таблица 3

Значения коэффициентов гармонических составляющих напряжения на шинах низкого напряжения ТДЦ 200000 220/15,75 для различных коэффициентов мощности нагрузки

Гармонические составляющие напряжения, в % от первой гармоники														
		K_U	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
ГИТ при $\cos\varphi = 1, A$	25	3,37	0,59	0,01	0,78	2,54	0,01	1,59	0,26	0,01	0,08	0,40	0,01	0,44
	50	6,75	1,25	0,00	1,53	5,23	0,00	3,42	0,45	0,00	0,26	0,98	0,00	0,45
	75	9,03	1,84	0,01	2,09	7,31	0,00	4,13	0,31	0,00	0,35	0,63	0,00	0,91
	100	10,66	2,47	0,00	2,56	8,83	0,00	4,05	0,39	0,00	0,67	1,53	0,00	1,64
	150	12,78	3,65	0,01	3,20	10,74	0,00	2,70	1,20	0,01	0,96	2,89	0,00	1,35
ГИТ при $\cos\varphi = 0,9, A$	25	6,17	0,43	0,05	0,67	2,46	0,04	1,66	0,42	0,04	0,34	1,05	0,10	4,37
	50	7,99	1,03	0,09	1,32	5,25	0,09	4,06	0,77	0,08	0,85	1,43	0,08	0,82
	75	15,04	1,71	0,02	2,05	7,44	0,01	4,93	0,65	0,01	1,14	0,92	0,02	9,29
	100	15,33	2,29	0,01	2,57	8,92	0,00	4,52	0,57	0,00	1,74	2,69	0,01	7,60
	150	16,24	3,31	0,03	3,13	10,89	0,01	2,39	1,37	0,01	1,86	7,71	0,02	2,42
ГИТ при $\cos\varphi = 0,8, A$	25	8,26	0,50	0,02	0,64	2,61	0,02	1,70	0,29	0,01	0,45	2,00	0,03	6,99
	50	8,24	1,07	0,06	1,43	5,56	0,04	4,19	0,76	0,02	0,98	1,60	0,04	1,12
	75	23,47	1,76	0,03	2,24	7,80	0,01	5,17	0,76	0,02	2,16	3,09	0,05	15,96
	100	20,40	2,22	0,04	2,67	9,44	0,02	4,66	0,71	0,01	2,49	2,88	0,03	11,22
	150	17,89	3,34	0,04	3,19	11,51	0,00	2,26	1,59	0,01	1,92	9,05	0,02	4,28
ГИТ при $\cos\varphi = 0,7, A$	25	7,70	0,48	0,09	0,59	2,57	0,10	1,67	0,29	0,10	0,51	1,85	0,02	6,43
	50	8,35	1,11	0,01	1,46	5,74	0,01	4,23	0,75	0,01	0,98	1,59	0,01	0,98
	75	27,33	1,70	0,02	2,23	8,04	0,01	5,23	0,78	0,01	2,50	3,94	0,04	18,78
	100	22,75	2,25	0,04	2,65	9,66	0,03	4,66	0,75	0,03	2,70	3,01	0,03	12,83
	150	18,39	3,33	0,03	3,16	11,77	0,02	2,09	1,74	0,03	1,80	9,50	0,01	5,20
ГИТ при $\cos\varphi = 0,6, A$	25	7,74	0,43	0,02	0,62	2,58	0,05	1,57	0,43	0,08	0,73	1,98	0,06	6,44
	50	9,29	1,14	0,02	1,48	5,71	0,02	4,12	0,73	0,02	1,31	1,69	0,05	1,79
	75	26,28	1,69	0,03	2,10	8,10	0,03	5,15	0,69	0,05	2,23	3,42	0,05	17,87
	100	21,74	2,26	0,03	2,63	9,76	0,01	4,54	0,82	0,02	2,46	2,66	0,02	12,06
	150	18,19	3,40	0,06	3,10	11,86	0,01	1,86	1,87	0,03	1,65	9,28	0,04	5,09
ГИТ при $\cos\varphi = 0,5, A$	25	6,17	0,43	0,04	0,62	2,52	0,05	1,34	0,49	0,06	0,93	2,04	0,05	4,44
	50	10,02	1,11	0,01	1,36	5,72	0,01	4,03	0,71	0,01	1,28	1,66	0,02	2,38
	75	21,17	1,73	0,03	2,05	8,14	0,01	5,02	0,76	0,02	1,73	1,97	0,11	13,93
	100	18,65	2,17	0,10	2,49	9,71	0,05	4,37	0,90	0,03	1,88	2,61	0,04	9,71
	150	17,48	3,38	0,02	2,98	11,79	0,02	1,64	1,94	0,03	1,44	8,63	0,02	4,31

Литература

1. ГОСТ 32144–2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Введ. 2014-07-01. М.: Стандартинформ, 2014. 16 с.

2. Новаш И. В., Румянцев Ю. В. Расчет параметров модели трехфазного трансформатора из библиотеки Matlab-simulink с учетом насыщения магнитопровода // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2015. №1. С. 12–24.

УДК 621.316

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ РАЗВИТИЯ (РЕКОНСТРУКЦИИ) РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

Зукол Анастасия Викторовна

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск
nastya07@bk.ru

Анализируются основные подходы оценки сравнительной эффективности проекта в разные экономические периоды: в период плановой и рыночной экономик, путём рассмотрения теоретических основ и анализа практического применения.

Ключевые слова: экономическая эффективность, приведенные затраты, срок окупаемости, чистый дисконтированный доход, дисконтированные затраты, технико-экономические критерии, распределительные сети.

METHODS OF A FEASIBILITY STUDY FOR THE DEVELOPMENT (RECONSTRUCTION) OF DISTRIBUTION ELECTRIC NETWORKS: THEORY AND PRACTICE

Zukol Anastasia Viktorovna

Siberian Federal University, Krasnoyarsk
nastya07@bk.ru

The main way to assessing the comparative efficiency of project in different economic periods are analyzed: during the planned economy and during the market economy, by means off exploring the theoretical foundations and analyzing practical application.

Key words: economic efficiency, reduced costs, payback period, net present value, discounted costs, technical and economic criteria, distribution networks.

Переход экономики страны на рыночные условия хозяйствования привел к необходимости разработки новых методов определения экономической эффективности принимаемых технических решений. Прежде в основу этих методов был положен приоритет народнохозяйственных интересов, выражаемый минимальными приведенными затратами. В новых условиях на первый план ставится требование хозрасчётной эффективности, которая находит свое выражение в прибыли или в хозрасчётном доходе.

При этом можно отметить, что используемая ранее система показателей экономической оценки осталась незаслуженно забытой.

На сегодняшний день происходит активный рост нагрузок, что вызывает неизбежное развитие электрических сетей, которое приводит к необходимости выбора наилучшего варианта развития сети. Варианты имеют отличия в технико-экономических показателях, поэтому важно использовать критерии, отражающие действительную эффективность проекта.

В результате рассмотрения более 50 научных работ по данной тематике, охватывающих постсоветский период, в том числе изданий РАН и отраслевые журналы, установлено отсутствие сопоставительного анализа показателей сравнительной экономической эффективности при плановых и рыночных экономиках. Попыткой такого анализа основных критериев представленной в данной работе является: минимум приведенных затрат, максимум чисто дисконтированного дохода и минимальный срок окупаемости,

В 30-е г. прошлого столетия обострилась проблема обоснования проектов строительства новых электростанций и мероприятий по совершенствованию техники и технологий, используемых на действующих объектах.

В 1937 г. С. А. Кукель-Краевским было предложено определять экономическую эффективность по сроку окупаемости дополнительных капиталовложений по формуле, ориентированной на попарное сравнение вариантов [4]:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_1 - K_2}{I_2 - I_1}, \quad (1)$$

где K_1, K_2, I_1, I_2 – капиталовложения и экономические издержки, связанные соотношениями $K_2 < K_1$ и $I_2 > I_1$.

Считается, что если $T_{ок}^p < T_H$, то выгоднее будет вариант с большими капиталовложениями (вариант 1), и наоборот. Нормативный срок окупаемости определяется обратной величиной коэффициента дисконтирования (норма дисконта), который принимается равным ставке ЦБ с учётом рисков.

Главным недостатком этого критерия является ограниченное число сравниваемых вариантов, равное 2.

В соответствии с действующими рекомендациями [9] общую эффективность капитальных затрат определяет другая формулировка критерия срока окупаемости [3]:

$$T_{ок} = \frac{K}{\Pi} \rightarrow \min, \quad (2)$$

где Π – чистая прибыль, получаемая за счёт сооружения объекта, и определяется как разность денежных поступлений и текущих расходов.

Под сроком окупаемости в данном случае понимается срок, который понадобится для возмещения суммы первоначальных капиталовложений с помощью накопленной прибыли. Оптимальным считается вариант с наименьшим значением срока окупаемости.

В 1969 году была разработана и издана официальная методика под названием «Типовая методика определения экономической эффективности капитальных вложений». Для оценки плановых и проектных решений в методике приводится в качестве основного показателя сравнительной экономической эффективности инвестиций приведенные затраты, которые вывели еще в 50-х годах через критерий (1):

$$Z_{пр} = E_H \cdot K + I \rightarrow \min, \quad (3)$$

где K – капитальные вложения, необходимые для сооружения или реконструкции сети; E_H – нормативный коэффициент сравнительной эффективности капиталовложений, принимаемый экспертным путём.

История данного критерия началась задолго до его принятия в качестве официальной методики. У истоков этой методики стояли двое учёных рубежа 19–20 вв. – У. Томсон (Кельвин) и В. Г. Шухов, которые использовали экономический подход для решения технических задач.

Профессор Д. А. Арзамасцев выполнил всесторонний анализ критерия приведенных затрат и дал обоснование критерия в динамической постановке, чему предшествовала задача отыскания оптимальной альтернативы развития системы. В своём анализе учёный использовал математические приёмы и методы оптимизации, в частности, метод неопределённых множителей Лагранжа [1].

Критерий приведенных затрат в динамической постановке, характеризующий строительство объектов в течение нескольких лет:

$$Z_{\text{пр}} = \sum_{t=1}^T (E_{\text{н}} \cdot K_{it} + \Delta И_{it}) \cdot (1 + E_{\text{нп}})^{T-t} \rightarrow \min, \quad (4)$$

где $\Delta И_{it}$ – величина издержек i -го года по сравнению с $(i-1)$ -м годом; $E_{\text{нп}}$ – норматив приведения разновременных затрат, в энергетике принято считать равным нормативному коэффициенту эффективности [2].

Если принять $E_{\text{н}} = E_{\text{нп}}$ равным норме дисконта по данным ЦБ, то критерии (3) и (4) принимают современный вид, т. е. отражают текущую экономическую ситуацию и описывают компромисс между текущими (на сегодняшний день) капитальными вложениями и будущими эксплуатационными издержками [6]. Это объясняется тем, что нынешнее поколение заинтересовано в меньших инвестициях на строительство объектов, а будущее поколение, наоборот, – в больших с целью нести меньшие издержки на эксплуатацию энергооборудования.

В 1999 г. была принята новая методика, обоснованная переходом к рыночному устою, которая называлась «Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов» [9].

Основным показателем эффективности инвестиций, входящим в эту методику, является чистый дисконтированный доход (ЧДД), который представляет разницу между суммой денежных поступлений, дисконтированных к их текущей стоимости, и суммой дисконтированных текущих стоимостей всех затрат, необходимых для реализации этого проекта [7].

Расчётная формула приведена в методических рекомендациях [9]:

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=0}^T (R_t - Z_t) \cdot \lambda_t = \sum_{t=0}^T \frac{R_t - Z_t}{(1 + E)^t} \rightarrow \max, \quad (5)$$

где R_t и Z_t – результаты и затраты, достигаемые на t -ом шаге расчёта; λ_t – коэффициент дисконтирования; E – ставка дисконтирования.

Эффективным считается проект с наибольшим значением ЧДД больше нуля. Если же ЧДД меньше нуля, то проект отклоняется.

Может показаться, что в случаях, когда отсутствует значение прибыли, нет возможности определить эффективность проекта с помощью критерия ЧДД. Однако можно принять некоторые допущения касательно этого вопроса. При рассмотрении нескольких вариантов: первый – проектный, а второй – нулевой, доход заменяется экономией затрат в эксплуатации объекта. Таким образом, доход будет определяться как стоимость сэкономленной мощности при реконструкции электроэнергетического объекта [5, 8].

В методических рекомендациях не предусматривается отбор на начальном этапе заведомо неэффективных вариантов проекта с помощью ЧДД. Поэтому расчёты производятся как в отношении потенциально прибыльных, так и убыточных проектов. Это приводит к необоснованным временным и финансовым затратам.

При рассмотрении нескольких моделей распределительных электрических сетей, исполнение которых различно (КЛ, ВЛ, ВЛ с изолированными проводами), рассчитаны технико-экономические критерии в динамической постановке при двухлетнем периоде строительства (см. таблицу).

Сравнение технико-экономических показателей эффективности

№ модели	Описание модели	Приведенные затраты, тыс. руб.	Расчётные затраты, тыс. руб.	Срок окупаемости, лет
1	Разомкнутая ЭС: Вариант 1 – СИП-3 1×50	3677,53	23029,6	1,16
	Вариант 2 – АС-50/8	3616,482	20040,2	0,98
2	Разомкнутая ЭС: Вариант 1 – КЛ ОСБ 3×35	9440,021	43867,949	0,768
	Вариант 2 – СИП-3 1×70	7618,027	42125,027	0,775
3	Замкнутая ЭС: Вариант 1 – АС-70/11	5839,137	33547,902	1,89
	Вариант 2 – СИП-3 1×70	7954,99	52738,787	3,06
4	Разомкнутая ЭС: Вариант 1 – 10 кВ	2164,601	13730,669	–
	Вариант 2 – 20 кВ	2567,273	15224,123	–

В качестве дохода принята прибыль, вырученная с реализации максимальной мощности, а также прибыль, которую получит снабжающая компания от платы за новые технологические присоединения. Эта величина устанавливается сетевой компанией, в качестве которой в данном случае выступает РСК ПАО «МРСК Сибири».

При расчётах показатель ЧДД получался отрицательным в каждом варианте, поэтому вместо ЧДД рассматривается критерий дисконтированных расчётных затрат. Это допустимо, поскольку при равном экономическом эффекте, т. е. одинаковом объеме реализованной электроэнергии, максимум ЧДД совпадает с минимумом расчётных дисконтированных затрат [3].

В результате все показатели сравнительной экономической эффективности дают один и тот же результат, за исключением срока окупаемости в модели 2. Выбор варианта в таком случае необходимо производить по критерию приведенных затрат.

Расчёт критерия ЧДД не способствовал, а скорее препятствовал выбору варианта развития сети. Это связано с заниженными ценами (тарифами) на электроэнергию, в следствие чего прибыль не покрывает затраты и показатель ЧДД во всех случаях получается отрицательным. Создается мнение о неэффективности и нецелесообразности сооружения объектов. Но необходимость в новом объекте часто диктуется ростом спроса на продукцию, что характерно для быстро растущих распределительных сетей.

Литература

1. Арзамасцев Д. А. Проблема учёта расплывчатости технико-экономических оценок в задачах развития систем электроэнергетики // Известия вузов. Проблемы энергетики. 1993. № 7-8. С. 112–124.
2. Бренц А. Д., Гандкин В. Я., Уринсон Г. С. Экономика газодобывающей промышленности. М.: Недра, 1975. 248 с.
3. Герасименко А. А., Федин В. Т. Электроэнергетические системы и сети: расчёты, анализ, оптимизация режимов работы и проектных решений электрических сетей: учеб. пособие. Ростов н/Д: Феникс, 2018. 471 с.
4. Денисов В. И., Дзюба А. А. Эволюция обоснования экономической эффективности проектов в электроэнергетике // Электрические станции. 2015. № 1. С. 4–8.
5. Кравченко А. В., Дагбаева Е. Б. Технико-экономическое обоснование применения компенсирующих устройств в электрических сетях // Теоретические и прикладные аспекты современной науки. 2014. № 5. С. 111–114.

6. Падалко Л. П. Методы технико-экономических расчётов в условиях рыночной экономики // Известия вузов. Проблемы энергетики. 1993. № 1–2. С. 118–124.

7. Раянова Г. Н. Исследование современных методов оценки инвестиционных проектов // Устойчивое развитие науки и образования. 2016. № 2. С. 61–65.

8. Старик Д. Э. Экономическая оценка инновационных проектов // Иноватика и экспертиза. 2010. № 2. С. 120–134.

9. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов. Официальное издание / 2-я ред. М.: Экономика, 2000.

УДК 621.316

ЗАЩИТА ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ С ЛЮБОЙ СТЕПЕНЬЮ ПРОДОЛЬНОЙ КОМПЕНСАЦИИ

¹Иванов Игорь Юрьевич, ²Новокрещенов Виталий Викторович

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

¹igorivanov85@list.ru, ²vitnov@inbox.ru

В работе представлен анализ способов повышения пропускной способности линий электропередач, представлен алгоритм защиты линии электропередачи при внутренних повреждениях, приведены результаты моделирования установки последовательно линии конденсаторных батарей для компенсации реактивного сопротивления.

Ключевые слова: активно-адаптивная сеть, дифференциальная релейная защита, алгоритм, линия электропередачи, продольная компенсация.

PROTECTION OF ELECTRIC TRANSMISSION LINES WITH ANY DEGREE OF LONGITUDINAL COMPENSATION

¹Ivanov Igor Yrievich, ²Novokreshenov Vitaly Viktorovich

KSPEU, Kazan

¹igorivanov85@list.ru, ²vitnov@inbox.ru

The paper presents an analysis of ways to increase the capacity of power lines, an algorithm for protecting the power line in case of internal damage is presented, the results of modeling the installation of a line of capacitor banks to compensate for reactance are presented.

Key words: active-adaptive network, differential relay protection, algorithm, power line, longitudinal compensation.

В электроэнергетике существует несколько способов повышения пропускной способности линий электропередач. Одним из способов является установка последовательно линии конденсаторных батарей для компенсации реактивного сопротивления ЛЭП. Данное техническое решение помимо достоинств обладает также и недостатками: при коэффициенте компенсации более 50 % реактивного сопротивления линии наблюдаются такие явления, как инверсия тока во время КЗ, инверсия напряжения во время КЗ, низкочастотные колебания после отключения короткого замыкания и т.д. Эти (и другие) явления приводят к невозможности защищать линию электропередачи, так как приводят к ложному срабатыванию или несрабатыванию релейной защиты при повреждениях на защищаемой линии. В частности, инверсия тока при КЗ на линии приводит к тому, что токи направлены не к месту короткого замыкания (рис. 1), а как бы мимо него (рис. 2), в результате дифференциальная и дифференциально-фазная защиты воспринимают данное повреждение как внешнее и не срабатывают. По этой причине в настоящее время степень компенсации реактивного сопротивления линии электропередачи не превышает 50 %. Для решения указанной проблемы был разработан алгоритм, позволяющий защищать линию электропередачи при любой степени продольной компенсации (рис. 3).

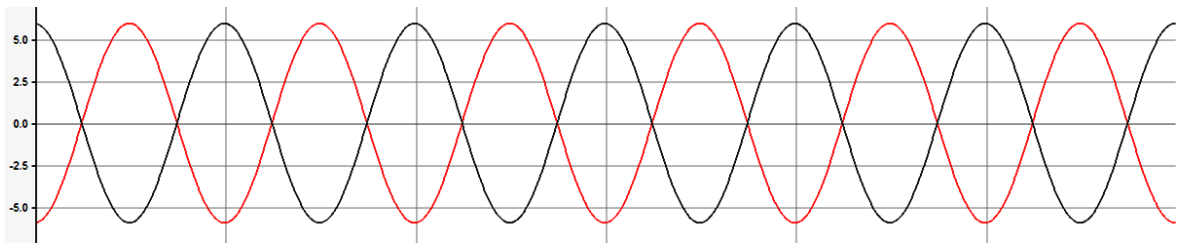


Рис. 1. Осциллограмма токов при трёхфазном коротком замыкании в середине линии с двухсторонним питанием без продольной компенсации (разными цветами показаны токи с разных концов линии)

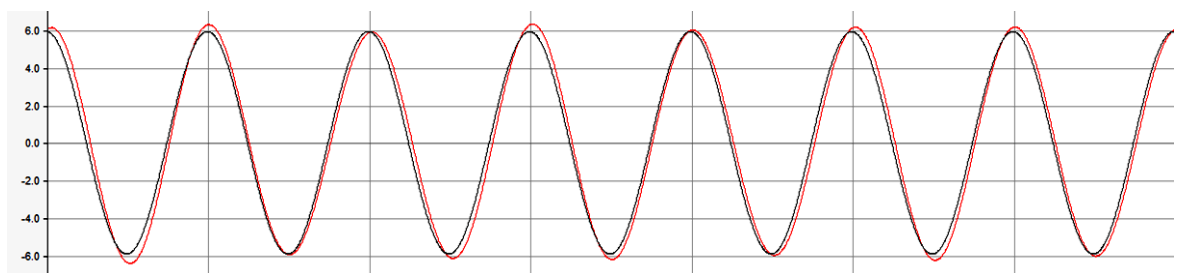


Рис. 2. Осциллограмма токов при трёхфазном коротком замыкании в середине линии с двухсторонним питанием с продольной компенсацией (разными цветами показаны токи с разных концов линии)

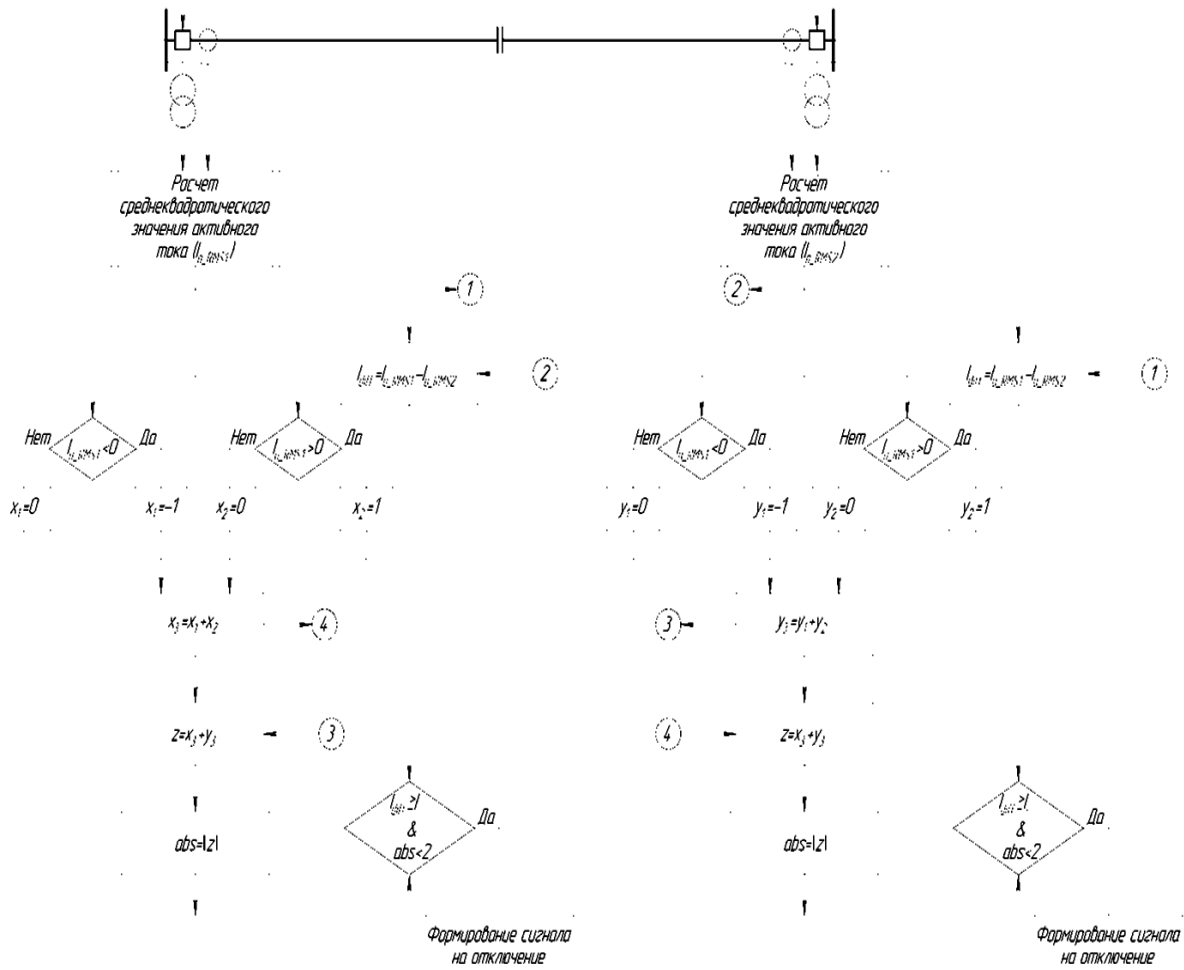


Рис. 3. Алгоритм защиты линии электропередачи при внутренних повреждениях

Известно, что при коротком замыкании обе составляющие тока (активная и реактивная) направлены к месту короткого замыкания. Угол реактивной составляющей (плюс 90° или минус 90°) зависит от того, какое сопротивление преобладает – индуктивное или емкостное. Угол активной составляющей тока от этого не зависит и всегда равен углу напряжения – это свойство закона электрофизики и предлагается использовать для определения повреждения внутри линии. Для реализации данного алгоритма осуществляется непрерывный сбор данных относительно мгновенных значений напряжения на шинах подстанций и значений полных токов с обоих концов линии. Далее по известным формулам подсчитываются абсолютное значение активного тока с каждого конца линии и его знак (за положительное направление токов в данном алгоритме принято направление тока слева направо). Предполагается, что для реализации алгоритмов будут использоваться цифровые терминалы релейной защиты, установленные с каждого конца линии. Связь между терминалами будет осуществляться посредством

оптоволоконной связи. Для наглядности на рис. 3 эти связи обозначены не сплошными линиями, а в виде блоков-соединителей ①, ②, ③, ④. После расчёта среднеквадратического значения активного тока происходит ветвление алгоритма с двумя параллельными ветвями. В одной из них посчитывается дифференциальное значение токов по концам линии. В другой ветви организован алгоритм, направленный на определение разности знаков сравниваемых токов для последующей блокировки, если знаки одинаковые. Для определения знака используются два блока ветвления, где среднеквадратическое значение тока сравнивается с нулём и две переменные-флаги x_1 и x_2 (y_1 и y_2 для алгоритма на другом конце линии), которым присваивается положительное или отрицательное значение в зависимости от того, какой знак имеет ток. Далее подсчитывается сумма флагов с обоих концов линии (значение z). После чего определяется абсолютное значение этой суммы (значение abs). Затем значения дифференциального тока и абсолютной суммы флагов подаются на входы компаратора, где осуществляется сравнение дифференциального тока с уставкой и блокировка сигнала на отключение, если токи по концам линии имеют одинаковые знаки. Данная блокировка нужна для предупреждения ложного срабатывания защиты при переходных процессах в электроэнергетических системах, например при отключении внешнего короткого замыкания (рис. 4).



Рис. 4. Осциллограммы действующих значений активных токов при отключении внешнего короткого замыкания (красным и чёрным цветом показаны токи с разных концов линии, синим – их дифференциальная сумма)

На рис. 3 показана однолинейная схема, а алгоритм изображён только для одной из фаз. Т.е. если линия трёхфазная, то для её защиты должно быть организовано три пары таких алгоритмов.

Для проверки адекватности алгоритма в программе PS CAD была смоделирована линия электропередачи подобная той, что изображена на рис. 3. Как показали исследования, описанный алгоритм показывает удовлетворительные результаты при любой степени продольной компенсации линии (рис. 5–7).

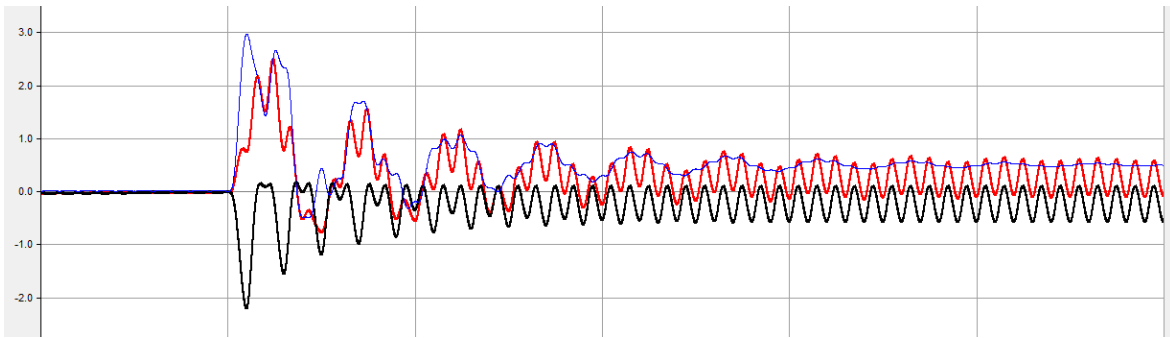


Рис. 5. Осциллограммы действующих значений активных токов при возникновении внутреннего короткого замыкания при 100 % компенсации реактивного сопротивления (красным и чёрным цветом показаны токи с разных концов линии, синим – их дифференциальная сумма)

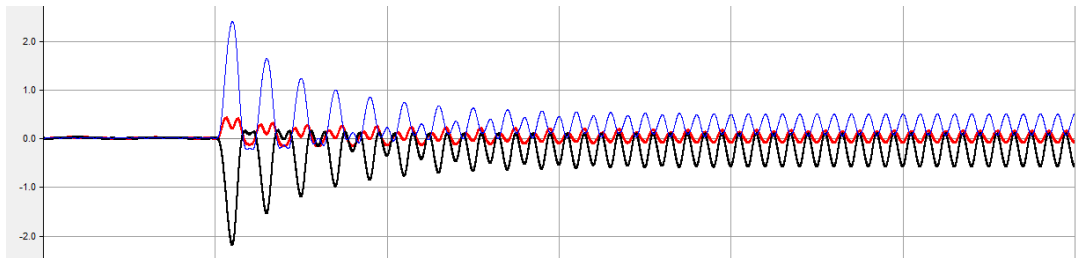


Рис. 6. Осциллограммы действующих значений активных токов при возникновении внутреннего короткого замыкания при 50 % компенсации реактивного сопротивления (красным и чёрным цветом показаны токи с разных концов линии, синим – их дифференциальная сумма)

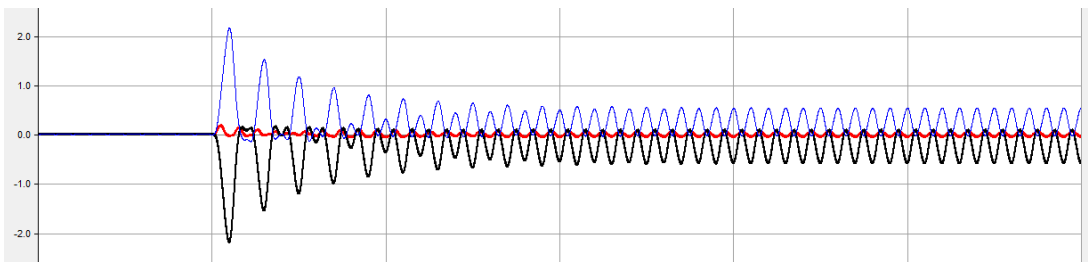


Рис. 7. Осциллограммы действующих значений активных токов при возникновении внутреннего короткого замыкания при 25 % компенсации реактивного сопротивления (красным и чёрным цветом показаны токи с разных концов линии, синим – их дифференциальная сумма)

Литература

1. Новокрещенов В. В., Иванова В. Р., Семёнова О. Д. Анализ основных элементов интеллектуальной электроэнергетической системы с активно-адаптивной сетью // Матер. I Всерос. науч.-практ. конф. «Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники», 2019. С. 12–17.

2. Ivanova V. R., Fetisov L.V., Bulatov O. A. The Analysis of Measurements of Indicators of Quality of the Electric Power and Calculation of Economic Efficiency After Installation of the Booster Transformer // 2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon): Vladivostok, 2018. Pp. 1–4.

3. Иванова В. Р., Иванов И. Ю., Новокрещенов В.В. Структурный и параметрический синтез алгоритмов противоаварийного управления для реализации адаптивной частотной делительной автоматики электротехнических систем // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2019. Т. 21. № 4. С. 66–76.

4. Иванов И. Ю. Совершенствование дифференциальной защиты линий электропередачи напряжением 110–220 кВ // Известия вузов. Проблемы Энергетики. 2012. № 1–2. С. 152–160.

5. Иванов И. Ю., Дони Н. А., Иванова В. Р. Моделирование дифференциальной защиты линий электропередачи, работающей на базе векторных значений токов // Релейная защита и автоматизация. 2014. № 1. С. 14–17.

УДК 621.311.243

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ТЕРРИТОРИИ НИЖНЕГО НОВГОРОДА

¹Иванова Виля Равильевна, ²Юдин Александр Викторович,

³Илинбаев Анатолий Алексеевич

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

¹vr-10@mail.ru, ²frrussia@mail.ru, ³tolibac@yahoo.com

Фотоэлектрические модули – это инструмент для сбора огромного количества энергии, ежегодно отправляемой Солнцем в межзвездное пространство. Такой раздел науки как фотовольтаика дал возможность человечеству преобразовывать эту энергию в электрическую, а исследование режимов работы систем на основе таких модулей позволит повысить их эффективность и определить оптимальные параметры их эксплуатации.

Ключевые слова: солнечная энергетика, фотоэлектрические установки, фотовольтаика, системы слежения, солнечная радиация, возобновляемые источники энергии.

STUDY OF ELECTRICAL SYSTEMS PERFORMANCE ON THE TERRITORY OF NIZHNY NOVGOROD

¹Ivanova Viliya Ravilevna, ²Yudin Aleksandr Viktorovich,

³Ilinbaev Anatolii Alekseevich

KSPEU, Kazan

¹vr-10@mail.ru, ²frrussia@mail.ru, ³tolibac@yahoo.com

Photovoltaic modules are a great tool for collecting the huge amount of energy sent annually by the sun into interstellar space. Such a branch of science as photovoltaics has enabled humanity to convert this energy into electrical energy, and the study of operating modes of systems based on such modules will increase their efficiency and determine the optimal parameters of their operation.

Keywords: solar energy, photovoltaic installations, photovoltaics, tracking systems, solar radiation, renewable energy sources.

С каждым этапом развития человечеству необходимо все больше и больше энергии в том или ином ее виде. В настоящее время существует потребность в большом количестве электроэнергии в связи с приходом в абсолютно все сферы нашей жизни большого количества электронных устройств.

Более 80 % всей произведенной электроэнергии приходится на тепловую и атомную энергетику. Именно эта отрасль сегодня является основным источником электроэнергии во всем мире [7]. Так, по данным Министерства энергетики Российской Федерации, за 2017 г. выработка электроэнергии электростанциями России, включая производство электроэнергии на электростанциях промышленных предприятий, составила 1 073,7 млрд, кВт·ч и распределилась следующим образом: ТЭС – 622,4 млрд кВт·ч, ГЭС – 187,4 млрд кВт·ч, АЭС – 202,9 млрд кВт·ч, электростанции промышленных предприятий – 60,3 млрд кВт·ч [5].

Одним из самых привлекательных и перспективных возобновляемых источников энергии всегда считалась фотовольтаика, т.е. прямое преобразование солнечной энергии в электрическую [1]. Все это вызвано общедоступностью, простотой и огромным потенциалом солнечной энергетики.

Солнце – одна из звезд нашей галактики и единственная звезда нашей солнечной системы. Именно это небесное тело диаметром $1,39 \cdot 10^9$ м и массой $1,99 \cdot 10^{30}$ кг является источником солнечного излучения, так необходимого для существования жизни на нашей планете [8]. Ежегодно

Солнце извергает в межзвездное пространство порядка $5,44 \cdot 10^{24}$ Дж энергии, лишь малая часть которой попадает на землю, а именно $25 \cdot 10^{-11}$ Дж от всего излучения. Энергия, выбрасываемая солнцем, переходит в энергию ЭМВ. Из этого можно сделать вывод, что источник солнечной энергии на Земле – это электромагнитные волны, переносящие энергию во время распространения в прозрачной среде. Согласно квантовой теории, которая рассматривает ЭМВ как поток фотонов или же поток элементарных частиц, масса покоя которых равняется нулю, а распространяются они в вакууме со скоростью $3 \cdot 10^8$ м/с [2].

Число фотонов в космосе проходящих за одну секунду через 1 м^2 равняется $4 \cdot 10^{21}$, а их энергия определяется по формуле:

$$E_{\text{ф}} = h \cdot \nu, \quad (1)$$

где $h = 4,135 \cdot 10^{-15}$ эВ·с – постоянная Планка; ν – частота электромагнитных волн, мкм.

На рис. 1 изображено распределение лучистой энергии в спектре солнечной радиации на границе земной атмосферы, при высоте солнца 35° , а также график у поверхности Земли. Вся площадь фигуры, находящаяся под графиком «а», называется солнечной постоянной I_0 и по международному соглашению 1981 г. эту величину при расчетах рекомендуется принимать 1353 Вт/м^2 .

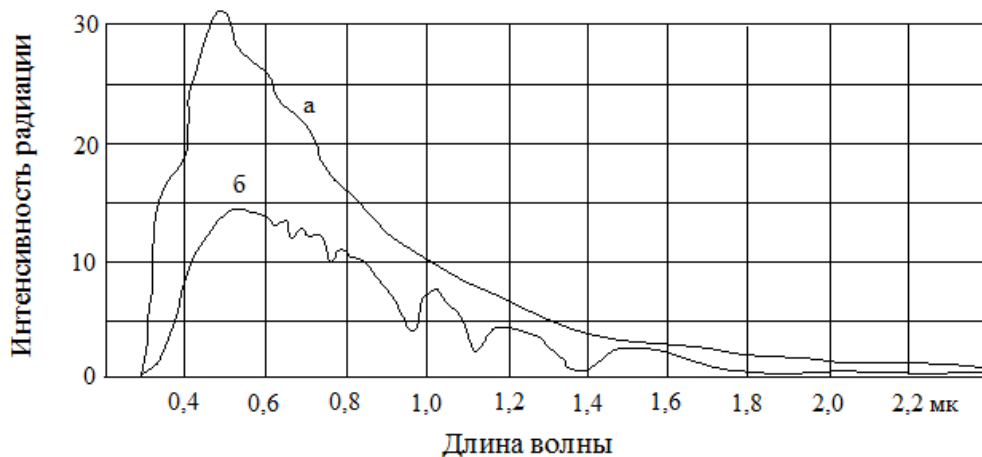


Рис. 1. Распределение энергии в спектре солнечной радиации:
а – на границе атмосферы; б – у земной поверхности

На самом деле значения I_0 могут варьироваться в течение года: $\pm 1,5\%$, и связано это с тем, что поток солнечного излучения во времени не постоянен; $\pm 4\%$ из-за постоянного изменения расстояния от Земли до Солнца, вызванного эллипсностью орбиты. Также изменения связаны с периодически повторяющимися солнечными циклами. Характер зависимости изменений $I_0(t)$ показан на рис. 2.

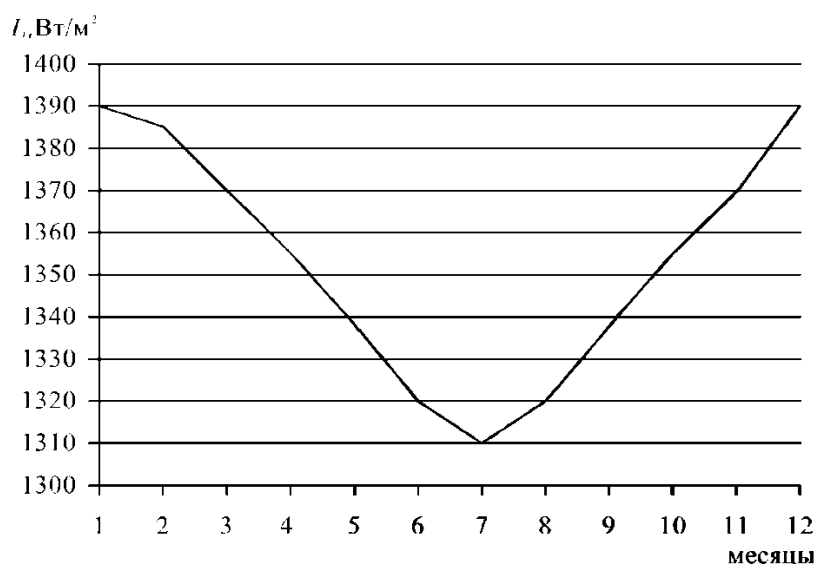


Рис. 2. График зависимости $I_0(t)$

Для Нижнего Новгорода (56,4397 с. ш.; 44,9725 в. д.) средняя величина суммарной солнечной радиации, приходящейся на горизонтально расположенный фотоэлектрический модуль, в течение года составляет $2,91 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ [6]. Интенсивность облучения зависит от угла падения солнечных лучей на поверхность фотоэлектрического модуля. Применение систем слежения позволит изменять положение панелей в зависимости от расположения солнца, что в свою очередь позволит увеличить эффективность их работы. Согласно таблицам Национального управления по авиации и исследованию космического пространства (NASA), при оптимальном угле наклона панелей относительно поверхности земли (см. таблицу) солнечная инсоляция на территории Нижнего Новгорода составит $3,55 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$. Из этого следует, что эффективность отбора мощности увеличится более чем на 20%. Но изменение угла наклона панелей относительно горизонта не единственный способ увеличения эффективности их работы. Вращение фотоэлектрических модулей вокруг полярной оси в течение дня позволяет увеличить эффективность их работы на 30% [6]. Однако применение двух осевых систем слежения приводит к существенному усложнению и

удорожанию конструкции фотоэлектрических модулей. С учетом того, что положение Солнца относительно горизонта в течение года меняется не так сильно, как положение Солнца в течение дня, то оптимальным вариантом будет применение одноосной системы слежения, а угол наклона панелей относительно горизонта выставлять вручную раз в 2 месяца.

Значения солнечной инсоляции при оптимальном угле наклона панелей на территории Нижнего Новгорода

	Солнечная инсоляция, кВт·ч/м ²	Оптимальный угол наклона, °
Январь	1,56	73
Февраль	2,63	64
Март	3,77	51
Апрель	4,61	35
Май	5,66	21
Июнь	5,81	12
Июль	5,76	18
Август	4,6	27
Сентябрь	3,27	44
Октябрь	2,18	58
Ноябрь	1,58	70
Декабрь	1,09	74
Среднее за год	3,55	45,4

Литература

1. Афанасьев В. П., Теруков Е. И., Шерченков А. А Тонкопленочные солнечные элементы на основе кремния / 2-е изд. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011. 168 с.
2. Солнечная энергетика: учеб. пособие / В. И. Виссарионов и др.; под ред. В. И. Виссарионова. М.: Издательский дом МЭИ, 2008. 601с.
3. Говорушко С. М. Экологические последствия использования энергии океана // Альтернативная энергетика и экология. 2011. № 1. С. 51–57.
4. Ivanova V.R., Rozhentcova N.V. Justification of the set of technical and technological criteria when designing a combined power supply system for multi-story residential buildings // International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems (ICOECS). 2019. Pp 26–30.

5. Министерство энергетики Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/532> (дата обращения: 30.10.2018).

6. Солнечные батареи российского производителя «SOLBAT» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.solbat.su/meteorology/insolation> (дата обращения: 16.12.2018).

7. Ivanova V. R., Ivanov A. S., Fetisov L. V. The development of an automated station for group soldering of the led lines // 14th International scientific-technical conference on actual problems of electronic instrument engineering (APEIE). 2018. 44894 proceedings. Pp. 336–338.

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

УДК 004.9

АЛГОРИТМЫ КЛАССИФИКАЦИИ СИГНАЛОВ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА

¹Иркагалиева Илюза Ильнуровна, ²Хузяшев Рустэм Газизович
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
¹irkagalieva2001@mail.ru, ²142892@mail.ru

В работе рассматриваются алгоритмы классификации сигналов переходного процесса. Описана классификация сигналов переходного процесса методом выделения существенных признаков.

Ключевые слова: сигнал переходного процесса, механизм дисперсии, преобразование Фурье, классификация данных по существенным признакам.

TRANSITION SIGNAL CLASSIFICATION ALGORITHMS

¹Irkagalieva Ilyuza Inurovna, ²Khuzyashev Rustem Gazizovich
KSPEU, Kazan
¹irkagalieva2001@mail.ru, ²142892@mail.ru

The paper considers classification algorithms for transient signals. The classification of transient signals by the method of distinguishing essential features is described.

Keywords: transient signal, dispersion mechanism, Fourier transform, data classification by essential features.

Регистрация и изучение переходных процессов позволяет установить деформацию сигнала по форме и амплитуде, выявить превышения напряжения на отдельных участках цепи, увеличения амплитуд токов, а также определять продолжительность переходного процесса [1].

Для обнаружения сигналов переходного процесса используются различные алгоритмы.

Дифференциальный алгоритм имеет программируемую уставку как по амплитуде, так и по времени. Для срабатывания пускового алгоритма датчика амплитуда выходного сигнала должна превысить программируемый порог срабатывания, выбираемый в диапазоне 2–100 относительных единиц. После этого проверяется уставка по времени, а именно количество превышений порога срабатывания, которое программируется от 1 до 100 отсчетов.

Для применения оптимальной обработки сигнала необходимо освободиться от наиболее значительной по амплитуде, фиксированной по частоте компоненты помехи в виде синусоидального напряжения частотой 50 Гц. Амплитудно-частотная характеристика оптимального фильтра представляет собой функцию, комплексно сопряженную со спектром эталонного сигнала, а импульсная характеристика является зеркальным отображением временной функции эталонного сигнала. Оптимальный фильтр численно реализуется соответствующим выбором коэффициентов нерекурсивного цифрового фильтра [2].

При распространении сигналов по длинным линиям наиболее изученным явлением является механизм дисперсии [3]. Он рассматривает параметры распространения гармонических сигналов, т. е. синусоид разной частоты. Независимо от канала распространения (линия электропередач, коаксиальный кабель, оптоволокно, воздух) эффект дисперсии заключается в следующем: высокочастотные колебания затухают быстрее, чем низкочастотные, а скорость распространения высокочастотных колебаний выше, чем у низкочастотных.

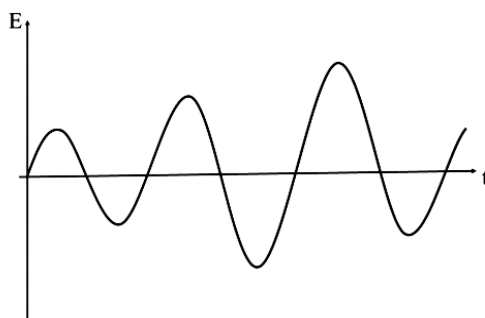
Так как мы рассматриваем распространение сигнала переходного процесса, то его можно разложить в спектр с помощью преобразования Фурье. Преобразование Фурье – операция, сопоставляющая одной функции вещественной переменной другую функцию вещественной переменной. Эта новая функция описывает амплитуды при разложении исходной функции на элементарные составляющие – гармонические колебания с разными частотами [4].

Сигнал переходного процесса состоит из множества гармонических колебаний. При распространении сигнала переходного процесса по линии электропередач кроме эффекта дисперсии существуют и другие эффекты. Для того, чтобы зафиксировать эти эффекты, необходимо статистически обработать данные. На основе классификации мы можем сформулировать законы, которые существуют при распространении сигналов переходного процесса, и выявить причины их проявления.

Выполним обработку сигналов переходного процесса с выделением существенных признаков:

- амплитуда;
- длительность;
- период свободных колебаний;
- количество импульсов.

Для пояснения предлагаемого алгоритма выделения существенных признаков нарисуем простейшую осциллограмму сигнала переходного процесса (см. рисунок), как график синусоиды с переменной амплитудой. По вертикали – амплитуда, по горизонтали – время. Наша задача – получить огибающую максимальных значений и огибающую минимальных значений. С этой целью мы анализируем каждый мгновенный отсчет синусоиды и находим первый локальный максимум, все предыдущие и последующие точки которой меньше текущей. После этой точки огибающая максимальных значений не изменяется, т. е. при увеличении времени она остается постоянной. Тогда данный локальный максимум является первой точкой, принадлежащей огибающей. Проверяем каждую текущую точку, сравнивая ее с максимальным значением. Доходим до точки, где график соприкасается с огибающей, в этой точке огибающая снова увеличивается, доходит до максимальной точки и переходит в горизонтальную линию. Этот процесс затрагивает все локальные максимумы. Если амплитуда сигнала начинает уменьшаться, то от горизонтальной линии спускаемся к следующему локальному максимуму.



Гармонический сигнал

Такую же огибающую можно построить для минимальных значений. При условии, что каждая последующая точка меньше, чем предыдущая, ищем локальные минимумы и все время проверяем условие локальных экстремумов.

По максимальному размаху огибающей можно определить максимальную амплитуду на интервале сигнала переходного процесса.

Задаем порог, например 1 квант. Если сигнал переходного процесса превысил порог, то определяем начало сигнала переходного процесса, если он стал меньше порога, определяем конец сигнала переходного процесса. Соответственно, мы можем вычислить длительность этого сигнала.

Если брать производную от огибающей сигнала, то в точках экстремума будут всплески. Дифференциальный алгоритм в виде разности мгновенных отсчетов сигнала или его функции, разделенных временным интервалом, позволяет определить как начало сигнала переходного процесса, так и период свободных колебаний. Подсчет временного интервала между всплесками производной от огибающей сигнала позволяет построить временную зависимость периода свободных колебаний сигнала переходного процесса. Сначала период маленький, а потом он увеличивается, так как сперва присутствуют высокочастотные колебания, а затем они ослабляются, и остаются низкочастотные, период колебаний которых больше. Такую же информацию получаем по огибающей минимальных значений. Можно говорить, что это информация о периоде свободных колебаний. Близко к месту возникновения сигнала регистрируется большое количество высокочастотных сигналов, а при прохождении им расстояния (2, 3, 10 км) остаются только низкочастотные сигналы. По величине периода можно определить расстояние до места возникновения этого сигнала.

Бывают аварийные коммутации (короткое замыкание, однофазное замыкание на землю) и плановые коммутации (включение линий под высокое напряжение с помощью высоковольтного включателя). При включении высоковольтного переключателя возникает такой эффект, как дребезг контактов, т.е. контакты при включении соприкасаются и отскакивают. При отскоке контакт рвется, и возникает несколько импульсов сигналов переходного процесса, которые регистрируются системой. При обработке мы можем выделить эти импульсы.

Еще одним явлением, нуждающимся в анализе, является грозовое перенапряжение, которое вызывает сигналы, похожие на сигналы переходного процесса. Они отличаются от остальных коммутаций (включение, выключение, короткое замыкание) тем, что возникают

не резко, а более плавно. Грозовые перенапряжения имеют маленький период свободных колебаний и не имеют резкости. Это происходит из-за стримеров молниевых разрядов. Когда возникают грозовые облака, между облаком и землей появляется большая напряженность, приводящая к возникновению стримеров. Молния начинается с ускорения свободных электронов в туче в сильном электростатическом поле. В своем движении они ионизируют разные атомы и молекулы, в основном азота и кислорода, рождая целые лавины быстрых электронов. Они у нижнего края тучи образуют плазменные нити, которые и называются стримерами. Когда стримеры сливаются, получается плазменный канал, по которому потом пойдет основной импульс молнии [4]. Молния – процесс пробоя в изоляции, где изоляцией служит воздух. Воздух неоднородный, состоит из различных частиц пыли, грязи. Сначала молнией пробиваются эти неоднородности, значит, молния проходит небольшие расстояния (1,3 м). Затем количество молний увеличивается, и они начинают соединяться между собой, происходит основной разряд молнии. По огибающей можно отличить сигнал коммутации от сигнала, вызванного грозовым перенапряжением.

Для математической обработки сигналов можно использовать библиотеки языка программирования *Python*. *Jupyter* предоставляет расширенную интроспекцию и дополнительный командный синтаксис; сохраняет историю ввода во всех сеансах, подсвечивает и автоматически дополняет код. *NumPy* содержит готовые методы для различных математических операций. *Matplotlib* служит для создания двумерных диаграмм и графиков [6].

Литература

1. Переходные процессы [Электронный ресурс]. URL: <https://studfile.net/preview/6717381/> (дата обращения: 09.12.19).
2. Новиков С. И., Кузьмин И. Л., Хузяшев Р. Г. Простейшие алгоритмы обнаружения сигналов переходного процесса напряжения в линиях электропередач // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2017. № 7-8. С. 114–125.
3. Тукаев С. М., Хузяшев Р. Г. Исследование параметров дисперсии сигналов переходного процесса в линиях электропередач // Энергия–2018: матер. XIII Междунар. науч.-техн. конф. Иваново, 2018. 15 с.
4. Преобразование Фурье [Электронный ресурс]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Преобразование_Фурье (дата обращения: 08.12.19).

5. Стримеры [Электронный ресурс]. URL: <http://real-unreality.ru/showthread.php?p=601> (дата обращения: 08.12.19).

6. Библиотеки языка программирования Python [Электронный ресурс]. URL: <https://blog.skillfactory.ru/python/biblioteki-python-dlya-data-science/> (дата обращения: 09.12.19).

УДК 621.039.67

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ТЕРМОЯДЕРНОГО СИНТЕЗА

Кочегуров Роман Сергеевич

ФГБОУ ВО «Амурский государственный университет», г. Благовещенск
silencegame98@mail.ru

В статье рассматриваются проблемы и перспективы исследования термоядерного синтеза.

Ключевые слова: токамак, термоядерный синтез, тритий, дейтерий, плазма, тороид, реактор.

PROBLEMS AND PROSPECTS OF THERMONUCLEAR FUSION

Kochegurov Roman Sergeevich,

Amur State University, Blagoveshchensk
silencegame98@mail.ru

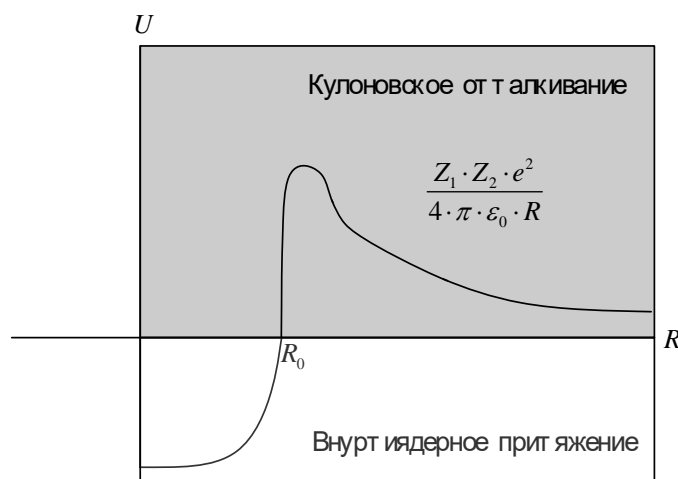
The article discusses the problems and prospects of the study of fusion.

Keywords: tokamak, fusion, tritium, deuterium, plasma, toroid, reactor.

Перспектива разработки термоядерных реакторов возникла на фоне весьма ограниченного запаса топлива для атомной энергетики. Для атомных реакций необходимым элементом является «Уран 235», который имеется на нашей планете в очень ограниченном количестве. Расчетное время исчерпания этого ресурса для поддержания атомной энергетики составляет примерно 100–150 лет. Именно поэтому на сегодняшний день исследование и проведение термоядерного синтеза является очень важным опытом по извлечению энергии практически из неисчерпаемого ресурса – водорода. Водород является самым лёгким и распространённым элементом. По сравнению с термоядерной энергетикой добыча топлива для атомных реакторов является весьма сложным технологическим процессом.

Термоядерный синтез – процесс по слиянию атомов друг с другом, в результате которого образуются более тяжелые атомы. Этот процесс сопровождается выделением огромной энергии и возникновением плазмы. Для того, чтобы добиться термоядерного синтеза, необходимы некоторые условия. Первое и самое основное – это преодоление так называемого Кулоновского барьера. Он представляет собой потенциальный барьер, который необходимо преодолеть положительно заряженным атомным ядрам для сближения друг с другом до возникновения притяжения между ними. Это осуществляется при сближении ядер на расстоянии равном: $R_0 < 14^{-14}$ м.

На рисунке показана зависимость энергии взаимодействия двух ядер от расстояния между ними. На больших расстояниях кулоновские силы приводят к отталкиванию ядер друг от друга, а при преодолении расстояния R_0 возникает внутриядерное притяжение, которое и порождает синтез.



Зависимость энергии двух ядер от расстояния между ними:

Z_1 и Z_2 – атомные номера

Из этого условия следует, что значение Кулоновского барьера будет минимально для лёгких ядер, которыми являются дейтерий (D) и тритий (T). При выборе именно этих компонентов слияние происходит легче, и с большей вероятностью удастся преодолеть барьер. При слиянии ядер дейтерия и трития образуется гелий (He) с атомной массой, равной четырём ($4He$), один нейтрон (n) и энергия 17,6 МэВ.

Для достижения и реализации данного условия необходима огромная температура, порядка 50 млн градусов и выше, для перехода вещества в состояния плазмы. Такая температура позволяет разогнать атомы для преодоления Кулоновского барьера.

В контексте данной работы разделим термоядерный синтез на две условных группы – неуправляемый и управляемый синтез.

Управляемый термоядерный синтез – процесс, при котором выделение энергии поддается контролю и носит управляемый характер. Добиваются данного контроля с помощью устройства, которое называется токамак (тороидальная камера с магнитными катушками). Это технологическая установка для проведения термоядерного синтеза в горячей плазме, путём её размещения в специальной камере, имеющей форму тороида, которая, в свою очередь, надета на сердечник трансформатора. Для контроля и стабилизации плазмы используется сильное магнитное поле. Но нужно понимать, что токамак на данный момент времени – это исследовательская установка, а не полноценный реактор для непрерывной работы. На данный момент, существование и сохранение плазмы возможно лишь на некоторое время.

Имеется ряд проблем, из-за которых использование термоядерной энергии в данный момент вызывает трудности. Из-за того, что полностью контролировать поведение плазмы пока не удаётся, выход энергии при термоядерном синтезе получается нестабильным и неоднородным, ведь появление плазмы сопровождается выбросом огромного количества теплоты, а это повлечёт за собой разрушение первой стенки реактора в токамаке, что может привести к неуправляемому термоядерному синтезу.

Для решения этой проблемы были поставлены задачи по нахождению материала для защиты стенки от разрушения. На данный момент используется вольфрам, самый тугоплавкий металл. Но даже он не выдерживает нагрузок плазмы. Решением может стать жидкий, самовосстанавливающийся барьер из лития.

На данный момент имеется относительный прогресс по увеличению времени удержания плазмы в токамаке. Если в 2012 г. время составляло 4 с, то на данный момент токамак может удерживать плазму в течение 70 с. Такое малое время удержания связано, в первую очередь, с эффектом срыва плазмы, при котором плазма выходит из устоявшегося равновесия и гаснет за считанные миллисекунды. Каждый срыв сопровождается остановкой работы токамака на несколько месяцев.

Также проблема заключается и в размерах самого реактора. В теории, синтез будет происходить в относительно лёгких условиях, если увеличить размеры тороидальной камеры до километров, а мощность, которая бы поддерживала реакцию до тераватт, но такие конструкции на данный момент не представляются возможными для реализации.

Также имеются проблемы с появлением обычной пыли в тороиде. Пыль негативно сказывается на работе токамака, т.к. её накопление может достигать сотни килограммов. Она поглощает основное топливо токамака – дейтерий и тритий.

Но уже имеющиеся данные дают нам основания сравнивать использование энергии при термоядерном синтезе с другими видами энергии. Если рассматривать безопасность использования термоядерного синтеза по сравнению с атомной энергетикой, то потенциальную угрозу ядерный реактор создаёт тем, что имеет запас радиоактивного горючего – обогащённого «Уран-235», а также сырьё «Уран-238» [1]. Если такая реакция выйдет из-под контроля, то последствия будут намного существеннее, по сравнению с реакцией, которая проводится с использованием трития, имеющего малый период полураспада и являющегося наименее токсичным по сравнению с ядерным топливом. Утилизация отходов ядерной энергетике – это серьёзная экологическая проблема, на решение которой уходят значительные природные и экономические ресурсы.

Также сравнивая безопасность обуславливается тем, что плазма, находящаяся в тороиде токамака, очень быстро остывает при попадании во внешнюю среду, что не даёт времени вырвавшейся плазме на колоссальные разрушения. Связано это с тем, что полностью самоподдерживающуюся реакцию в рамках нашей планеты создать невозможно.

Если сравнивать ядерный и термоядерный реактор в плане топливных затрат, то выходит, что из 1 кг смеси термоядерного реактора будет выделяться в три раза больше энергии, чем в ядерном. Учитывая тот факт, что водород – это неисчерпаемый ресурс, то в перспективе, такой метод выработки энергии позволит человечеству постепенно отказываться от энергии, получаемой от ископаемого топлива, добыче и переработке которого сопровождается значительным выбросом CO_2 в атмосферу. Появление первого полноценного термоядерного реактора с непрерывной выработкой электроэнергии заменит устоявшуюся ядерную энергетике, ресурсы которой очень ограничены.

Таким образом, можно сделать вывод, что данная отрасль энергетике нуждается в развитии. Но на данный момент проблемы, связанные с временем удержания плазмы в тороиде, позволяют говорить только о теоретической замене атомной энергетике на получение энергии

от термоядерного синтеза. На сегодняшний день методы, применяемые для исследования процессов термоядерного синтеза, модернизируются и развиваются [2]. В 2007 г. был разработан и введен в реализацию проект ITER – международный экспериментальный термоядерный реактор. Россия также входит в число стран-участников данного строительства. Планируется возведение шестидесятиметрового токамака массой 23000 т, что существенно отличается от нынешних токамаков. Предполагается окончательно завершить проект к 2025 г.

Литература

1. Киллин Дж. Управляемый термоядерный синтез / пер. с англ.; под ред. Ю. Н. Днестровского, Д. П. Костомарова. М.: Мир, 1980. 479 с.
2. Хеглер М., Кристиансен М. Введение в управляемый термоядерный синтез / пер. с англ. Д. В. Власова, С. Л. Мотылева. М.: Мир, 1980. 229 с.

УДК 621.311.1

ПРОЕКТИРОВАНИЕ БОЛЬШИХ ПЕРЕХОДОВ ЧЕРЕЗ ВОДНЫЕ ПРЕГРАДЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ТИПОВ ПРОВОДОВ

¹Лысенко Виталий Игоревич, ²Шевченко Наталья Юрьевна

^{1,2} КТИ (филиал) ВолгГТУ, г. Камышин

²schewchenckonata1960@mail.ru

В статье представлены результаты расчета стрелы провеса проводов АС и AACSRZ больших переходов воздушной линии электропередачи напряжением 220 кВ длиной 1480 м с использованием традиционной теории цепной линии. При расчете проводов в нормальных и аварийных режимах определены наибольшие стрелы провеса, которые имеют место или при высшей температуре окружающего воздуха, или при нагрузке провода гололедом. Проведено технико-экономическое сравнение двух вариантов проектирования больших переходов с традиционными сталеалюминевыми проводами и компактными проводами типа AACSRZ.

Ключевые слова: воздушная линия электропередачи, большой переход, водная преграда, габарит, стрела провеса.

DESIGN OF LARGE TRANSITIONS THROUGH WATER BARRIERS WITH THE USE OF MODERN TYPES OF WIRES

¹Lysenko Vitaly Igorevich, ²Shevchenko Natalia

^{1, 2}KTI (branch) VSTU, Kamyshin

²schewchenckonata1960@mail.ru

The article presents the results of the calculation of the sag boom of the AC and AACSRs wires of large transitions of an overhead power line with a voltage of 220 kV and a length of 1480 meters using the traditional theory of the chain line. When calculating the wires in normal and emergency conditions, the largest sags are determined, which take place either at a higher ambient temperature or at a load of the wire with ice. A technical and economic comparison of two variants of the design of large transitions with traditional steel-aluminum wires and compact wires of the AASSRZ type is carried out.

Keywords: overhead transmission line, a large transition, water barrier, dimension, sag

При проектировании воздушных линий электропередачи на больших переходах через водные преграды актуальной задачей является технико-экономическое сравнение вариантов строительства линии с применением современных типов проводов российского производства.

Согласно стандарта организации ОАО «ФСК ЕЭС» «Нормы технологического проектирования воздушных линий электропередачи напряжением 35–750 кВ» от 2014 г. [4], большие переходы через водные пространства на стадии проекта следует прорабатывать в нескольких вариантах. Выбор вариантов строительства производится на основании технико-экономического сравнения. Проектирование больших переходов ВЛ выполняется в соответствии с положениями ПУЭ-7.

Целью работы является разработка вариантов больших переходов ВЛ 220 кВ через Камское водохранилище, провести их технико-экономическое сравнение и выбрать наиболее экономичный вариант.

Климатические условия: II район по ветру, III район по гололеду. Грунт основания – мягкопластичный суглинок.

Предложено рассмотреть два варианта выполнения перехода ВЛ общей протяженностью 2080 м.

Первый вариант: с использованием сталеалюминиевого провода марки АС 500/336. При заданных климатических условиях выбрана схема перехода (рис. 1) К-А-А-Кс применением трубчатых опор АТ 133 и концевых опор К330-2+5К. Высота опоры АТ 133 составляет 154 м, высота до нижней траверсы – 133 м [2].

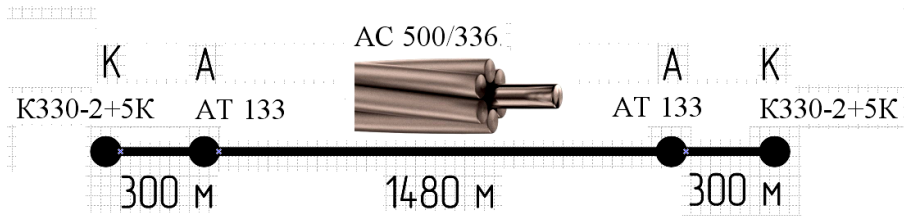


Рис. 1. Схема перехода для первого варианта

Второй вариант: с использованием компактированного провода с усиленным высокопрочным стальным сердечником марки *AACSRZ-527* (производства компании ООО «Ламифил», Россия). Данный провод в два раза легче провода АС равного сечения, что позволяет выполнить переход по схеме К-П-П-К (рис. 2) с применением опор ПП330-2/79,5 из уголкового и листового проката и концевых опор К330-2+5К. Высота опоры ПП330-2/79,5 составляет 106 м, высота до нижней траверсы – 79,5 м. Более компактная конструкция проводов *AACSRZ* за счет использования в качестве наружного слоя проволоки Z-образного профиля позволяет увеличить эффективное сечение провода и уменьшить коэффициент аэродинамического сопротивления.

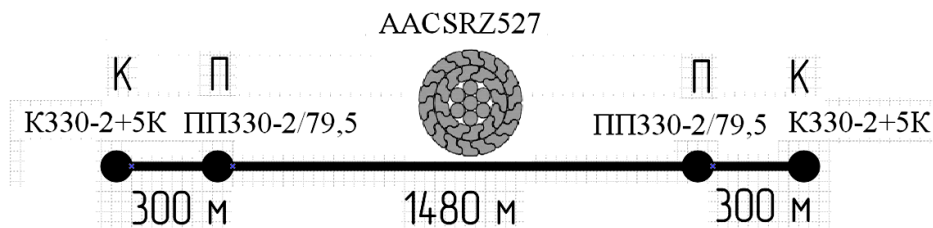


Рис. 2. Схема перехода для второго варианта

Преимущества проводов *AACSRZ* по сравнению с проводом АС:

- увеличение пропускной способности существующих линий;
- снижение механических нагрузок от пляски проводов;
- повышение коррозионной стойкости;
- снижение риска обрыва провода при частичном повреждении нескольких внешних проволок из-за внешних воздействий;
- улучшенные механические свойства проводов, снижающие вероятность налипания снега и образования льда;
- снижение тепловых потерь;
- снижение аэродинамического коэффициента;
- снижение уровня шума;
- снижение уровня усталости металла в проводе и увеличение жизненного цикла за счет самогашения колебаний.

Опоры на линиях и сами провода типа *Z* испытывают меньшие механические напряжения по сравнению с традиционными проводами равного диаметра, что снижает риски выхода линии из строя при возникновении повышенных нагрузок в виде шквалистых ветров и гололедно-изморозевых отложений [3]. При равной массе эти провода имеют прочность в 1,5–2 раза выше, чем у стандартных проводов типа *АС*. Поэтому данные провода можно рекомендовать для больших переходов.

В России имеется практический опыт применения проводов *AACSRZ* при строительстве больших переходов через водные преграды.

Механический расчёт проводов и тросов больших переходов производится по методу допускаемых напряжений. Стрела провеса провода определена в соответствии с теорией цепной линии. Нить считается однородной, если ее масса распределена равномерно по длине, и идеальной, если она не сопротивляется изгибу и кручению. Идеальная гибкая нить принимает очертания цепной линии (рис. 3).

Напряжение в любой точке провода возникает только за счет растягивающего усилия, направленного по касательной к кривой провисания провода в этих точках [1]:

$$\sigma - \frac{\sigma}{\gamma\beta} \operatorname{ch} \frac{\gamma\ell}{2\sigma} \frac{1}{\frac{\sigma_M}{\gamma_M} \operatorname{ch} \frac{\gamma_M\ell}{2\sigma_M}} = \sigma_M - \frac{1}{\beta} - \frac{\alpha}{\beta}(t - t_M), \quad (1)$$

где σ , σ_M – соответственно напряжение и допустимое напряжение в материале провода или троса в одном из известных режимов (рассматриваются режимы максимальных нагрузок, минимальной температуры и среднегодовых условий); γ – удельная механическая нагрузка от действия собственного веса, собственного веса и гололеда, собственного веса, гололеда и ветра; γ_M – то же, соответствующая известному режиму, приходящаяся на единицу длины и единицу площади поперечного сечения провода; β , α – коэффициент упругого удлинения и температурного расширения; t , t_M – температура, характерная для рассчитываемого или известного режима.

Стрела провеса провода при равной высоте подвеса:

$$f = \frac{\gamma\ell^2}{8\sigma_0}. \quad (2)$$

При разной высоте точек подвеса стрелы провеса провода, соответствующие большому, и малому эквивалентным пролетам, соответственно:

$$f_1 = \frac{\gamma \ell_{\text{э}1}^2}{8\sigma_0}; f_2 = \frac{\gamma \ell_{\text{э}2}^2}{8\sigma_0}, \quad (3)$$

$$f_2 = -\frac{\sigma}{\gamma} \ln \cos \frac{\gamma x_0}{\sigma}; f_1 = f_2 + \Delta h. \quad (4)$$

Провисание провода в пролете при разной высоте точек подвеса представлено на рис. 4.

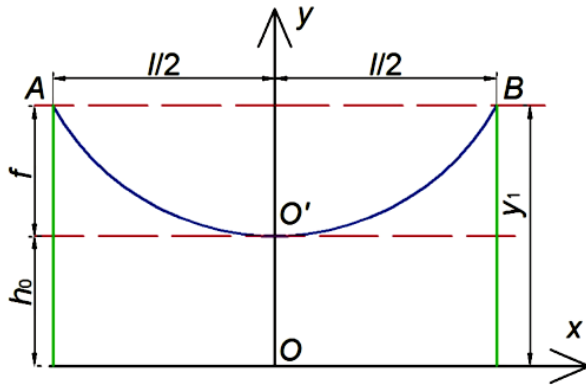


Рис. 3. Кривая провисания провода

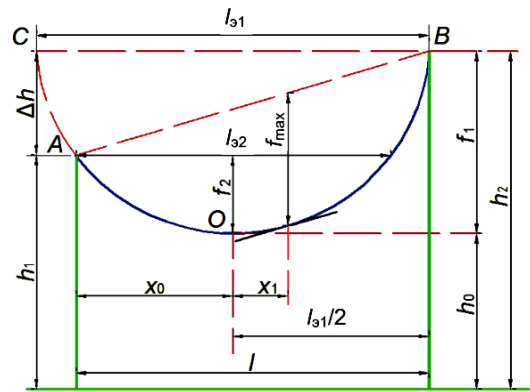


Рис. 4. Провисание провода в пролете при разной высоте точек подвеса

Данные для сравнительного анализа рассматриваемых вариантов переходов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика переходов

Наименование	Ед. изм.	Провода	
		АС500/336	ААСНРЗ 527
Диаметр провода	мм	37,5	27,6
Вес провода	т/км	4,005	2,081
Шифр опоры		АТ133	ПП300-2/79.5К
Общая высота опоры	м	154	106
Высота опоры до нижней траверсы	м	133	79,5
Масса опоры	т	400	154,4

Длина провода в пролете:

$$L = \ell + \frac{8f^2}{3\ell}. \quad (5)$$

Результаты сравнительного анализа рассматриваемых вариантов переходов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты сравнительного анализа

Наименование	Ед. изм.	Провода	
		<i>AC500/336</i>	<i>AACSRZ 527</i>
Стрела провеса	м	145,6	85,6
Длина провода на переходе	м	$6 \times 2123,7 = 12742,2$	$6 \times 2099,72 = 12598,32$
Вес провода на переходе	т	$12,742 \times 4,005 = 51,03$	$12,59832 \times 2,081 = 26,2$
Стоимость 1 т провода	тыс. руб./т	175	700
Стоимость провода на переходе	тыс. руб.	8930,25	18340
Сметная стоимость строительства перехода с учетом стоимости опор	млн руб.	192,70	166,56

Применение компактированного провода с усиленным высокопрочным стальным сердечником марки *AACSRZ* позволило уменьшить высоту опоры перехода на 50 м, снизить её массу с 410 до 155 т и сократить сметную стоимость строительства на 13,5 % по сравнению с применением провода *AC*.

Таким образом, применение проводов нового поколения на больших переходах с учётом оптимизации конструкций опор перехода и фундаментов к ним позволяют существенно сократить стоимость строительства переходов за счёт уменьшения материалоемкости конструкций опор и фундаментов, а также сокращения трудозатрат на их изготовление и монтаж.

Литература

1. Бошнякович А. Д. Расчет проводов подстанций и больших переходов ЛЭП. Л.: Энергия. 1975. 236 с.
2. Качановская Л. И., Ермошина М. С. Проектирование больших переходов ВЛ через водные преграды с применением высоко-температурных проводов // Электроэнергия. Передача и распределение. 2013. № 1 (16). С. 50–54.

3. Короткевич М. А., Прокофьева Н. А. Проектирование больших переходов воздушных линий электропередачи // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2018. Т. 61. № 5. С. 432–439.

4. СТО 56947007-29.240.55.192-2014. Нормы технологического проектирования воздушных линий электропередачи напряжением 35–750 кВ. Стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС». Введ. 2014-11-20.

УДК 621.316.92

ФЕРРОРЕЗОНАНСНЫЕ ПРОЦЕССЫ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ И МЕРОПРИЯТИЯ ПО ИХ ПОДАВЛЕНИЮ

¹Макарова Екатерина Александровна, ²Рыжкова Елена Николаевна
ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», г. Москва
¹Kotman98@gmail.com, ²RyzhkovaYN@mpei.ru

В статье описаны негативные последствия для электрических сетей нелинейных резонансных явлений, обусловленных насыщением магнитных систем, показана актуальность исследований этих процессов во всем мире. Для улучшения качества переходных процессов предлагается использование многоступенчатого резистора с системой управления, позволяющего добиться подавления феррорезонанса. Результаты компьютерного моделирования подтверждают эффективность разработанного алгоритма.

Ключевые слова: феррорезонансные процессы, насыщение магнитной системы, управляемый резистор, перенапряжения, сверхтоки, переходные процессы.

FERRORESONANCE PROCESSES IN POWER SUPPLY SYSTEMS AND MEASURES FOR THEIR SUPPRESSION

¹Makarova Ekaterina Aleksandrovna, ²Ryzhkova Elena Nikolaevna
MPEI, Moscow
¹Kotman98@gmail.com, ²RyzhkovaYN@mpei.ru

The article describes the negative consequences for electrical networks of nonlinear resonance phenomena caused by saturation of magnetic systems, shows the relevance of research of these processes in the world. To improve the quality of transients, it is proposed to use a multi-stage resistor with a control system, which allows to achieve the suppression of ferroresonance. The results of computer modeling confirm the effectiveness of the developed algorithm.

Keywords: ferroresonance processes, saturation of magnetic system, controlled resistor, overvoltages, overcurrents, transients.

Одной из причин ухудшения качества электрической энергии является феррорезонанс. Для снижения его влияния необходимо изучить явление и рассмотреть причины его возникновения.

Существует огромное множество факторов, которые влияют на развитие феррорезонанса, многие из которых не были рассмотрены и учтены ранее.

В России выделяют множество причин возникновения феррорезонанса: неполнофазные режимы силовых трансформаторов; насыщение стальных жил проводов; режим холостого хода трансформаторов, насыщение сердечника магнитопровода трансформаторов напряжения; слабозагруженные силовые трансформаторы; дугогасящие реакторы.

Наиболее опасным является насыщение сердечника магнитопровода трансформаторов напряжения, что приводит к появлению сверхтоков в обмотках трансформаторов и перенапряжений на ёмкостных элементах [1, 2].

Многие страны, сталкиваясь с явлением феррорезонансных перенапряжений и сверхтоков, применяли различные методы его устранения. Так, например, в Японии с этим боролись путем заземления нейтрали через активное сопротивление. Однако всё же были зафиксированы случаи развития феррорезонанса в сети 66 кВ, из-за чего вышло из строя дорогостоящее оборудование. При расследовании аварии было установлено, что главной причиной является резонанс при насыщении магнитного сердечника трансформатора напряжения [3].

Задача исследования заключается не только в изучении явления, исследовании последствий и способов борьбы, но и в исключении возможности его возникновения.

Вопрос о разработке эффективного универсального устройства предотвращения явления феррорезонанса остается актуальным. Одним из наиболее эффективных методов борьбы с феррорезонансом является применение активного сопротивления в контуре нулевой последовательности [4].

Величина резистора, позволяющего рассеять избыточную энергию в колебательном контуре и избежать тем самым феррорезонанса, может быть вычислена по формуле:

$$R = 2\sqrt{\frac{L_c}{C_c}}. \quad (1)$$

Благодаря активному элементу можно избежать эскалации колебаний в каком-либо определенном случае. Однако имея набор непредсказуемых и случайных факторов, резистор фиксированной величины не может гарантировать подавления феррорезонансных переходных процессов [5].

Было рассмотрено множество алгоритмов расчета и разработки устройств для предотвращения феррорезонанса. Однако, учесть все факторы, оказывающие влияние на переходные процессы, невозможно, так как мы сталкиваемся с нелинейностью цепей, в которых, в отличие от линейных, незначительные изменения в исходных данных могут приводить к существенным изменениям конечных результатов. Особенно явно это можно заметить на границе области существования феррорезонанса. Поэтому наиболее рациональным является использование компьютерного моделирования переходных процессов электрических цепей. При этом конечный результат определяется достоверностью исходных данных.

Необходимо разработать алгоритм для его предотвращения на начальной стадии аварийного процесса и демпфировать колебания еще до критического состояния.

Можно предложить техническое решение на основе регулируемого резистора в нейтрали, используя в качестве сигнала управления фазовые траектории, представляющие полноту картины переходного процесса.

Имея нелинейную зависимость $L = f(i)$ для трансформаторов, достаточно трудно и малоэффективно аналитически подходить к определению значения сопротивления резистора. Поэтому для оптимального воздействия на качество переходного процесса целесообразнее управлять величиной сопротивления резистора при возникновении феррорезонанса.

Сопротивление резистора выбирается из условий подавления резонанса на основной частоте и ограничения дуговых перенапряжений. Этим условием является равенство активной и реактивной проводимостей нулевой последовательности. Исходя из него, определяется значение сопротивления первого разряда. Сопротивления последующих разрядов находятся в соотношении 1:2:4:6:... Данная закономерность позволяет осуществить демпфирование практически для любой аварийной ситуации.

На рис. 1 показана схема, по которой были проведены исследования. В нормальном режиме фазовый портрет системы будет иметь вид правильного эллипса. Для исследования феррорезонансного процесса моделировалось неполнофазное включение трансформатора, а именно обрыв фазы А (рис. 2).

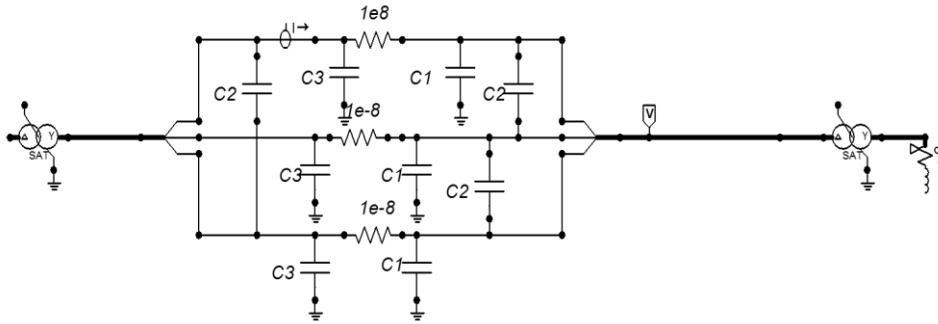


Рис. 1. Схема электрическая

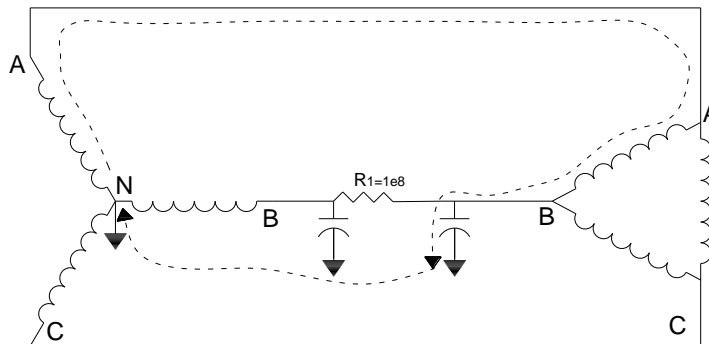


Рис. 2. Обрыв фазы А

На рис. 3 показана картина переходного процесса, где отчетливо видно возникновение сверхтоков на индуктивном и перенапряжений – на ёмкостном элементе.

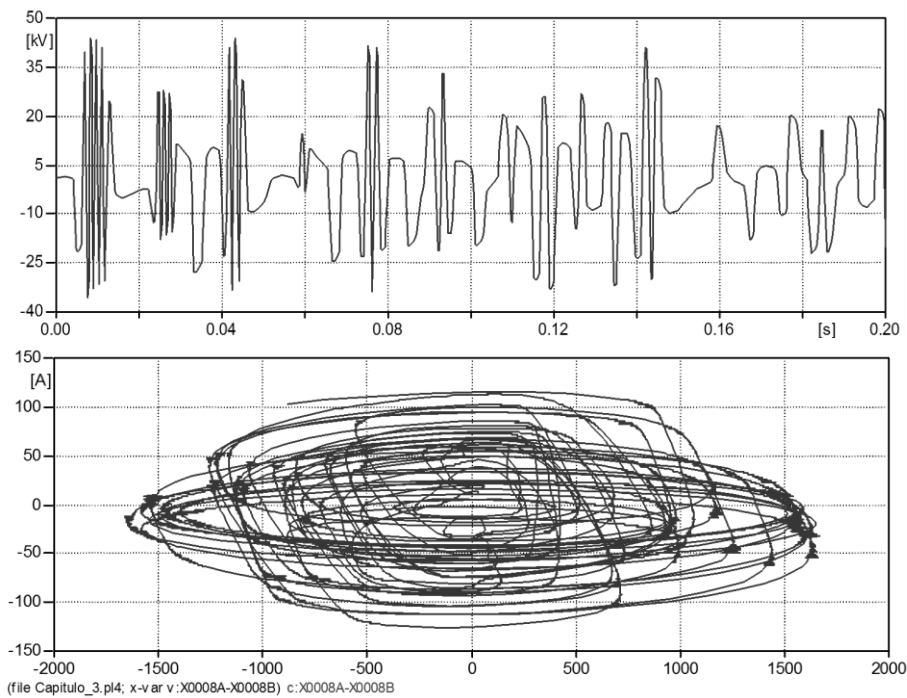


Рис. 3. Фазовые траектории при феррорезонансе (ток и напряжение на фазе А)

На рис 4. приведены результаты расчетного эксперимента, выполненного при тех же условиях, что и для рис. 3, но с использованием управляемого резистора, показывающие эффективность подавления феррорезонанса. Хаотичные колебания, характерные для феррорезонансных процессов, были подавлены и превращены в периодические колебания промышленной частоты. Также были ограничены феррорезонансные перенапряжения на уровне, допустимом для изоляции.

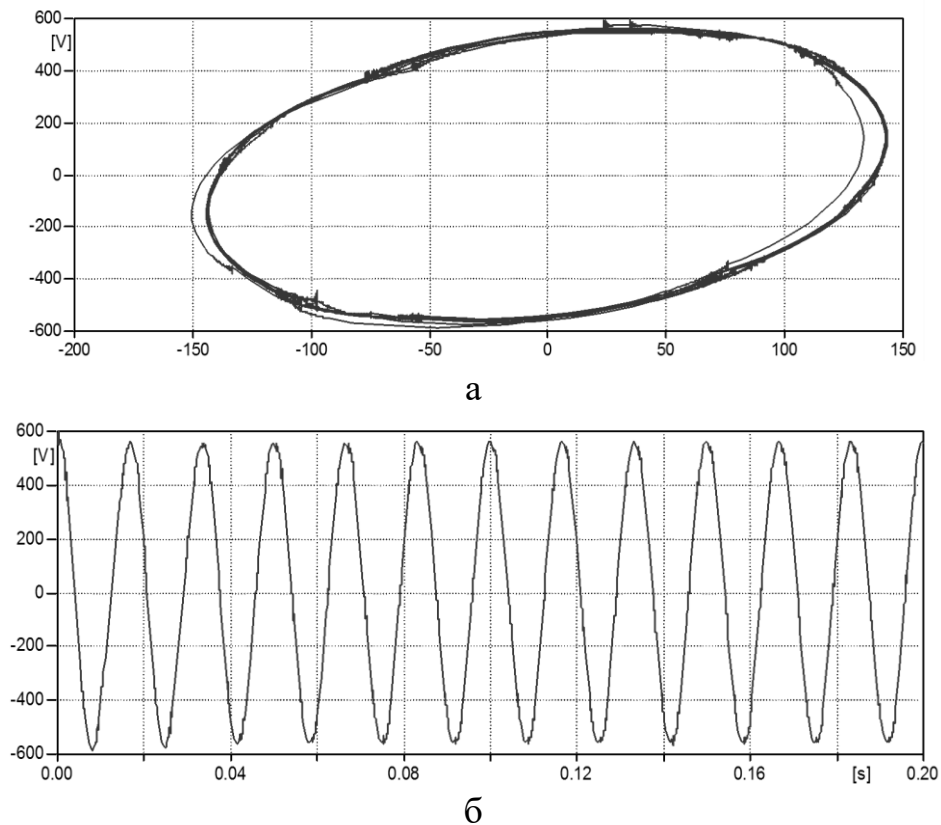


Рис. 4. Подавление феррорезонансных перенапряжений:
а – фазовые траектории при включении резистора; б – напряжение фазы А

Феррорезонансные колебания представляют серьезную опасность для электрооборудования во всем мире. Несмотря на существование различных методов борьбы с данным явлением, разработка новых технологических решений остается актуальна. В данной статье предлагается использование управляемого резистора, подключенного к нейтрали сети, в качестве такого решения при насыщении магнитопровода трансформатора напряжения. Применение такого алгоритма может привести к существенному улучшению качества и надежности сетей средних классов напряжений.

Литература

1. Положение ПАО «Россети» «О единой технической политике в электросетевом комплексе» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rosseti.ru/investment/science/tech/doc/tehpolitika.pdf> (дата обращения 07.12.2019).

2. Методические указания по предотвращению феррорезонанса в распределительных устройствах 110–500 кВ с электромагнитными трансформаторами напряжения и выключателями, содержащими емкостные делители напряжения. РД 34.20.517: утв. 17.09.1987 Минэнерго СССР: действует.

3. Евдокунин Г. А., Титенков С. С. Внутренние перенапряжения в сетях 6–35 кВ. СПб: Изд-во Терция, 2004. 188 с.

4. Рыжкова Е. Н., Вергара В. Л. А., Цырук С. А. О возможном способе подавления феррорезонанса // Промышленная энергетика. 2015. № 12. С. 23–29.

5. Nishiwaki S. A Special Ferro-resonance Phenomena on 3-phase 66 kV VT-generation of 20 Hz zero sequence continuous voltage // Presented at the International Conference on Power Systems Transients. 2007. P. 1–4.

УДК 620.19

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИ АНАЛИЗЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА РАБОТУ ЭЛЕКТРОМАГНИТНО- АКУСТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

¹Минлибаев Муслим Рафаэльевич, ²Сафин Эльдар Маратович

Филиал ФГБОУ ВО УГНТУ в г. Салавате, г. Салават

¹muslimmr@rambler.ru, ²eldar4u@rambler.ru

В статье представлен обзор теоретических проблем, возникающих при математическом моделировании работы электромагнитно-акустических преобразователей. Несмотря на богатый экспериментальный опыт исследований указанных процессов, их подробного теоретического описания до сих пор нет.

Ключевые слова: сила Лоренца, электромагнитно-акустическое преобразование, намагничение, вихревой ток, акустические волны.

THEORETICAL PROBLEMS IN THE ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF VARIOUS FACTORS ON THE OPERATION OF ELECTROMAGNETIC-ACOUSTIC TRANSDUCERS

¹Minlibaev Muslim Rafael'evitch, ²Safin Eldar Maratovitch

Branch of USPTU in Salavat, Salavat

¹muslimmr@rambler.ru, ²eldar4u@rambler.ru

The article presents an overview of the theoretical problems arising in the mathematical modeling of electromagnetic-acoustic transducers. Despite the rich experimental experience of these processes, there is still no detailed theoretical description of them.

Keywords: Lorentz force, electromagnetic-acoustic transformation, magnetization, eddy current, acoustic waves.

Актуальная задача состоит в том, чтобы предоставить солидную математическую основу, которая может быть использована при моделировании работы электромагнитно-акустических преобразователей (ЭМАП). Как известно, перспективным направлением исследований в этой области является разработка методов УЗ дефектоскопии с использованием электромагнитно-акустического способа возбуждения и приёма акустических волн, то есть с использованием электромагнитно-акустических преобразователей (ЭМАП) [6].

Основные преимущества такого метода состоят в следующем:

- для создания акустического контакта не требуется применение контактных жидкостей (бесконтактность);
- ЭМА способ позволяет возбуждать и принимать любые типы волн: продольные, поперечные, поверхностные и другие;
- бесконтактность позволяет избегать демпфирование изделия в зоне контроля прижимаемым преобразователем;
- отсутствует износ преобразователя и так далее [1–5].

При этом нужно дать углубленный анализ каждого из механизмов преобразования. Уравнения электродинамики, описывающие силы Лоренца и намагничивание, вводятся и используются вместе со стандартной теорией упругости для описания генерации и приема волн. Магнитострикция включается в модель с помощью соответствующих уравнений, которые связывают упругое поле с электромагнитным полем.

ЭМАП способны генерировать и обнаруживать упругие волны в твердом теле, при этом используются три различных электромагнитных явления. Сила Лоренца действует на любой проводящий материал как

ферромагнитный, так и неферромагнитный. Она возникает из-за взаимодействия магнитного потока с вихревыми токами, генерируемыми в твердом теле переменным током, проходящим через катушку датчика. С другой стороны, два оставшихся механизма (намагничивание и магнитострикция) действуют только на ферромагнитные материалы. Первый механизм проявляется, когда переменное электромагнитное поле вызванное током возбуждения взаимодействует с намагниченностью, индуцированной в материале. Магнитострикция состоит в деформации, происходящей в ферромагнитной среде при воздействии магнитного поля. Поскольку магнитное поле, генерируемое током возбуждения, является переменным, деформация, вызванная в образце, также зависит от времени, что приводит к генерации механических волн.

ЭМАП генерация упругих волн опирается на электромагнитные явления, которые могут быть описаны уравнениями Максвелла (закон Фарадея и закон Ампера) [6]:

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}, \quad (1)$$

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}; \quad (2)$$

$$\nabla \vec{B} = 0; \quad (3)$$

$$\nabla \vec{D} = \rho_q; \quad (4)$$

$$\vec{B} = \mu\mu_0\vec{H}; \quad (5)$$

$$\vec{D} = \varepsilon\varepsilon_0\vec{E}. \quad (6)$$

Решение этой системы уравнений может быть использовано для вычисления динамических сил, действующих на упругое тело. Этот набор взаимодействий можно затем использовать в качестве внешней силы, действующей на непрерывную упругую изотропную среду, для расчета акустического поля [6]:

$$\tilde{\mu}\nabla \times \nabla \times \vec{u} - (\tilde{\lambda} + 2\tilde{\mu})\nabla \nabla \vec{u} + \rho \frac{\partial^2 \vec{u}}{\partial t^2} = \vec{f}, \quad (7)$$

где $\check{\mu}$ и $\check{\lambda}$ – постоянные Ламе (галочки используются, чтобы избежать путаницы с магнитной проницаемостью μ и длиной упругой волны λ), u – вектор смещения, ρ – плотность среды. Данный подход иерархически связан: решение уравнений Максвелла позволяет вычислить внешнюю силу в уравнении (7), используя уравнения для силы Лоренца и намагничения. К сожалению, аналитические решения можно получить только для небольшого числа простых частных случаев, используя упрощающие предположения.

Ток в катушке индуцирует вихревой ток в проводящем теле, противоположный исходному току, согласно закону Фарадея. Индуцированный ток, в основном, локализован в верхней части образца, это может быть количественно определено с помощью так называемого параметра «скин-слоя» δ . Для синусоидальной плоской электромагнитной волны, падающей на материал с электропроводностью среды σ и магнитной проницаемостью μ , он определяется как:

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi a \sigma \mu_0 \mu}}. \quad (8)$$

Вихревой ток взаимодействует с магнитным потоком, создавая силу упругости. Магнитный поток фактически состоит из двух различных полей: сумме статического поля, обусловленного магнитом, и переменного поля, генерируемого током возбуждения. Таким образом, общая сила Лоренца равна:

$$\vec{f}_L = \vec{f}_L + \vec{f}'_L = \vec{J}_e \times (\vec{B} + \vec{B}'). \quad (9)$$

Если генерирующий ток является синусоидальным, индуцированный вихревой ток и плотность динамического магнитного потока будут гармоническими, колеблющимися на одной частоте, в то время как статическое магнитное поле, создаваемое магнитом, остается постоянным. Уравнение (9) подразумевает, что вклад в силу Лоренца, вызванный постоянным магнитом, колеблется с той же частотой, что и ток возбуждения, в то время как составляющая из-за самоиндуцированного поля имеет двойную частоту. В большинстве практических случаев плотность постоянного магнитного потока намного больше, чем переменного. Однако если ток возбуждения велик (более 100 А), датчик может работать без помощи постоянного магнита, но на двойной частоте.

Те же физические принципы, которые позволяют ЭМАП генерировать упругие волны, могут быть использованы для получения электрического сигнала от механической волны, распространяющейся вблизи датчика. Поле динамического смещения вызывает возникновение силы Лоренца в любом металле.

После того, как электромагнитные уравнения решены для определенной геометрии и набора физических параметров и рассчитана сила упругости, можно найти ультразвуковое поле, генерируемое преобразователем. Основным уравнением в случае упругой изотропной среды является уравнение Навье-Стокса. Как правило, решение этого уравнения требует использования численных методов. Однако некоторые упрощения допускают приближенные решения в частных случаях.

Литература

1. Баширов М. Г., Хуснутдинова И. Г., Хафизов А. М. Метод оценки состояния металлических конструктивных элементов электроэнергетического оборудования // Федоровские чтения: матер. докл. XLIV Междунар. науч.-практ. конф. 2014. С. 113–115.

2. Хуснутдинова И. Г., Баширов М. Г. Оценка степени поврежденности оболочковых конструкций с использованием электромагнитно-акустического метода контроля // Фундаментальные исследования. Пенза: ИД «Академия Естествознания», 2015. С. 538–541.

3. Khusnutdinova I. G., Bashirov M. G. He use of electromagnetic-acoustic method for estimating the stress-strain state of the metallic elements of power equipment // Key Engineering Materials. 2017. Vol. 743. P. 463–467.

4. Хуснутдинова И. Г., Баширов М. Г., Хуснутдинова Л. Г. Оценка степени поврежденности электроэнергетического оборудования с использованием электромагнитно-акустического метода контроля // Тинчуринские чтения: матер. докл. XI Междунар. молод. науч. конф. 2016. С. 148–149.

5. Хуснутдинова Л. Г., Хуснутдинова И. Г., Привалова В. М., Баширов М. Г. Совершенствование методов оценки технического состояния металла электроэнергетического оборудования // Энергоэффективность и энергобезопасность производственных процессов: сб. тр. IV Всерос. науч.-техн. конф. Тольятти, 2016. С. 260–263.

6. Соболев В. С., Шкарлет Ю. Л. Накладные и экранные датчики. Новосибирск: Изд-во «Наука», 1967. 65 с.

УДК 621.316

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ДАЧНЫХ МАССИВОВ САДОВОДЧЕСКИХ ОБЩЕСТВ

¹Морозов Виктор Анатольевич, ²Митрофанов Сергей Владимирович,
³Кильметьева Ольга Иннокентьевна
¹ООО «КЭС Оренбуржья», г. Оренбург
^{2, 3}Оренбургский государственный университет, г. Оренбург
¹morozov-em@yandex.ru, ²mitser2002@mail.ru, ³kilm_olga@mail.ru

Обозначены проблемы и перспективы развития системы электроснабжения дачных массивов садоводческих обществ.

Ключевые слова: садоводческое общество, территориальная сетевая компания, система электроснабжения дачных массивов, автоматизированная информационно-измерительная система коммерческого учёта электроэнергии.

PROBLEMS AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT POWER SUPPLY SYSTEMS OF SUBURBAN AREAS OF HORTICULTURAL SOCIETIES

¹Morozov Victor Anatolyevich, ²Mitrofanov Sergey Vladimirovich,
³Kilmeteva Olga Innokentyevna
¹LLC «KES Orenburg Region», Orenburg
^{2, 3}Orenburg State University, Orenburg
¹morozov-em@yandex.ru, ²mitser2002@mail.ru, ³kilm_olga@mail.ru

Problems and prospects of development of system of power supply of country massifs of gardening societies are designated.

Keywords: horticultural society, territorial grid company, power supply system of suburban areas, automated information and measurement system of commercial electricity metering.

Основу системы электроснабжения дачных массивов садоводческих обществ (СО) составляют распределительные сети напряжением 0,4–10 кВ, причём более 95 % из них составляет доля сетей напряжением 0,4 кВ. Нарезка дачных массивов выполнялась так, что длина улиц достигала длины до 1 км. Сезонный характер функционирования садоводческих

обществ определял относительно невысокие электрические нагрузки, преимущественно в летний и отчасти в весенне-осенний периоды (около 1 кВт). Соответственно, в системе электроснабжения устанавливались маломощные трансформаторные пункты (ТП) 6–10 кВ. Электрическое освещение практически не требовалось, и основными электроприёмниками были маломощные однофазные электрические насосы. В силу этих факторов, изначально магистральные электрические сети 0,4 кВ выполнялись голым алюминиевым проводом относительно небольшого сечения (16–35 мм²). Учет электроэнергии в основном выполнялся на вводах 0,4 кВ головных ТП садоводческих обществ, а плата за электроэнергию распределялась между членами СО в составе ежегодных взносов.

В современных условиях наблюдается устойчивая тенденция неуклонного роста объёмов дачного строительства. При этом, на территории садовых участков возводятся капитальные жилые дома, включающие всю необходимую бытовую инфраструктуру, что коренным образом изменило требования к техническим и технологическим возможностям дачных электрических сетей, в том числе, и к организации индивидуального учёта электрической энергии. Низкие уровни напряжений в удалённых точках электрической сети 0,4 кВ, перегруженность силовых трансформаторов ТП, высокий процент коммерческих потерь, вследствие несанкционированного потребления (хищения) электроэнергии, особенно в зимний период привели к острой необходимости реконструкции системы электроснабжения и строительству новых линий и трансформаторных пунктов. Кроме того, физические лица – владельцы дачных хозяйств в массовом порядке оформляют технологическое присоединение к электрической сети для последующего выхода на прямые расчёты с гарантирующим поставщиком (энергосбытовой организацией). При этом, в соответствии с постановлением Правительства РФ № 861 от 27.12.2004 г. (ред. от 22.06.2019 г.), после обследования точки присоединения соответствующая территориальная сетевая компания (ТСО) разрабатывает технические условия как приложение к договору об осуществлении технологического присоединения, в котором определяются технические мероприятия для обеих сторон договора.

Следует отметить, что в современных условиях для выполнения всех необходимых технических требований по эксплуатации электрических сетей, а также для осуществления технических мероприятий по их реконструкции и развитию садовые общества, как правило, передают свои электрические сети в аренду или собственность территориальным

сетевым организациям. Это, кроме всего прочего, ещё и способствует повышению надёжности электроснабжения бытовых потребителей, за счёт того, что ТСО организуют оперативное диспетчерское технологическое сопровождение, а также дежурство и работу аварийных ремонтных бригад. Всё это, в комплексе, отчасти уменьшило остроту указанных выше технических проблем, но не решило их полностью. В частности, по-прежнему весьма актуальным является состояние системы учёта электроэнергии, потребленной дачными хозяйствами, поскольку от их достоверности и полноты напрямую зависит экономика ТСО в части финансового возмещения потерь электроэнергии в электрической сети.

В настоящее время техническое и организационное обеспечение эксплуатации системы электроснабжения дачных хозяйств выполняется в рамках требований нормативных и директивных документов отрасли электроэнергетики, в том числе постановлений Правительства РФ № 1351 от 10.11.2017 г., № 442 от 04.05.2012 г. Указанные документы регламентируют процедуру технологического присоединения к электрическим сетям территориальных сетевых организаций, а также включают требования к выполнению учёта электроэнергии в точках балансового разграничения Заявителей и ТСО.

Наиболее значимыми текущими проблемными вопросами в функционировании системы электроснабжения СО можно отметить следующие:

1. Резкое увеличение единичных электрических нагрузок дачных хозяйств с 1–2 кВт в 80–90-е гг. до 10–15 кВт в настоящее время. Это вызвано строительством капитальных жилых домов на дачных участках, относительно низкими тарифами на электроэнергию для СО, приравненных к сельской местности. Постоянное проживание в домах, в том числе и в зимнее время, существенно увеличивает нагрузки на сеть 0,4 кВ и силовые трансформаторы ТП-10/0,4 кВ от электрического отопления.

2. Протяжённость существующих магистральных электрических сетей 0,4 кВ от ТП до конечных участков дачных улиц составляет более 1 км, что при увеличении электрических нагрузок особенно в зимний период приводит к недопустимо низким значениям напряжений в точках технологического присоединения потребителей (абонентов).

3. Существенная изношенность электрических сетей 0,4 кВ, что требует их коренной реконструкции или нового строительства.

4. Практически нет возможности устанавливать ТП-10/0,4 кВ в центре электрических нагрузок, т.к. эта точка приходится на дачные участки и невозможно отчуждение земли дачных участков для выполнения требуемых охранных зон для ВЛ и ТП. Поэтому ТП устанавливаются вдоль периметра СО, а ВЛ-0,4 кВ проходят только вдоль улиц независимо от их длины.

5. Отсутствие финансирования для опережающего строительства электрических сетей и новых ТП, а также увеличения мощности силовых трансформаторов существующих ТП.

6. Высокий уровень коммерческих потерь из-за несанкционированного потребления электроэнергии (хищения).

7. Трудоёмкость расчётов режимов работы электрических сетей из-за недостоверности исходной информации и сложной конфигурации электрической сети 0,4 кВ с многочисленными ответвлениями и отпайками.

8. Дефицит мощности в существующей питающей сети 10 кВ, требующий строительства новых воздушных и кабельных линий 10 кВ и увеличения мощности силовых трансформаторов или строительства новых питающих подстанций 35–110/10 кВ в «вышестоящей» электрической сети.

В ходе эксплуатации и технического обслуживания (текущих и капитальных ремонтов) системы электроснабжения дачных хозяйств садоводческих обществ территориальным сетевым организациям приходится выполнять необходимые работы по приведению существующих электрических сетей к современным условиям.

Таким образом, наиболее значимыми для развития системы электроснабжения садоводческих обществ являются следующие мероприятия:

1. Увеличение единичной мощности существующих ТП-10/0,4 кВ и строительство новых ТП-10/0,4 кВ с увеличенной мощностью силовых трансформаторов до 630–1000 кВА.

2. Строительство новых магистральных ВЛ-0,4 кВ с применением современных изолированных самонесущих проводов (СИП) и увеличением сечения на головных участках до 90 мм².

3. Организация учёта электроэнергии по балансовому принципу. Установка измерительных комплексов по учёту электроэнергии на вводах 0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ и в точках присоединения к электрической сети 10 кВ (пункты коммерческого учёта электроэнергии и реклоузеры).

4. Оперативное и техническое обслуживание электрических сетей и своевременное выявление «проблемных» участков и точек технологического присоединения потребителей (абонентов).

5. Разработка и внедрение технических мероприятий по оптимизации развития электрических сетей:

а) обоснование конфигурации электрической сети, а также числа линий и сечения проводников на участках сети;

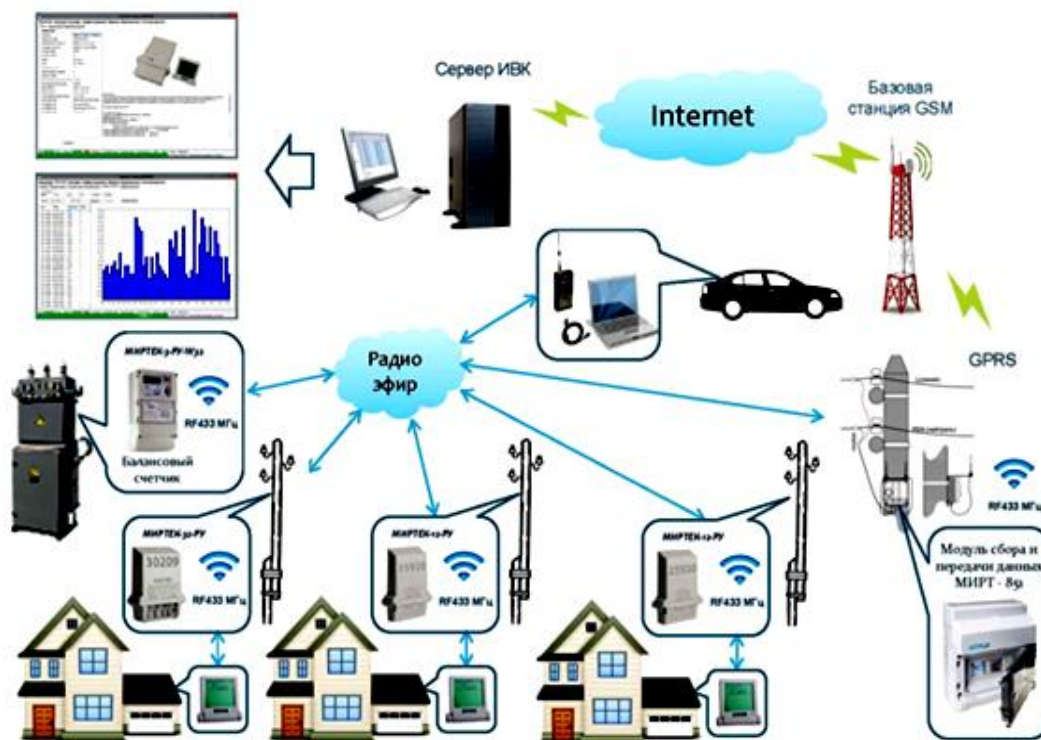
б) разработка технических и режимных мероприятий по сезонному регулированию напряжения на источниках питания (ТП);

в) применение современных методов для выполнения расчётов по оптимизации режимов работы электрической сети 0,4–10 кВ.

6. Поэтапное внедрение автоматизированной информационно-измерительной системы коммерческого учёта электроэнергии (АИИС КУЭ).

В настоящее время производители предлагают широкую номенклатуру средств учёта электрической энергии, в том числе и для создания АИИС КУЭ. Современные многофункциональные микропроцессорные электросчётчики позволяют надёжно собирать, хранить и передавать по различным каналам связи учётную информацию, «привязанную» к единому астрономическому времени. Этим обеспечивается качественное составление оперативных балансов электроэнергии и выявление «очагов» повышенных коммерческих потерь в распределительной сети 0,4 кВ. Кроме того, специальное конструктивное исполнение электросчётчиков в виде «сплит систем» позволяет разместить измерительный и управляющий блок на опоре на высоте, недосягаемой для несанкционированного воздействия со стороны сторонних лиц, а всю необходимую учётную и режимную информацию об электропотреблении отображать дистанционно на малогабаритном пульте-дисплее или на ноутбуке оперативной бригаде, проезжающей по улице, где установлены на опорах такие счетчики. Также современные микропроцессорные электросчетчики с дистанционным съёмом учётных данных устанавливаются на вводах 0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ. Этим достигается возможность выполнения полных балансов электроэнергии по участкам сети.

Реализуемая на практике структура АИИС КУЭ для дачного массива представлена на рисунке.



Структура АИИС КУЭ для дачного массива

Для этой цели в территориальной сетевой организации «КЭС Оренбуржья» успешно внедряются электросчётчики, оборудование и программно-аппаратные комплексы производства ООО «МИРТЕК» (г. Таганрог) [3], в том числе однофазные (МИРТЕК-1-РУ) и трёхфазные (МИРТЕК-3-РУ) электросчётчики в конструктивном исполнении с расщепленной архитектурой SPLIT, которые можно монтировать в верхней точке опор линий. При этом на опорах магистральных ВЛ-0,4 кВ, от которых выполнены присоединения к дачным домам, смонтированы счетчики МИРТЕК-1-РУ и МИРТЕК-3-РУ с передачей данных по радиоканалу RF 433 МГц, а на вводах ТП-10/0,4 кВ установлены трёхфазные (балансовые) счётчики МИРТЕК-3-РУ-W32.

Все счётчики имеют функцию ретрансляции до восьми счетчиков, находящихся на расстоянии до 100 м друг от друга. Таким образом, создаётся информационная сеть счетчиков, каждый из которых имеет свой уникальный IP-адрес. В зоне действия этой информационной сети на одной из опор монтируется устройство (модуль) сбора и передачи данных (УСПД) МИРТ-851, т.е. коммуникатор с GSM-модемом, действующий в этом районе сети оператора сотовой связи.

Он обеспечивает передачу учётных данных в интернет на портал связи с центром сбора и обработки информации АИИС КУЭ (сервер ИВК – информационно вычислительный комплекс), к которому могут обращаться пользователи с автоматизированных рабочих мест (АРМов) по технологии обработки запросов «клиент – сервер». Также учетные данные со всех счётчиков могут быть собраны по радиоканалу оперативной бригадой.

В составе автоматизированной системы учёта функционирует программно-аппаратный комплекс АИИС КУЭ «МИРТ Энергобаланс» для точного учета потребления энергоресурсов с учетом существующих тарифов, а также для оперативного контроля состояния оборудования системы и для обеспечения доступа к собираемым данным с целью производства расчетов, анализа и выработки эффективной энергосберегающей политики.

К основным выводам можно отнести следующие:

1. Система электроснабжения дачных хозяйств садоводческих обществ имеет ряд технических особенностей, связанных с её историческим развитием.

2. Наиболее проблемными вопросами являются несоответствие роста электрических нагрузок дачных хозяйств реальным темпам реконструкции и развития электрической сети 0,4–10 кВ и суммарной трансформаторной мощности ТП-10/0,4 кВ и отсутствие целевой государственной программы опережающего финансирования на развитие системы электроснабжения садоводческих обществ.

3. В современных условиях существенно возрастает роль территориальных сетевых организаций в разработке и проведении технических мероприятий по реконструкции и новому строительству электросетевого комплекса садоводческих обществ.

4. Применение микропроцессорных электросчётчиков с внешними измерительными блоками, устанавливаемыми на опорах в непосредственной близости от точки присоединения, существенно снижает возможности для хищения электроэнергии.

5. Внедрение АИИС КУЭ в дачных массивах садоводческих обществ позволяет осуществить достоверный коммерческий учёт электроэнергии у абонентов (потребителей), а также оперативный контроль электропотребления в характерных точках сети, значимых для составления энергобаланса.

Литература

1. Официальный сайт ООО «МИРТЕК». [Электронный ресурс]. URL: <http://mirtekgroup.ru/> (дата обращения: 23.01.2020).

УДК 621.4, 004.942

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМНЫХ И ВНЕШНИХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК В СОСТАВЕ ЭНЕРГОБЛОКОВ С ПАРОГАЗОВЫМИ УСТАНОВКАМИ

¹Муравьев Игорь Константинович, ²Коровкин Александр Васильевич,
³Шитов Роман Анатольевич

ФГБОУ ВО «ИГЭУ», г. Иваново

¹igor3724@mail.ru, ²alex demon9737@gmail.com, ³mr.kruglik@gmail.com

В статье приводятся результаты исследований на математической модели энергоблока с парогазовыми установками (ПГУ) влияния режимных и внешних климатических факторов на экологические показатели работы установки.

Ключевые слова: парогазовые технологии, газотурбинная установка, экологические показатели, математическая и имитационная модели, концентрация выбросов, климатические факторы, электрическая мощность.

RESEARCH OF THE INFLUENCE OF REGIME AND EXTERNAL CLIMATIC FACTORS ON THE ENVIRONMENTAL PERFORMANCE OF GAS TURBINE UNITS AS PART OF COMBINED CYCLE POWER PLANTS

¹Muravev Igor Konstantinovich, ²Korovkin Aleksander Vasilevich,
³Shitov Roman Anatolevich

ISPU, Ivanovo

¹igor3724@mail.ru, ²alex demon9737@gmail.com, ³mr.kruglik@gmail.com

The article presents the results of research on a mathematical model of a CCGT of the influence of regime and external climatic factors on the environmental performance of the installation.

Key words: combined cycle technologies, gas turbine unit, environmental indicators, mathematical and simulation models, emission concentration, climatic factors, electric power.

Газотурбинные и парогазовые установки (ПГУ) – одни из перспективных энергетических установок для производства электрической и тепловой энергии. Их применение позволило существенно повысить экономичность электростанций и улучшить их экологические характеристики.

Однако проявлялись междисциплинарные проблемы при освоении ПГУ. Одной из главной проблемой эксплуатации ПГУ является критичность параметров газотурбинной установки (ГТУ) к изменениям режимных и климатических факторов. При этом динамические свойства совместно работающего оборудования существенно различаются [2, 3].

При работе ГТУ необходимо выполнять технические требования по поддержанию заданной мощности, экологической чистоте, вибрации, шуму и др. Степень опасности загрязнений воздуха оценивается значениями концентраций, рассчитанными при неблагоприятных метео-условиях. Концентрация данных веществ установлена ГОСТ 28775-90. Содержание окислов азота в отработавших газах ГТУ не должно превышать 150 мг/м^3 .

Однако при совершенствовании систем управления расчетные значения параметров могут изменяться и не соответствовать безопасной эксплуатации, поэтому необходимы исследования по оценке влияния режимных и климатических факторов на стабильность процесса горения в камере сгорания (КС) ГТУ и на соответствие экологических показателей нормам.

В работе представлены результаты исследования, которые показывают влияние режимных и климатических параметров на величину выбросов при работе ГТУ (рис. 1) в составе ПГУ. Проблема минимизации количества вредных выбросов решается путем подбора оптимальных параметров настройки режимов работы технологического оборудования и ПГУ в целом.

Исследования выбросов проводились на модели энергоблока ПГУ-325 МВт (местоположение – Ивановская область, г. Комсомольск), разработанной в среде динамического моделирования *SimInTech* [1].

Имитационное моделирование выполняется на основе разработанной математической модели [2, 3]. Исходными данными для моделирования служат конструктивные и основные расчетные характеристики оборудования. В процессе разработки математической модели ГТУ (рис. 1) представляется как единый энергетический двигатель, состоящий из компрессора, камеры сгорания с зонами горения и охлаждения, газовой турбины.

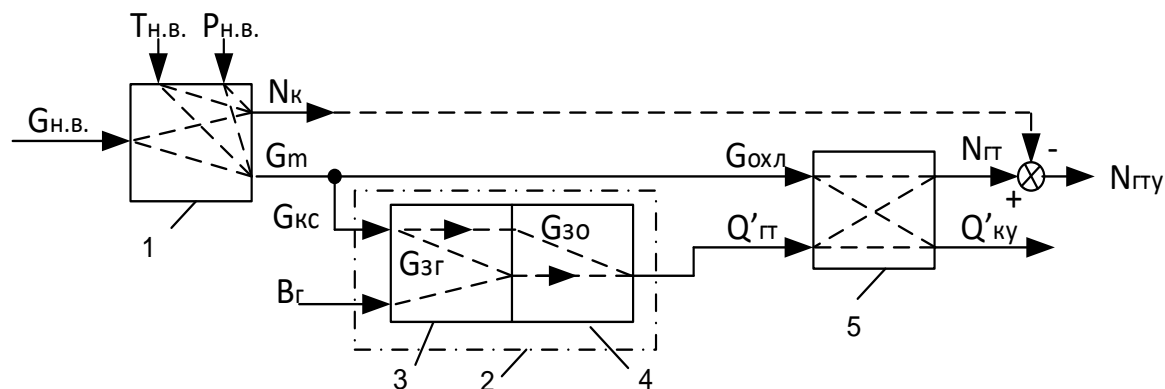


Рис. 1. Укрупненная структура ГТУ в терминах модели «вход/выход»:
 1 – компрессор; 2 – КС; 3 – зона горения; 4 – зона охлаждения; 5 – газовая турбина;
 $G_{н.в.}$ – расход наружного воздуха; $T_{н.в.}$, $P_{н.в.}$ – температура и давление наружного воздуха, соответственно; G_m – массовый расход воздуха; $G_{кc}$ – расход воздуха в КС;
 $G_{зг}$, $G_{зо}$ – расход воздуха в зонах горения и охлаждения КС, соответственно;
 $B_{г}$ – расход топлива; $G_{охл}$ – расход воздуха для охлаждения газовой турбиной (ГТ);
 $Q'_{гт}$, $Q'_{ку}$ – тепловые потоки газов за ГТ и на входе в котел-утилизатор, соответственно;
 $N_{к}$, $N_{гт}$, $N_{гту}$ – электрические мощности компрессора ГТ и ГТУ, соответственно

Математическая модель [2, 3] дополнена следующими уравнениями для расчетов: удельного теплосодержания газов в КС; максимальной температуры зоны горения; расчетного времени реакции образования оксидов азота в КС; концентрации термических и быстрых оксидов азота; массового расхода выбросов оксидов азота; расхода продуктов сгорания и др.

Выполнена верификация полученных результатов в сравнении с реальными трендами из архива АСУТП (рис. 2, 3). В ходе проведенных исследований по сравнению полученных результатов моделирования с реальными трендами сигналов выявлено, что разработанная модель функционирует качественно «правильно», но с небольшими статическими отклонениями, которые, по-видимому, связаны с допущениями, принятыми при разработке модели.

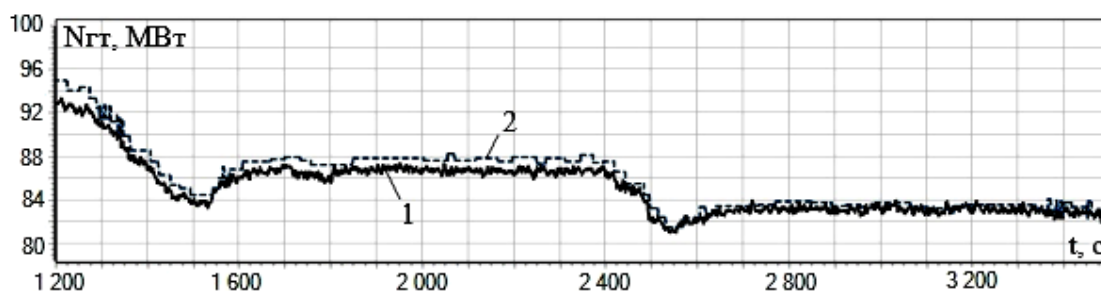


Рис. 2. Электрическая мощность ГТ:
 1 – модель; 2 – тренд из архива АСУТП

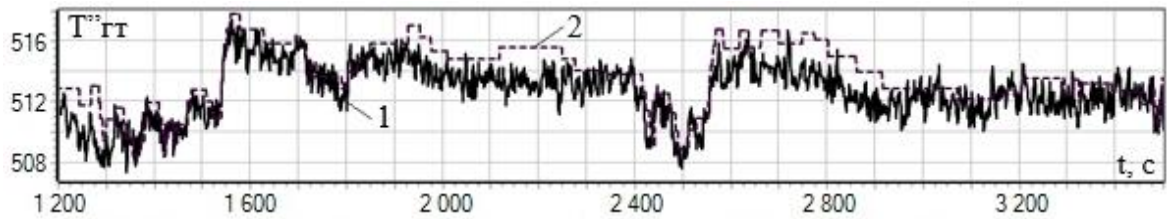


Рис. 3. Температура уходящих газов за ГТ:
1 – модель; 2 – тренд из архива АСУТП

На рис. 4, 5 представлены процессы моделирования расчета количества выбросов вредных веществ в атмосферу, а именно массового расхода выбросов NO_2 и концентрация NO_x на выходе из КС газовой турбины (ГТ).

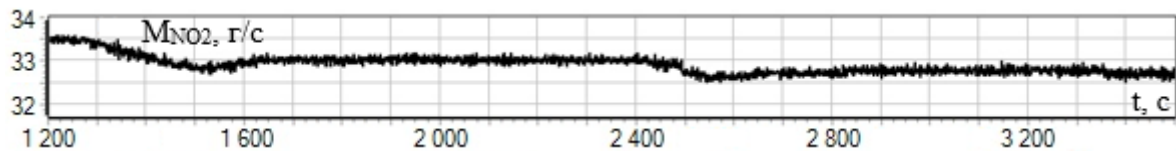


Рис. 4. Массовый расход оксидов азота за ГТ

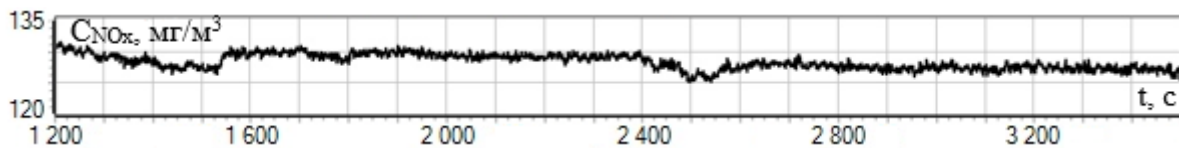


Рис. 5. Концентрация оксидов азота в уходящих газах за ГТ

Оценка влияния электрической нагрузки на экологические показатели ГТУ, работающей в составе энергоблока с ПГУ, представлены в таблице.

Оценка влияния нагрузки на экологические показатели ГТ
(при $T_{н.в.} = +15\text{ °C}$ и -20 °C)

Технологические параметры	Электрическая мощность ГТ, МВт					
	60	70	80	90	100	110
Расход топлива, кг/с	4,19/-	4,6/-	5,05/-	5,47/5,47	5,88/5,88	6,29/6,29
Массовый расход воздуха, кг/с	256,5/-	275,4/-	296,4/-	314,3/284	331/303	351,9/324,2
Концентрация термических оксидов азота, мг/м ³	7,6/-	7,75/-	7,8/-	8,09/3,99	8,35/4,01	8,38/3,89
Суммарная концентрация термических и быстрых оксидов азота, мг/м ³	135,75/-	138,9/-	141,9/-	144,8/155,68	147,7/156,88	149,1/156,9
Массовый расход оксидов азота, г/с	27,2/-	29,9/-	32,8/-	35,5/34,4	38,3/37,05	40,9/39,63

В качестве примера рассмотрены два значения температуры наружного воздуха: $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ (расчетный режим) и $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (средняя температура в зимний период в Ивановской области – соответствующая местоположению станции). В таблице показания для разных температур записаны через знак «/». Нагрузка на ГТ изменялась в соответствии с режимной картой от 60 до 110 МВт, при этом обеспечивалось соотношение между значениями расхода топлива и угла открытия входного направляющего аппарата (ВНА) компрессора. Это соотношение необходимо для поддержания безопасного значения температуры выхлопных газов за ГТ на уровне $517\text{ }^{\circ}\text{C}$ для повышения срока службы газовой турбины (конструктивный аспект) и стабильной работы котла-утилизатора (режимный аспект). Поскольку состав топлива (природного газа) и воздуха остаются неизменными в ходе данного эксперимента, то полный объем и энтальпия продуктов сгорания также не изменяются для всех режимов работы ГТУ и остаются равными $16,1\text{ м}^3/\text{м}^3$ и $38,7\text{ МДж}/\text{м}^3$, соответственно.

Из рис. 6 видно, что при изменении температуры наружного воздуха в отрицательную сторону концентрация оксидов азота незначительно превышает норму (максимально на величину $9\text{ мг}/\text{нм}^3$ или 6 % от допустимого уровня для данного типа КС). Это можно объяснить тем, что для охлаждения горячих газов на выходе из КС при отрицательных температурах наружного воздуха необходим значительно меньший его массовый расход, как следствие концентрация оксидов азота повышается. При повышении температуры наружного воздуха ситуация противоположная, а именно массовый расход воздуха для охлаждения необходим в большем количестве (расход ограничен только конструктивными особенностями ВНА).

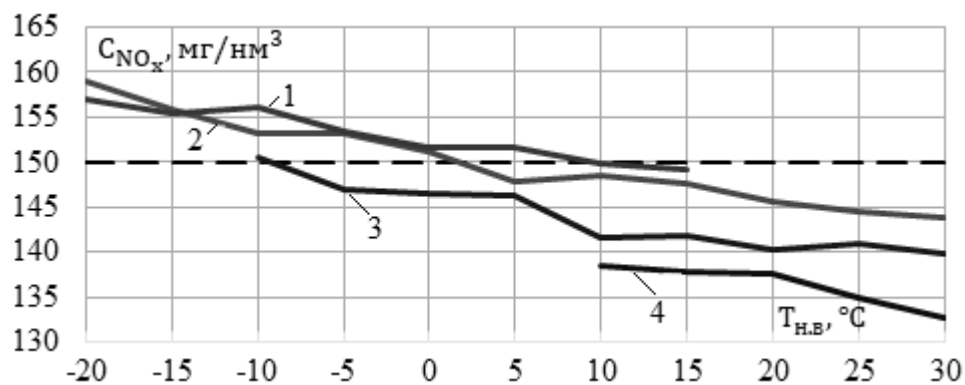


Рис. 6. Суммарная концентрация термических и быстрых оксидов азота в отработавших газах за ГТ: 1 – 110 МВт; 2 – 95 МВт; 3 – 80 МВт; 4 – 65 МВт

Рис. 7 показывает, что массовый расход выбросов NO_2 для одинаковых значений мощности снижается с уменьшением температуры наружного воздуха, а при росте электрической нагрузки на турбине увеличивается и достигает своего максимального значения в 41 г/с при $T_{\text{н.в.}} = +15^\circ\text{C}$ и номинальной электрической мощности 110 МВт.

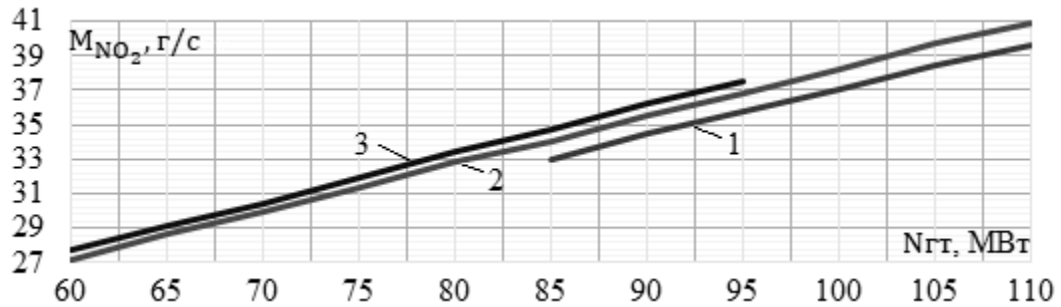


Рис. 7. Расход оксидов азота в отработавших газах за ГТ:

1 – $T_{\text{н.в.}} = -20^\circ\text{C}$; 2 – $T_{\text{н.в.}} = +15^\circ\text{C}$; 3 – $T_{\text{н.в.}} = +30^\circ\text{C}$

Таким образом, результаты проведенных исследований показали, что превышение нормы выбросов по суммарной концентрации термических и быстрых оксидов азота наблюдается при электрической мощности ГТУ вблизи номинального уровня от 85 до 110 МВт в диапазонах изменений температуры наружного воздуха от -20 до 0°C . Это означает, что в данном диапазоне изменения электрической нагрузки оборудование работает неэффективно, а возврат в безопасную зону по значениям суммарной концентрации оксидов азота в отработавших газах возможен для данных типов КС только за счет снижения вырабатываемой мощности на турбине и, соответственно, уменьшения значения КПД ГТУ в целом.

Литература

1. Карташов Б. А., Шабаев Е. А., Козлов О. С., Щекатуров А. М. Среда динамического моделирования технических систем *SimInTech*: Практикум по моделированию систем автоматического регулирования / Б. А. Карташов, Е. А. Шабаев, О. С. Козлов, А. М. Щекатуров. М.: ДМК Пресс, 2017. 424 с.

2. Муравьев И. К., Тверской Ю. С. Исследование на математической модели эффективности совместной работы газовой и паровой турбин энергоблока с ПГУ // Автоматизация в промышленности. 2016. №1. С. 53–57.

3. Tverskoy Yu.S., Muravev I.K. Optimization of controlled processes in combined-cycle plant (new developments and researches) // РТРРЕ-2017. IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 891. 2017. 012290, doi: 10.1088/1742-6596/891/1/012290.

УДК 658.513

ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ ЦИФРОВИЗАЦИИ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

¹Мялковский Игорь Константинович, ²Треаль Вячеслав Августович
¹ООО «ТД «Электротехмонтаж», ² Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербург
¹migork@mail.ru, ²tva653@yandex.ru

Статья посвящена повышению эффективности взаимодействия автоматизированных информационных систем в жизненном цикле объекта электротехники за счет цифровизации. Приведены оценки параметров резонансного роста производительности на примере государственных корпораций.

Ключевые слова: цифровизация, информационный сервис, производительность, жизненный цикл объекта, электротехника, синергия.

EXPECTED CHANGES IN ENTERPRISE PRODUCTIVITY AS A RESULT OF DIGITALIZATION OF ELECTRICAL ENGINEERING OBJECTS

¹Myalkovskiy Igor Konstantinovich, ²Treal Vyacheslav Avgustovich
¹LLC "TD" Electrotehmontazh,
² SPbGASU, Saint-Petersburg
¹migork@mail.ru, ²tva653@yandex.ru

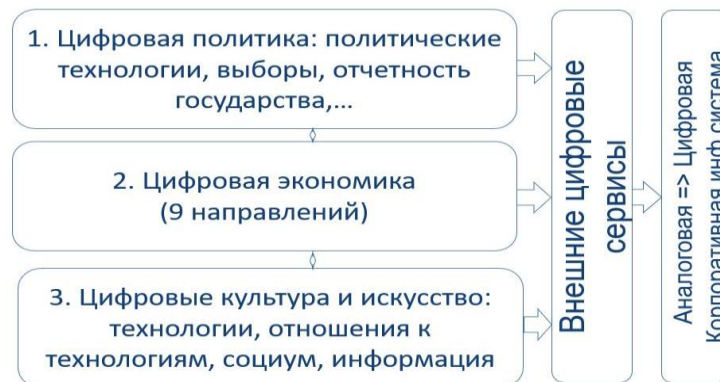
The article is devoted to increasing the productivity of the interaction of automated information systems in the life cycle of an electrical engineering facility during digitalization. Estimates are given of the parameters of the resonant growth of the productivity of such an interaction in comparison with manual data processing prior to the introduction of digitalization.

Key words: digitalization, information service, productivity, object life cycle, electrical engineering, synergy.

Наша проблема не в том, что мы долго запрягаем.
Проблема в том, что после этого мы можем никуда не поехать.

А. Силуанов, министр финансов России

По замыслу идеологов цифровизации она стала основным инструментом жизненно необходимого России повышения производительности труда. Рассматривают два важных направления цифровой трансформации предприятия. Первое направление – перевод имеющихся на предприятии автоматизированных или гибридных информационных систем с аналоговой формы сигналов на цифровые. Сюда относятся различные корпоративные информационные системы, автоматизированные системы управления производством и технологическими процессами. Второе – интеграция перечисленных систем с внешними информационными системами: глобальными сервисами информационно-технологической поддержки пользователей типа *Yandex Direct*, *Google*, *YouTube*, *OneDrive*, *DropBox* и даже ВКонтакте и *Facebook* и отраслевыми, например типа *iPRO* в электротехнической отрасли. Данное направление определено среди прочих руководящих документов программой цифровой экономики Российской Федерации [1] (см. рисунок).



Ключевые направления цифровизации

Крупнейшие компании мира планомерно занимаются приобретением внешних сервисов в целях создания ресурсов – задела на будущее. В будущем в условиях сокращения ресурсов они, вероятно, планируют выставлять их на продажу.

Цифровизация отражается в образовании как междисциплинарный процесс. Он требует охвата нескольких учебных дисциплин в сознании обучаемых. Приходится знакомиться со множеством современных технологий. Облачные и «туманные» технологии, искусственный интеллект, роботизация, эмоциональный интеллект, технологии больших данных, интернет-вещей, «умных вещей», информационного моделирования или

цифровых двойников уже достаточно уверенно развиваются в России. К сожалению, многие студенты, а иногда и преподаватели, сами ежедневно пользуясь этими технологиями, даже не представляют уровень и темпы их развития.

Новая информация о внедряемой технологии всегда вызывает спор до тех пор, пока эта технология не становится привычной. А далее люди забудут, как они раньше жили без этого. Например, по данным экспертов компании *Juniper Research*, количество подключенных датчиков и устройств Интернета вещей мире в 2018 г. составит 21 млрд, а к 2022 г. превысит 50 млрд. Поставщики промышленных решений в России и за рубежом уделяют большое внимание встраиванию и внедрению подключенных систем, состоящих из нескольких информационных систем, устройств и датчиков, в ряд отраслевых вертикалей и бизнес-процессов, что позволяет им модифицировать существующие операции и разрабатывать новые эффективные бизнес-модели. Как всегда, наибольшие преимущества от адаптации новейших технологий, в том числе интернета вещей, «умного дома», *ВИМ*-технологий и т.д., получают те, кто раньше начнет их использовать. Поэтому необходима подготовка специалистов со знанием современных цифровых технологий, чтобы закрыть возрастающую потребность компаний в соответствующих кадровых ресурсах.

Цифровая цивилизация, создаваемая на основе цифровой экономики, цифровой политики, цифрового искусства и цифровой культуры, так или иначе принимается потребителями как сервис, т.е. совокупность услуг. Он должен становиться лучше после каждого цикла обслуживания, потому что: 1) сразу идеальным его создать невозможно, 2) даже на начальных стадиях сервис должен быть самокупаемым, предоставлять хоть какие-то услуги, но обязательно в пригодной форме, 3) закладывая в него регламент непрерывного улучшения, получаем стратегию создания через какое-то время массового сервиса, пригодного к употреблению населением страны. Потребителям не обязательно осознавать весь объем и структуру «кухни» цифровизации. Как правило, им достаточно получать цифровой сервис в виде информационно-технологической поддержки, логистического сервиса, сервиса управления жизненным циклом объектов строительства (технического решения на объекте строительства). Создавать информационный сервис целесообразно в соответствии с международными «хорошими» практиками, описанными в библиотеке *ITILv3* (v4), технологии *ITSM* и ГОСТ ИСО 20000.

В этом смысле производительность труда можно посчитать в зависимости от масштаба цифровизации предприятия. Это субъективно оценивает и может измерить конечный потребитель услуг. Как правило,

конечные пользователи не задумываются, насколько увеличивается производительность и результативность их труда, когда они пользуются средствами автоматизации разного уровня. Несложно измерить, что когда вы пользуетесь обычным компьютером, производительность увеличивается примерно в 2–5 раз. Диапазон зависит от того, кто, как и когда пользуется компьютером. У бухгалтера производительность возрастает примерно в 5 раз, проектировщика – в 3–4, у дизайнера – в 2–3. Разумеется, производительность – переменная величина и зависит от начального навыка работы и приобретенного (табл. 1).

Таблица 1

Примерная сравнительная оценка возрастания производительности труда в зависимости от применения средств автоматизации и цифровизации предприятия

Вид автоматизированной деятельности	Увеличение производительности труда по сравнению с неавтоматизированной работой в количество раз	За счет чего?	Кто почувствует разницу первым и может измерить?
1. Работа на компьютере в автоматизированной информационной системе, например 1С:Предприятие, САПР и т.д.	2..5		Пользователь в сравнении с предыдущим опытом
2. Коллективная разработка в локальной сети (системе электронного документооборота, проектном офисе и т.п.)	20..50	Участники вдохновляют друг друга (задают определенный ритм, приемлемый для их всех), работают в едином информационном пространстве с пересекающимися целями	Конечный потребитель результата работ
3. Участие в управлении жизненным циклом объекта строительства в разделе «Электротехника» информационной модели объекта (здания)	50..250	То же, что и в п.2 и дополнительный рост производительности по экспоненциальному закону по аналогии с эффектом роста количества выделяемого тепла из дров при пожаре.	Заказчик объекта

Приведенные в табл. 1 значения очень приблизительные, в связи со сложностью точного расчета, из-за разнообразия множества внешних факторов и разного количества участников жизненного цикла. Среднее количество участников задано тоже ориентировочно, в первом случае – 1 (подходит для одного пользователя одним компьютером), во втором случае – 5–7 (на таком количестве удалось измерить эффект), в третьем – 10–30, соответственно. Измерения производительности труда (времени исполнения заданного количества действий за заданный промежуток времени) вынужденно проводились на разных объектах в различных условиях. Чистым такой эксперимент назвать нельзя, однако можно выявить тенденцию. Например, производительность труда бухгалтера за счет автоматизации рабочего места зависит от его навыков. В начальный период при отсутствии должных навыков производительность работы бухгалтера наверняка будет ниже той, которая была у него при ручном ведении регламентированного учета, например с помощью типовых шаблонов, выдаваемых ФНС. Затем она может возрасти в 3–5 раз за счет автоматизации множества расчетов, например во время сдачи баланса, когда бухгалтер привык доверять автоматизированным расчетам в системе.

Результативность тоже проявляет себя по-разному. В одном случае результата достигают немедленно: автоматический расчет стоимости сметы, в другом – к конечному результату – расчету баланса за период – бухгалтер приходит ценой больших затрат времени и сил. Результативность труда проектного офиса зависит от понимания задач всеми участниками, навыков применения системы автоматизированного проектирования (САПР), заинтересованности в достижении целей проекта к заданному сроку. Подобным способом можно измерить изменения производительности труда дизайнера. Однако коллективное творчество в случае с дизайнером, очевидно, исключается.

При использовании средств коллективной разработки достигается эффект синергии – резонанса производительности. Условия синергии – наличие единого информационного пространства, участники вдохновляют друг друга (задают единый ритм), цели участников пересекаются. Можно приблизительно оценить, что применение систем электронного документооборота, коллективного проектирования, даже коллективной разработки обычного документа в формате Word приводит к весьма существенному повышению производительности труда: в 10–30 раз по сравнению с разработками на отдельных компьютерах или тем более без них. Здесь диапазон зависит от того, сколько людей одновременно работает, какие у них первичные навыки коллективной работы, что именно они делают в таком совместном проекте.

Похожий эффект можно наблюдать на примере пожара, когда количество выделяемого тепла при пожаре зависит от количества горящих дров и возрастает по экспоненциальному закону.

При работе с глобальными сервисами (например, в электротехнике стандартом отрасли стал информационный сервис *iPRO*) замечено, что производительность нескольких десятков или сотен людей в масштабе государства, управляющих с помощью внешних сервисов и корпоративных информационных систем жизненным циклом объекта строительства, может возрастать еще больше. Эффект позволяет увеличить производительность в 50–200 раз и больше, он зависит от навыков, этапа «жизни» объекта, количества задействованных участников, степени развития и корпоративной культуры организаций-участников. Сами участники в данном случае могут быть разделены во времени и в пространстве, иногда даже не узнают друг друга очно. Простой способ измерить синергию в жизненном цикле объекта строительства – отследить (по календарю и с помощью часов) время движения продукции на наиболее сложном этапе «жизни» объекта – во время его строительства (потока поставок), от момента формирования потребности и выбора комплектующих изделий разных поставщиков до момента получения выбранного и заказанного товара к себе на склад предприятия, или от момента заказа до получения, или от момента создания документов на тендер до момента «учета прихода» на склад и т.д.

Есть вполне определенный смысл связывать такой резонансный эффект с цифровизацией. Ведь в данном случае очевидно, что цифровизация выгодна целой стране, достижима существующими средствами и пригодна для массового образования.

Синергия и независимость – два противоположных полюса производительности труда. Самых больших успехов добиваются люди, которые могут выстраивать гармонию с окружающим миром в условиях случайного противодействия. При этом независимым невозможно быть даже в лесу, потому что приходится критически зависеть от сил природы. Производительность любой цепи производства в каждый момент определяется ограниченным отрезком времени и задействованными ресурсами текущего этапа жизни объекта [2].

Синергия обладает неочевидным свойством: участники промежуточных этапов жизненного цикла объекта ее не ощущают. С точки зрения одиночного пользователя его деятельность не отличается от его обычной работы в одиночку. Пользователи и участники коллективной деятельности с использованием внешнего сервиса не отличаются друг от друга, если смотреть на них по отдельности, не измеряя общий результат (например, время выбора аналогов с оформлением проекта в виде чертежа и спецификации, автоматизированного заказа с использованием внешнего глобального

отраслевого каталога продукции всех основных поставщиков вплоть до момента получения заказанной продукции на свой склад) [3]. Они, наверняка, будут спорить о том, что оба они работают одинаково хорошо. Причем первый из них, кто работает в одиночку, может доказывать, что в большом коллективе ему работать неудобно. А высокопоставленный руководитель будет отстаивать позицию, что с цифровизацией лучше подождать до тех пор, «пока все утрясется», и кто-нибудь первый успеет набить себе «шишки» от первых цифровых проектов. Уже не раз подобная позиция недалёковидных руководителей сыграла злую шутку в истории нашей страны. В табл. 2 приведен пример описываемого эффекта после внедрения сервиса *iPRO* в одной из государственных корпораций.

Таблица 2

Иллюстрация эффекта синергии от интеграции корпоративной
информационной системы промышленного предприятия
и внешнего сервиса *iPRO*

До внедрения <i>iPRO</i>	После внедрения <i>iPRO</i>	Полезный эффект
800 поставщиков, используемых случайным подбором на рынке, в условиях тендеров по 44-ФЗ без возможности выбрать аналоги путем их сравнения	1. 2 надежных поставщика 2. Прозрачное ценообразование 3. Работа в соответствии с 44-ФЗ	1. Уменьшение налоговых рисков 2. Оптимизация снижения стоимости бизнес- процессов 3. Честная позиция на рынке
Неконтролируемые закупки на местном рынке. Отсутствие регламента утилизации	Возможность сравнивать и выбирать аналоги разных поставщиков	Сокращение времени выбора заказа
10000 позиций	10000 позиций. Централизованная поставка на 26 объектов заказчика в 15 областях РФ	Такое же количество позиций номенклатуры при централизованном удобном мониторинге
Среднее время поставок от заявки потребности до получения и учета на складе заказчика 90 дней	Менее 30 дней за счет синергии при взаимодействии участников движения товара от производителя к потребителю	Сокращение времени поставок на 60 дней

Из табл. 2 видно, что организовать оперативный обмен данными при интеграции корпоративной информационной системы с внешним информационным сервисом стоит того, чтобы уже сегодня заниматься цифровизацией. Уже несколько лет можно с помощью различных систем автоматизированного проектирования создавать различные информационные модели объектов строительства в разных разделах. Однако создание отраслевых каталогов с продукцией всех поставщиков отрасли и интеграция их как внешних сервисов с корпоративными информационными системами, с информационными моделями объектов – это важнейшая тенденция цифровизации, способная коренным образом изменить отношение различных руководителей к производительности труда в масштабе страны, значительно повысить эффективность (производительность и результативность) взаимодействия автоматизированных информационных систем в жизни объекта строительства [4].

Литература

1. Программа «Цифровая экономика Российской Федерации» [Электронный ресурс]: утв. распоряжением Правительства РФ от 28 июля 2017 г. № 1632-р. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант».
2. Лич Л. Вовремя и в рамках бюджета: Управление проектами по методу критической цепи / пер. с англ. М.: Альпина Паблишерз, 2010. 354 с.

УДК 621.311.49

ОСОБЕННОСТИ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ ФИДЕРА КОНТАКТНОЙ СЕТИ ТЯГОВОЙ ПОДСТАНЦИИ

Петров Владимир Владиславович

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова»,

г. Чебоксары

petrov.vp@yandex.ru

В докладе рассматриваются особенности реализации защиты и автоматики фидеров контактной сети тяговых подстанций систем 25 и 2×25 кВ. Разбор требований стандарта ГОСТ Р 57121-2016 позволяет оценить эффективность использования отдельных функций защит и функций автоматики, а также сформировать обобщенную модель терминала для данного присоединения.

Ключевые слова: тяговая подстанция, фидер контактной сети, релейная защита, автоматика.

FEATURES OF PROTECTION AND AUTOMATION OF CONTACT TRACTION NETWORK'S FEEDER

Petrov Vladimir Vladislavovich

FSBEI of HE «I.N. Ulianov Chuvash State University», Cheboksary

petrov.vp@yandex.ru

The report discusses the features of the implementation of protection and automation of feeders of the contact network of traction substations of 25 kV and 2x25 kV. Analysis of the requirements of state standard 57121-2016 allows to assess the effectiveness of the use of individual protection and automation functions. As a result, the generalized terminal model for this connection is formed.

Keywords: traction substation, contact network feeder, relay protection, automation.

Эффективность системы тягового электроснабжения зависит от надежной работы всех ее составных элементов. Среди них выделяются тяговая подстанция (ТП) и контактная сеть. ТП служит для приема, преобразования и распределения электрической энергии к тяговым и районным потребителям, находящимся в непосредственной близости от железной дороги. КС – совокупность проводов, обеспечивающая доставку энергии до электроподвижного состава.

Для обеспечения надежной и бесперебойной работы этой системы необходима установка устройств релейной защиты и автоматики. В железнодорожной инфраструктуре на данный момент используются в основном микроэлектронные защиты УЭЗФМ, ЯРЭЖ-2201 в сочетании с электромеханическими реле.

Отличительной особенностью микропроцессорных терминалов, по сравнению с электромеханическими и микроэлектронными защитами, является обширный набор функций в одном устройстве. Основной задачей работы является разработка функциональной схемы интеллектуального терминала релейной защиты и автоматики для присоединения фидера контактной сети переменного тока. Проведя анализ ГОСТ Р 57121-2016, устанавливаем необходимый перечень функций защит, автоматики и управления для терминала ячейки фидера контактной сети.

Отличительной особенностью системы тягового электроснабжения переменного тока является соизмеримость токов нагрузочного режима и режима короткого замыкания. Таким образом, мы не можем получить достаточную чувствительность и селективность при использовании только токовых защит.

В качестве основной защиты применена четырехступенчатая дистанционная защита. Для обеспечения надежной работы каждая ступень резервируется токовой защитой при снижении напряжения на шинах ниже 3 % от $U_{\text{ном}}$. Также предусмотрен специальный блок, обеспечивающий загробление уставок 2, 3 и 4 ступени, что подразумевает уменьшение сопротивления срабатывания на 20 %. Функция загробления контролирует коэффициент гармоник тока фидера и запускается при превышении им определенного значения (обычно содержание гармоник не превышает 8–10 %).

Проектируемый терминал предназначен для защиты фидера как в системе 25 кВ, так и в системе 2×25 кВ. В соответствии с этим мы имеем по два блока для каждой ступени – для контактного и питающего провода. Первая ступень служит для защиты от КЗ в зоне «подстанция – пост секционирования». Вторая и третья ступень защищают контактную сеть от своей до смежной подстанции. Четвертая ступень дистанционной защиты служит для защиты от коротких замыканий через большое переходное сопротивление (например, при обрыве провода и падении его на сухую каменистую почву сопротивление может достигать 50 Ом). Так как переходное сопротивление является в большей степени активным, характеристика ДЗ-4 прижата к оси абсцисс (рис. 1).

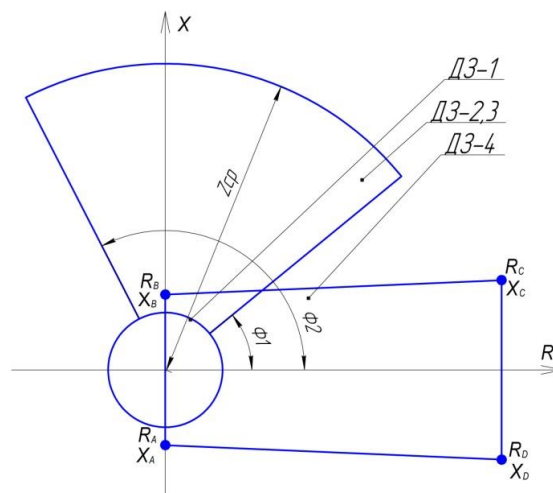


Рис. 1. Характеристики срабатывания ДЗ

Наряду с дистанционной защитой в список функций терминала включены защита минимального напряжения, токовые отсечки по мгновенному и действующему значениям. Отсечка покрывает не более 20–30 % линии от подстанции до поста секционирования, действует при коротких замыканиях с большими токами короткого замыкания.

Защита минимального напряжения срабатывает при снижении напряжения на шинах распределительного устройства ниже значения уставки, так как допустимый уровень напряжения нормальной работы должен быть от 20 кВ.

Также на фидерах рекомендуется установка аппаратуры для контроля условий нагревания проводов. К примеру, пережог провода МФ-100, который является широко используемым для организации контактной подвески, возникает при увеличении тока в 400 А·с или же токе дуги, равному 2000 А. В связи с этим является обоснованным использование квазитепловой защиты в качестве резервной. На вход терминала поступает ток фидера контактной сети. Вычисляя коэффициент деления тока контактной подвески, мы можем получить ток контактного провода из тока фидера контактной сети, который измеряется терминалом. Решив уравнение теплового баланса, получаем формулу для расчета температуры провода [2] (рис. 2):

$$T_{\text{КП}t} = \frac{(I_1 \cdot K_{\text{Д}})^2 \cdot R_0}{k - I_1^2 \cdot R_0 \cdot \alpha} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{C} \cdot (k - (I_1 \cdot K_{\text{Д}})^2 \cdot R_0 \cdot \alpha)} \right) + T_{\text{КП}t-1} \cdot e^{-\frac{t}{C} \cdot (k - (I_1 \cdot K_{\text{Д}})^2 \cdot R_0 \cdot \alpha)}, \quad (1)$$

где $T_{\text{КП}t}$ – текущее значение температуры контактного провода, °С; $T_{\text{КП}t-1}$ – значение температуры в предыдущий момент времени ($t-1$ с), в начальный момент времени равно температуре окружающей среды $T_{\text{ОС}}$, °С; $T_{\text{ОС}}$ – температура окружающей среды (уставка), °С; I_1 – ток фидера в первичных величинах, А; k – теплоотдача со всей поверхности провода (уставка), Вт/(м·°С); α – температурный коэффициент сопротивления материала (уставка), 1/°С; t – рассматриваемый момент времени с момента изменения тока КП на определенное значение, дискретность равна 1 с. Цикл отсчета времени начинается заново при $|\Delta I| > 50$ А; $|\Delta I|$ – модуль изменения тока за последнюю секунду; R_0 – коэффициент охлаждения контактного провода (уставка), 1/с.

Моделирование алгоритма позволяет получить наглядные графики изменения температуры контактного провода во время короткого замыкания. Для проверки выбрана контактная подвеска МФ100+ПБСМ95, которая является одной из самых распространенных в системах 25 кВ.



Рис. 2. График изменения температуры контактного провода от времени в процессе КЗ

В нормальном режиме по контактному проводу течет ток 550 А, в 53 с моделирования происходит короткое замыкание, и по контактному проводу течет ток в 10 раз больше тока нагрузочного режима. В блоке квазитепловой защиты предусмотрено два компаратора с уставками по предупредительному и аварийному значению температуры. В нашем случае при уставке в 120 °С защита сработает на отключение за 3 с. Остальные функции защиты сработают мгновенно без выдержки времени при их введенном состоянии. Делаем вывод, что квазитепловая защита в блоке является дополнительной, резервной. В основном ее предназначением будет действие на предупредительную сигнализацию оперативному персоналу.

Для повышения надежности тягового электроснабжения также используется автоматическое повторное включение. В проектируемой функциональной схеме предусмотрено два цикла с возможностью сброса при действии определенных защит. Для предотвращения включения линии на короткое замыкание во втором цикле предусмотрена функция устройства контроля короткого замыкания. Суть заключается в контроле наведенного напряжения на контактную сеть и в контроле расхождения фаз между напряжением на линии и на шинах тяговой подстанции.

В конечном итоге имеем схему, которая может использоваться для защиты сразу нескольких присоединений (см. таблицу).

Защищаемые присоединения

№	Защищаемое присоединение	СТЭ
1	Фидер контактной сети	25 кВ, 225 кВ
2	Пост секционирования, пункт параллельного соединения	25 кВ
3	Запасной выключатель	25 кВ, 2×25 кВ

Ключевыми преимуществами устройства, для которого проектируется функциональная схема, являются:

– конфигурируемость, то есть возможность выполнения защиты нескольких присоединений согласно таблице;

– полное соответствие требованиям ГОСТ Р 57121-2016.

В результате мы получаем полное описание логики действия функций защит и автоматики фидера контактной сети, а также ключевые особенности при их реализации в составе интеллектуального терминала релейной защиты и автоматики.

Литература

1. Фигурнов Е. П. Релейная защита: учебник. М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2009. Ч. 1. 415 с. Ч. 2. 604 с.

2. Михеев В. П. Контактные сети и линии электропередачи: учебник для вузов ж.-д. транспорта. М.: Маршрут, 2003. 416 с.

3. ГОСТ Р 57121-2016. Терминалы интеллектуальные для присоединений распределительных устройств тяговых подстанций, трансформаторных подстанций и линейных устройств тягового электроснабжения железной дороги. «НИИЭФА-ЭНЕРГО», ООО Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, 2016. 41 с.

УДК 621.315

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ ТРАНСФОРМАТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ВОЗДЕЙСТВИЯ КВАЗИПОСТОЯННЫХ ТОКОВ

¹Самолина Ольга Владимировна, ²Вахнина Вера Васильевна
ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет», г. Тольятти
^{1, 2}eie@tltsu.ru

В статье рассматриваются вопросы влияния конструкции магнитных систем трансформаторного оборудования на интенсивность воздействия квазипостоянных токов.

Ключевые слова: квазипостоянный ток, трансформатор, автотрансформатор, насыщение магнитной системы, моделирование параметров оборудования.

INFLUENCE OF DESIGN FEATURES MAGNETIC SYSTEM OF TRANSFORMER THE EQUIPMENT ON INTENSITY OF INFLUENCE OF SEMIPERMANENT CURRENTS

¹Samolina Olga Vladimirovna, ²Vakhnina Vera Vasilyevna

Togliatti State University, Togliatti

^{1, 2}eie@tltsu.ru

In article questions influence of a design of magnetic systems of the transformer equipment on intensity of influence of semipermanent currents are considered.

Keywords: semipermanent current, transformer, autotransformer, saturation of a magnetic system, modeling of parameters of the equipment.

Трансформаторное оборудование, основными элементами которого являются силовые трансформаторы и автотрансформаторы, – неотъемлемая часть энергосистемы. Надежность работы оборудования по преобразованию и дальнейшей передаче электроэнергии напрямую связана с обеспечением надежности электроснабжения потребителей.

Важнейшей задачей энергетики является поддержание нормального и бесперебойного режима работы оборудования, которое может быть обеспечено правильной эксплуатацией.

В вопросы эксплуатации электрооборудования входят не только поддержание нормальных условий работы, согласно техническим регламентам, но и учет влияния внешних факторов, например влияние геоиндуцированного тока (ГИТ) на насыщение магнитных систем трансформаторного оборудования. Особенно сильно такое влияние наблюдается при наличии протяженной заземленной системы проводников.

Влияние конструктивных особенностей силовых трансформаторов и автотрансформаторов на интенсивность воздействия ГИТ рассмотрено для силовых трансформаторов с бронестержневой и трехстержневой конструкцией магнитной системы и силового автотрансформатора с броневаой конструкцией магнитной системы.

Для учета насыщения магнитной системы силового автотрансформатора введено нелинейное дифференциальное индуктивное сопротивление ветви намагничивания x_0 :

$$x_0 = f \left(\hat{i}_0 \right) = f (i_0 + I).$$

Суммарный ток намагничивания силового автотрансформатора, определяется:

$$\hat{i}_0 = i_0 + I.$$

Исследование влияния суммарного тока намагничивания на изменение x_0 показано на рис. 1.

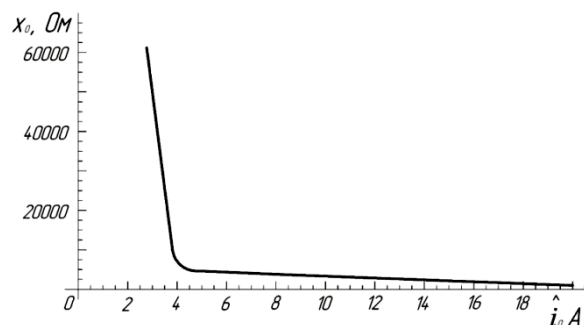


Рис. 1. Зависимость x_0 от суммарного тока намагничивания

При отсутствии подмагничивания постоянным током ($I = 0$) в области рабочего перемагничивания величина дифференциального индуктивного сопротивления ветви намагничивания составляет $x_{0(d)} = 40035 \text{ Ом}$.

При увеличении постоянного тока I и, соответственно, суммарного тока намагничивания \hat{i}_0 дифференциальное индуктивное сопротивление ветви намагничивания x_0 уменьшается нелинейно. При $\hat{i}_0 = 9 \text{ А}$ зависимость дифференциального индуктивного сопротивления от суммарного тока намагничивания силового автотрансформатора приобретает линейный характер, и при $\hat{i}_0 = 18 \text{ А}$ значение x_0 становится равным 63 Ом [1].

Диаграмма, поясняющая характер изменения x_0 при кусочно-линейной аппроксимации характеристики намагничивания, представлена на рис. 2.

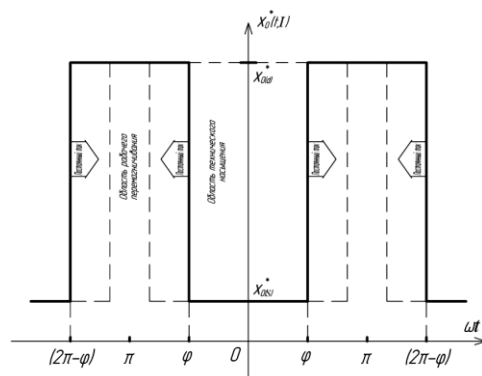


Рис. 2. Модуляция x_0 автотрансформатора под воздействием квазипостоянного тока

Для удобства расчетов в дальнейшем используется эквивалентное дифференциальное индуктивное сопротивление ветви намагничивания x_0^* (экв). Характер изменения x_0^* (экв) силового автотрансформатора показан на рис. 3.

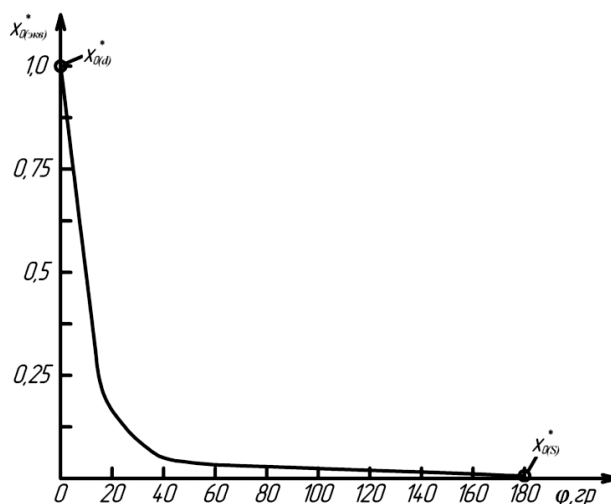


Рис. 3. Зависимость x_0^* (экв) от значений фазового угла насыщения автотрансформатора

Таким образом, интенсивность воздействия геоиндуцированного тока на силовой автотрансформатор зависит от состояния магнитной системы. В зависимости от величины фазового угла насыщения можно выделить состояния «слабое насыщение», «умеренное насыщение», «сильное насыщение».

Для анализа интенсивности воздействия ГИТ на насыщение магнитных систем трансформаторного оборудования введен критерий оценки интенсивности воздействия геоиндуцированных токов $k_{\text{ГИТ}}$. Коэффициент интенсивности геоиндуцированного тока $k_{\text{ГИТ}}$ для однофазного силового автотрансформатора принимается равным единице.

Для трансформатора с бронестержневой конструкцией магнитной системы зависимости коэффициентов интенсивности геоиндуцированного тока $k_{\text{ГИТ}}$ от $I_{\text{ГИТ}}$ представлены на рис. 4.

Зависимости коэффициентов интенсивности геоиндуцированного тока $k_{\text{ГИТ}}$ от $I_{\text{ГИТ}}$ для трансформатора с трехстержневой конструкцией магнитной системы представлены на рис. 5 [1].

В диапазоне изменения токов $I_{\text{ГИТ}}$ от 1 до 10 А зависимости коэффициента интенсивности ГИТ в стержнях и ярах трехфазных силовых трансформаторов представляют прямые линии, при значениях $I_{\text{ГИТ}}$ от 10 до 20 А изменения значений $k_{\text{ГИТ}}$ незначительны.

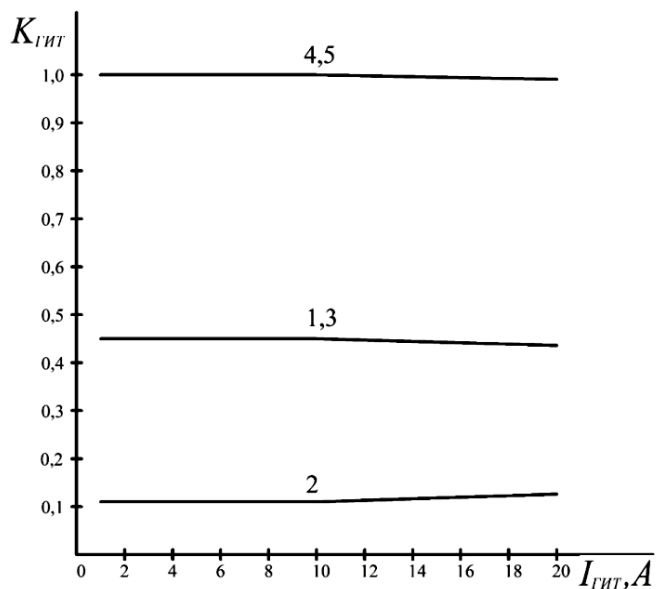


Рис. 4. Зависимость коэффициента интенсивности геоиндуцированного тока k_{GIT} в стержнях и боковых ярмах силового трансформатора ТДЦ – 400000/220 от I_{GIT}

Анализ зависимостей показывает, что среднее значение k_{GIT} для боковых стержней равно 0,455, для центрального стержня – 0,118.

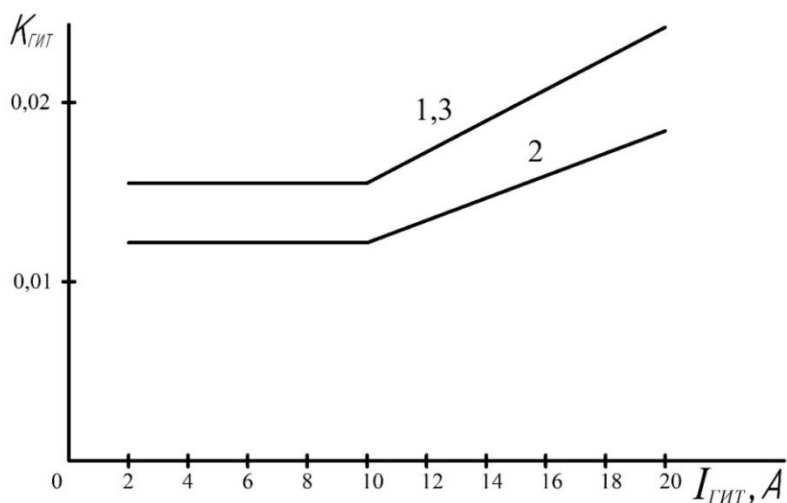


Рис. 5. Зависимость k_{GIT} в стержнях трансформатора ТРДН – 63000/110 от I_{GIT}

Таким образом, коэффициент интенсивности ГИТ практически не зависит от намагничивающего тока I_{GIT} , но зависит от конструкции магнитной системы (см. таблицу).

Значения коэффициента интенсивности ГИТ
трансформаторного оборудования

Тип оборудования		$k_{ГИТ}$
АОДЦТН – 267000/500/220	стержень	1
ТДЦ – 400000/220	боковые ярма 4,5	1
	боковые стержни 1,3	0,455
	центральный стержень 2	0,118
ТРДН – 63000/110	боковые стержни 1,3	0,017
	центральный стержень 2	0,014

Исследования показывают, что наиболее чувствителен к насыщению магнитной системы геоиндуцированным током однофазный силовой автотрансформатор с броневой магнитной системой.

Таким образом, конструкция магнитной системы трансформаторного оборудования оказывает существенное влияние на интенсивность воздействия геоиндуцированных токов.

Литература

1. Самолина О. В. Влияние геоиндуцированных токов на функционирование однофазных силовых автотрансформаторов систем электропитания: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Саратов, 2017. 16 с.

УДК 621.316.1:658.8

ВЫЯВЛЕНИЕ НЕДОСТОВЕРНЫХ ДАННЫХ В УЗЛАХ УЧЕТА ЭНЕРГОСБЫТОВОЙ КОМПАНИИ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ГОРОДСКИМ СЕТЯМ 6–10 КВ

¹Староверова Инна Игоревна, ²Малафеев Алексей Вячеславович

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

¹inna.si@icloud.com, ²malapheev_av@mail.ru

В работе рассмотрен подход к выявлению недостоверных данных по учету электроэнергии в условиях городских распределительных сетей 6–10 кВ, содержащих преимущественно магистральные линии с отпайками, при ненаблюдаемости части

отпаечных присоединений. Для участков сети 10 кВ предлагается использовать пофидерные балансы с определением потерь расчетным способом и заданием ненаблюдаемых отпаечных ТП номинальной мощностью трансформатора и коэффициентом загрузки по данным контрольных замеров. Расчеты показывают допустимость такого подхода для доли ненаблюдаемых ТП до четверти от суммарной трансформаторной мощности.

Ключевые слова: баланс электроэнергии, потери электроэнергии, наблюдаемость, контрольные замеры, присоединенная мощность, динамика электропотребления.

IDENTIFICATION OF UNRELIABLE DATA IN THE NODES OF ACCOUNTING OF AN ENERGY-SALES COMPANY APPLICABLE TO URBAN NETWORKS 6–10 kV

¹Staroverova Inna Igorevna, ²Malafeev Aleksey Vyacheslavovich

FSBEIHE NMST, Magnitogorsk

¹inna.si@icloud.com, ²malapheev_av@mail.ru

The paper considers an approach to identifying inaccurate data on electricity metering in urban distribution networks of 6-10 kV, containing predominantly trunk lines with branch pipes, while some of the branch connections are unobservable. For sections of the 10 kV network, it is proposed to use feeder balances with the determination of losses by calculation and setting unobservable tap-off transformer substations with the rated transformer power and load factor according to control measurements. Calculations show the validity of this approach for the share of unobservable TSs up to a quarter of the total transformer power.

Key words: electricity balance, energy losses, observability, control measurements, connected power, power consumption dynamics.

В деятельности энергосбытовой компании (ЭСК) значительное место занимает эксплуатация технических средств учета электроэнергии как автоматизированных систем (АСКУЭ), так и обычных счетчиков, не имеющих каналов передачи данных и предусматривающих ручное снятие показаний. Точность средств учета, правильность и своевременность снятия показаний счетчиков как потребителями, так и персоналом ЭСК, во многом определяют точность финансовых расчетов с потребителями на розничном рынке электроэнергии. Таким образом, корректная оценка достоверности информации, на основании которой потребители

расплачиваются с ЭСК по двусторонним договорам, поможет миновать значительной части встречных претензий. Оценка наблюдаемости и достоверности выполнена на примере одного из узлов системы электроснабжения г. Магнитогорска. Анализ схемы электрической сети и расстановки средств автоматизированного и ручного учета, а также средств измерений, позволил выявить следующие характерные случаи:

– в радиальных сетях возможно сопоставление показаний счетчика у потребителя с показаниями дублирующего счетчика, установленного на питающей подстанции (при радиальной схеме питания). При этом необходимо учитывать значение потерь электроэнергии, которые могут быть получены расчетным способом по значению $\operatorname{tg} \varphi$;

– в магистральных сетях возможно сопоставление суммы показаний счетчиков потребителей, питающихся по линии с отпайками, с показаниями счетчика на питающем конце линии. При этом также необходим учет потерь, кроме того, появляется проблема выявления потребителя с недостоверными данными.

Коэффициенты реактивной мощности могут быть получены по результатам измерений активной и реактивной мощности на питающей подстанции (в т.ч. по данным телеизмерений на диспетчерском пункте ЭСК).

При отсутствии средств учета у ряда потребителей возникает задача формирования псевдоизмерений энергии, которая решалась в работе путем анализа балансов в сочетании с результатами контрольных замеров для соответствующего периода времени.

В данном случае представляют интерес пофидерные балансы, которые составляются на основе данных об энергиях, зафиксированных приборами учета электроэнергии в голове линий, и приборами учета, установленными на границе разграничения балансовой принадлежности электросетевой компании и потребителя электрической энергии (юридические и физические лица).

В качестве примера рассмотрим ф. 60–80 с отпайками, обеспечивающий питание пос. Цементников, пос. Супряк и пос. Ново-Савинка г. Магнитогорска. Присоединение отличается разнородным характером потребителей, среди которых есть как физические, так и юридические лица, а также большой протяженностью (рис. 1).

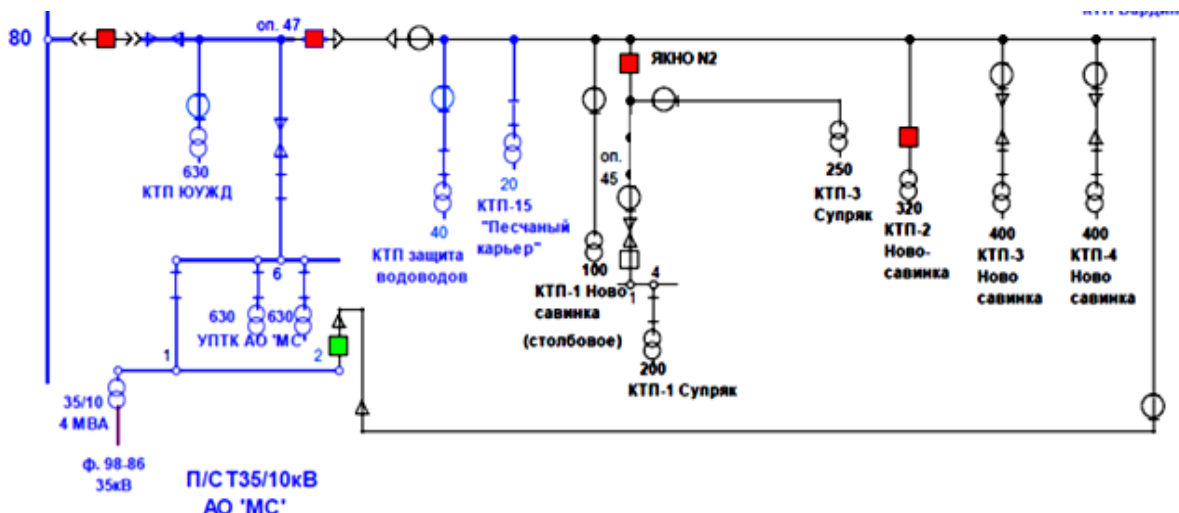


Рис. 1. Потребители, питающиеся от ф.60-80

Выявление недостоверных данных в сетях 0,4 кВ в связи с их разветвленностью, сложностью моделирования и крайне плохой наблюдаемостью – только в центрах питания и на границе балансового раздела с потребителями – удобнее всего выявлять на основе динамики потребления (рис. 2).

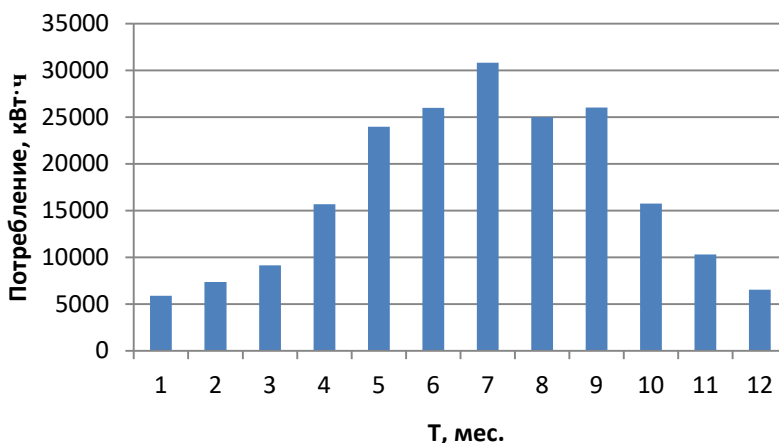


Рис. 2. Динамика электропотребления за период с июля 2015 г. по июнь 2016 г. для КТП «Супряк-1»

Расход электроэнергии пос. Ново-Савинка и Супряк увеличивается в 3–4 раза в период с октября по апрель (рис. 2), что вызвано включением электроотопления в частном секторе. Потери электроэнергии в сетях 0,4 кВ в среднем составляют 10–15 %, что превышает нормативные показатели в 3–4 раза и вызвано частыми случаями безучетного потребления.

В связи с отсутствием счетчиков на стороне 0,4 кВ ТП потери в трансформаторах ТП (кВт·ч) будем определять расчетным путем: [1]:

$$\Delta W_{\text{ТП}} = \Delta P_{\text{хх}} T_{\text{раб}} + k_k k_{\phi}^2 \Delta P_{\text{кз}} W^2 \frac{1 + \text{tg}^2 \phi}{T_{\text{раб}} S_{\text{ном}}^2} \cdot 10^{-3}, \quad (1)$$

где $\Delta P_{\text{хх}}$, $\Delta P_{\text{кз}}$ – потери холостого хода и короткого замыкания трансформатора, кВт; $T_{\text{раб}}$ – время работы, ч; k_{ϕ} – коэффициент формы графика нагрузки; $S_{\text{ном}}$ – номинальная мощность трансформатора, МВА; $\text{tg} \phi$ – коэффициент реактивной мощности, средний за период; W – потребление электроэнергии, кВт·ч; k_k – коэффициент, учитывающий различие конфигураций графиков активной и реактивной нагрузок (принимается равным 0,99).

За июль месяц получаем следующие результаты (табл. 1).

Таблица 1

Результаты расчета потерь в трансформаторах ТП

Объект	Тип трансформатора	Потери электроэнергии, кВт·ч
КТП «Ново-Савинка-1»	ТМ-100/10	259,58
КТП «Ново-Савинка-2»	ТМ-320/10	739,04
КТП «Ново-Савинка-3»	ТМЗ-400/10	831,94
КТП «Ново-Савинка-4»	ТМЗ-400/10	964,37
КТП «Супряк-1»	ТМ-25/10	402,87
КТП «Супряк-3»	ТМ-250/10	720,30

В среднем потери в трансформаторах составляют около 3 % от общего потребления электроэнергии по каждой из шести КТП и по рассматриваемому фидеру в целом.

В связи с тем, что потери в местных линиях электропередачи соизмеримы с погрешностью приборов учета, целесообразно их определять расчетным путем [2]:

$$\Delta W_{\text{л}} = k_k k_{\phi}^2 W^2 \frac{1 + \text{tg}^2 \phi}{T_{\text{раб}} U_{\text{ном}}^2} r_0 l, \quad (2)$$

где r_0 – удельное погонное сопротивление линии, Ом/км; l – длина линии, км; $U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение линии, кВ.

Результаты расчета за аналогичный период приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчета потерь на участках линии

Участок линии	Потери электроэнергии, кВт·ч
КТП «Ново-Савинка-3» – КТП «Ново-Савинка-4»	43,95
КТП «Ново-Савинка-2» – КТП «Ново-Савинка-3»	77,49
ЯКНО-2 – КТП «Ново-Савинка-2»	627,68
ЯКНО-2 – КТП «Супряк-3»	0,68
ЯКНО-2 – КТП «Супряк-1»	0,63
КТП «Ново-Савинка-1» – ЯКНО-2	80,34
Ф.60-80 – КТП «Ново-Савинка-1»	877,62
Суммарные потери в ЛЭП 10 кВ	1708,37

В период с октября по март потери существенно возрастают в связи с использованием электрического отопления (от величины 1281 кВт·ч в июне до 25436 кВт·ч в январе).

Небаланс по ф.60–80 с отпайками составил в рассматриваемом месяце 1204 кВт·ч, или 0,99 %. Расчеты выполнялись по формуле:

$$W_{\text{НБ}} = \frac{W_{\text{пост}} - W_{\text{отп}} - \Delta W_{\text{расч}}}{W_{\text{пост}}} \cdot 100\% , \quad (3)$$

где $W_{\text{пост}}$ – объем поступившей электроэнергии; $W_{\text{отп}}$ – объем отпущенной электроэнергии; $\Delta W_{\text{расч}}$ – расчетные потери электроэнергии внутри объекта.

Оценим значение небаланса в случаях отсутствия информации о нагрузках некоторых КТП (при этом известны технические данные трансформаторов).

При отсутствии информации о нагрузке КТП «Ново-Савинка-4» (24 % от присоединенной трансформаторной мощности ф.60–80) зададим ее, исходя из среднего коэффициента загрузки по результатам контрольных замеров 0,23. В этом случае расчетный небаланс составит 1911 кВт·ч или 1,58 %, что является допустимой величиной. В случае отсутствия информации о нагрузке двух КТП (в расчетах взяты КТП «Ново-Савинка-3» и «Ново-Савинка-4», 48 % от присоединенной мощности ф. 60-80) небаланс составит –14,35 % (–17369 кВт·ч) для июля,

но в период с ноября по март увеличивается до значений 38,5 %–44,2 %, что является неприемлемым. Значения расчетных небалансов при различном количестве ненаблюдаемых КТП приведены на рис. 3, где принято, что первый столбец для каждого месяца соответствует наличию информации о нагрузках всех ТП, второй – отсутствию информации о нагрузке одной ТП, третий – отсутствию информации о нагрузке двух ТП.

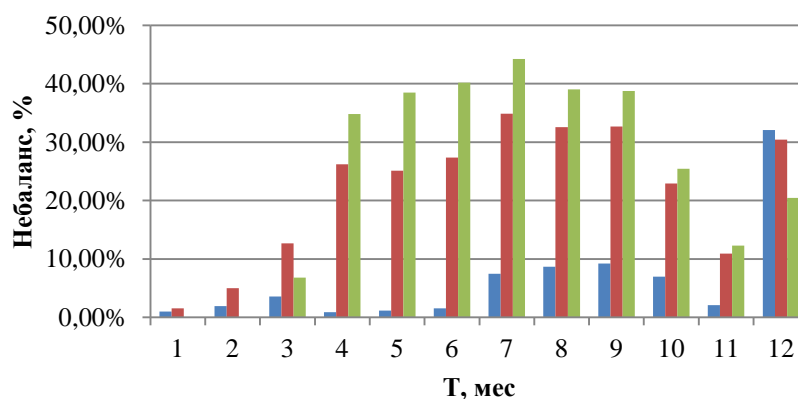


Рис. 3. Значения небаланса с июля 2015 г по июнь 2016 г для рассматриваемого фидера при различном числе ненаблюдаемых ТП

Таким образом, в условиях рассматриваемой линии городской сети 10 кВ задание нагрузок ненаблюдаемых отпаечных ТП номинальными мощностями трансформаторов и коэффициентом их загрузки по результатам контрольных замеров допустимо для присоединенной трансформаторной мощности ТП, составляющей до 25 % от суммарной по линии. Полученный небаланс может быть использован для выявления недостоверных данных по потреблению электроэнергии. Для сетей напряжением 0,4 кВ в связи со сложностью их схемы и отсутствием точной информации по части элементов целесообразно использовать динамику электропотребления.

Литература

1. Железко Ю. С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство для практических расчетов. М.: ЭНАС, 2009. 456 с.
2. Осика Л. К. Расчетные методы интеллектуальных измерений (Smart Metering) в задачах учета и сбережения электроэнергии: практическое пособие. М.: Издательский дом МЭИ, 2013. 422 с.

УДК 629.7.023

АНТИОБЛЕДЕНИТЕЛЬНОЕ ПОКРЫТИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДОВ

¹Таймаров Михаил Александрович,
²Салтанаева Елена Андреевна, ³Майстер Андрей Владимирович
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
¹taimarovma@yandex.ru, ²elena_maister@mail.ru, ³maisterav@mail.ru

Антиобледенительные покрытия в последнее широко применяются для защиты линий электропередач (ЛЭП) от льдообразования. Однако применяемые материалы являются достаточно дорогими, а технологии – сложными для широкого использования на практике. В данной статье применен способ получения антиобледенительного покрытия при помощи электроискрового нанесения шунгита на Z-образный профиль высоковольтного провода для ЛЭП. При этом решена задача получения на поверхности электропроводов теплоизолирующего, электропроводящего и механически прочного покрытия с антиобледенительными свойствами, которое экранирует электромагнитное излучение.

Ключевые слова: антиобледенительное покрытие, электроискровое легирование, шунгитовое покрытие.

ANTI-ICE COATING OF ELECTRICAL WIRES

¹Taimarov Mikhail Alexandrovich,
²Saltanaeva Elena Andreevna, ³Maister Andrei Vladimirovich
KSPEU, Kazan
¹taimarovma@yandex.ru, ²elena_maister@mail.ru, ³maisterav@mail.ru

De-icing coatings have recently been widely used to protect power lines (power lines) from ice formation. However, the materials used are quite expensive, and the technologies are complex for widespread use in practice. In this article, a method for producing an anti-icing coating using electrospark application of schungite on a Z-shaped profile of a high-voltage wire for power transmission lines is used. In this case, the problem of obtaining a heat-insulating, electrically conductive and mechanically durable coating with anti-icing properties on the surface of the electrical wires that shields electromagnetic radiation.

Keywords: anti-icing coating, electrospark alloying, shungite coating.

Высоковольтные воздушные линии электропередачи (ЛЭП), применяемые в России при передаче электроэнергии на большие расстояния, имеют значительные эксплуатационные затраты на антиобледенительные мероприятия. Образование льда и отложение мокрого снега на проводах в осенне-зимние и весенне-зимние периоды часто является одной из причин прерывания электроснабжения. Толщина отложений льда на проводах может достигать до 70 мм, что приводит к существенному возрастанию веса проводов. Вес погонного метра провода марки АС-185/43 диаметром 19,6 мм без обледенения составляет 0,85 кг/м. При образовании на проводе сплошного льда толщиной 20 мм вес провода увеличивается в 3,8 раза. При сильном ветре происходит раскачивание проводов, их обрыв, недопустимое их сближение с опорами, сопровождающееся разрушением опор, и ухудшение защитных свойств изоляторов. На ликвидацию аварий в результате обледенения проводов ЛЭП затрачиваются средства и время в гораздо больших размерах по сравнению с авариями вызванными другими причинами. Проведение антиобледенительных мероприятий представляет собой ответственный, трудоемкий и затратный технологический процесс для областей с зимними условиями эксплуатации высоковольтных проводов ЛЭП. Поэтому разработка и исследование новых способов предотвращения льдообразования на высоковольтных проводах ЛЭП принадлежит к числу актуальных научных и технологических направлений в энергетике.

Для борьбы с льдообразованием применяются следующие технологии: механические, электротермические, физико-химические, электромеханические [1–5].

Механические технологии заключаются в обивке льдоотложений на проводах бакелитовыми шестами с подъемных вышек и площадок, расположенных на грузовых автотранспортных средствах. При ударах шестом возникают волнообразные колебания проводов, при которых льдоотложения ломаются и осыпаются. Недостаток метода состоит в малой производительности, вследствие чего требуется большое количество рабочих. Механический способ позволяет очищать провода ото льда, но не устраняет сам процесс обледенения.

Электротермические технологии заключаются в нагреве проводов электрическим током, который предотвращает льдообразование. При этом используются схемы электропитания, не требующие отключения потребителей. Недостатком электротермических технологий являются их высокие энергетические затраты, так как ток плавки льда на 50 % превышает максимально допустимый для проводов ЛЭП.

Сущность физико-химических технологий состоит в нанесении на провода низко адгезионных реактивов, замерзающих при температурах ниже температуры замерзания воды. Эти реактивы дают на поверхности

проводов низко адгезионные супергидрофобные покрытия, которые обеспечивают антиобледенительные свойства. Недостатком физико-химических технологий является непродолжительный срок существования супергидрофобных покрытий из-за механических потерь их массы под влиянием естественных природных факторов: смены температур, выветривания, дождевого вымывания.

Технология электромеханического предотвращения льдообразования заключается в возбуждении механических колебаний ударника, подвижно расположенного на проводе ЛЭП, по которому протекает электрический ток. Ударник передает механическое усилие на провод в вибрационном режиме. В результате колебаний провода удаляется первичная влага, конденсирующаяся из атмосферы, и льдообразования не происходит. Недостаток этой технологии состоит в том, что требуется значительное количество электромеханических устройств при больших расстояниях расположений проводов ЛЭП.

Из приведенного анализа видно, что применяемые технологии для предотвращения льдообразования на проводах ЛЭП имеют существенные недостатки, которые ограничивают их практическое применение. Наиболее перспективной является технология нанесения стойких антиадгезионных покрытий, которые препятствуют льдообразованию на проводах ЛЭП в осенне-зимний и зимне-весенний периоды.

В данном исследовании в качестве материала покрытия с низкой адгезионной способностью использован шунгит, который наносится на поверхность высоковольтного провода электроискровым способом на стадии изготовления [4]. Предпочтительным является использование шунгита Зажогинского месторождения в республике Карелия. Этот шунгит состоит из кристаллической разновидности называемой фуллереном, молекула которого C₆₀ является органической молекулой.

Минералогический состав шунгита, применяемого создания электроискровым способом антиобледенительного покрытия проводов ЛЭП, приведен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав шунгита Зажогинского месторождения

SiO ₂	C	Ai ₂ O ₃	FeO	K ₂ O	S	MgO	CaO	Na ₂ O	TiO ₂	Прока- ленный остаток	H ₂ O в кристал- лическом связанном состоянии
57,0	30,0	4,0	2,5	1,5	1,2	1,2	0,3	0,2	0,2	0,2	1,7

На рис. 1 представлена схема высоковольтного провода с антиобледенительным шунгитовым покрытием.

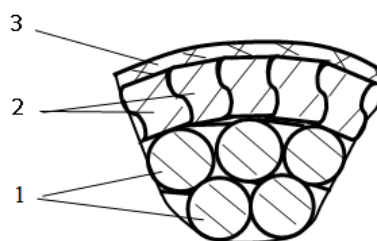


Схема антиобледенительного покрытия электропроводов:

1 – внутренние жилы из круглой алюминиевой проволоки, 2 – внешние жилы из Z-образной алюминиевой проволоки, 3 – шунгитовое покрытие

Электропроводность используемого шунгита составляла $(1...3) \cdot 10^3$ См/м, теплопроводность – 3,8 Вт/(м·К), среднее значение коэффициента теплового расширения в интервале температур 20...600 °С равно $12 \cdot 10^{-6}$ 1/град, плотность шунгита – 2,1...2,4 г/см³, пористость – до 5 %, стоимость шунгита равна 190 руб./кг.

Электроискровое нанесение шунгита проводилось при помощи установки ИЛ100-2 с ручным ультразвуковым узлом для крепления электрода [4].

При электроискровом нанесении происходит перенос продуктов эрозии шунгита на покрываемую алюминиевую поверхность провода [4].

Мощность электроискрового генератора при нанесении покрытия составляла 180 Вт. Толщина слоя покрытия составила 90 мкм. Измерение толщины покрытия проводилось на срезе под микроскопом МИМ-8. Шероховатость наружной поверхности покрытия измерена профилометром TR100 и составила $Ra = 6,5$ мкм при базовой длине $Sm = 2,5$ мм, а шероховатость поверхности образца электропровода, на который наносилось покрытие, составила $Ra = 0,8$ мкм при базовой длине $Sm = 2,5$ мм.

Свойства нанесенного на поверхность провода шунгитового антиобледенительного покрытия определялись по следующим показателям:

1. Адгезионная способность шунгитового покрытия по отношению ко льду.
2. Теплопроводность шунгитового покрытия.
3. Экранирующие свойства шунгитового покрытия по отношению к электромагнитному излучению.
4. Электропроводимость шунгитового покрытия.
5. Механическая прочность.

Адгезионная способность шунгитового покрытия по отношению ко

льду измерена методом отрыва при помощи прибора «Адгезиметр ОР». При испытаниях предварительно намораживались пробы льда цилиндрической формы. Затем эти пробы примораживались при температуре -6°C к образцам алюминиевого электропровода с шунгитовым покрытием и без покрытия. При помощи адгезиметра методом отрыва измерялась адгезия льда.

Результаты измерений адгезии льда к алюминиевому электропроводу с шунгитовым покрытием и без покрытия, приведенные в табл. 2, показывают, что нанесение шунгитового покрытия уменьшает сцепляемость льда с алюминием на 38 %.

Таблица 2

Результаты испытаний покрытия, полученного легированием из материала шунгит, на адгезионные свойства по отношению ко льду

Образец	Температура замерзания льда, $^{\circ}\text{C}$	Адгезия льда на отрыв, Г/см^2
Алюминиевый провод без покрытия	-6	500
Алюминиевый провод с покрытием из шунгита	-6	310

Теплопроводность шунгитового покрытия на алюминии измерялась измерителем теплопроводности ИТС-1 и составила $3,6 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$. Теплопроводность алюминия без покрытия составила $230 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$.

Экранирующие свойства измерялись на шунгитовом покрытии толщиной 1,2 мм при пропускании по нему переменного тока с частотой 50 Гц и напряжением 220 В с помощью измерителя переменных электрических полей ПЗ-70/1. Для алюминиевого провода с шунгитовым покрытием по сравнению с алюминиевым проводом без покрытия получено снижение напряженности электрического поля на 15 В/м.

Измеренное с помощью цифрового омметра 3541 значение электрического сопротивления покрытия из шунгита в переводе на электропроводность составило $1400 \text{ Ом}^{-1}\cdot\text{м}^{-1}$ (1400 См/м)

Прочность на сжатие шунгитового покрытия, измеренная прибором ОНИКС-2,5, составила 104 МПа.

По проведенной работе можно сделать следующие выводы:

1. Шунгитовое покрытие, нанесенное по электроискровой технологии на высоковольтные провода ЛЭП, обладает достаточно высокой антиобледенительной способностью.

2. Покрытие наружной поверхности проводов ЛЭП шунгитом позволяет снизить затраты на антиобледенительные мероприятия, уменьшить электромагнитное излучение от проводов и повысить их электропроводность.

Литература

1. Коняхин Г. Ф. Способ борьбы с обледенением контактного провода и его реализация // Сб. трудов Харьковского университета. Харьков. 2013. С. 151–153.

2. Соловьянчик Л. В. Особенности получения антиобледенительных покрытий // Труды ВИАМ. 2018. №6(66). С. 77–99.

3. Li C., Li X. Amphiphilic Coatings Containing // ACS Applied Materials. 2017. V. 9. No. 27, P. 2295–2296.

4. Таймаров М. А. Устройство для электроискрового легирования. Патент на полезную модель № 109684 от 27 октября 2011 г.

5. Никитина И. Э., Абдрахманов Н. Х., Никитина С. А. Способы удаления льда с проводов линий электропередачи // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2015. №3. С. 794–823.

УДК 621.3.05

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПТИЦЕФАБРИКИ С ЦЕЛЬЮ УЛУЧШЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

¹Тимонин Александр Сергеевич, ²Цырук Сергей Александрович

ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», г. Москва

¹a.s.timonin@mail.ru, ²tsyruksa@mpei.ru

При реконструкции системы внешнего электроснабжения расположенной в Московской области птицефабрики, необходимость которой возникла в связи с увеличением потребляемой мощности, были приняты неверные проектные решения, это явилось причиной невыполнения показателей качества электроэнергии [1] по допустимому отклонению напряжения и коэффициенту мощности. Предложенные проектные решения по исправлению ситуации оказались малоэффективными и высокочрезмерными.

В статье выполнен анализ всех разработанных проектов реконструкции системы внешнего электроснабжения (СВЭ) птицефабрики и предложен авторский вариант, принятый к реализации собственником предприятия.

Ключевые слова: качество электрической энергии, отклонение напряжения, потери мощности и напряжения, энергоэффективность.

OPTIMIZATION OF DESIGN SOLUTIONS FOR THE POWER SUPPLY OF THE POULTRY FARM IN ORDER TO IMPROVE THE QUALITY INDICATORS OF ELECTRIC ENERGY

¹Timonin Aleksandr Sergeevich, ²Tsyruk Sergey Aleksandrovich,

MPEI, Moscow

^{1,2}a.s.timonin@mail.ru, tsyruksa@mpei.ru

The inappropriate design of the external power supply system of a renovated poultry farm, situated in the Moscow region, resulted in unsatisfactory power quality levels [1] including excessive voltage deviations and low power factor. Suggested design of power supply system turned out to be ineffective and costly.

The present paper contains a review of all produced renovation designs for the exterior power supply system of a poultry farm. Also the final design suggested by the authors that was eventually approved by the entrepreneur is described in detail.

Keywords: Power quality, voltage deviation, power loss, voltage drop, energy efficiency.

В настоящий момент электроснабжение птицефабрики осуществляется от ПС 210 «Володарского» от двухтрансформаторной подстанции с напряжениями 35/6 кВ по двум линиям электропередачи напряжением 6 кВ (рис. 1), каждая из которых включает в себя три последовательно соединенных участка: начальный – проложенный в траншее кабель АПвПг-10 3×(1×300/70), $l = 0,378$ м (для второй цепи $l = 0,022$ км); средний – проложенный по воздуху СИПЗ-1х120, $l = 5130$ м; конечный – проложенный в траншее кабель АПвПг-10 3×(1×300/70), $l = 0,157$ м. Максимальная потребляемая мощность предприятия $P_{\max} = 4,8$ мВт; среднее значение коэффициента мощности $\cos \varphi = 0,82$; среднее значение напряжения на шинах 6 кВ ПС 210 «Володарского» $U_{\text{ср}} = 6,15$ кВ.

В процессе эксплуатации СВЭ были выявлены следующие проблемы, требовавшие незамедлительного исправления: потеря напряжения в часы максимальной нагрузки составила $\Delta U = 19,67$ %, таким образом, отклонение напряжения δU существенно превосходило нормируемое [1] значение; потери активной мощности ΔP превысили 12 %, что для столь короткой сети также следовало признать неприемлемым. Ко всему размер платежей за потерянную электроэнергию при передаче и в электроприемниках, работающих в ненормальных режимах, оказался чрезмерно велик, и это повлияло на повышение себестоимости конечной продукции предприятия.

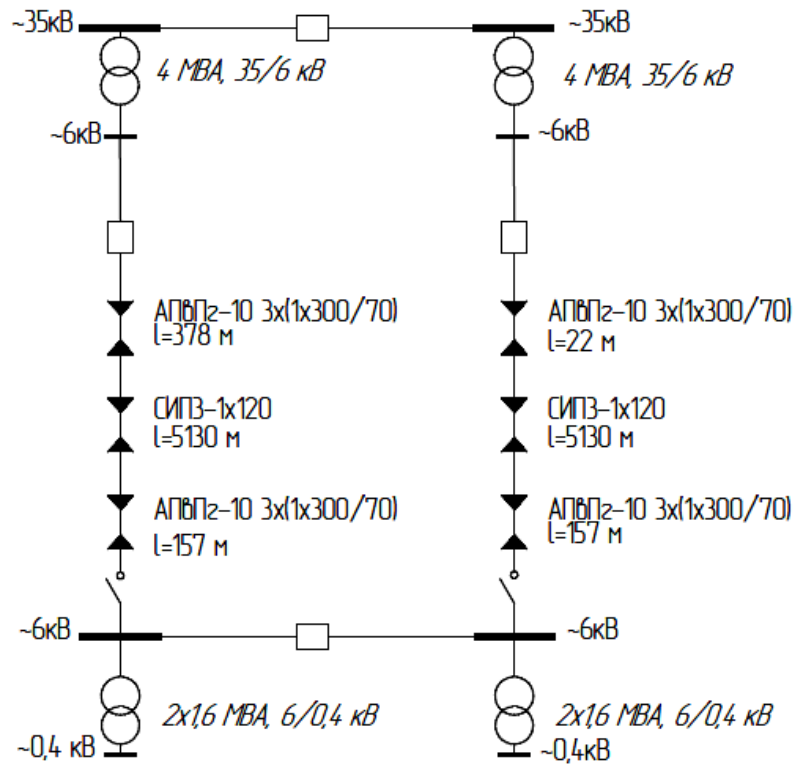


Рис. 1. Исходная схема сети внешнего электроснабжения птицефабрики

В качестве вариантов реконструкции существующей СВЭ проектно-экспертными организациями были рассмотрены:

1. Установка пунктов автоматической регулировки напряжения (ПАРН) на базе вольтодобавочных трансформаторов (ВДТ/ VR32-6-400 У1) (рис. 2) с одновременным использованием устройств компенсации реактивной мощности (батареи статических конденсаторов (БСК)), подключаемых к шинам 0,4 кВ цеховых трансформаторов потребителя. Технические характеристики ВДТ ПАРН [2] приведены в табл. 1.

Таблица 1

Технические данные ВДТ/VR32-6-400 У1

Номинальная мощность на фазу, МВА	2,4
Проходной ток, А	400
Номинальное напряжение, кВ	6
Потери мощности, МВА	0,264
Диапазон регулирования, %	15
Схема подключения	Полный треугольник

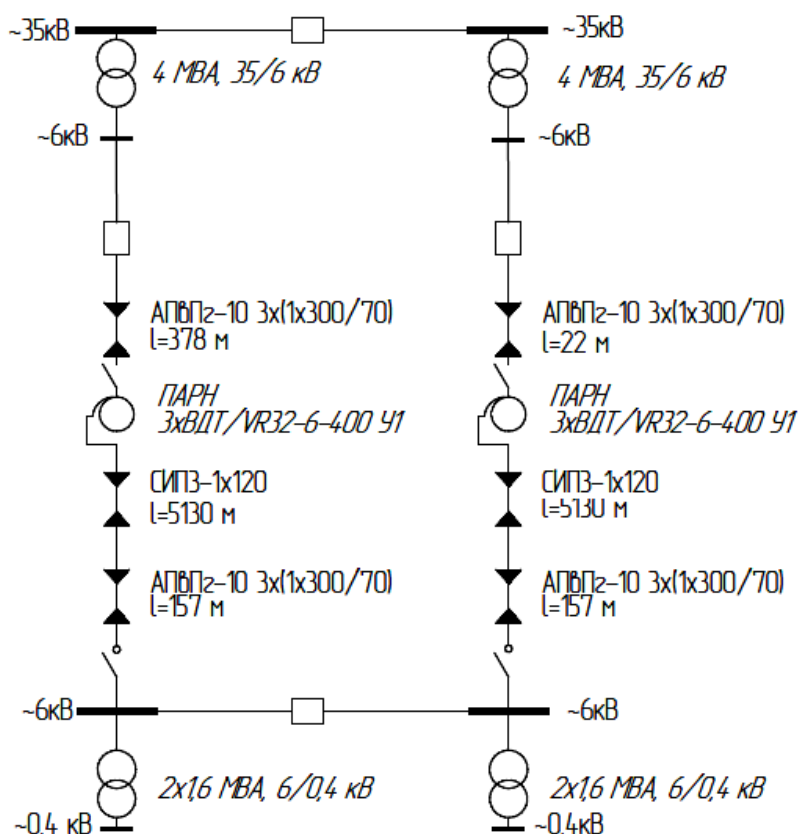


Рис. 2. Схема электроснабжения с ПАРН на базе ВДТ/ VR32-6-400

Предполагалось, что использование регулирующих возможностей ПАРН повысит величину напряжения в точке его присоединения на 15 %, а установка БСК за счет повышения коэффициента мощности и уменьшения потерь напряжения добавит еще 5 % регулирующего эффекта. Предложенное решение обладает следующими недостатками: при сезонном регулировании напряжения на ПС 210 «Володарского» ВДТ не в состоянии поддерживать требуемый уровень напряжения; изменение потока реактивной мощности при установке БСК не столь велико, поэтому уменьшение потерь напряжения и мощности в сети существенно не улучшит ситуацию. Дополнительно надо иметь в виду, что ПАРН – это 6 силовых однофазных трансформаторов, которые создают дополнительные потери электроэнергии, оплачиваемые из средств предприятия. К тому же установка ПАРН требует значительных капитальных вложений.

2. Установка повышающих 6/10 кВ в начале и понижающих 10/6 в конце линий силовых трансформаторов с номинальной мощностью $S_{\text{НОМ}} = 4 \text{ МВА}$ (рис. 3). Предполагается, что использование такой СВЭ

позволит уменьшить потери напряжения в $\sqrt{3}$ раз, а потери мощности – в 3 раза.

3.

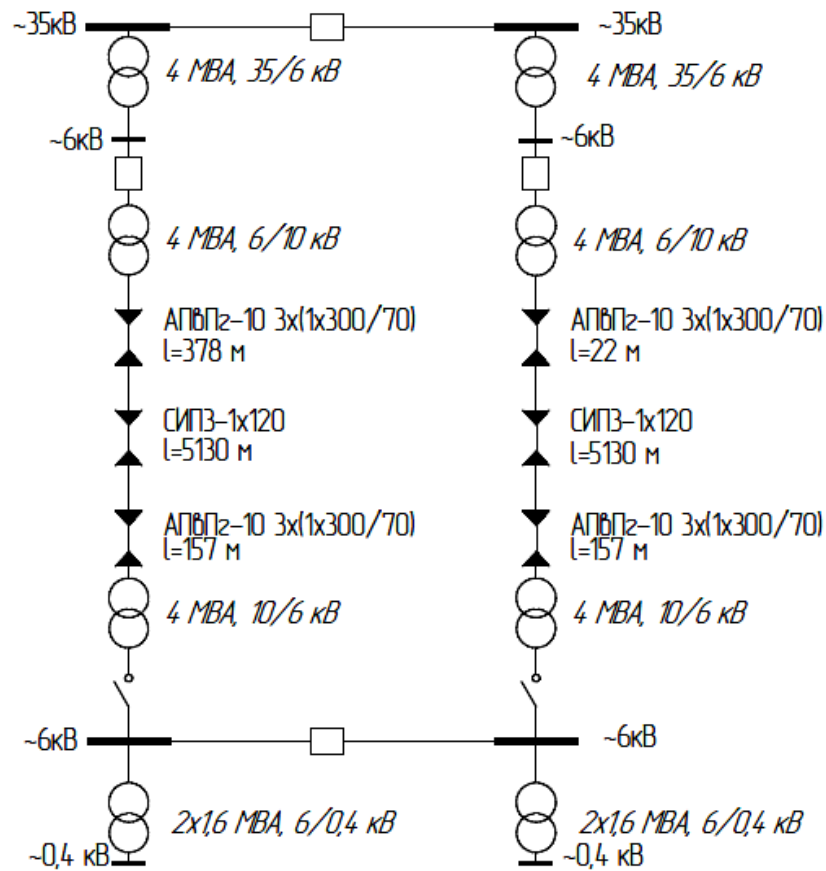


Рис. 3. Схема электроснабжения с двойной трансформацией

Рассматриваемое техническое решение, несомненно, будет способствовать улучшению показателя качества «отклонение напряжения», однако установка четырех силовых трансформаторов суммарной мощностью $S_{\text{НОМ}} = 16$ МВА, как и в ранее рассмотренном случае, ляжет тяжелым финансовым грузом на плечи предприятия. К этому добавим, что дополнительные потери мощности и энергии в трансформаторах, оплачиваемые птицефабрикой, увеличат себестоимость выпущаемой продукции.

4. Вариант, предложенный кафедрой ЭППЭ НИУ «МЭИ». При разработке проекта реконструкции СВЭ птицефабрики нами было принято во внимание, что никакие проектные решения, связанные с использованием номинальных напряжений сети СВЭ $U_{\text{НОМ}} = 6$ и 10 кВ, коренным образом не решают комплексную задачу уменьшения потерь напряжения и минимизации потерь мощности и электроэнергии,

хотя технически вполне осуществимы. К тому же данные решения не учитывают возможное в перспективе расширение производства, сопровождающееся увеличением электрических нагрузок.

Поэтому был рассмотрен вариант увеличения номинального напряжения до уровня $U_{\text{ном}} = 35$ кВ. Выбор величины номинального напряжения осуществлялся расчетным путем по известным формулам [3] Стилла:

$$U_{\text{ном}} = 4,34 \cdot \sqrt{l + 16 \cdot P}; \quad (1)$$

Залесского А.М.:

$$U_{\text{ном}} = \sqrt{P \cdot (100 + 15\sqrt{l})}; \quad (2)$$

Илларионова Г.А.:

$$U_{\text{ном}} = \frac{1000}{\sqrt{500/l + 2500/P}}, \quad (3)$$

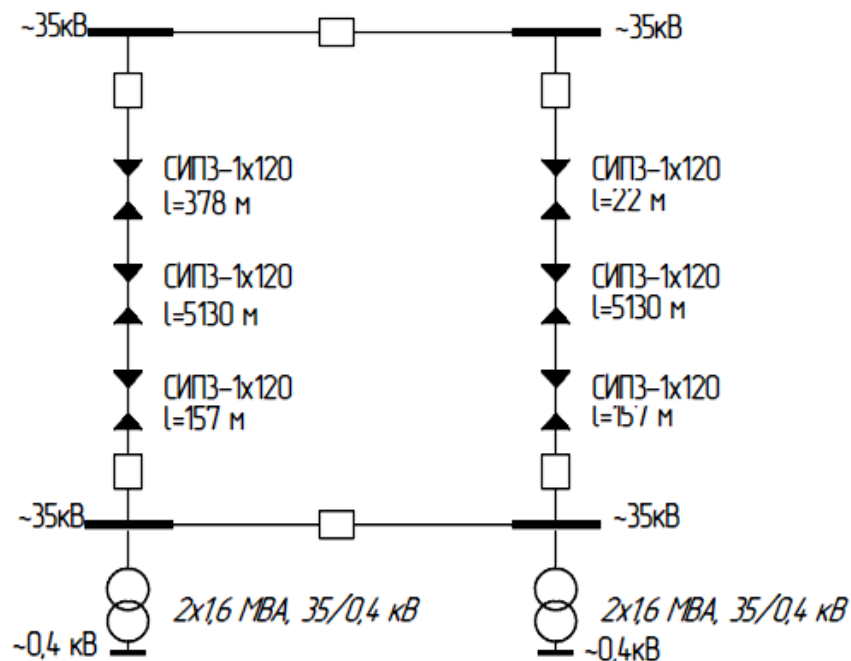
здесь P – передаваемая мощность, МВт; l – длина линии, км.

Учтено также, что питающий центр ПС 210 «Володарского» имеет распределительное устройство на напряжение 35 кВ, что существенно упрощает и удешевляет реализацию решения о применении в СВЭ птицефабрики повышенного напряжения.

Использование в качестве рабочего напряжения 35 кВ потребует существенной реконструкции системы электроснабжения: неизбежен отказ от использования силовых трансформаторов 35/6 кВ в питающем центре; необходима замена кабельных участков АПвПг-10 3(1х300/70) на равные по длине СИПЗ-1х120, имея в виду, что провода СИП-3 рассчитаны на $U_{\text{ном}} = 35$ кВ, причем увеличение сечения токопроводящих жил этих участков не требуется; необходима замена цеховых трансформаторов 6/0,4 кВ, на аналогичные по номинальной мощности трансформаторы 35/0,4 кВ, выпускаемые отечественной промышленностью [4].

Предлагаемый вариант схемы СВЭ птицефабрики представлен на рис. 4.

Экономическое сравнение всех вариантов реконструкции СВЭ птицефабрики не проводилось, но есть уверенность, что срок окупаемости предложенного варианта окажется ниже за счет 35-кратного снижения потерь на передачу электроэнергии.

Рис. 4. Схема электроснабжения при $U_{\text{НОМ}} = 35 \text{ кВ}$

В табл. 2 приведены сводные данные по достигаемым техническим характеристикам всех вариантов реконструкции СВЭ птицефабрики.

Таблица 2

Технические характеристики всех вариантов

Вариант схемы	Потеря напряжения, кВ (%)	Потеря активной мощности в воздушной части линии, МВА
Текущая	1,18 (19,67)	0,27
Установка ПАРН	0,15 (2,5)	0,17
С двойной трансформацией	0,712(7,2)	0,07
При $U_{\text{НОМ}} = 35 \text{ кВ}$	0,21(0,59)	0,03

Литература

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

2. Инновационная энергетика [Электронный ресурс]. URL: <http://промкаталог.рф/PublicDocuments/0700869.pdf> (дата обращения: 15.12.2019).

3. Рыжкова Е. Н., Цырук С. А., Австрийская А. Н. Электрооборудование и режимы работы электрических сетей: учеб. пособие. М.: Издательство МЭИ, 2018. 56 с.

4. Номенклатурный каталог Тольяттинского трансформаторного завода [Электронный ресурс]. URL: http://www.transformator.com.ru/docs/НК_ТТ,ООО_2016 (дата обращения: 18.12.2019).

УДК 621.316

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАТУХАНИЯ СИГНАЛОВ В ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

¹Тухватуллин Леонид Тимурович, ²Хузяшев Рустэм Газизович,
³Кузьмин Игорь Леонидович
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
¹leonidtk4@gmail.com, ²142892@mail.ru, ³to_kigor@list.ru

В данной статье представлены результаты сравнения затухания сигнала переходного процесса в линии без потерь и сигнала переходного процесса в линии с потерями.

Ключевые слова: переходной процесс, затухание, линия с потерями, линия без потерь.

SIGNAL ATTENUATION RESEARCH IN ELECTRIC TRANSMISSION LINES

¹Tukhvatullin Leonid Timurovich, ²Khuzyashev Rustem Gazizovich,
³Kuzmin Igor Leonidovich
KSPEU, Kazan
¹leonidtk4@gmail.com, ²142892@mail.ru, ³to_kigor@list.ru

This article presents the results of comparing the attenuation of a transient signal in a lossless line and a transient signal in a lossy line.

Keywords: transient, attenuation, lossy line, lossless line.

Для исследования механизма затухания сигнала переходного процесса (ПП) использовалась модель однопроводной линии электропередач, построенная в программном пакете PSCAD. Параметры провода были выбраны идентичными марке провода «АС-95/16», высота подвеса провода над землей – 8,85 м, что соответствует распределенным

параметрам $C = 7,84$ нФ/м, $L = 1,42$ мГн/м, $R = 0,0004$ ом/м и волновому сопротивлению равному $333,3$ Ом [1]. Имитация ПП происходила в начале линии в момент времени $0,145$ с путем замыкания конденсатора емкостью 1 мкФ на землю, создавая перезаряд емкостей в линии, что является упрощенной моделью однофазного замыкания на землю в трехфазной сети с изолированной нейтралью. Это создавало кратковременный провал напряжения в сети за счет падения напряжения на внутреннем сопротивлении источника, что провоцировало возникновение сигнала напряжения ПП, который, распространяясь вдоль линии, изменял свою форму вследствие эффекта дисперсии. Шаг моделирования принимался равным 1 мкс [2]. Модель однофазной линии 10 кВ представлена на рис. 1

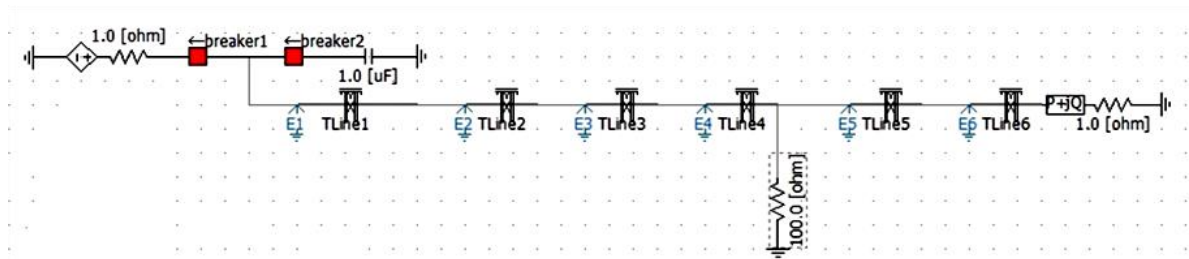


Рис. 1. Модель однофазной ВЛ 10 кВ, созданная в пакете «PSCad»

В результате проведенного моделирования были получены следующие осциллограммы для двух значений активного сопротивления линии (рис. 2–5):

– линия с потерями;

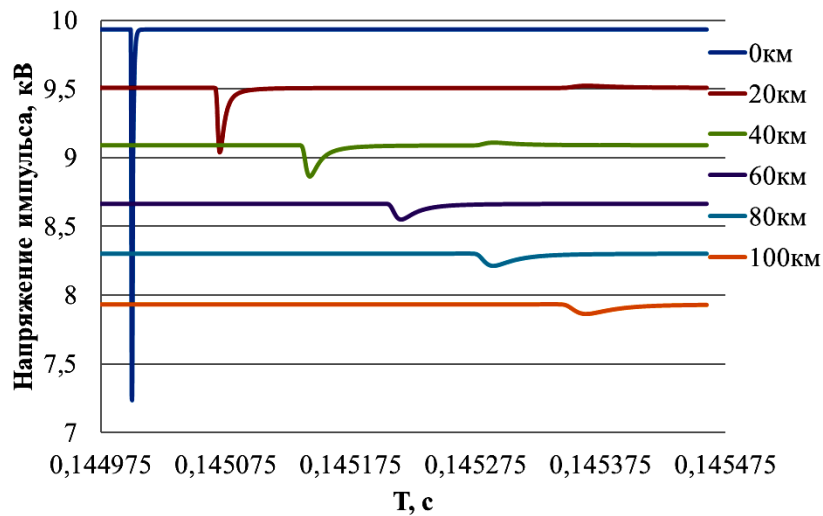


Рис. 2. Осциллограммы исходных данных

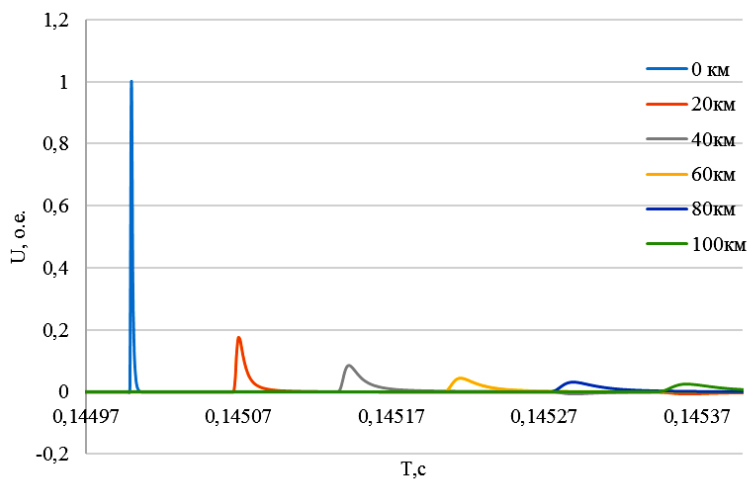


Рис. 3. Сигналы, нормированные на максимум первого сигнала

– линия без потерь $R = 0$;

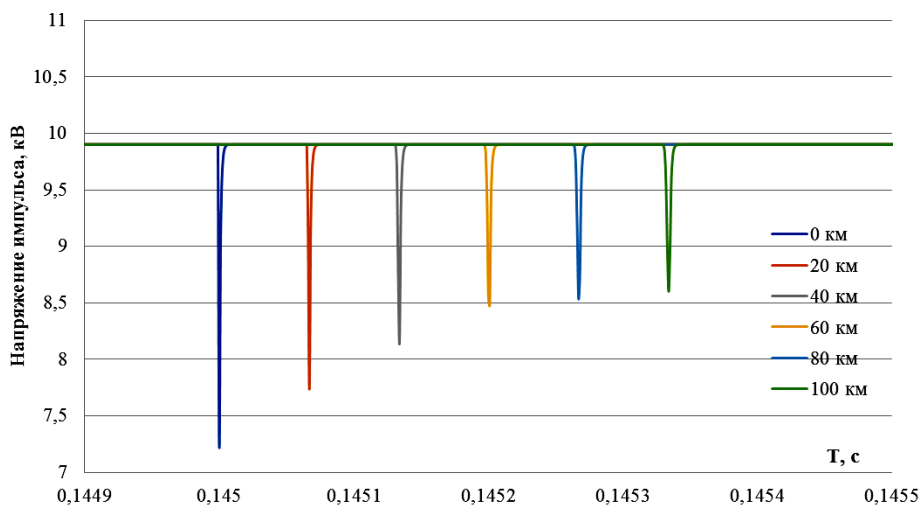


Рис. 4. Осциллограммы исходных данных

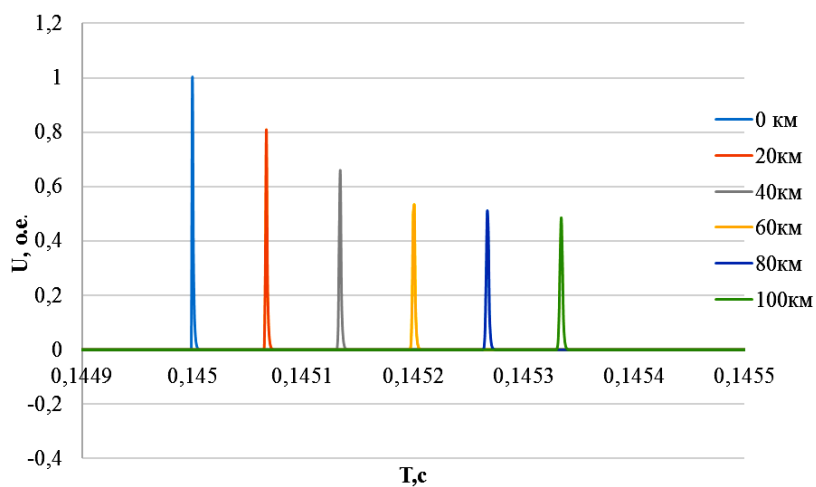


Рис. 5. Сигналы, нормированные на максимум первого сигнала

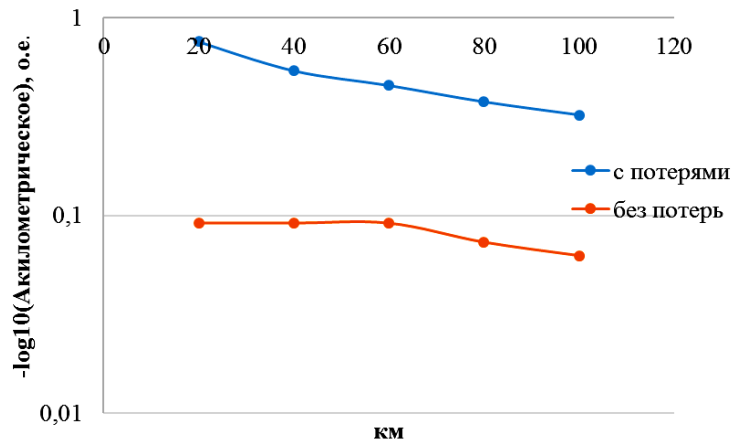


Рис. 6. Зависимость интегрального децибельного ослабления в зависимости от длины

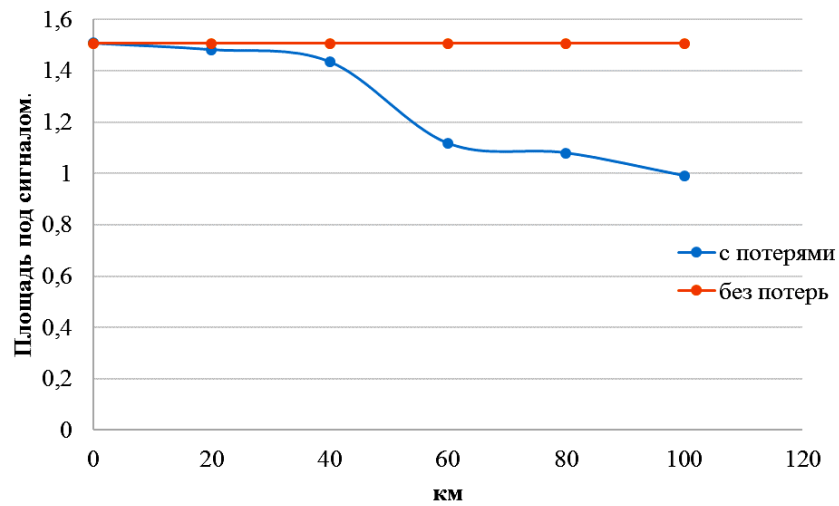


Рис. 7. Площадь под сигналом ПП

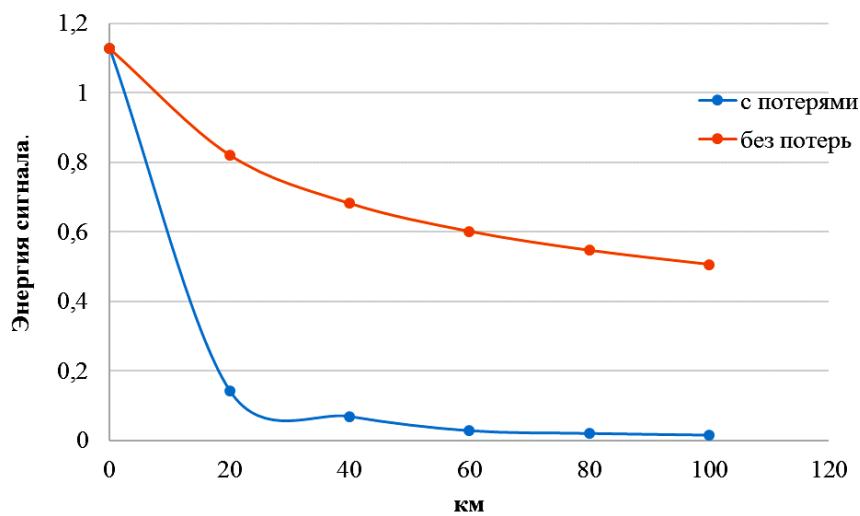


Рис. 8. Энергия сигнала ПП

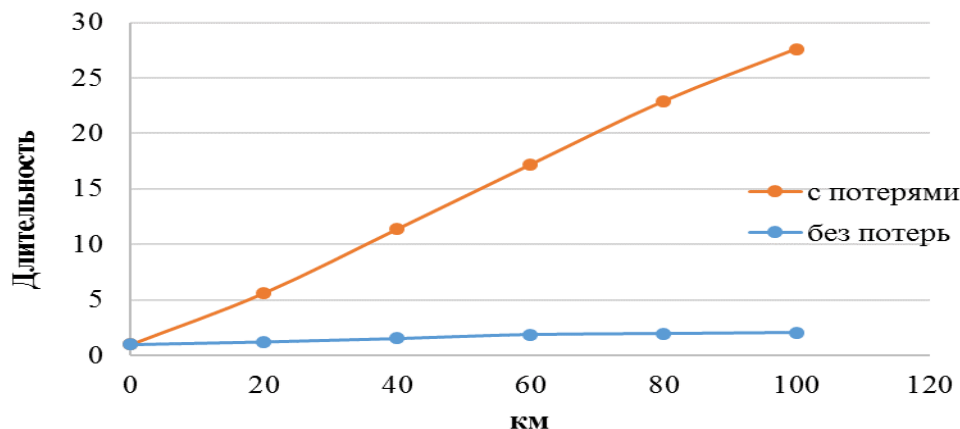


Рис. 9. Длительность сигнала, нормированная к 0 км

Полученные графики иллюстрируют механизм дисперсии при распространении сигнала ПП в однопроводной линии. Он проявляется как в уменьшении максимальной амплитуды сигнала, так и в увеличении его длительности. Уменьшение максимальной амплитуды сигнала ПП (рис. 6) даже в линии без потерь объясняется зарядными процессами, когда постоянная времени простейшей модели длинной линии в виде LC -цепи больше длительности сигнала. При наличии потерь в виде активного сопротивления R затухание увеличивается более значительно. Обращает на себя внимание постоянство площади сигнала ПП независимо от пройденного расстояния как для линии без потерь, так и его полуторократное уменьшение для линии с потерями (рис. 7). Линия с потерями характеризуется значительно большим затуханием (рис. 6), большей потерей энергии сигнала (рис. 8) и более чем десятикратным увеличением длительности сигнала, по сравнению с аналогичными параметрами для линии без потерь.

Литература

1. Хузяшев Р. Г., Тукаев С. М., Кузьмин И. Л. Исследование изменения временных параметров сигналов переходного процесса при распространении в распределительной сети 6(10) кВ для задачи определения места повреждения волновым методом // Энергобезопасность и энергосбережение. 2018. №6. С. 5–17.

2. Хузяшев Р. Г., Кузьмин И. Л., Новиков С. И. Программно-аппаратный комплекс волнового метода определения места повреждения в сетях 6-10 кВ // Международная конференция и выставка «РЗА-2017»: материалы конференции. Санкт-Петербург, 2017. С. 1179–1185.

УДК 621.311

ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ КВАЗИПОСТОЯННЫХ ТОКОВ

Федяй Олег Валерьевич

ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет», г. Тольятти

o.fedyai@yandex.ru

Рассмотрены основные природные источники квазипостоянных токов и их влияние на электрические сети.

Ключевые слова: квазипостоянные токи, геоиндуцированные токи, энергетическая система, электрические сети, геомагнитная буря, геоэлектрические источники, силовые трансформаторы, заземление нейтралей.

MAIN SOURCES OF QUASI-DC CURRENTS

Fedyai Oleg Valerievich

Togliatti State University, Togliatti

o.fedyai@yandex.ru

The main natural sources of quasi-DC currents and their influence on electric networks are considered.

Keywords: quasi-DC currents, geo-induced currents, energy system, electrical networks, geomagnetic storm, geoelectric sources, power transformers, ground neutral.

Впервые воздействие квазипостоянных токов (КПТ) на оборудование (телеграф) было зафиксировано в 1859 г. при сильнейшей геомагнитной буре [3]. КПТ, возникающие при геомагнитных бурях, принято называть геоиндуцированными токами (ГИТ). Различные системы испытывали на себе воздействие ГИТ разной степени «тяжести». Самая крупная авария в электроэнергосистеме, связанная с воздействием ГИТ, произошла в марте 1989 г. в Канаде. Произошло полное отключение энергосистемы Hydro-Quebec, без электричества осталось несколько миллионов человек. Последствия аварии устранялись несколько недель, а экономический ущерб составил порядка 20 млн долларов. После оценки причин аварии несколько стран, в их числе Канада, США, Финляндия, начали внедрение системы мониторинга ГИТ в свои энергетические системы. С начала 2000-х гг. точечное внедрение системы мониторинга ГИТ осуществляется и в нашей стране.

Причиной появления квазипостоянных токов в линиях электропередачи являются вариации геомагнитного поля при геомагнитных бурях и геоэлектрические источники.

Наиболее изученным и известным источником квазипостоянных ГИТ являются геомагнитные бури. Геомагнитная буря – это возмущение геомагнитного поля, вызванное поступлением в окрестности Земли возмущенных потоков солнечного ветра и их взаимодействие с магнитосферой Земли. Это возмущение геомагнитного поля создает геоэлектрические поля на поверхности Земли. Частота этих возмущений составляет менее 0,1 Гц, поэтому такие поля называют квазипостоянными. Электрические сети, в большинстве своем, имеют сложную топологию и являются протяженными. Эти сети включают в себя трансформаторы на электростанциях и подстанциях с заземленными нейтралями [2]. Все трансформаторы напряжением 110 кВ и выше, согласно ПУЭ, должны иметь обязательное глухое или эффективное заземление нейтралей обмоток высокого напряжения. В результате между заземленными нейтралями трансформаторов появляется квазипостоянная ЭДС. Создается контур: заземленная нейтраль T1, обмотка высокого напряжения T1, линия электропередачи, обмотка высокого напряжения T2, заземленная нейтраль T2. По данному контуру под действием квазипостоянной ЭДС начинают протекать квазипостоянные геоиндуцированные токи (рис. 1). Величины этих токов варьируются от нескольких ампер до нескольких сотен ампер.

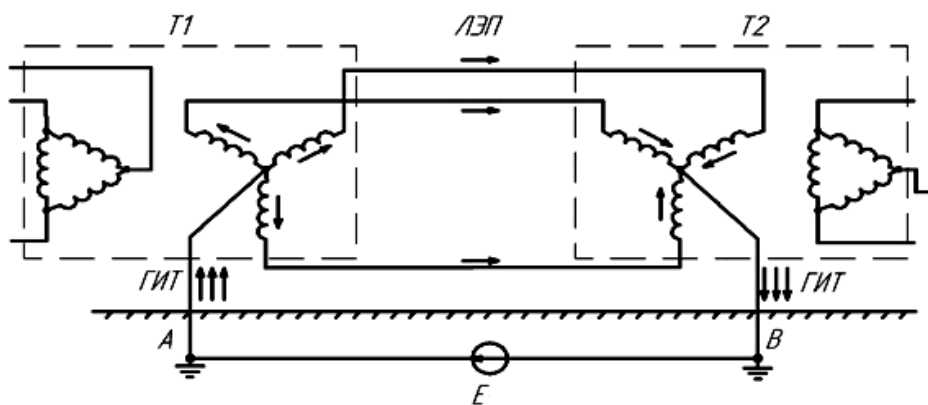


Рис. 1. Сценарий проникновения геоиндуцированных токов в нейтраль СТ

Квазипостоянные токи относительно малы по сравнению с номинальными токами, протекающими в электрических сетях, но они оказывают огромное влияние на работу трансформаторов. КИТ воздействуют на силовые трансформаторы, насыщая их магнитные системы. При насыщении магнитных систем трансформаторов

происходит резкое увеличение потоков рассеяния и, как следствие, возрастание дополнительных добавочных потерь активной мощности, которые, преобразовываясь в тепло, быстро нагревают металлические конструктивные элементы силовых трансформаторов (бак, прессующие пластины, ярмовые балки и др.). Температура наиболее нагретых точек металлических конструктивных элементов силовых трансформаторов может превышать предельно допустимые значения, что недопустимо.

Насыщение магнитных систем трансформаторов также ведет к увеличению несинусоидальных токов намагничивания, росту потребления реактивной мощности силовыми трансформаторами. Возникает дефицит реактивной мощности, сопровождающийся снижением напряжения, запаса устойчивости и пропускной способности линий электропередачи и, в самом худшем случае, способный привести к системной аварии [1].

Другим источником квазипостоянных токов являются геоэлектрические источники. Располагаются они в основном в зонах геологических разломов. Геоэлектрические источники проявляют себя как аномальное возрастание теллурических токов. Появление геоэлектрических источников часто связано с процессами подготовки землетрясений. Теллурические токи возникают за несколько суток или часов до начала землетрясений и имеют пик активности непосредственно перед землетрясениями [1]. Возбуждаемое геоэлектрическим источником электрическое поле обуславливает появление разности потенциалов между заземляющими устройствами (ЗУ) силовых трансформаторов. Наибольшее изменение потенциала будет у ЗУ, расположенного ближе всего к источнику. Механизм втекания теллурических токов показан на рис. 2.

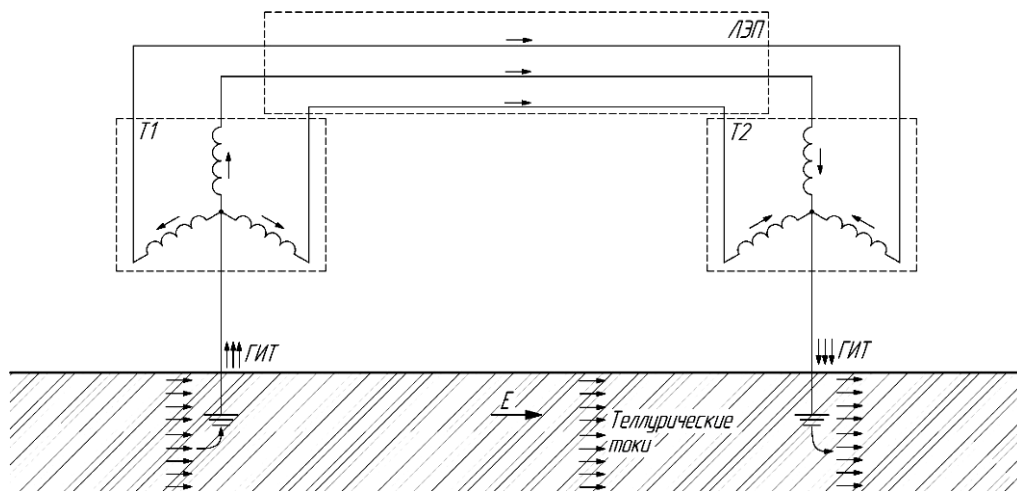


Рис. 2. Механизм втекания теллурических токов

Геоэлектрические источники оказывают на электрические сети такое же влияние, как геомагнитные бури.

Рассмотренные источники квазипостоянных токов оказывают существенное влияние на режимы работы электрической сети и на силовые трансформаторы, в частности. Поэтому не уделять достаточно внимания данному вопросу является серьезной ошибкой.

Литература

1. Вахнина В. В., Кувшинов А. А., Шаповалов В. А., Кузнецов В. Н., Селемир В. Д., Карелин В. И., Горохов В. В. Механизмы воздействия квазипостоянных геоиндуцированных токов на электрические сети. М.: Инфра-Инженерия, 2018. 256 с.

2. Kappenman J. G. Space weather and the vulnerability of electric power grids // Effects of space weather on technology infrastructure. 2004.

3. Pirjola R., Viljanen A., Pulkkinen A., Kilpua S., Amm O. Ground effects of space weather // Effects of space weather on technology infrastructure. 2004.

УДК 004.89

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

¹Хабибрахманов Дамир Амирович, ²Сафаров Ильдар Мирсаяфович
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
¹mir6.5@mail.ru, ²ildarsafarov@mail.ru

Рассматривается сравнительная характеристика систем автоматического проектирования (САПР), таких как: *Inventor*, *AutoCAD*, *EPLAN*.

Ключевые слова: САПР, анализ сравнительной характеристики, объект.

COMPARATIVE ANALYSIS OF AUTOMATIC DESIGN SYSTEMS

¹Khabibrakhmanov Damir Amirovich, ²Safarov Ildar Mirsayafovich
KSPEU, Kazan
¹mir6.5@mail.ru, ²ildarsafarov@mail.ru

We consider the comparative characteristics of automatic design systems (CAD) such as: *Inventor*, *AutoCAD*, *EPLAN*.

Key words: CAD, analysis of the comparative characteristics of the object.

Рассматривается сравнительная характеристика систем автоматического проектирования, таких как: *Inventor*, *AutoCAD*, *EPLAN*.

При составлении САПР необходимо реализовать методическое и информационное обеспечение объекта. Для этого подходят системы автоматизированного проектирования и черчения. Безусловно, они являются областью больших возможностей, таких как решение конкретных задач в составлении методического и информационного обеспечения, а также и в других предназначениях.

На сегодняшний день САПР достаточно много, и при их выборе необходимо сделать сравнительную характеристику таких систем. Наиболее распространенными системами являются *AutoCAD*, *EPLAN*, *Inventor*. *AutoCAD* – двух- и трёхмерная система автоматизированного проектирования и черчения, разработанная компанией *Autodesk*. Самая популярная программа так как, дает весьма большие возможности работы со слоями и аннотативными объектами. Но данная программа тратит слишком много вычислительных ресурсов, что делает персональный компьютер более медленным для конечных пользователей.

Inventor – система трёхмерного твердотельного и поверхностного параметрического проектирования компании *Autodesk*, предназначенная для создания цифровых прототипов промышленных изделий. Она служит для построения 3D – объектов [1]. Например, возможно из спроектированных сборочных единиц собрать объект. Также *Inventor* дает возможность испытать объект без реальных условий.

EPLAN предлагает платформу для сквозного проектирования с помощью данной программы, которая дает обширные возможности в построение документации. Так, например, при построении схемы программа автоматически дает спецификацию оборудования в целом. Более понятная документация дает более быстрое построение на стадии проектирования объекта. Но *EPLAN* был сделан для западных стран, поэтому плохо адаптирован под страны СНГ.

В результате анализа необходимо выявить наиболее важные критерии оценки выбора САПР. Для этого программа должна выполнять ряд требований для построения объекта проектирования, такие как функциональность, применимость, надежность, производительность, требования к интерфейсу, требования к документации.

Наиболее лучшими по требованиям по применимости является *EPLAN* и *AutoCAD*. По функциональности *AutoCAD* более динамичный для проектирования чертежей в различных сферах. *EPLAN* же является ограниченным, так как был разработан для западных стран.

По производительности *EPLAN* является менее затратным вычислительным ресурсом по сравнению с *AutoCAD* [2]. По интерфейсу *AutoCAD* является более гибким, чем *EPLAN*, так как на нем возможно сделать различные схемы проектирования. По документации *EPLAN* превосходит *AutoCAD*, так как на нем можно структурировать документации и возможно детализировать объект в 3D.

Таким образом, для удобного составления схем для объекта автоматизации необходимо использовать две программы, так как с помощью них возможно быстрое и качественное обеспечение проектирования объекта. Две автоматизированные системы дополняют друг друга в плане того, что *AutoCAD* дает возможность сделать схему наиболее качественно, а *EPLAN* помогает со структурой схем и документацией.

Литература

1. Гузненков В. Н., Журбенко П. А. Autodesk Inventor 2012. Трехмерное моделирование деталей и создание чертежей. М.: ДМК Пресс, 2012. 122 с.
2. Соколова Т. Ю. AutoCAD 2016. Двухмерное и трехмерное моделирование. М.: ДМК Пресс, 2016. 756 с.

УДК 621.315.17

ПРИМЕНЕНИЕ ТОЧКИ ТРАНСФОРМАЦИИ 35/6(10) КВ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ 6, 10 КВ

¹Харитонов Алексей Станиславович, ²Веселова Наталья Михайловна

ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ, г. Волгоград

¹has77@yandex.ru, ²veselovanm28@gmail.com

В статье предлагается техническое решение для повышения надежности электроснабжения, применимое к распределительным сетям напряжением 6–10 кВ. Сравняется изменение индексов *SAIFI*, *SAIDI* при секционировании линии одним реклоузером и с использованием точки трансформации.

Ключевые слова: распределительные сети, точка трансформации, реклоузер, надежность электроснабжения, *SAIFI*, *SAIDI*.

APPLICATION OF 35/6(10) KV TRANSFORMATION POINT TO IMPROVE RELIABILITY OF 6, 10 KV DISTRIBUTION NETWORKS

¹Kharitonov Alexey Stanislavovich, ²Veselova Natalia Mihailova
 FSBEI HE Volgograd SAU, Volgograd
^{1,2}has77@yandex.ru

The article proposes a technical solution to improve the reliability of power supply applicable to distribution networks with a voltage of 6–10 kV. The change of *SAIFI*, *SAIDI* indices is compared when the line is partitioned by one recloser and using a transformation point.

Keywords: distribution networks, transformation point, recloser, reliability of power supply, *SAIFI*, *SAIDI*.

Задача повышения надежности энергоснабжения потребителей является одной из ключевых в Стратегии развития электросетевого комплекса Российской Федерации [1].

Распределительные сети 6–10 кВ являются, по сути, последним этапом передачи электрической энергии сетевыми компаниями потребителям. Поэтому их состояние и структура напрямую определяют надежность и качество электроснабжения потребителей.

Рассмотрим частный случай ВЛ 10 кВ с односторонним питанием при условии близкого расположения к ее окончанию ВЛ 35 кВ (рис. 1).

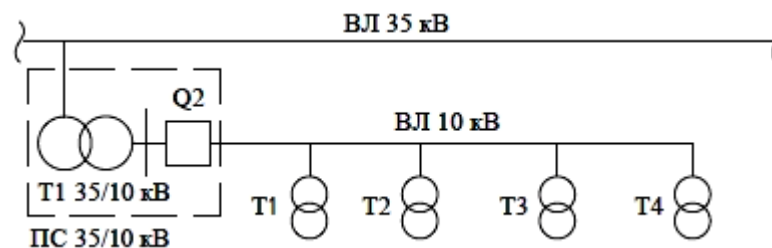


Рис. 1. Пример ВЛ 10 кВ для реконструкции

На сегодняшний день для повышения надежности такой линии традиционно используется реклоузер [2], как показано на рис. 2.

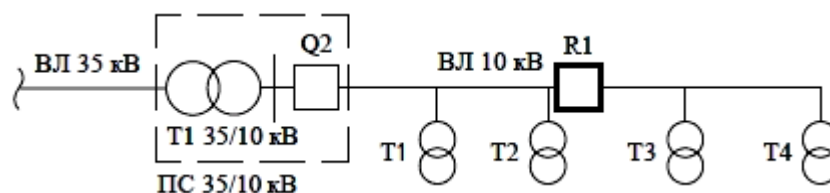


Рис. 2. Классический вариант реконструкции ВЛ 10 кВ для повышения надежности

Альтернативой предлагается к рассмотрению комплексное решение в виде точки трансформации 35/6(10) кВ (далее точка трансформации), представляющей из себя компактную одностранторную подстанцию со схемой ОРУ 35-3Н (рис. 3). Ключевые узлы, входящие в ее состав:

- вакуумный реклоузер 35кВ (TER_Rec35_Smart1_Tie7);
- силовой трансформатор мощностью до 4 мВА;
- вакуумный реклоузер 10кВ (TER_Rec15_Smart1_R7P).

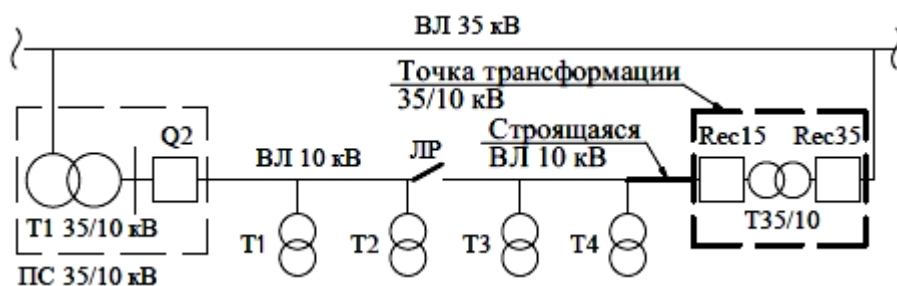


Рис. 3. Схема предполагаемой реконструкции ВЛ 10 кВ с использованием точки трансформации 35/10 кВ

Проведем сравнительный анализ показателей надежности классического варианта использования реклоузера (рис. 2) и варианта с использованием точки трансформации (рис. 3).

Для анализа будем использовать показатели *SAIFI*, *SAIDI* определенные в стандарте IEEE 1366-2012 [3].

Пусть, что имеются исходные данные по аварийным отключениям ВЛ, а успешное срабатывание АПВ выключателя линии не заносится в журнал аварийных отключений.

Тогда по данным журнала можно определить:

t_0 – среднее время восстановления устойчивого аварийного повреждения за год;

$n_{0 \text{ уст}}$ – среднее количество устойчивых повреждений за год.

Для корректного учета работы функций АПВ, РПВ автоматического выключателя (реклоузера) определим коэффициент: $k_{\text{АПВ1}} = 0,6$, если задействовано АПВ1/РПВ, и $k_{\text{АПВ2}} = 0,2$, если задействовано АПВ2 [4].

Удельная частота повреждения ω_0 1 км исходной ВЛ определяется как:

$$\omega_0 = \frac{n_{0 \text{ уст}}}{L \cdot (1 - k_{\text{АПВ1}} - k_{\text{АПВ2}})},$$

где L – длина исходной ВЛ 10 кВ со всеми отпайками.

При условии, что количество потребителей N не менялось за период данных об аварийных отключениях, формулы нахождения индексов $SAIFI_0$, $SAIDI_0$ для исходной линии примут вид:

$$\begin{aligned} SAIFI_0 &= n_{0 \text{ уст}} , \\ SAIDI_0 &= n_{0 \text{ уст}} \cdot t_0 . \end{aligned}$$

В общем случае, линия делится на M участков реклоузерами или разъединителями. Количество потребителей i -го участка обозначим как N_i . Определим совокупные индексы $SAIFI_{\text{рек}}$ и $SAIDI_{\text{рек}}$ для линии после реконструкции.

При условии, что удельная частота повреждений 1 км линии не изменилась, среднее количество устойчивых повреждений i -го участка:

$$n_{i \text{ уст}} = \omega_0 \cdot L_i \cdot (1 - k_{\text{АПВ1}i} - k_{\text{АПВ2}i}),$$

где L_i – длина i -го участка; $k_{\text{АПВ1}i}$, $k_{\text{АПВ2}i}$ определяются с учетом задействования функций АПВ1, АПВ2 для выключателя (реклоузера) i -го участка.

Определим среднее количество устойчивых повреждений приводящих к обесточиванию потребителей i -го участка как:

$$\sum_{j=1}^K n_{j \text{ уст}} ,$$

где K – количество участков, повреждения на которых приводят к отключению потребителей i -го участка.

Тогда индекс $SAIFI_i$ для i -го участка линии:

$$SAIFI_i = \omega_0 \cdot \sum_{j=1}^K L_j \cdot (1 - k_{\text{АПВ1}j} - k_{\text{АПВ2}j}) . \quad (1)$$

При использовании реклоузеров для секционирования к среднему времени восстановления устойчивого аварийного повреждения за год необходимо применять коэффициент 0,6 [4]. Тогда индекс $SAIDI_i$ для i -го участка линии находится по формуле:

$$SAIDI_i = t_0 \cdot 0,6 \cdot \omega_0 \cdot \sum_{j=1}^K L_j \cdot (1 - k_{\text{АПВ1}j} - k_{\text{АПВ2}j}) . \quad (2)$$

Совокупные индексы $SAIFI_{рек}$, $SAIDI_{рек}$ для реконструируемой линии находим по следующим формулам:

$$SAIFI_{рек} = \frac{\sum_{i=1}^M SAIFI_i \cdot N_i}{\sum_{i=1}^M N_i}, \quad (3)$$

$$SAIDI_{рек} = \frac{\sum_{i=1}^M SAIDI_i \cdot N_i}{\sum_{i=1}^M N_i}. \quad (4)$$

Теперь рассмотрим наш случай. Для реконструкции разделим линию на два участка с длинами L_1 и L_2 и количеством потребителей N_1 и N_2 .

1 вариант. Установка реклоузера.

Учтем задействование АПВ1 выключателя линии и АПВ1, АПВ2 у реклоузера. Используя формулы (1) – (4) получаем выражения для нахождения совокупных индексов линии $SAIFI_{вар1}$, $SAIDI_{вар1}$:

$$\begin{aligned} SAIFI_{вар.1} &= \\ &= \omega_0 \frac{0,4 \cdot L_1 \cdot N_1 + (0,4 \cdot L_1 + 0,2 \cdot L_2) \cdot N_2}{N_1 + N_2}, \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} SAIDI_{вар.1} &= \\ &= 0,6 \cdot t_0 \cdot \omega_0 \frac{0,4 \cdot L_1 \cdot N_1 + (0,4 \cdot L_1 + 0,2 \cdot L_2) \cdot N_2}{N_1 + N_2}. \end{aligned} \quad (6)$$

2 вариант. Использование точки трансформации.

Длину строящейся ВЛ между точкой трансформации и вторым участком обозначим как $L_{стр}$. Проведя аналогичные расчеты, получим совокупные индексы линии $SAIFI_{вар2}$, $SAIDI_{вар2}$:

$$\begin{aligned} SAIFI_{вар.2} &= \\ &= \omega_0 \frac{0,4 \cdot L_1 \cdot N_1 + 0,2 \cdot (L_2 + L_{стр}) \cdot N_2}{N_1 + N_2}, \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} SAIDI_{вар.2} &= \\ &= 0,6 \cdot t_0 \cdot \omega_0 \frac{0,4 \cdot L_1 \cdot N_1 + 0,2 \cdot (L_2 + L_{стр}) \cdot N_2}{N_1 + N_2}. \end{aligned} \quad (8)$$

Используя (5) – (8), найдем разницу между показателями первого и второго варианта.

$$\begin{aligned} & SAIFI_{\text{вар.1}} - SAIFI_{\text{вар.2}} = \\ & = \omega_0 \cdot N_2 \frac{0,4 \cdot L_1 - 0,2 \cdot L_{\text{стр}}}{N_1 + N_2}, \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} & SAIDI_{\text{вар.1}} - SAIDI_{\text{вар.2}} = \\ & = 0,6 \cdot t_0 \cdot \omega_0 \cdot N_2 \frac{0,4 \cdot L_1 - 0,2 \cdot L_{\text{стр}}}{N_1 + N_2}. \end{aligned} \quad (10)$$

Из формул (9) и (10) видно что, для улучшения совокупных индексов *SAIFI*, *SAIDI*:

- при длине $L_{\text{стр}} > 2 \cdot L_1$ эффективнее первый вариант;
- при длине $L_{\text{стр}} < 2 \cdot L_1$ эффективнее второй вариант.

При $L_{\text{стр}} \rightarrow 0$ разница индексов будет наибольшей.

Формулы (9) и (10) можно использовать для быстрого сравнения совокупных индексов реконструкции линии *SAIFI*, *SAIDI* с целью выбора более эффективного варианта повышения надежности линии.

В заключение необходимо отметить дополнительные преимущества использования точки трансформации: снижение нагрузки на питающий центр 6(10) кВ; уменьшение падения напряжения на концах участков линии; сокращение технологических потерь электроэнергии в реконструируемой линии. Это делает описанное решение перспективным для использования при реконструкции и строительстве в распределительных сетях 6(10) кВ.

Литература

1. Распоряжение Правительства Российской Федерации «Об утверждении Стратегии развития электросетевого комплекса Российской Федерации и плана-графика издания нормативных правовых актов для ее реализации» от 03.04.2013 № 511-р // Собрание законодательства Российской Федерации. 2013. № 14. Ст. 1738 с изм. и допол. в ред. от 29.11.2017 г.
2. Воротницкий В., Бузин С. Реклоузер – новый уровень автоматизации и управления ВЛ 6(10) кВ // Информационно-справочное издание «Новости электротехники». 2005. №3(33). С. 56–60.
3. 1366-2012 - IEEE Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices - Redline [Электронный ресурс] // IEEE Xplore Digital Library. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6329910> (дата обращения: 01.11.2019).

4. СТО 34.01-2.2-032-2017 Линейное коммутационное оборудование 6–35 кВ – секционирующие пункты (реклоузеры). Т 1.1. Общие данные. ПАО «Россети». 2017. 24 с.

УДК 314.212:620.111.3

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА И ЛОКАЛИЗАЦИИ НЕИСПРАВНОСТЕЙ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

¹Храмшина Екатерина Александровна, ²Сарлыбаев Артур Азатович,
³Дружинин Николай Николаевич
¹ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск,
^{2, 3}ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат», г. Магнитогорск
¹me_to_you27@mail.ru, ²aed174@mail.ru

В представленном докладе изложена информация о разработанной стационарной системе локализации неисправностей силового трансформатора. Подчеркнута актуальность внедрения систем мониторинга и локализации неисправностей трансформаторов дуговых сталеплавильных печей (ДСП) и агрегатов печь-ковш (АПК) металлургических заводов. Представлена структура разработанной системы, установленной на трансформаторе АПК №2 электросталеплавильного цеха (ЭСЦ) ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ПАО «ММК»). Рассмотрены состав оборудования и расположение акустических датчиков регистрации частичных разрядов (ЧР) на поверхности бака. Приведены форма представления результатов замеров ЧР и основное окно интерфейса. Даны рекомендации по расширенному внедрению разработанной системы.

Ключевые слова: силовой трансформатор, неисправности, локализация, система, структура, оборудование, интерфейс, внедрение, рекомендации.

SYSTEM OF POWER TRANSFORMER MONITORING AND FAULT ISOLATION

¹Khramshina E.A., ²Sarlybaev A.A., ³Druzhinin N.N.
¹FSBEIHE NMST, Magnitogorsk,
^{2, 3}Magnitogorsk Iron and Steel Works, Magnitogorsk
¹me_to_you27@mail.ru, ²aed174@mail.ru

The presented report offers a description of the developed steady-state system of fault isolation in a power transformer. The report emphasizes the fact that it is important to implement monitoring and fault isolation systems in transformers of Electric Arc Steel-making Furnaces (EAFs) and Ladle Furnaces (LFs) of metallurgical enterprises.

The structure of the developed system installed in the transformer of the Ladle Furnace no.2 of the electric steel-making shop, PJSC “Magnitogorsk Iron and Steel Works” (PJSC “MMK”), is presented. Equipment configuration and arrangement of sonic detectors of partial discharges on the tank surface are also considered. The report shows the result presentation form of partial discharge measurements and the main interface. The authors give some recommendations on the extended implementation of the developed system.

Keywords: power transformer, faults, isolation, system, structure, equipment, interface, implementation, recommendations.

Технологический цикл и энергетическая безопасность металлургического предприятия в значительной степени обеспечиваются надежной работой трансформаторов собственных электростанций и подстанций. Особую роль в поддержании непрерывного технологического цикла играют трансформаторы ДСП и АПК (печные трансформаторы).

Продление срока эксплуатации ответственного электрооборудования, снижение затрат на техническое обслуживание и ремонт, сокращение простоев технологических агрегатов являются важнейшими научно-производственными задачами. Решение этих задач эффективно обеспечивается стационарными устройствами мониторинга технического состояния, внедрение которых является общепризнанной мировой тенденцией. Однако внедрению систем диагностического мониторинга состояния трансформаторов на промышленных предприятиях не уделяется необходимого внимания.

Внедрение диагностических систем является актуальной задачей для печных трансформаторов ПАО «ММК» [1]. Это объясняется тем, что они работают в тяжелых условиях, вызванных резкопеременной, несимметричной нагрузкой, связанной с технологией электродугового расплава и внепечной обработки стали [2]. Наряду с оперативным контролем технического состояния они должны обеспечивать локализацию и, по возможности, идентификацию неисправностей на ранней стадии развития. Результаты внедрения систем on-line мониторинга состояния печных трансформаторов ЭСПЦ приведены в публикации [3]. В представленном докладе рассматриваются результаты разработки стационарной системы локализации неисправностей. Принцип ее работы основан на измерении и обработке частичных разрядов, которые фиксируются акустическими датчиками, установленными на поверхности бака трансформатора.

Одним из наиболее проблемных трансформаторов ПАО «ММК» является силовой трансформатор АПК №2 ЭСПЦ. В мае 2019 г. на нем смонтирована стационарная система мониторинга ЧР, структурная схема которой показана на рис. 1. Она исполнена на базе модулей системы TDM (*Transformer Diagnostics Monitor*) фирмы «Димрус» (г. Пермь)

и выполняет передачу первичной и обработанной информации в АСУ высокого уровня.

Система TDM может включать до 14 функциональных модулей различных типов. Их состав и подробное описание приведены в документации [4]. В разработанной системе установлены:

- главный модуль (M0 *Main Monitor*), он обеспечивает связь с компьютером через интерфейсы RS-485, Ethernet или USB;
- монитор ЧР (M6 *Location Monitor*), он осуществляет регистрацию ЧР в ультразвуковом диапазоне частот, а также локацию источника ЧР;

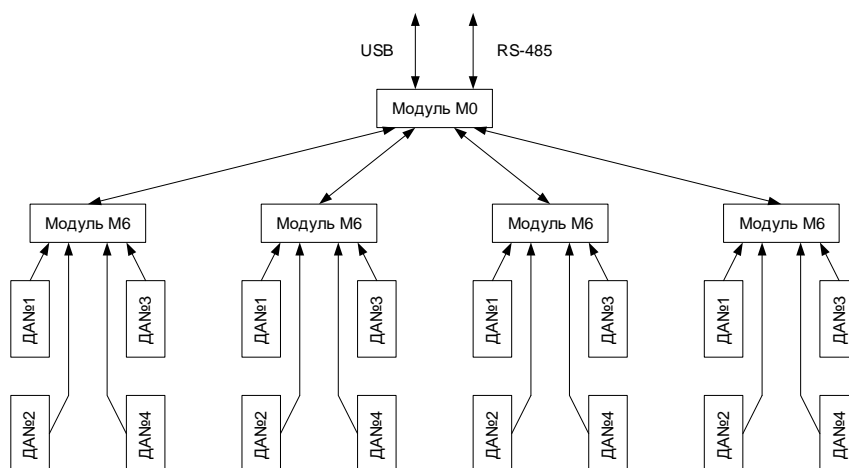


Рис. 1. Структурная схема разработанной системы: ДАН№1-ДАН№4 – акустические датчики

– блок питания (*Power Supply*) (на рис. 1 не показан).

Как и все системы мониторинга серии TDM, разработанная система выполнена в виде технической и алгоритмически интегрированной структуры. Общий вид «шкафа» и входящие в него блоки представлены на рис. 2, а и б, соответственно.

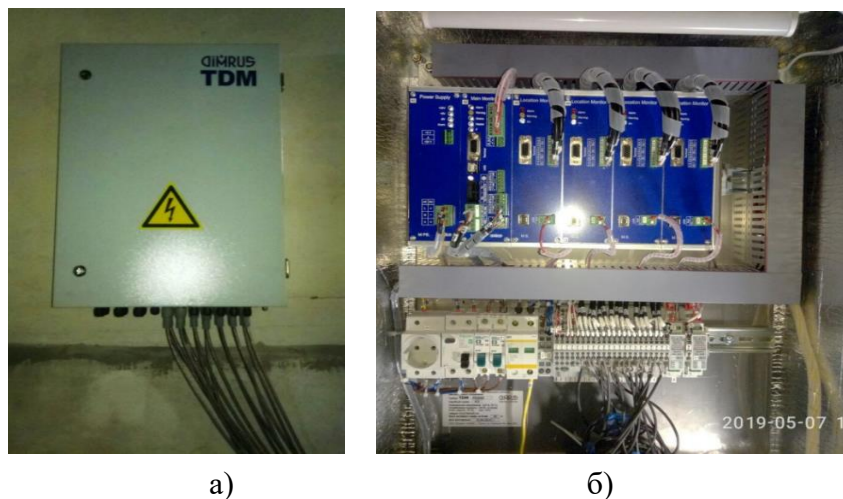


Рис. 2. Внешний вид (а) и устройство (б) разработанной системы

На стенке трансформатора установлены двенадцать акустических датчиков (рис. 3, а), рассчитанных на постоянную работу. На рис. 3, б показано их расположение относительно центра тяжести груза (ЦТГ), который обозначен на поверхности бака. Были использованы акустические датчики марки «АС-Sensor» в стальном корпусе [5]. Для локализации пространственного расположения дефекта (источника ЧР) в каждый комплект входит по четыре датчика (ДАН№1–ДАН№4 на рис. 1).

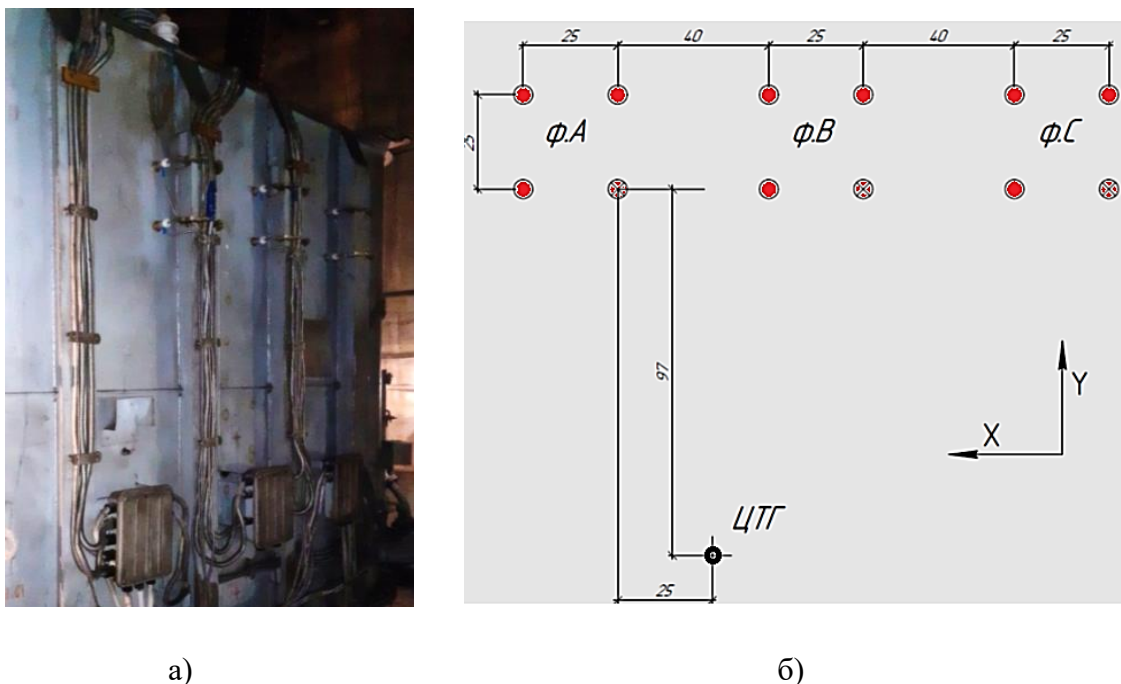


Рис. 3. Установка (а) и схематичное расположение (б) акустических датчиков на стенке бака трансформатора

Участками вероятного появления ЧР являются зоны, расположенные напротив высоковольтных вводов фаз А, В, С (рис. 3, а). Так как каждый модуль проводит замер сигналов, поступающих только от четырех датчиков, объединение результатов акустической локации осуществляется в программном обеспечении (ПО) верхнего уровня. Для этого предназначен удаленный сервер мониторинга. В основу внедряемого ПО положен метод кластерного анализа [6, 7].

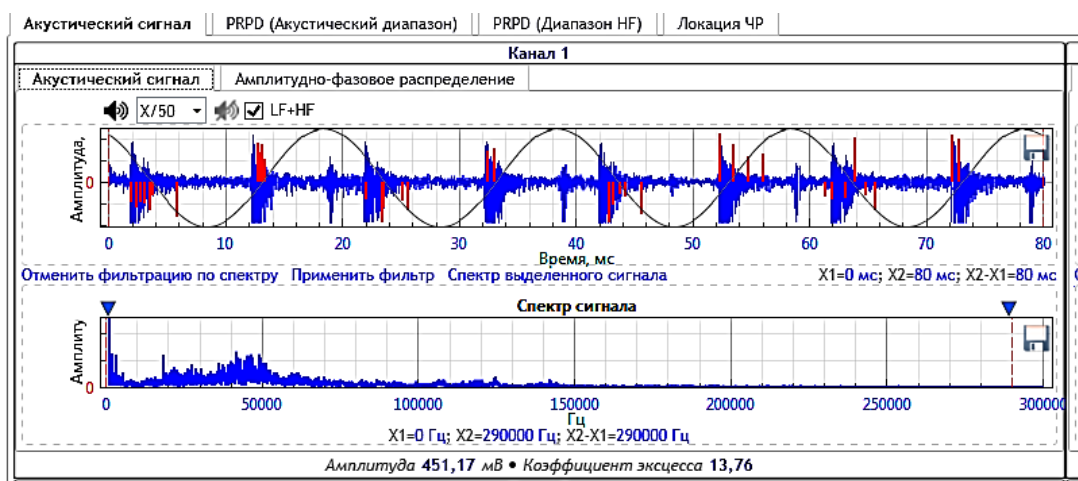
На рис. 4, а представлены диаграммы амплитудно-фазовых распределений сигналов, поступающих от датчика, установленного напротив высоковольтного ввода фазы С (канал 1).

На рис. 4, б приведены результаты обработки сигналов, поступающих от четырех датчиков, входящих в комплект фазы С. Импульсы ЧР «помещены» в куб со стороной 1,5 м, координаты X, Y, Z которого сориентированы относительно центра масс трансформатора,

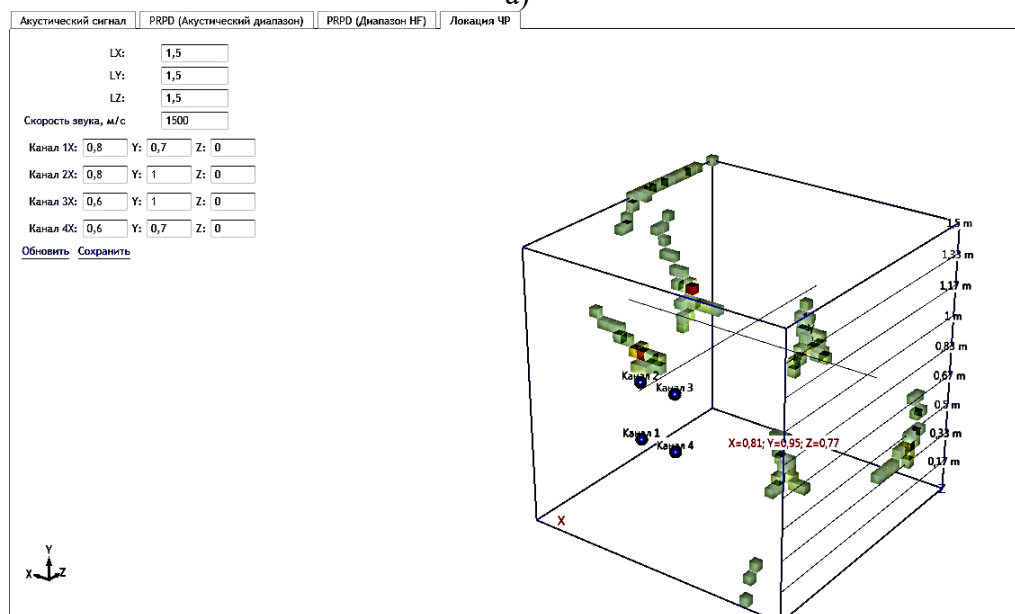
показанного в виде осей в левой нижней части рисунка. Это позволяет определить расположение очагов разрядной активности и тем самым косвенно локализовать неисправность. Также на поле рисунка указаны скорость звука, задаваемая пользователем, и координаты датчиков.

По результатам обработки сигналов вычисляются максимальная и абсолютная средняя амплитуды акустических импульсов, которые сохраняются в базе данных и выводятся на экран сервера.

На рис. 5 показана экранная форма, предназначенная для представления информации от системы on-line мониторинга состояния трансформатора АПК-2 и вывода параметров системы локализации неисправностей.



а)



б)

Рис. 4. Сигналы датчика ЧР (а) и объемное представление результата локализации (б)

Стационарная система диагностирования, локализации и прогнозирования скорости развития неисправностей внедрена в эксплуатацию на трансформаторе АПК №2 ЭСПЦ ПАО «ММК». Она интегрирована в локальную сеть с передачей информации на сервер, реализующий функции анализа диагностических параметров, мониторинга и формирования базы данных.

Разработанный интерфейс является удобным для вывода информации. Формы представления результатов могут совершенствоваться по требованиям персонала.

Система рекомендуется для расширенного внедрения на высоковольтных трансформаторах промышленных предприятий и энергосистем.

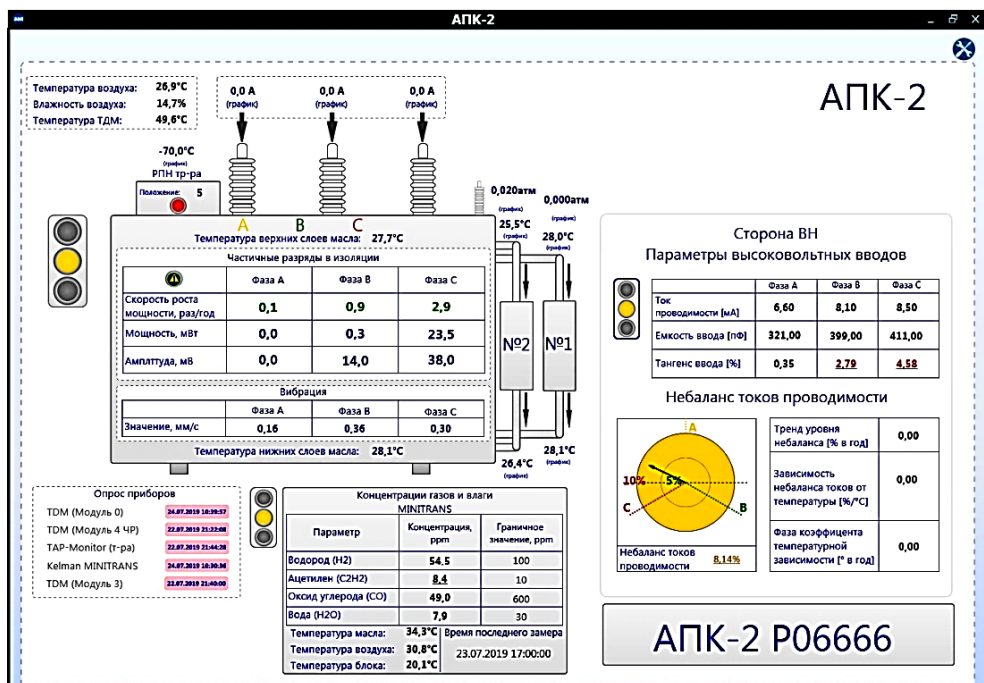


Рис. 5. Главная экранная форма разработанного ПО

Литература

1. Карандаева О. И. Характеристика повреждаемости сетевых и блочных трансформаторов ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. 2011. № 34. С. 15–20.

2. Карандаев А. С., Евдокимов С. А., Сарлыбаев А. А., Леднов Р. А. Требования к системе мониторинга технического состояния трансформатора сверхмощной дуговой сталеплавильной печи // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. 2013. № 2. С. 58–68.

3. Karandaev A. S., Evdokimov S. A., Khramshin V. R., Karandaeva O. I. Information and Measuring System for Electric Arc Furnace Transformer Monitoring // 12th International Conference on Actual Problems of Electronic Instrument Engineering. 2014. Vol. 1. Pp. 273-279. DOI 10.1109/APEIE.2014.7040896.

4. TDM – система мониторинга и диагностики силовых трансформаторов [Электронный ресурс]. URL: https://dimrus.com/manuals/tdm_cat.pdf (дата обращения: 18.12.2019).

5. Каталог датчиков фирмы «DIMRUS» [Электронный ресурс]. URL: <https://dimrus.ru/manuals/sensors.pdf> (дата обращения: 18.12.2019).

6. Radionov A. A., Evdokimov S. A., Sarlybaev A. A., Karandaeva O. I. Application of subtractive clustering for power transformer fault diagnostics // Procedia Engineering. 2015. P. 22–28. DOI 10.1016/j.proeng.2015.12.003.

7. Карандаев А. С., Евдокимов С. А., Карандаева О. И., Мостовой С.Е., Чертоусов А. А. Контроль технического состояния силовых трансформаторов методом акустического диагностирования // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. 2008. № 26. С. 26–31.

УДК 621.31

КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЁТ ПРОВОДОВ ИЗ СОВРЕМЕННЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

¹Шакиров Рауль Гаянович, ²Саттаров Роберт Радикович

¹АО «Башкирская электросетевая компания», г. Уфа

²ФГБОУ ВО «УГАТУ», г. Уфа

¹rshakir@bk.ru, ²sattar.rb@gmail.com

Рассмотрен вопрос конструирования проводов на основе сплавов алюминия с железом (Fe) и алюминия с редкоземельными металлами (La-Ce). Выполнены расчёты сконструированных проводов и проведён сравнительный анализ электрических и механических характеристик с существующими проводами.

Ключевые слова: сплав Al-Fe, сплав Al-PЗМ, провода нового поколения электропроводность, предел прочности, термостойкость, IACS.

DESIGN AND CALCULATION OF WIRES FROM MODERN ALUMINUM ALLOYS

¹Shakirov Raul Gayanovich, ²Sattarov Robert Radilovich
¹Joint-stock company «Bashkir Electric Network Company», Ufa
²USATU, Ufa
¹rshakir@bk.ru, ²sattar.rb@gmail.com

The issue of designing wires based on alloys of aluminum with iron (*Fe*) and aluminum with rare-earth metals (*La-Ce*) is considered. Designed wires were calculated and a comparative analysis of electrical and mechanical characteristics with existing wires was carried out.

Keywords: *Al-Fe* alloy, *Al-La-Ce* alloy, new generation wires, electrical conductivity, strength limit, heat resistance, *IACS*.

Сталеалюминиевые провода (АС), установленные в настоящее время практически на всех воздушных линиях электропередачи (ВЛЭП) напряжением 35 кВ и выше, уже не отвечают современным требованиям электроснабжения потребителей, и поэтому требуется их замена на провода нового поколения (ПНП).

Современные провода должны удовлетворять следующим требованиям:

- малое удельное сопротивление / высокая электропроводность;
- высокая механическая прочность;
- небольшая (по сравнению с проводом АС) масса.

Кроме того, провода должны быть термостойкими, то есть иметь возможность длительно работать при температурах, превышающих допустимое значение для провода АС (70 °С).

Ряд стран, мировые лидеры проводниковой продукции, производят провода, с соответствующими характеристиками [1, 2] и являются поставщиками своей продукции на российский рынок.

На территории России действует предприятие ООО «Ламифил» (г. Углич, Ярославская обл.), которое занимается производством проводов по технологии компании Сим-Росс (Бельгия). На данном предприятии освоен выпуск широкого ассортимента проводов нового поколения [3].

В России необходимо наладить выпуск ПНП собственной технологии по качеству соответствующей мировым стандартам и по стоимости соизмеримой со стоимостью проводов АС.

В институте физики перспективных материалов при УГАТУ (ИФПМ УГАТУ) ведутся разработки алюминиевых сплавов, имеющие качественные эксплуатационные свойства, необходимые для проводов ВЛЭП. Провода из этих сплавов могут составить достойную конкуренцию

продукции лидеров мирового производства. Технология получения таких свойств довольно подробно описана в литературе [4–6].

Разработаны и прошли лабораторные испытания следующие сплавы:

– сплав Al-Mg-Si (магний 0,8 %, кремний 0,5 %, остальное – алюминий);

– сплавы Al-2Fe, Al-4Fe (с железом 2 и 4 %, соответственно);

– сплавы Al-2,5PЗМ, Al-4,5PЗМ Al-8,5PЗМ (PЗМ – редкоземельные металлы: лантан и церий с содержанием 2,5, 4,5 и 8,5 %, соответственно).

Сплав Al-Mg-Si разработан и испытан гораздо раньше и свойства этого сплава, а также свойства смоделированного провода на основе этого сплава в сравнении с проводом АС подробно описаны в [4–6, 10].

Далее пойдёт речь о механических и электрических свойствах сравнительно новых полученных и исследованных сплавов системы Al-Fe и Al-PЗМ [7]. Данные сплавы разработаны специально (как и сплавы системы Al-Mg-Si) для производства различных проводов: неизолированных, проводов СИП, кабелей и т.д.

Технология получения сплавов с улучшенными электрическими и механическими свойствами имеет следующий цикл. Полученный сплав проходит в дальнейшем механическую и термическую обработку. При механической обработке сплав подвергается интенсивной пластической деформации (ИПД-технологии), после которой он приобретает прочность до 649 МПа (провод АС-120/19 имеет предел прочности 270 МПа), но при этом идёт снижение электропроводности (с 60 до 40 % *IACS* – *International Annealed Copper Standard* / Международный стандарт отожжённой меди – принимается за 100 %). Для увеличения электропроводности сплав проходит процесс отжига в соответствии со стандартом [8] при температуре от 200 до 400 °С. Это приводит к увеличению электропроводности до 61 % *IACS* и к уменьшению прочности материала до 220 МПа. Но в то же время отжиг позволяет поднять рабочую температуру провода. Так, например, отжиг образцов сплавов системы Al-PЗМ проводился при температурах 230, 280 и 400 °С в течение 1 ч, что, согласно стандарту, эквивалентно эксплуатации при 180, 240 и 310 °С в течение 400 ч, или 150, 180 и 210 °С в течение 40 лет, соответственно.

Такие изменения в структуре материала позволяют выбрать оптимальный вариант характеристики «прочность-электропроводность-термостойкость» в зависимости от типа электропроводящей линии (ВЛ, ВЛЗ, КЛ и т.д.) и в зависимости от условий её работы.

В табл. 1 представлены различные варианты механической и термической обработки сплавов Al-PЗМ и свойства материала по результатам такой обработки. Данные отражены в сравнении с чистым алюминием.

Таблица 1

Свойства сплавов Al-P3M после ИПД и последующих отжигов

Сплав	Обработка	Предел прочности σ_B , МПа	Электропроводность	
			ω , МСм/м	IACS, %
Al (99,5 %)	ИПД	195	35,2	60,7
Al -2,5P3M	ИПД	297	32,8	56,6
	+ 230 °С	225	34,9	60,2
Al -4,5P3M	ИПД	580	26,4	45,5
	+ 230 °С	585	29,2	50,3
	+ 400 °С	192	33,3	57,4
Al -8,5P3M	ИПД	537	23,0	40,7
	+ 230 °С	542	25,0	44,7
	+ 400 °С	274	30,4	52,4

Из таблицы видно, что происходит увеличение прочности материала после ИПД и ее уменьшение с повышением температуры отжига. Также увеличение температуры отжига положительным образом сказывается на электрической проводимости.

В табл. 2 представлены результаты исследования физико-механических свойств Al-Fe сплавов в исходном литом состоянии, сформированном в результате ИПД.

Таблица 2

Механические и электрические свойства сплавов Al-Fe в исходном состоянии и после ИПД

Сплав	ИПД, количество оборотов, N	Предел прочности σ_B , МПа	Электропроводность	
			ω , МСм/м	IACS, %
Al-2Fe	–	95	32,4	55,8
	1	232	31,7	54,7
	10	590	24,5	42,2
	20	649	23,4	40,4
Al-4Fe	–	88	31,2	54,2
	1	–	30,8	53,2
	10	292	29,6	51,1
	20	340	27,8	48,0

Из таблицы видно, что прочность сплавов системы Al-Fe зависит от количества оборотов в процессе пластической деформации заготовки в отличие от сплавов системы Al-PЗМ, где критерием прочности является температура отжига. Ещё одно различие заключается в том, что алюминиевая руда содержит железо до 5 %. Это означает, что получение сплавов Al-Fe не требует дополнительного процесса легирования.

Кроме того, алюминий и железо являются одними из самых дешевых элементов из-за их высокой распространенности в земной коре. Сплавы системы Al-PЗМ дороже. Однако запасов этих элементов в природе достаточно для создания сплавов Al-PЗМ с целью производства проводниковой продукции на их основе.

Конструирование сталеалюминиевых проводов подробно описано в [9]. Приведённая методика была опробована для разработки провода из сплава Al-Mg-Si в работе [10].

Для создания модели провода из сплавов Al-Fe и Al-PЗМ можно использовать уже опробованную методику и в дальнейшем произвести расчёт параметров полученных проводов.

Количество повивов принимается, как и для повивов сталеалюминиевых проводов. Однако в отличие от проводов АС, проектируемые проволоки, имея трапециевидную форму, укладываются плотно друг к другу, исключая воздушные зазоры между собой. Такой метод укладки позволяет впоследствии рассматривать провод как компактированный, каковыми и являются практически все современные провода [1–3]. Расчёт сечений проводов выполняется аналогично – согласно методике расчётов [9].

Расчёт длительно допустимых токовых нагрузок для новых проводов выполнены в соответствии с новой методикой, изложенной в [11] и подробно описанной в [12] для ПНП компании «Ламифил», а также с применением программного обеспечения [13].

Результаты расчётов представлены в итоговой табл. 3.

Сконструированные провода из сплавов, разработанные институтом физики перспективных материалов УГАТУ, в сравнении с проводами марки АС, а также с некоторыми современными проводами имеют повышенную прочность, меньшее удельное электрическое сопротивление, повышенную термостойкость и, как следствие, увеличенный длительно допустимый ток.

Технология производства данных проводов позволяет регулировать основные их параметры: электропроводность, прочность и термостойкость. Благодаря этому, заказ проводов в будущем можно осуществлять с определёнными параметрами, например с пониженной прочностью, но с повышенной электропроводностью и термостойкостью, или наоборот. Варианты характеристик провода будет указывать заказчик в зависимости от условий работы, типа местности и климата, где будет применяться провод.

Окончание табл. 3

7	Мех. прочность										
	P_p, H	75045	81200	124300	86350	82800	64032	80592	81972	138000	152628
	$\sigma_p, \text{H/мм}^2$	272,2	295,0	494,4	325	300	327	292	297	500	553
	$E, \text{H/мм}^2$	77000	62000	74900	56800	70000	69725	70951	67625	66950	65562
	$\sigma_{\max}, \text{H/мм}^2$	122,5	132,7	197,8	130	135	104,4	131,4	133,6	225	248,8
	$\sigma_3, \text{H/мм}^2$	81,7	88,5	148,3	97,5	90	69,6	87,6	89,1	150	165,9
8	Эл. и теп. характеристики										
	$\rho, \text{Ом/км}$	0,1182	0,1256	0,1538	0,1252	0,1174	0,1142	0,1224	0,1105	0,1196	0,1399
	$\alpha, 10^{-6}/^\circ\text{C}$	19,82	24,2	19	23	21	21,9	21,7	21,8	21,5	20,9
	$t_{\max}, ^\circ\text{C}$	70	90	90	90	120	120	120	140	180	180
	I_{\max}, A	605	745	651	744	935	1150	1110	1260	1360	1260

Литература

1. Колосов С. В., Рыжков С. В. Повышение пропускной способности ВЛ: анализ технических решений. М.: ЗАО НТЦ «Электросети». 2011. 36 с.
2. Исмагилов Ф. Р., Шакиров Р. Г. и др. Основные вопросы проектирования воздушных линий электропередач: учеб. пособие / 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 2015. 210 с.
3. Фёдоров Н. А. Провода нового поколения и вопросы надёжности ЛЭП // Вопросы надёжности работы систем электроснабжения в условиях гололедно-ветровых нагрузок: матер. Междунар. НПК. УФА: УГАТУ, 2016. С. 42–49.
4. Валиев Р. З. Создание наноструктурных металлов и сплавов с уникальными свойствами, используя интенсивные пластические деформации // Российские нанотехнологии. М.: Парк-медиа, 2006. Т. 1. С. 208–216.
5. Valiev R. Z., Murashkin M. Yu., Nanostructured Aluminium Alloys produced via severe plastic deformation: New horizons in development // Mater. Sci. Eng. A. 2013. № 560. P. 1–24.
6. Валиев Р. З., Рааб Г. И., Мурашкин М. Ю. Использование методов ИПД для получения объемных НС металлов и сплавов // КШП. М., 2008. № 11. С. 5–12.
7. Медведев А. Е. Прочность, электропроводность и термическая стабильность наноструктурных сплавов систем Al-PЗМ и Al-Fe: дис. ... канд. физ.-мат. наук. Уфа: УГАТУ, 2018. 174 с.
8. ГОСТ Р МЭК 62004-2014. Проволока из термостойкого алюминиевого сплава для провода воздушной линии электропередачи. М.: Стандартинформ, 2016. 16 с.
9. Безносков Б. Л. Кабели и провода. Т. 1. Основы теории, расчет и конструирование: учебное пособие для электротехнических техникумов / ред. В. А. Привезенцев, А. В. Линков. М.: Гос. энергетическое изд-во, 1959. 560 с.
10. Пискунов Ю. В. Неизолированные провода, повышение пропускной способности, предельные ТН, программа для ЭВМ. Уфа: УГАТУ, 2017. 85 с.
11. СТО 56947007-29.240.55.143-2013. Методика расчета предельных токовых нагрузок по условиям сохранения механической прочности проводов и допустимых габаритов воздушных линий. ПАО «ФСК ЕЭС». 2013.

12. Шакиров Р. Г., Федоров Н. А. Расчет теплоотдачи с поверхности неизолированных проводов нового поколения // Электрические станции. 2019. № 1. С. 28–33.

13. Шакиров Р. Г., Пискунов Ю. В., Ахметов Н. Ф. Расчёт предельных токовых нагрузок. Св-во о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2018617908. 2018. Бюл. № 7.

СЕКЦИЯ 2. ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ И КОММУНАЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

УДК 621.311

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФАЗИРОВКИ МНОГОПРОВОДНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ НА СИММЕТРИЧНЫЙ АВАРИЙНЫЙ РЕЖИМ

¹Галеева Раиса Усмановна, ²Беляков Камилль Юрьевич

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

¹raisa_gal.52@mail.ru, ²belyakov.kamil@mail.ru

Учет степени и характера влияния электромагнитных связей при различных вариантах расположения фазных проводов на опоре позволит выбрать наиболее рациональную систему внешнего электроснабжения предприятия, провести корректировку устройств релейной защиты и автоматики.

Ключевые слова: двухцепная воздушная ЛЭП, взаимная индукция, метод фазных координат, фазировка, несимметрия.

STUDY OF THE INFLUENCE OF PHASING OF MULTI-WIRED ELECTRIC TRANSMISSION LINES ON THE SYMMETRIC EMERGENCY MODE

¹Galeeva Raisa Usmanovna, ²BelyakovKamilYurievich

KSPEU, Kazan

¹raisa_gal.52@mail.ru, ²belyakov.kamil@mail.ru

Taking into account the degree and nature of the influence of electromagnetic connections with various options for the arrangement of phase wires on the support will allow you to choose the most rational system of external power supply of the enterprise, to carry out the adjustment of relay protection and automation devices

Keywords: double-circuit overhead power transmission line, mutual induction, phase coordinate method, phasing, asymmetry.

Двухцепные воздушные линии (ДВЛ) находят широкое применение в распределительных сетях 35, 110 и 220 кВ для электропитания крупных промышленных потребителей. Особенностью этих сетей является их незначительная длина, отсутствие транспозиции проводов, большие

сопротивления, малые расстояния между фазными проводами и тросами, различное расположение фазных проводов на опоре. Данные факторы необходимо учитывать при корректировке режимов систем внешнего электроснабжения предприятий, выборе уставок релейной защиты и автоматики (РЗА), диагностики коммутационных аппаратов, расчете управляющего воздействия противоаварийной автоматики в аварийных режимах [1, 2]. С другой стороны требования к точности расчетов переходных режимов стали намного жестче в связи с появлением ряда практических задач, связанных с цифровизацией подстанций.

Согласно [3], имеется шесть вариантов расположения проводов на двухцепной опоре, влияние которых друг на друга неодинаково. Учет изменяющихся геометрических параметров ДВЛ позволит принять меры к снижению модульной и фазной несимметрии в результате действия тока короткого замыкания (КЗ).

Целью исследований является анализ влияния фазировки ДВЛ на величину симметричного начального тока КЗ. Для анализа рассматривалось шесть вариантов расположения проводов на опоре (рис. 1).

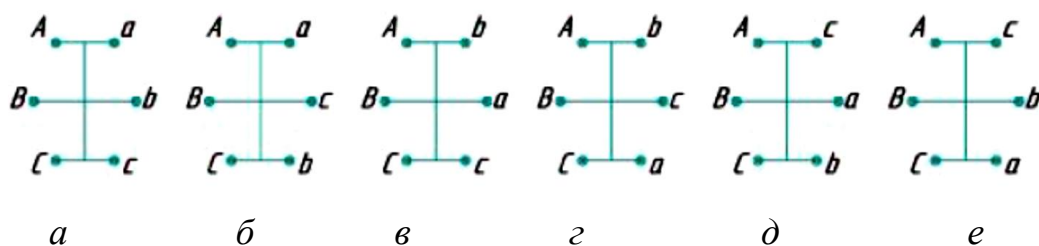


Рис. 1. Варианты фазировки двухцепной линии: *a* – осевая симметрия фаз; *б, в* – перемена мест двух фаз; *г, д* – круговая перестановка фаз одной цепи; *е* – центральная симметрия фаз

В качестве тестируемой модели была рассмотрена сеть с ДВЛ на одностоечных опорах типа П220-2 (рис. 2), выполненная проводом марки АС-300/39 с параметрами: эквивалентный радиус провода $R_{ЭК} = 11,4$ мм; напряжение линии $u = 220$ кВ; длина между подстанциями ПС1 и ПС2 $L = 25$ км; частота сети $f = 50$ Гц; сопротивление земли $R_3 = 180$ Ом·м; обозначение фазы провода – $p1(A)$, $p2(B)$, $p3(C)$, $p4(a)$, $p5(b)$, $p6(c)$; горизонтальное расположение проводника $X(m)$; вертикальное расположение проводника: максимальное $Y_{макс}(m)$, минимальное $Y_{мин}(m)$, стрела провеса максимальная $S = 8$ м; номер типа проводника (фазы); средний геометрический радиус провода $R_{пр} = 1,2$ см; удельное активное сопротивление проводника на единицу длины

$R_0 = 0,098 \text{ Ом/км}$; внешний диаметр проводника $D_{\text{пр}} = 24 \text{ мм}$, расщепление фаз отсутствует; транспозиции проводов нет; по концам ЛЭП – глухое заземление, по линии – через разрядные рога. Рассмотрен режим равномерного распределения нагрузки по цепям.

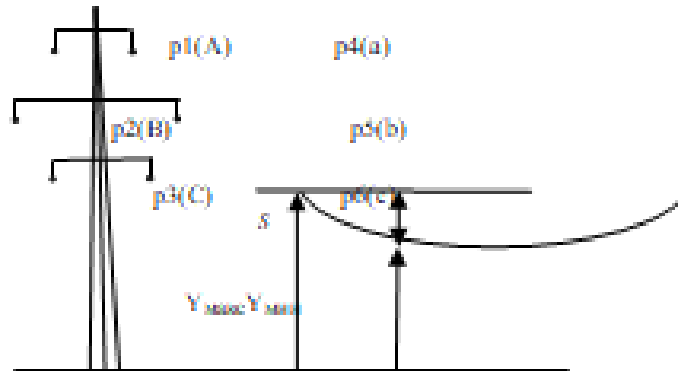


Рис. 2. Опора трехфазной ДВЛ и координаты расположения проводов фаз и стрелы провеса

В качестве расчетного эксперимента выполнялся расчет периодической составляющей начального тока симметричного трехфазного КЗ на шинах приемной подстанции (ПС) «Центральная» (рис. 3). ПС «Киндери» считаем источником бесконечной мощности с собственным сопротивлением равным нулю.

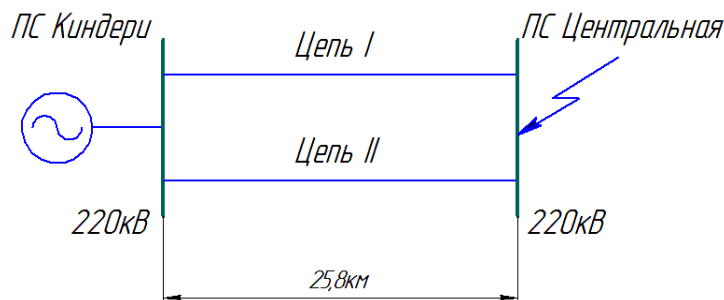


Рис. 3. Исследуемая сеть ВЛ 220 кВ ПС «Киндери – Центральная»

Моделирование расчетного аварийного режима тестируемой ДВЛ при различной фазировке проводов проводилось в программном комплексе MatlabSimulink с использованием встроенной утилиты *Matlab Powergui Compute RLC Line Parameters* методом фазных координат (МФК) (рис. 4) [4]. Была составлена многофазная схема замещения (МСЗ), и в соответствии с [5] были получены матрицы взаимных и собственных сопротивлений, матрицы взаимных и собственных ёмкостей, аналогичные рассчитанным в работе [6].

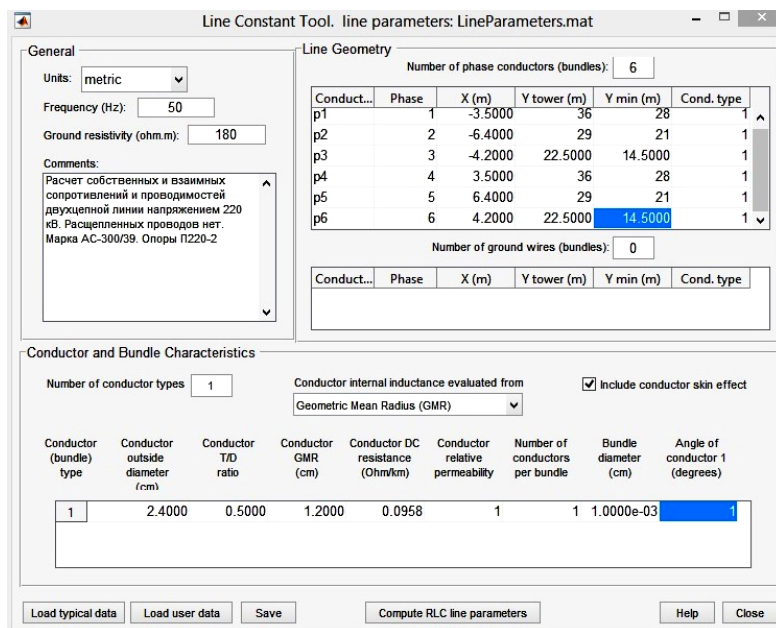


Рис. 4. Окно ввода исходных данных для расчёта распределённых параметров ДВЛ

Для формирования матричного уравнения состояния аварийного режима ДВЛ использовалось табличное представление полной МСЗ [3]. Результаты расчётов представлены в таблице.

Итоговые результаты расчета начального тока КЗ в фазных проводах при различной фазировке в Matlab Simulink

Вариант фазировки	Фазные токи	Начальное значение периодического тока трехфазного КЗ в фазах A, B и C	Расчетное значение токов в фазах B и C от тока в фазе A , $I_{A(3)}$
		$I_{\text{по. } A}^{(3)}$	$\Delta_I (\%)$
a	I_A	11461,878	100
	I_B	13676,043	119,32
	I_C	12037,323	105,02
b	I_A	11461,878	100
	I_B	13676,043	119,32
	I_C	12037,323	105,02
$в$	I_A	11461,878	100
	I_B	13676,043	119,32
	I_C	12037,323	105,02
$г$	I_A	13410,559	100
	I_B	13356,344	99,61
	I_C	13407,36	100,385
$д$	I_A	13481,021	100

Окончание табл.

Вариант фазировки	Фазные токи	Начальное значение периодического тока трехфазного КЗ в фазах А, В и С	Расчетное значение токов в фазах В и С от тока в фазе А, $I_A^{(3)}$
		$I^{(3)}$ по, А	$\Delta I, (\%)$
	I_B	13407,36	99,454
	I_C	13309,984	98,731
e	I_A	13786,726	100
	I_B	13673,339	99,178
	I_C	13786,695	99,999

Если принять за эталон наименьшее значение тока в фазе А, рассчитанного по МФК, то относительные и абсолютные отклонения можно изобразить в виде гистограммы (рис. 4).

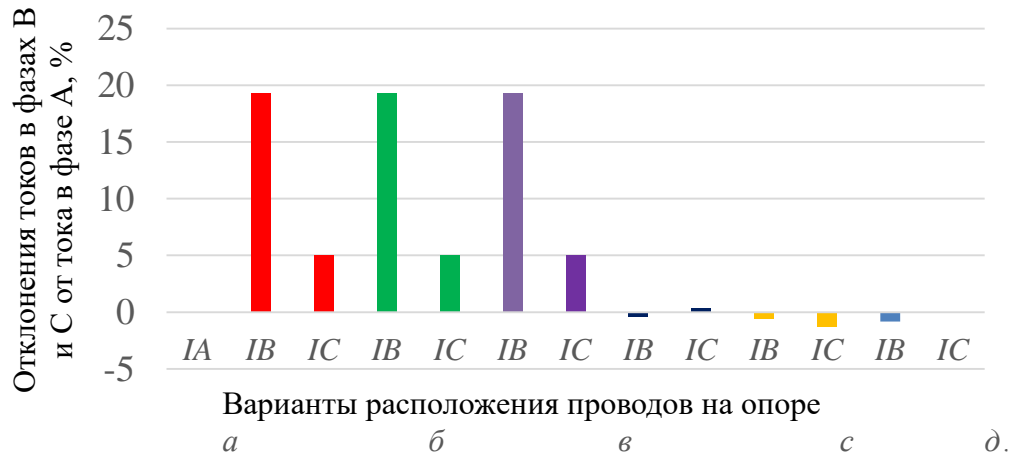


Рис. 5. Относительные отклонения расчетных токов при различной фазировке от тока $I_A^{(3)}$

Проведенные исследования с использованием МФК показали, что размещение проводов на опоре ДВЛ по вариантам a , $б$ и $в$ приводят к возникновению максимальных погрешностей в оценке начального значения тока КЗ в фазных проводах, достигающих в среднем 19,3 % по абсолютному значению в классе напряжений 220 кВ; по вариантам $г$, $д$, e – к минимальным знакопеременным погрешностям в диапазоне от 1,27 до 0,39 %. Однако на практике в подавляющем большинстве случаев используется вариант a . Неучет фазировки проводов может негативно сказываться на надежности срабатывания устройств защиты ВЛ.

Литература

1. Шишков Е. М., Ведерников А. С., Гольдштейн В. Г. Влияние несимметрии параметров воздушной линии электропередачи // Электричество. 2013. № 4. С. 9–18.
2. Мисриханов М. Ш., Попов В. Д., Якимчук Н. Н., Медов Р. В. Взаимовлияние двухцепных воздушных линий и их воздействие на режим электрических систем// Электрические станции. 2001. № 2. С. 5–9.
3. Альмендеев А. А. Математическая модель для расчета установившихся режимов двухцепных воздушных линий // Вестник СамГТУ. Серия: Технические науки. 2009. № 2(24). С. 200–203.
4. Костюченко Л. П. Имитационное моделирование систем электроснабжения в программе MATLAB: учеб. пособие. Красноярск: Краснояр. гос. аграр. ун-т, 2012. 215 с.
5. Закарюкин В. П., Крюков А. В. Моделирование линий электропередачи и трансформаторов в фазных координатах // Вестник ИрГТУ. 2005. № 3 (23). С. 23–32.
6. Галеева Р. У., Назаров А. В., Хасаншин А. А. Влияние электромагнитных связей между проводами двухцепной воздушной линии и поверхностью земли на переходные режимы // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2019. Т. 21. № 1–2. С. 67–76.

УДК 332.87

ПРОГРАММА ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ АДМИНИСТРАТИВНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ

¹Денисова Алина Ренатовна, ²Зиятдинов Тимербулат Фаварисович

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

¹denisova_ar@mail.ru, ²ziatdinov-1993@mail.ru

В статье сформулированы основные показатели оценки программы энергосбережения административных учреждений.

Ключевые слова: энергосбережение, экономия энергоресурсов, энергоэффективные мероприятия.

ENERGY SAVING PROGRAM OF ELECTRICAL SYSTEMS OF ADMINISTRATIVE INSTITUTIONS

¹Denisova Alina Renatovna, ²Ziatdinov Timerbulat Favarisovich

KSPEU, Kazan

¹denisova_ar@mail.ru, ²ziatdinov-1993@mail.ru

The article sets out the main indicators of the evaluation of the program of energy saving of administrative institutions.

Keywords: energy saving, electrical systems, energy saving, energy efficient measures

Для достижения наибольшего эффекта, программа энергосбережения в административном учреждении или организации должна быть сфокусирована на трех основных энергоресурсах: электрической, тепловой энергии и водоснабжении.

Анализ административных учреждений г. Казани показал, что основные потери топливно-энергетических ресурсов наблюдаются при неэффективном их использовании, распределении и потреблении. Остро стоят проблемы использования старого оборудования и отсутствия капитального ремонта, некачественного обслуживания энергетических систем.

Приведем основные положения программы по энергосбережению в административном учреждении или организации, которая сводится к перечню мероприятий по эффективному электро-, тепло- и водоснабжению.

Основные мероприятия по увеличению эффективности систем электроснабжения [1, 2]:

1. Установка современных светильников, имеющих низкое электропотребление и высокие светотехнические характеристики.
2. Автоматизация освещения, разделение освещения на группы.
3. Реконструкция системы освещения с сохранением нормативного уровня освещенности путем внедрения систем управления освещением.
4. Применение беспроводных интеллектуальных решений для освещения.
5. Замена регулирования подачи насосных систем с задвижкой на регулирование частотным преобразователем.
6. Применение блокировки вентилятора воздушных завес с механизмами открывания дверей, – до 70 % от потребляемой ими электроэнергии

7. Внедрение систем с преобразователями частоты для регулирования скорости вращения электроприводов, – до 30 % от потребляемой ими электроэнергии. В таблице 1 представлены примеры окупаемости и экономии энергосберегающих мероприятий для электроснабжения.

Таблица 1

Примеры окупаемости и экономии энергосберегающих мероприятий для электроснабжения

Энергосберегающее мероприятие	Потенциал экономии	Срок окупаемости
Реконструкция системы освещения с сохранением нормативного уровня освещенности	18–40%	1–4,5 лет
Замена системы приточной вентиляции	1–5%	> 10 лет
Разработка проекта и монтаж современной системы электрообеспечения	20–40%	> 10 лет
Замена кухонного оборудования на современное энергоэффективное	10–15%	> 10 лет

Основные мероприятия по увеличению эффективности систем теплоснабжения [3]:

1. Строительство модульных котельных, обеспечивающих значительную экономию тепла за счет сокращения протяженности наружных тепловых сетей.

2. Замена теплового узла на автоматизированный индивидуальный тепловой пункт, позволяющий регулировать подачу тепла в зависимости от погодных условий.

3. Применение стеклобазальтопластиковых труб, имеющих такие преимущества, как отсутствие любых видов коррозии, термостабильность и малый вес.

4. Применение пенополиуретанной теплоизоляции, позволяющей снизить тепловые потери в 10 раз или до 2 %, годовые расходы на эксплуатацию в 9 раз, расходы на текущий ремонт в 3 раза, а также коррозию металла.

5. Установка радиаторных термостатов, имеющих срок окупаемости около 1–2 года.

6. Установка приборов учета тепловой энергии с целью контроля потребления и поиска утечек.

7. Применение автоматических доводчиков дверей, препятствующих поступлению холодного воздуха в помещение.

8. Утепление внутренних перегородок для уменьшения утечек тепла.

В табл. 2 представлены примеры окупаемости и экономии энергосберегающих мероприятий для теплоснабжения.

Таблица 2

Примеры окупаемости и экономии энергосберегающих мероприятий для теплоснабжения

Энергосберегающее мероприятие	Потенциал экономии	Срок окупаемости
Замена теплового узла на автоматизированный индивидуальный пункт (ИТП)	18–25%	3,5–5,5 лет
Утепление конструкций помещений	5–20%	6–30лет
Оптимизация системы отопления	4%	<1 года

Основные мероприятия по увеличению эффективности систем водоснабжения:

1. Замена старых труб на трубы ПНД, имеющих простоту в обслуживании и экологическую безопасность.

2. Установка регулируемого привода, который позволяет увеличить срок службы насосного оборудования в три раза за счет снижения вероятности гидроударов.

3. Установка системы мониторинга и регулирования параметров воды в диктующих точках, контролирующую возможность утечек.

4. Установка системы быстрой локализации утечек, уменьшающей потери воды.

5. Применение автоматических сенсорных смесителей, экономящих до половины объема горячей и холодной воды [4].

Важной частью водоподготовки является деаэрация воды, ведь во многих котельных она либо не проводится, либо проводится некачественно [5]. Рекомендуется применять новый тип деаэраторов – щелевые.

Также не будем забывать про беззатратные и низкзатратные мероприятия по энергосбережению, которые могут быть эффективны:

1. Электрогидроимпульсная прочистка систем горячего и холодного водоснабжения, радиаторов и котлов.

2. Своевременное определение остаточного ресурса отдельных участков теплопровода.

3. Применение катодной защиты и противокоррозионного покрытия.

4. Оптимизация режимов функционирования тепловых сетей.

Высшим этапом работ по контролю и учету расхода энергоресурсов и воды в жилищно-коммунальном хозяйстве является создание автоматизированных систем диспетчерского контроля и управления (АСДКУ). Данное мероприятие обеспечивает оперативный контроль текущих параметров производства и потребления ресурсов, а также анализ режимов эксплуатации, оптимальное управление и регулирование объектами тепловодоснабжения [6, 7]. Затраты на создание АСДКУ окупаются, как правило, за срок до 2-х лет.

Литература

1. Денисова А. Р. Энергосбережение в промышленных и коммунальных предприятиях: Программа, методические указания и контрольные задания. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2009. 37 с.
2. Рудаков А. И., Роженцова Н. В., Денисова А. Р. Современные технические средства повышения энергоэффективности водокольцевых машин // Промышленная энергетика. 2014. №5. С. 27–30.
3. Денисова А. Р., Панов Д. Ю. Энергоэффективные мероприятия в административных учреждениях // Проблемы электротехники, электроэнергетики и электротехнологии (ПЭЭЭ-2017): сб. тр. V Всерос. науч.-техн. конф. (Тольятти, 1–2 ноября 2017 г.). Тольятти: Изд-во ТГУ, 2017. С. 268–272.
4. Rozhentcova N. V., Ganin P. V., Rudakov A. I. Structural and Computer Optimization Model of a Solar-Wind Hybrid Electrical System in the Software Environment Matlab Simulink // Proc. of the 2017 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM 2017). 2017. P. 644–649.
5. Рудаков А. И., Нафиков И. Р., Иванов Б. Л. Повышение энергетической эффективности сублимационной сушки сельскохозяйственных материалов // Вестник КГАУ. 2007. Т. 2. №2(6). С. 101–105.
6. Ilyin V. K., Sabitov L. S., Khaibullina A. I., Ilyin O. V. Formation of the diffusion layer in gas boring // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 412 (2018) 012029. doi:10.1088/1757-899X/412/1/012029.
7. Rozhentcova N. V., Ivanova V. R., Fetisov L. V., Yarmuhametov I. Y. Development of a stand construction concept for safe and efficient after-repair tests of induction motors up to 1 kV // International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems (ICOECS). 2019. Pp. 146–150.

УДК 65.011

ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

¹Денисова Алина Ренатовна, ²Фархутдинов Айдар Раилевич

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

¹denisova_ar@mail.ru, ²afarhutdinov@mail.ru

Развитие базы элементов и технологий для автоматизированного измерения энергии остается одной из важных научных и технических проблем. Нынешние направления в этой сфере направлены на поиск новых технологических решений и модернизации основной базы. Эти тенденции также применяются к системам автоматического измерения электричества. Цель настоящей работы – анализ перспективы внедрения интеллектуальных измерительных систем для различных предметов на рынке электроэнергии. Основные цели исследования – определение преимуществ интеллектуального измерения энергии, а также оценка возможных проблем, возникающих при внедрении таких систем. В качестве методов исследования использовались общие методы логического анализа, обобщения и классификации. В результате этого анализа выяснилось, что основными трудностями, возникшими в реализации интеллектуальных счетчиков на предприятиях, стало отсутствие обновленной нормативно-правовой базы в этой сфере. Результаты исследования могут быть использованы для построения анализа научной и технической литературы, нормативной и технической документации и других документов.

Ключевые слова: электроэнергия, интеллектуальный учет, электрические сети, потери, учёт, измерительные приборы.

PROSPECTS FOR THE INTRODUCTION OF INTELLECTUAL METERING SYSTEMS OF ELECTRIC POWER

¹Denisova Alina Renatovna, ²Farkhutdinov Aidar Railevitch

KSPEU, Kazan

¹denisova_ar@mail.ru, ²afarhutdinov@mail.ru

The development of the base of elements and technologies for automated energy measurement remains one of the important scientific and technical problems. Current trends in this area are aimed at finding new technological solutions and modernizing the main base. These trends also apply to automatic electricity metering systems. The purpose of this work

is to analyze the prospects for the introduction of intelligent measuring systems for various objects in the electricity market. The main objectives of the study are to determine the benefits of intelligent energy measurement, as well as to assess the possible problems that arise when such systems are introduced. As research methods, general methods of logical analysis, generalization, and classification were used. As a result of this analysis, it turned out that the main difficulties encountered in the implementation of smart meters at enterprises were the lack of an updated regulatory framework in this area. The results of the study can be used to build an analysis of scientific and technical literature, regulatory and technical documentation and other documents.

Keywords: electricity, smart metering, electrical networks, losses, metering, measuring instruments.

Интеллектуальный учет электроэнергии – это автоматизированные системы, которые обеспечивают как потребителям, так и энергосбытовым компаниям контроль и управление потреблением энергоресурсов согласно установленным критериям оптимизации энергосбережения [1]. Данное определение наиболее полно отражает суть интеллектуальных систем учета.

Основа энергосбережения и увеличение энергетической эффективности в стране заключается в учете различных энергетических ресурсов, включая и электрическую энергию. Одним из эффективных способов решения вопросов энергосбережения является создание автоматизированных интеллектуальных систем учета энергоносителей.

Кроме того, без организации должной системы коммерческого учета отпуска и потребления электроэнергии невозможно построить балансы электроэнергии по сети в целом и ступеням напряжения, рассчитать технологические и фактические потери электроэнергии, а также обнаружить точки локализации потерь для формирования действий, направленных на их снижение [2].

В настоящее время наметилась тенденция возникновения затруднений в области метрологии при измерении электрической энергии. Также существуют определенные препятствия на пути внедрения интеллектуальных систем учета энергии.

Системы *SmartMetering* («умные» измерения) – это интеллектуальные измерительные устройства с двусторонней связью, установленные на стороне потребителя [3], обеспечивают регулярные опросы, обработку данных, информацию о потреблении энергии и возможность автоматического и удаленного мониторинга.

Электричество является единственным видом продукции, который идет от места производства к месту потребления без использования других ресурсов [4]. В то же время часть поставляемой электроэнергии расходуется, и ее потери неизбежны. Снижение потерь энергии в электрических сетях до этого уровня является одним из важнейших направлений энергосбережения. Увеличение потерь энергии в электрических сетях обусловлено объективными моделями формирования всей энергии в целом. Наиболее важными из них являются тенденция к накоплению электроэнергии на крупных электростанциях; продолжающееся увеличение платы за сеть, связанное с естественным увеличением платы с потребителей и отклонением скорости увеличения пропускной способности сети от скорости увеличения потребляемой мощности и мощности генерации [2]. Обращая внимание на уровень потерь электроэнергии, становится понятной необходимость и объем реализации мероприятий по энергосбережению. Потеря данных делится на три типа [1]:

1) технические потери мощности, причинами которых являются физические процессы в линиях электропередач и оборудовании, которые происходят во время передачи электроэнергии в электрические сети и включают потребление энергии на личные нужды подстанций;

2) потеря мощности из-за ошибок в системе учета. Именно технические характеристики и режимы работы электроизмерительных приборов станции являются причиной недоучета электричества;

3) коммерческие убытки, вызванные несанкционированным отбором электроэнергии, ненадлежащими платежами за электроэнергию внутренними потребителями, показаниями счетчиков и другими причинами организации контроля потребления энергии:

– дистанционный прием с каждой измерительной станции информации о поставленной или потребленной электроэнергии;

– расчет внутриобъектного баланса поступления и потребления энергоресурсов для выявления технических и коммерческих потерь и принятия эффективных мер по энергосбережению;

– обнаружение несанкционированных помех работе измерительных приборов или изменений в схемах подключения электропитания;

– применение санкций против злонамеренных персон путем ограничения или полного прекращения потребления энергии;

– анализ технического состояния и неисправностей измерительных приборов;

– подготовка документов декларации энергопотребления;

– интеграция с биллинговыми системами.

При выборе технического решения для системы интеллектуального учета стоит ориентироваться преимущественно на его стоимость. Так как цена зарубежных аналогов значительно высока, наш выбор пал на отечественного производителя электронных измерительных трансформаторов компании «*I-TOR*», который существенно дешевле на рынке. Основные технические данные устройства *I-TOR-110S* приведены в таблице [1].

Таблица

Основные технические данные устройства *I-TOR-110S*

Параметр	Значение
Номинальное напряжение сети электроустановки, кВ	110
Номинальная частота сети электроустановки, Гц	50
Наибольшее рабочее напряжение сети, кВ	126
Номинальный первичный ток, А	100, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 750, 800, 1000
Коэффициент преобразования напряжения	1100
Класс точности преобразования тока по ГОСТ 7746-2015	0,2S
Номинальный вторичный ток, А	1
Выдерживаемый пик тока короткого замыкания, кА	108
Потребляемая мощность блоком обработки информации, не более, В·А	10
Наибольшее рабочее напряжение измерительного компонента <i>I-TOR-110S</i> , кВ	72,746
Мощность, потребляемая из высоковольтной сети измерительным компонентом устройства <i>I-TOR-110S</i> , не более, В·А	15
Мощность, потребляемая пунктом учета (3 фазы устройства <i>I-TOR-110S</i> , электросчетчик, GSM-модем, блок охранной сигнализации, нагревательный элемент 60Вт, ИБП 300 Вт), не более, В·А	100
Коэффициент безопасности приборов канала преобразования тока	1,5
Коэффициент безопасности приборов канала преобразования напряжения	1,5

Внедрение интеллектуальных систем учета даст новые широкие возможности для всех участников рынка в зоне обслуживания электросетевой компании.

Для потребителя – повышение эффективности процессов производства; обеспечение внедрения технологий Smartgrid; анализ за деятельностью предприятия [4].

Для энергосбытовой деятельности – автоматический мониторинг потребления; определение неэффективных производств и процессов; мониторинг коэффициента мощности; мониторинг показателей качества (напряжение и частота) [4].

Успешное выполнение этих задач возможно только на основе компьютерной системы (аппаратно-софтверного комплекса) самого высокого уровня интеграции, достигнутого до сих пор со всеми возможными информационными системами субъектов рынка – подсчетом и бухгалтерским учетом в отношении электроэнергии и в будущем по отношению к другим энергетическим ресурсам [3].

Совершенствование системы учета электроэнергии на основе современных интеллектуальных технологий измерений и управления электропотреблением является основой для достоверного расчета балансов, фактических, технологических и коммерческих потерь электроэнергии, разработки мероприятий по снижению потерь и оценки их экономической эффективности [1].

В последние годы возникли новые метрологические проблемы измерения электроэнергии. В связи с этим необходимо разработать соответствующие методики расчета систематических погрешностей учета из-за низкого качества электроэнергии, оценки случайной и систематической погрешностей измерения фактических и технических потерь электроэнергии [4], а также оценки допустимых коммерческих потерь электроэнергии.

Необходимо обновить нормативно-правовую базу в области метрологического обеспечения учета электроэнергии.

Системы «умного» учета, «умной» сети, «умного» города являются сложными многоуровневыми, иерархическими информационно-управляющими системами, требующими значительных временных и финансовых затрат на создание, внедрение и эксплуатацию, а также высокой квалификации обслуживающего персонала [3]. Снижение коммерческих потерь электроэнергии является сложной задачей, решение

которой требует разработки конкретных мероприятий, основанных на предварительной фильтрации энергии и определении эффективной структуры электрических потерь и их причин [4].

Наконец хотелось бы отметить, что деятельность по уменьшению потерь электроэнергии при ее передаче и распределении должна носить системный характер и охватывать весь спектр целесообразных в конкретных условиях мероприятий. Только комплексный подход позволит обеспечить функционирование электрических сетей с максимально возможным уровнем эффективности [5]. Одним из способов указанных проблем является внедрение интеллектуальных систем учета энергии. Однако этому должна предшествовать разработка соответствующей нормативно-правовой базы в этой области.

Литература

1. Денисова А. Р., Фархутдинов А. Р. Внедрение систем интеллектуального учета электроэнергии и повышение наблюдаемости в высоковольтных сетях ПАО «ТАТНЕФТЬ» // Энергоэффективность и энергобезопасность производственных процессов (ЭЭПП-2019). 2019. С. 53–58.

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

3. Сидоров А. Е., Галиев А. Р. Оптимизация распределительных сетей электрической энергии при модернизации существующих // Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники: матер. Всерос. науч.-практ. конф. (20–21 марта 2019 г.). Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2019. С.130–132.

4. Роженцова Н. В., Пятникова М. В. Внедрение цифровых трансформаторных подстанций // Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники: матер. Всерос. науч.-практ. конф. (20–21 марта 2019 г.). Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2019. С. 387–391.

5. Рудаков А. И., Нафиков И. Р., Иванов Б. Л. Повышение энергетической эффективности сублимационной сушки сельскохозяйственных материалов // Вестник КГАУ. 2007. Т. 2. № 2(6). С. 101–105.

УДК 621.31

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

¹Денисова Алина Ренатовна, ²Абдуллина Гузель Рушановна

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

¹denisova_ar@mail.ru, ²abdullinaguzel081997@gmail.com

В настоящей статье рассматриваются вопросы оценки снижения расхода электроэнергии на освещение при установке светодиодных светильников с использованием датчиков диммирования. Регулирование мощности искусственного освещения происходит в зависимости от увеличения или уменьшения естественного света.

Ключевые слова: светильники, датчик диммирования, освещенность, естественный свет, рабочая поверхность, уровень освещенности.

ENERGY EFFICIENT MANAGEMENT OF ELECTRICAL SYSTEMS

¹Denisova Alina Renatovna, ²Abdullina Guzel Rushanovna

KSPEU, Kazan

¹denisova_ar@mail.ru, ²abdullinaguzel081997@gmail.com

This article discusses the issues of evaluating the reduction of energy consumption for lighting during the installation of LED lamps using dimming sensors. The regulation of the power of artificial lighting occurs depending on the increase or decrease in natural light.

Keywords: lamps, dimming sensor, illumination, natural light, work surface, light level.

Основная роль в увеличении эффективности использования энергии принадлежит современным энергосберегающим технологиям [1]. В настоящее время существуют такие предприятия, организации и учреждения, в которых основное электропотребление приходится на систему освещения, поэтому экономия электроэнергии в таких системах имеет большое значение [2, 3]. Однако снижение расхода электроэнергии не должно снижать уровень безопасности и комфорта сотрудников [4–7]. Качество освещения влияет на утомляемость, психологическое состояние и работоспособность человека. Для оценки

зрительного восприятия потока световой энергии используются понятия: световой поток, сила света, яркость, освещенность, цветовая температура, контраст. Под качеством понимается оптимальное освещение рабочего пространства, где:

- имеется достаточная освещенность,
- обеспечена минимальная пульсация или ее отсутствие,
- имеется равномерность освещения без участков с низким уровнем освещенности в отдельных зонах, резкими тенями,
- отсутствуют источники высокой яркости со слепящим эффектом.

Наиболее безопасно и комфортно для человека естественное освещение – солнечный свет. Оно имеет наиболее безопасные биохарактеристики для живых организмов и растений. Поэтому использование комбинированного (естественного и искусственного) освещения производственных и административных помещений является наиболее оптимальным. Однако в настоящее время ситуация такова, что даже в дневное время, когда естественный свет в большом количестве поступает в помещения, на протяжении всего рабочего времени включаются лампы искусственного света. Система искусственного освещения рассчитывается, как правило, без учета естественного света, попадающего в помещения через оконные проемы. В результате мы имеем избыточное и неравномерное освещение помещений и высокое энергопотребление. Мы предлагаем автоматически регулировать систему освещения с помощью датчиков диммирования, встроенных в каждый светильник. В результате можно добиться комфортного пребывания сотрудников и, одновременно, экономии электроэнергии.

Рассмотрим разработанный алгоритм работы автодиммера (рис. 1):

1. Включение питания. Устройство включает задержку 100 мс (световой поток светильника 0 %, датчик измеряет освещенность под светильником и записывает в память значение X).

2. Устройство задает максимальную освещенность (световой поток светильника 100 %, датчик измеряет освещенность под светильником и записывает в память значение $У$).

3. Процедура вычисления. Если значение X меньше предыдущего значения X , записанного ранее в память, то значение $У$ обновляется в памяти новым значением.

4. Далее происходит постоянная задержка значения $У$ соответствующим сигналом ШИМ при изменении уровня естественного освещения.

Для идентификации происходящих в светильниках процессов нами были предусмотрены визуальные сигналы, такие как:

а) одно моргание – запись нового значения U при X меньше предыдущего значения;

б) два моргания – при X большего значения, но разность $U-X$ больше предыдущего значения.

Для определения энергоэффективности данной системы в помещении с комбинированным освещением нами был проведен эксперимент. В учебной аудитории площадью $35,4 \text{ м}^2$, имеющей окно, были установлены 6 светодиодных светильников с индивидуальным автодиммированием мощностью 40 Вт каждый.

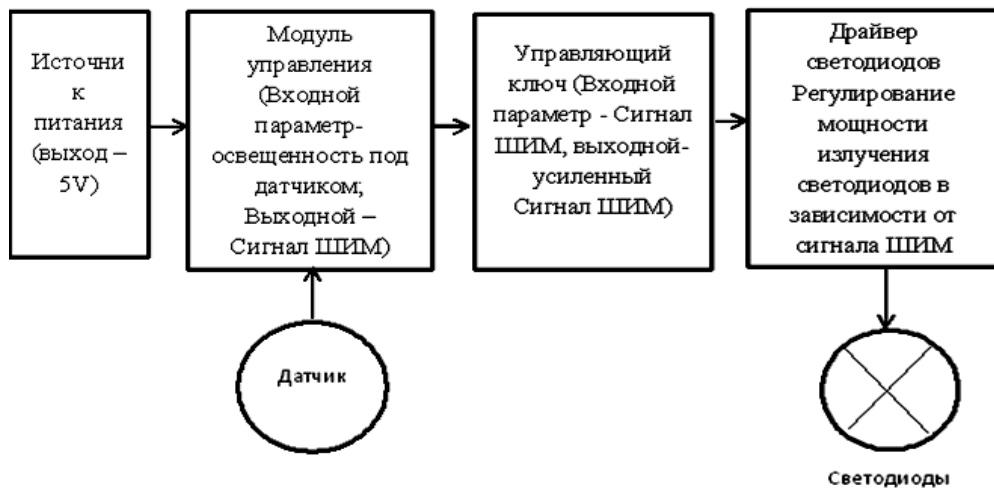


Рис. 1. Блок-схема устройства управления светильником

Мы проводили измерения освещенности на рабочей поверхности под каждым светильником, естественной освещенности под окном и получали различный световой поток от каждого светильника и различное энергопотребление в зависимости от интенсивности естественного освещения.

Рассмотрев светильники первого ряда (вдоль окна), получили следующие результаты. При отсутствии естественного освещения в помещении (ночь) мощность каждого светильника $P_{ном1} = P_{ном2} = P_{ном3} = 40 \text{ Вт}$ (100 %). При естественном освещении, поступающем через окно ($S_0 = 3,42 \text{ м}^2$), мощность первого светильника (ближе к окну) регулируется системой управления и снижается до $P_{per1} = 7 \text{ Вт}$, т.е. он потребляет всего 17 % своей мощности. Мощность второго светильника

при дневном свете составила $P_{\text{per}2} = 14$ Вт, т.е. потребляет 35 % своей мощности. Мощность третьего светильника (тот, что дальше всех от окна) осталась неизменна, он работает 100 % своей мощности (рис. 2).

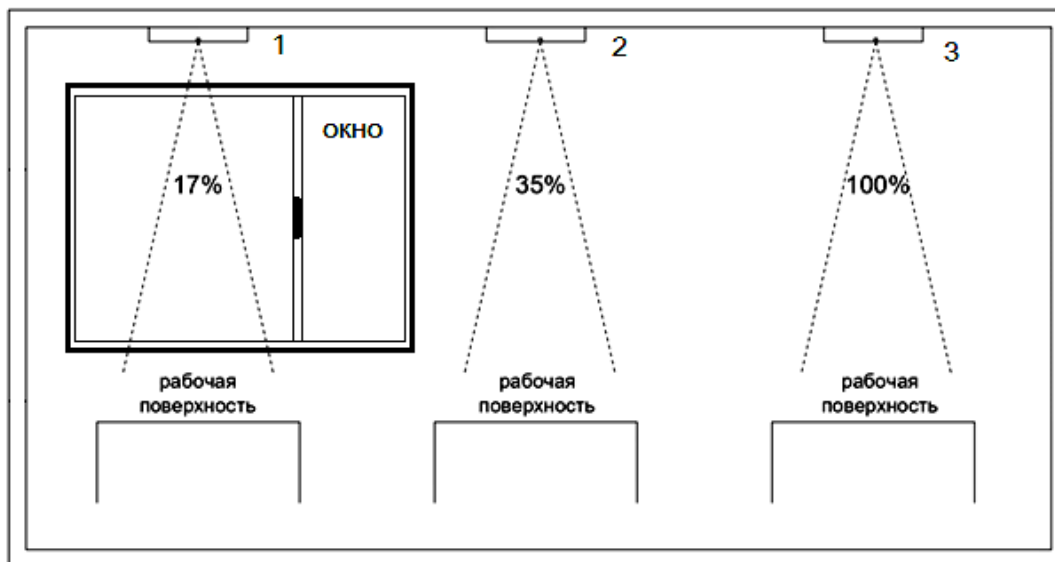


Рис. 2. Изменение уровня освещенности в зависимости от расположения рабочей поверхности относительно окна

Отсюда видно, что 1 и 2 светильник в дневное время потребляют в 3 и 2 раза, соответственно, меньше электроэнергии. Это доказывает существенную эффективность таких систем.

В дальнейшем планируется разработать методику учета естественного освещения от оконных проемов при проектировании систем искусственного освещения для оценки его вклада в общую освещенность и расчета энергоэффективности светильников с автодиммированием.

Литература

1. Сукачев Д. В. Инфракрасные датчики движения и присутствия // Энергосовет. 2010. № 2(7). С. 16–19.
2. Сибикин М. Ю. Технология энергосбережения: учебник / 3-е изд., перераб. и доп. М.: Форум, НИЦ «Инфра-М», 2012. 352 с.
3. Зверев А. В. Энергоэффективность и энергосбережение: мировой опыт для России: учеб. пособие. М.: Статистика России, 2011. 176 с.
4. Денисова А. Р., Роженцова Н. В. Энергосбережение в промышленных и коммунальных предприятиях: учеб. пособие. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2010. 248 с.

5. Панов Д. Ю., Сушков С. Л., Денисова А. Р. Мероприятия по энергосбережению в административных учреждениях // Актуальные научные исследования в современном мире: матер. Междунар. (заоч.) науч.-практ. конф. София: Научно-издательский центр «Мир науки», 2016. С. 118–123.

6. Иванова В. Р., Роженцова Н. В. Инновационные системы управления освещением // В кн.: Новые технологии, материалы и оборудование в энергетике. В 3 т. / под общ. ред. Э. Ю. Абдуллазянова, Э. В. Шамсутдинова. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2018. Т. 2. С. 198–221.

7. Роженцова Н. В., Биктимиров З. М., Шигапов А. И. Формирование политики энергосбережения и повышения энергетической эффективности в РФ // Научные аспекты современных исследований: сб. ст. по матер. Междунар. науч.-практ. конф. Новосибирск, 2017. С. 70–72.

УДК 66.074.2

РАЗДЕЛЕНИЕ ВОДОНЕФТЯНЫХ ЭМУЛЬСИЙ В ПРЯМОУГОЛЬНОМ СЕПАРАТОРЕ

¹Зинуров Вадим Эдуардович, ²Галимова Алсу Рузилевна,
³Маматкулова Динара Рустамовна, ⁴Файзрахманов Ильдар Дамирович

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

¹vadd_93@mail.ru

В работе проведены исследования, связанные с разделением эмульсий с близкими значениями плотностей. Эмульсии с подобными свойствами разделяются очень медленно, поэтому необходимо использовать специальные устройства для увеличения скорости протекания процесса разделения. В качестве таких устройств были выбраны: гофрированные пластины с отверстиями, пористые материалы или PLA пластика и прямые перегородки. В результате проведения экспериментальных исследований выявлено, что с увеличением скорости движения эмульсии по аппарату эффективность разделения увеличивается при установке всех исследуемых устройств.

Ключевые слова: водонефтяная эмульсия, сепаратор, нефть, разделение водонефтяной эмульсии, многофазная эмульсия, маслянистые углеводородные соединения.

SEPARATION OF WATER-OIL EMULSIONS IN RECTANGULAR SEPARATOR

¹Zinurov Vadim Eduardovich, ²Galimova Alsu Ruzilevna,
³Mamatkulova Dinara Rustamovna, ⁴Fayzrakhmanov Ildar Damirovich

KSPEU, Kazan
¹vadd_93@mail.ru

The work carried out research related to separation of emulsions with close densities. Emulsions with similar properties separate very slowly, so it is necessary to use special devices to increase the speed of the separation process. As such devices were chosen: corrugated plates with holes, porous materials or PLA plastic and straight partitions. As a result of experimental studies, it has been found that with the increase in the speed of the emulsion through the apparatus, the separation efficiency increases with the installation of all the test devices.

Keywords: Water-oil emulsion, separator, oil, separation of water-oil emulsion, multiphase emulsion, oily hydrocarbon compounds.

Повышение эффективности сепарации водонефтяных эмульсий является актуальной темой в настоящее время. Традиционные методы разделения имеют низкую эффективность, высокую стоимость, а также при их реализации образуются другие виды загрязнений [1].

Сепараторы, как правило, являются первой стадией работы в технологической линии между источником и нефтепроводом. При транспортировке по трубопроводу сырая нефть, добываемая вода и попутный газ движутся в сложном многофазном режиме, где тонкодиспергированная эмульсия, чаще всего, создает ряд сложностей [2]. Газовая фаза достаточно легко отделяется от потока жидкости, эмульсии обычно являются стабильными и их трудно разделить. Как правило, эмульсии типа «вода в масле» встречаются при добыче нефти. Они в основном образуются из-за амфифильных видов углеводородов, которые присутствуют в сырой нефти, таких как асфальтены, смолы и кислоты. Кроме того, некоторые химические добавки или твердые частицы, применяемые в производственной сети, способствуют образованию устойчивой эмульсии [3].

Целью работы является сепарация жидких маслянистых углеводородных соединений из эмульсии в прямоугольном сепараторе (рис. 1).

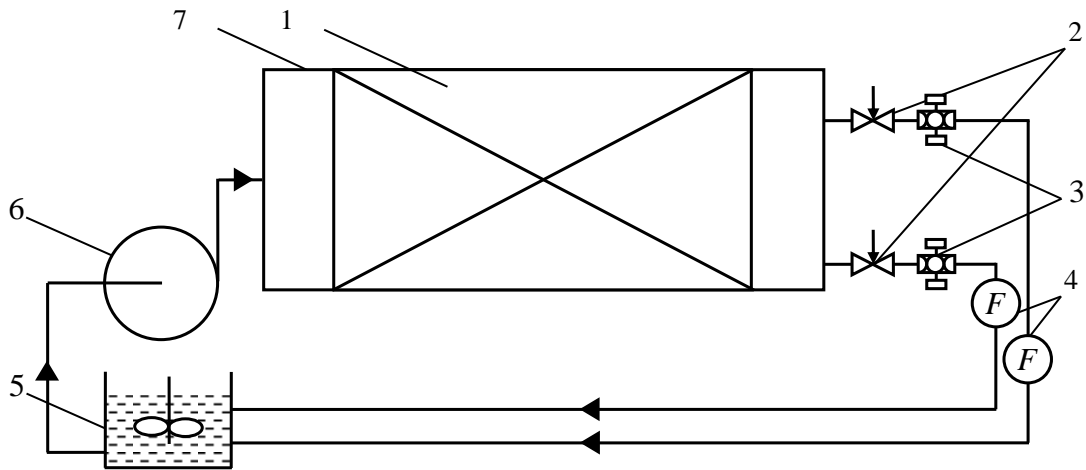


Рис. 1. Экспериментальная установка:

1 – экспериментальная вставка; 2 – регулировочные клапаны; 3 – пробоотборники; 4 – расходомеры *LOUCHEN ZM FS300A G3/4*; 5 – емкость повторного смешения разделенной эмульсии; 6 – насос *OASIS CRP 15/9*; 7 – экспериментальная установка

В работе была рассмотрена экспериментальная установка, которая состояла из модели сепаратора 7 (проходное сечение 60×60 мм) с экспериментальными вставками 1, клапанов 2 для регулировки расходов легкой и тяжелой фаз, пробоотборников 3 для определения содержания концентрации углеводородных соединений после разделения эмульсии, расходомеров 4 фирмы *LOUCHEN ZM FS300AG3/4* с погрешностью $\pm 5\%$ для учета расхода разделенных потоков, емкости 5 с мешалкой для повторного смешения разделенной эмульсии и насоса 6 фирмы *OASIS CRP 15/9* для подачи эмульсии в сепаратор.

При проведении экспериментальных исследований следующие параметры принимались постоянными: температура окружающей среды $t_0 = 20^\circ\text{C}$; плотность воды $\rho_b = 998,2 \text{ кг/м}^3$; коэффициент динамической вязкости воды $\mu_b = 0,001003 \text{ кг/(м}\cdot\text{с)}$; плотность маслянистых углеводородных соединений $\rho = 883 \text{ кг/м}^3$; коэффициент динамической вязкости углеводородных соединений $\mu_c = 0,0198 \text{ кг/(м}\cdot\text{с)}$.

В ходе исследования содержание маслянистых углеводородов на входе в аппарат изменялось от 10 до 40 % (рис. 2).

По мере роста входной скорости многофазной эмульсии, поступающей в экспериментальную установку, эффективность извлечения жидких маслянистых углеводородных соединений из эмульсии уменьшается. Это объясняется тем, что увеличение входной скорости приводит к повышению степени турбулентности потока, вследствие чего возникает большое количество точек вихреобразования, которые препятствуют сепарации маслянистых углеводородных соединений из эмульсии.

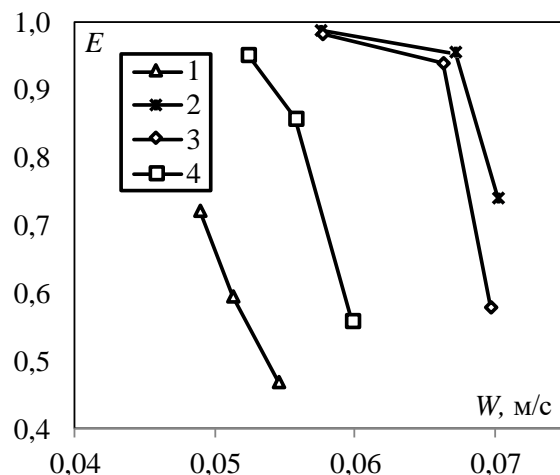


Рис. 2. Влияние эффективности извлечения жидких маслянистых углеводородных соединений из эмульсии, содержащей 20 % углеводородов в исходной смеси, от входной скорости при различных экспериментальных вставках: 1 – без вставки; 2 – вставка с гофрированными перегородками, расположенных под углом 45°; 3 – вставка с гофрированными перегородками, расположенных под углом 135°; 4 – вставка с перекрестными гофрированными перегородками

Для интенсификации процессов извлечения углеводородных соединений из эмульсии необходимо использовать сепарационные блоки, которые вставляются в устройство, более сложной формы, способствующие расслоению многофазной эмульсии, то есть организации такой структуры потока, из которой соединения отличной плотности от воды будут отделяться. В ходе исследований было установлено, что наибольшая эффективность сепаратора достигается при использовании сепарационного блока с перекрестными гофрированными перегородками. Форма данного блока способствует частой смене направления движения эмульсии, что повышает эффективность ее разделения на составляющие компоненты.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ № МК – 616.2020.8

Литература

1. Дмитриев А. В., Зинуров В. Э., Дмитриева О. С., Данг С. В. Моделирование процесса разделения водонефтяной эмульсии в прямоугольном сепараторе // Вестник КГЭУ. 2018. № 3(39). С. 65–71.
2. Дмитриев А. В., Зинуров В. Э., Дмитриева О. С., Нгуен Ву Л. Влияние конструктивного оформления элементов прямоугольного сепаратора на эффективность очистки газа от твердых частиц // Вестник технологического университета. 2018. Т. 21. № 9. С. 58–61.

3. Зинуров В. Э., Дмитриев А. В., Дмитриева О. С., Данг С. В., Салахова Э. И. Удаление влаги из загрязненного трансформаторного масла в прямоугольных сепараторах // Вестник технологического университета. 2018. Т. 21. № 11. С. 75–79.

УДК 66.074.2

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ ГАЗООЧИСТКИ ОТ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ

¹Зинуров Вадим Эдуардович, ²Мубаракшина Рузиля Радиковна,
³Антонов Максим Александрович
^{1, 2}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
³НХТИ ФГБОУ ВО «КНИТУ», г. Нижнекамск
¹vadd_93@mail.ru, ³antonovnh@mail.ru

В работе рассмотрен вопрос о продлении эксплуатационного срока службы аппаратов тонкой очистки. Предложен прямоугольный сепаратор, позволяющий увеличить эффективность очистки мелкодисперсных частиц размером менее 10 мкм. Показано, что данное устройство можно интегрировать практически в любую технологическую систему очистки газовых потоков от частиц пыли вследствие того, что внутренние элементы можно заключить в корпус любой формы. Достоинства устройства: простота в использовании и легкость в использовании.

Ключевые слова: сепаратор, улавливание частиц, аппараты тонкой очистки, тонкая очистка, грубая очистка, остаточный ресурс, эксплуатационный срок службы.

IMPROVING EFFICIENCY OF GAS CLEANING PROCESSES FROM SOLID PARTICLES

¹Zinurov Vadim Eduardovich, ²Mubarakshina Ruzilya Radikovna,
³Antonov Maksim Aleksandrovich
^{1, 2}KSPEU, Kazan
³Nizhnekamsk Institute of Chemistry and Technology of KNRTU, Nizhnekamsk
¹vadd_93@mail.ru, ³antonovnh@mail.ru

The issue of extending the operational life of fine cleaners is considered. Rectangular separator is proposed to increase efficiency of fine particles cleaning with size less than 10 μm. It is shown that this device can be integrated into practically any process system for cleaning gas streams from dust particles due to the fact that internal elements can be enclosed in a housing of any shape. The advantages of the device are easy to use and easy to use.

Keywords: separator, particle recovery, fine cleaners, fine cleaning, coarse cleaning, residual life, service life.

Одной из наиболее важных задач промышленных предприятий является увеличение эксплуатационного срока работы аппаратов тонкой очистки. При забивании аппаратов тонкой очистки пылью их эффективность существенно снижается, что приводит к уносу улавливаемого материала. Поэтому возникает необходимость в восстановлении аппаратов, что приводит к остановке технологического очистного процесса вследствие снятия данных аппаратов с линий очистки газовых потоков (например, электрофильтров или рукавных аппаратов, эффективность которых, по мере забивки их пылью, снижается, при этом увеличивается гидравлическое сопротивление). Вследствие этого возникает необходимость разработки новых технологических аппаратов, продлевающих срок службы фильтров тонкой очистки.

Авторами данной статьи было разработано устройство, позволяющее производить сепарацию мелкодисперсных частиц из газовых потоков размером менее 10 мкм с эффективностью не ниже 50 %, которое предлагается устанавливать до фильтра тонкой очистки. При этом эффективность сепарации частиц размером более 10 мкм из газа составляет более 99 %. Устройство представляет собой несколько рядов сепарационных элементов, которые заключаются в корпус прямоугольной формы (рис. 1). Следует отметить, что геометрическая форма корпуса может быть изменена на другую (круглую, квадратную, овальную и др.) в зависимости от формы воздуховода с сохранением показателей эффективности сепарации газа. Принцип работы устройства основан на действии центробежных сил на запыленный газовый поток при огибании им сепарационных элементов, расположенных в шахматном порядке [1–4].

Особый интерес представляют другие различные способы повышения эффективности процесса сепарации мелкодисперсных частиц из газового потока в устройстве. Одним из таких способов является использование наиболее эффективной сепарационной формы элементов (рис. 1). Целью данной работы является исследование влияния формы сепарационных элементов на эффективность устройства.

В работе исследовались следующие формы сепарационных элементов: двутавровые, П-образные и дугообразные (рис. 1). Исследование проводилось путем численного моделирования в программном комплексе *ANSYS Fluent*. Как известно, численные расчеты требуют большой вычислительной

мощности компьютеров, поэтому для упрощения расчетов трехмерная модель устройства была заменена на двухмерную вследствие того, что форма сепарационных элементов по высоте не изменяется. Также принимались следующие допущения: толщины дугообразных элементов и стенок корпуса задавались бесконечно малыми величинами, процесс течения газового потока стационарен, концентрация пыли исключает взаимодействие между частицами, влияние частиц на движение несущей среды не учитывается.

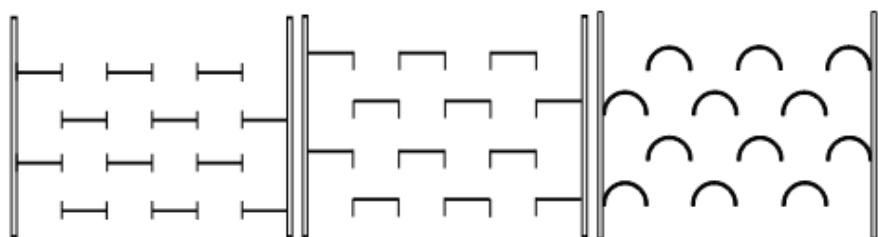


Рис. 1. Упрощенные двухмерные модели устройства для сепарации мелкодисперсных частиц из газовых потоков с различной формой сепарационных элементов (вид сверху):
1 – двутавровые; 2 – П-образные; 3 – дугообразные

В ходе исследований на входе в устройство задавалась скорость газового потока, которая варьировалась от 5 до 8 м/с. Для определения эффективности в газовом потоке задавалось количество частиц $n = 1000$ и фиксировалось количество частиц n_k на выходе из устройства.

Эффективность работы устройства оценивалась по следующей формуле:

$$E = \frac{n - n_k}{n}. \quad (1)$$

Особый интерес представляет изменение эффективности сепарации мелкодисперсных частиц из газового потока при их различной плотности, так как в газовом потоке практически нет однородных частиц, их плотность различна.

Результаты показали, что эффективность сепарации газа увеличивается по мере роста плотности мелкодисперсных частиц ρ_a . В среднем эффективность сепарации составляет 82, 78 и 75 % для двутавровых, дугообразных и П-образных элементов, соответственно, при плотности частиц до 3000 кг/м^3 . При сепарации мелкодисперсных частиц плотностью более 3000 кг/м^3 от газа эффективность для любой формы сепарационных элементов составляет не менее 99 % (рис. 2).

Потери давления в устройстве при использовании двутавровых, дугообразных и П-образных элементов при скорости газового потока 5 м/с составили 963, 928 и 1065 Па, соответственно. Стоит отметить, что разница потери давления в устройстве при двутавровых и дугообразных элементах составляет не более 5 %.

Таким образом, установка сепаратора в технологическую систему очистки газовых потоков перед фильтром тонкой очистки позволит повысить эффективность улавливания мелкодисперсных частиц и продлить эксплуатационный срок службы.

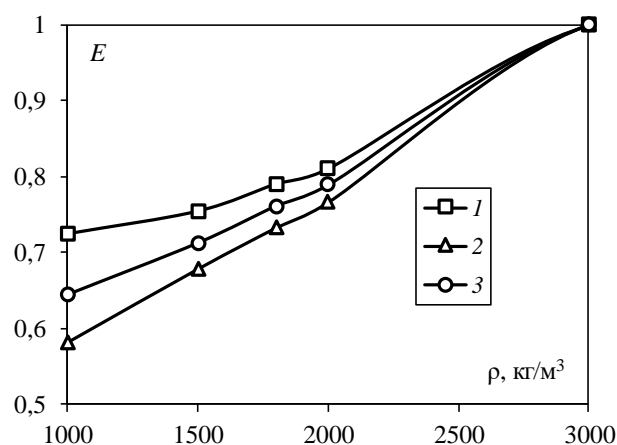


Рис. 2. Зависимость эффективности сепарации газового потока от плотности мелкодисперсных частиц при различных формах сепарационных элементов: 1 – двутавровые; 2 – П-образные; 3 – дугообразные. Входная скорость газового потока $W = 8$ м/с; размер мелкодисперсных частиц $a = 4$ мкм

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ № МК – 616.2020.8

Литература

1. Дмитриев А. В., Зинуров В. Э., Дмитриева О. С., Нгуен Ву Л. Улавливание мелкодисперсных твердых частиц из газовых потоков в прямоугольных сепараторах // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2018. № 22(3). С. 138–144.
2. Зинуров В. Э., Дмитриев А. В., Соловьева О. В., Латыпов Д. Н. Влияние загрязнения пылеочистительного сепаратора мелкодисперсной пылью на энергетические затраты в ходе его эксплуатации // Вестник технологического университета. 2019. Т. 22. № 8. С. 33–37.
3. Зинуров В. Э., Дмитриев А. В., Соловьева О. В., Латыпов Д. Н. Исследование изменения эффективности очистки газового потока

от мелкодисперсных частиц прямоугольным сепаратором при разной степени забивки дугообразных элементов пылью // Вестник технологического университета. 2019. Т. 22. № 8. С. 42–46.

4. Дмитриев А. В., Зинуров В. Э., Дмитриева О. С., Нгуен В. Л. Эффективность прямоугольного сепаратора в зависимости от оформления элементов внутри аппарата // Вестник КГЭУ. 2018. № 1(37). С. 74–81.

УДК 621.3.06

ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ

¹Иванова Вилия Равильевна, ²Каримуллин Самат Мавлютович
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
¹vr-10@mail.ru, ²karimullin1996@gmail.com

В статье рассматривается внедрения цифровых подстанций в энергосистему, которые способны повысить надежность и сократить расходы на обслуживание оборудования.

Ключевые слова: цифровая подстанция, стандарт МЭК 61850, оптоволоконный кабель, АСУ ТП, РЗА.

PROSPECTS FOR THE INTRODUCTION OF DIGITAL SUBSTATIONS

¹Ivanova Viliya Ravilievna, ²Karimullin Samat Mavlutovich
KSPEU, Kazan
¹vr-10@mail.ru, ²karimullin1996@gmail.com

The article discusses the introduction of digital substations in the power system, which can increase reliability and reduce equipment maintenance costs.

Key words: digital substation, IEC 61850 standard, fiber optic cable, process control systems, relay protection and automation devices.

Современный мир невозможно представить без использования электрической энергии. Самый удобный вид энергии для использования и транспортировки занимает значительное место в жизни нашего общества. За последние 10 лет нагрузки на энергетические сети увеличились в 1,5 раза. С увеличением потребления выросла и нагрузка на подстанции, которые достались от наследия советской истории. Старение электрического оборудования и выработка расчетных мощностей – одна из главных проблем системы энергоснабжения России.

Всем нам известно, после стадии выработки электрической энергии в электростанциях её надо доставить до потребителей. Есть два рода тока, но исторически так сложилось, что промышленность отдала предпочтение использованию переменного тока. Рядом с электрической станцией строится собственная подстанция для повышения напряжения выработанной энергии для уменьшения потерь при транспортировке. Уже на данном этапе в дело вступает подстанция с большим количеством оборудования.

Основа электрической подстанции включает в себя следующие элементы: линии электропередач, трансформаторы, выключатели и распределительные устройства. В их задачу входит принять, преобразовать и распределить электрическую энергию для нужд потребителей. Для управления процессами в подстанции используется вторичное оборудование. Это целый комплекс сенсорных и интеллектуальных устройств, объединенных в единую систему. В их задачу входит управление подстанцией и немедленное реагирование на отклонение и повреждение в работе подстанции. От работы данных систем зависит правильность работы подстанции и надежность электроснабжения потребителей. Большое число вторичного оборудования введет к большим расходам в строительстве и модернизации подстанции. Финансовая сторона вопроса является ключевой в вопросе развития энергетической системы в данное время.

Управление работой подстанции (ПС) осуществляется в цифровом виде на основе стандартов серии МЭК 61850. Другими словами, в качестве определяющего признака ЦПС используется ее «тотальная» IT-развитость, то есть все процессы информационного обмена между элементами программно-аппаратного комплекса ПС осуществляются в цифровом виде. [1, 2].

Каким же образом можно уменьшить расходы, но при этом не навредить надежности и сохранить все функции в электроснабжении потребителей? Продвижение научных исследований и разработка новых машин на программном обеспечении приходят на помощь проектировщикам и инженерам. Все оборудование со временем совершенствуется, становясь более компактным и работоспособней. Предлагается переход на так называемые цифровые подстанции. Цифровая подстанция – это подстанция с широким внедрением систем автоматизации и управления, построенных на базе открытых стандартов МЭК 61850.

Рассмотрим шире вопрос цифровых подстанций на примере телефонов, которые используются в повседневной жизни. Изначально в домашних телефонах использовался механическое реле, при подаче

сигнала реле замыкалась, и происходило соединение двух абонентов. Также и на подстанциях автоматизация начиналась с электро-механических реле, которые были связаны между собой сотнями километров медного кабеля. Следующим этапом развития подстанций стала замена электро-механических реле на микросхемы, а затем отдельные устройства стали объединять с помощью цифровой связи на основе единого стандарта передачи данных IEC 61850-8-1. Данная операция позволила объединить различные устройства между собой, но связь с первичным оборудованием оставалась аналоговыми. Количество используемых шкафов не уменьшилось, и все также требовались медные кабели [3, 4].

Переход на цифровой формат дал серьезный толчок в развитии энергосистемы. Появились технологии, которые позволяют передавать сигнал от первичного оборудования к системе управления по цифровым каналам связи. Внедрение оптоволоконных кабелей помогло решить проблему паутины медных проводов, но решить проблему количества шкафов не удалось, наоборот пришлось установить дополнительные устройства, которые обеспечивают преобразование сигналов.

В помощь снова пришла телефонная связь. Всем известно, как можно использовать компьютер для общения по видеосвязи с помощью интернета, где используется IP-адреса. На подстанции привычно видеть все системы как совокупность отдельных шкафов АСУ ТП, РЗА, и др. Автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУ ТП) – технические решения с помощью средств на программном управлении, созданные для автоматизации управления оборудования, участвующие в технологическом процессе. Более общая автоматизированная система управления предприятием (АСУП). Релейная защита (РЗА) – комплекс устройств, предназначенных для незамедлительного автоматического отключения при повреждениях, выявлении и отделении от электроэнергетической системы повреждённых элементов этой электроэнергетической системы в аварийных ситуациях с целью обеспечения нормальной работы всей системы. В настоящее время шкафы могут быть виртуальными устройствами с памятью компьютера, что позволяет уменьшать на подстанции только количество шкафов, в которых располагаются сервера. Каждый из серверов будет обеспечивать трехкратное резервирование. Для соединения оборудования между собой используются только кабели оптоволоконной связи. Все функции автоматизации и защиты при всех изменениях будут сохранены [5, 6].

Основными достоинствами внедрения цифровых подстанций выступают:

1) увеличение надежности:

- использование единой платформы;
- повышение качества измерений;

2) сокращение затрат:

- уменьшение монтажных и наладочных работ;
- сокращение количества модулей ввода и вывода на устройствах АСУ ТП и РЗА [7].

В целях экономической целесообразности и повышения доступности распределенной энергетики существует необходимость внедрения цифровых технологий. Последнее приведет к коренному преобразованию всей электроэнергетической отрасли, что безусловно откроет новые горизонты развития и роста перед всем обществом в целом.

Литература

1. Бойченко О. В., Дячук В. С. Построение информационной модели цифровой подстанции на основе стандарта МЭК 61850 // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 4, ч. 2. С. 39–42.

2. Горелик Т. Г., Дроздова Т. В. Цифровая подстанция. Стратегия реализации // Релейная защита и автоматизация. 2012. № 2. С. 64–65.

3. Дроздова Т. Н., Елов Н. Е., Морозов А. П. «Цифровая подстанция»: Практический опыт. Первое в России внедрение технологии на действующем объекте генерации // Энергия единой сети. 2016. № 3. С. 54–61.

4. Ivanova V.R., Fetisov L.V., Bulatov O.A. The Analysis of Measurements of Indicators of Quality of the Electric Power and Calculation of Economic Efficiency After Installation of the Booster Transformer // 2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon): Vladivostok, 2018. Pp. 1–4.

5. Орлов Л. Л., Сергеев К. А. Инжиниринг систем автоматизации в соответствии со стандартом МЭК 61850 // Релейная защита и автоматизация. 2013. № 1. С. 64–67.

6. Ivanova V.R., Ivanov A.S., Fetisov L.V. The development of an automated station for group soldering of the led lines // 14th International scientific-technical conference on actual problems of electronic instrument engineering (APEIE) – 44894 proceedings. 2018. P. 336–338.

7. Денисова А. Р., Роженцова Н. В. Энергосбережение в промышленных и коммунальных предприятиях: учеб. пособие. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2010. 248 с.

УДК 620.9

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ И КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

¹Иванова Вилия Равильевна, ²Садриева Лейсан Нагимовна
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
¹vr-10@mail.ru, ²sadrievaley100598@mail.ru

В статье рассматриваются преимущества диагностики электрооборудования с помощью тепловизионных устройств, а также особенности их основных компонентов.

Ключевые слова: тепловизор, диагностика, инфракрасное излучение, дефект, термограмма, объектив, матрица.

STUDY OF PERFORMANCE AND QUALITY OF FUNCTIONING OF ELECTRICAL EQUIPMENT UNDER VARIOUS EXTERNAL INFLUENCES

¹Ivanova Viliya Ravilievna, ²Sadrieva Leysan Nagimovna
KSPEU, Kazan
¹vr-10@mail.ru, ²sadrievaley100598@mail.ru

This article discusses the benefits of diagnosing electrical equipment using a thermal imager, as well as the features of the main components of this device.

Keywords: thermal imager, diagnostics, infrared radiation, defect, thermogram, lens, matrix.

Известно, что видимое излучение на электромагнитной шкале занимает очень узкую полосу. Поэтому очевидно, что для получения более полной информации об окружающих объектах полезно использование других частотных диапазонов.

Достаточно широкий участок спектра, который идет сразу после видимого, относится к инфракрасному (тепловому) излучению. Уникальность и важность этого диапазона заключается в том, что любое тело, температура которого выше абсолютного нуля, излучает в инфракрасном диапазоне спектра. Именно такое излучение испускает электрооборудование при работе, по которому можно отследить наличие дефектов.

Надежность электрооборудования определяется качеством контактных соединений, изоляцией и конструкцией электрооборудования, которое часто работает в неблагоприятных условиях. В процессе эксплуатации электрооборудование подвергается одновременному воздействию сильных электрических полей, механическим воздействиям, нагреву, действию окружающей среды и т. п. Под действием этих факторов изменяются технические характеристики электрооборудования, что может привести к неисправностям и к аварийным ситуациям.

При ненормальном состоянии или поведении электрооборудования возникают вопросы о его состоянии. Очевидными признаками могут быть вибрации, звуки, а также показания температуры. При отсутствии очевидных проявлений основную причину проблемы бывает трудно или вообще невозможно разглядеть. Тепловизионная диагностика позволяет обнаружить все неявные дефекты электрооборудования на ранней стадии их развития. Данная диагностика может применяться по всему циклу производства и распределения электроэнергии от электростанций, которые вырабатывают электроэнергию до ее потребителей. Ранее обнаружение неисправностей дает возможность своевременно принять меры к их устранению.

Суть тепловизионного метода диагностики заключается в дистанционной регистрации температурного поля на поверхности контролируемого объекта, построении и анализе термограмм с использованием электронно-вычислительных машин для обнаружения дефектов и принятия решения по дальнейшей эксплуатации оборудования. Термограмма представляет собой изображение исследуемого объекта, которое обработано электронно-вычислительной машиной таким образом, что различные градации цвета соответствуют распределению инфракрасного излучения по поверхности данного объекта. Наличие дефекта выражается аномальным изменением температуры в дефектной зоне по сравнению с качественными областями [2].

При проведении традиционной диагностики часто оборудование приходится отключать. Если исследуемый объект крупный, то для проведения диагностики требуется несколько человек. Кроме этого, нередко специалистам не сразу удается диагностировать наличие дефектов. Как следствие, даже после проведения комплекса диагностических мер оборудование выходит из строя. Следовательно, традиционная диагностика отнимает много сил, времени и не всегда результативна [2].

Основным преимуществом тепловизионной диагностики является то, что для ее проведения не нужно отключать электрооборудование, и ее может провести всего лишь один человек. К тому же специалист с тепловизором экономит время, ему не нужно частично разбирать объект, чтобы понять, какой конкретно узел находится на грани поломки. Тепловизионная диагностика более точна и достоверна и позволяет диагностировать дефекты на ранних стадиях возникновения, прогнозировать их возникновение и развитие [2].

Особо популярна такая диагностика на промышленных предприятиях со сложными и непрерывными технологическими процессами. Например, в металлургическом производстве, где выход из строя даже незначительного оборудования может привести к остановке всего производства, после чего вся продукция может быть отправлена или на переплавку или в брак. Любая поломка может привести к временному расстройству, тем более нежелательны остановки на проведение диагностирования. Такой же характер процессов свойственен предприятиям нефтеперерабатывающей, химической промышленности. Да и для более мелких предприятий данная диагностика не будет лишней.

Весьма успешны тепловизионные обследования по выявлению дефектов эксплуатирующего электрооборудования, в том числе контактных соединений, участков перегрузки кабелей; они позволяют провести оценку теплового состояния трансформаторов, электродвигателей, разрядников, реакторов и другого электрооборудования в процессе их работы.

Самыми важными элементами тепловизора являются объектив и матрица. Объектив собирает инфракрасное излучение и фокусирует его на матрице, а матрица выдает сигнал и создает термограмму. Поскольку традиционное стекло непрозрачно для инфракрасного излучения, линзы для тепловизоров изготавливаются из таких редких и дорогих материалов как германий. В свою очередь пропускание объективов улучшается за счет тонкопленочных просветляющих покрытий [3].

Ещё одним важным элементом прибора является матрица. Она может быть охлаждаемой и неохлаждаемой. Принцип работы охлаждаемой матрицы состоит в следующем: фотоны, попадая на поверхность полупроводника (HgCdTe , InSb), переводят носители заряда на нем из связанного состояния в свободное [4]. Количество переходов пропорционально интенсивности теплового излучения электрооборудования. В этом случае матрица должна обязательно охлаждаться, иначе собственные тепловые колебания решетки полупроводника также вызовут интенсивное высвобождение носителей заряда, на фоне которого генерация от светового воздействия станет незаметной. Охлаждают матрицу, к примеру, при помощи холодильника Стирлинга либо жидким азотом [1].

Работа неохлаждаемых матриц устроена на тепловом преобразовании, в основе которого лежат различные эффекты, например зависимость электрического сопротивления от температуры. Такая матрица представляет собой набор микроболометров, иначе говоря, приборов для измерения энергии инфракрасного излучения с помощью термочувствительного элемента, который поглощает это излучение [1].

Охлаждаемые матрицы чувствительные, но дорогие и массивные. Неохлаждаемые дешевле, надежнее, компактнее, но менее чувствительные. Простота и относительная дешевизна неохлаждаемых тепловизоров делают их массовыми, но заменить ими охлаждаемые приборы, при сохранении их характеристик пока не удается [5, 6].

Несмотря на то, что тепловизоры обычно считаются дорогими приборами. Расходы, которые связаны с обслуживанием и незапланированным простоем производства, могут быть значительно снижены за счет их использования для выполнения предупредительного и профилактического обслуживания [7].

Литература

1. Бирюк В. В. Применение тепловизора в энергетическом машиностроении: учеб. пособие. Самара: Изд-во СГАУ, 2007. 95 с.
2. Иванова В. Р., Иванов И. Ю. Метод тепловизионного контроля для увеличения сроков службы электротехнического оборудования и эксплуатации после выработки им положенного ресурса // Вестник современных исследований. 2018. № 8-3(23). С. 253–255.
3. BALTECH Corporation / THERMOGRAPHIC CAMERA / Учебник основы термографии и тепловидения / [Электронный ресурс]. URL: <http://www.baltech.kz/catalog.php?catalog=164> (дата обращения: 05.12.2019).
4. Федотов А. И., Роженцова Н. В., Вагапов Г. В., Абдуллазянов Р. Э. Методика проверки эффективности токоограничивающего устройства для снижения глубины провала напряжения // Промышленная энергетика. 2016. № 12. С. 28–33.
5. Рудаков А. И., Нурсубин М. С., Роженцова Н. В., Денисова А. Р. Повышение энергоэффективности ступени конфузорного эжектора с пульсирующим движением активного потока в составе жидкостно-кольцевого вакуум-насоса // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 17. С. 150–158.
6. Рудаков А. И., Роженцова Н. В., Денисова А. Р. Современные технические средства повышения энергоэффективности водокольцевых машин // Промышленная энергетика. 2016. № 5. С. 27–30.

7. Ivanova V. R., Fetisov L. V., Bulatov O. A. The Analysis of Measurements of Indicators of Quality of the Electric Power and Calculation of Economic Efficiency After Installation of the Booster Transformer // 2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon): Vladivostok, 2018. Pp. 1–4.

УДК 620.9

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

¹Лебедев Евгений Викторович, ²Самолина Ольга Владимировна,
³Шаповалов Сергей Владимирович
¹ЗАО Завод строительных материалов, г. Тольятти
^{2, 3}ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет», г. Тольятти
¹djoker_togliatti@mail.ru, ²23helga@mail.ru, ³s.shapovalov2@tltsu.ru

Проблемы и основные методы внедрения энергоэффективных технологий на промышленных предприятиях.

Ключевые слова: энергоэффективность, энергосбережение, энергоаудит, энергоресурсы, учет энергоресурсов, модернизация оборудования.

ENERGY SAVING OF INDUSTRIAL ENTERPRISES

¹Lebedev Evgeny Viktorovich, ²Samolina Olga Vladimirovna,
³Shapovalov Sergey Vladimirovich
¹CJSC Factory of building materials in the city of Togliatti
^{2, 3}Togliatti State University, Togliatti
¹djoker_togliatti@mail.ru, ²23helga@mail.ru, ³s.shapovalov2@tltsu.ru

Problems and main methods of implementation of energy-efficient technologies on industrial enterprises.

Keywords: energy efficiency, energy saving, energy audit, energy resources, energy accounting, equipment modernization.

Растущие потребности современных предприятий, связанные с потреблением электроэнергии и других энергоресурсов, на сегодняшний день создали актуальную проблему. Промышленность стала это сильно ощущать в последние годы. Энергетическая составляющая при выпуске многих товаров слишком высока при выросшей конкуренции на рынках.

Чтобы снизить себестоимость выпуска продукции, многие предприятия стремятся снизить долю энергоресурсов, требующихся на их производство [1].

Полное отсутствие контроля за использованием энергоресурсов может привести к превышению договорных лимитов. В договорах с ресурсоснабжающими организациями зачастую прописаны такие лимиты, а также санкции за их превышение [2, 3].

Сегодня существуют несколько действенных способов повысить энергосбережение производств:

1. Внедрение нового современного или модернизация старого оборудования.
2. Применение современных энергосберегающих технологий.
3. Уменьшение потерь электроэнергии.
4. Оптимизация режимов работы оборудования.

Первым этапом для энергосбережения на предприятии должен стать энергоаудит. При проведении энергетического обследования предприятия руководствуются Федеральным законом от 23.11.2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». В этом законе понятие «энергосбережение» трактуется как осуществление правовых, научных, технических, организационных, технологических, экономических и других мер, направленных на эффективное (рациональное) использование (и экономное расходование) топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) при существующем полезном эффекте их использования и вовлечение в хозяйственный оборот возобновляемых источников энергии. Задачей энергоаудита является обследование зданий и сооружений, оборудования и коммуникаций для анализа энергопотребления. По результатам этого обследования определяется путь дальнейших работ, направленных на сокращение энергозатрат.

Следующий этап на пути к сокращению затрат на энергоресурсы подразумевает выполнение организации учета энергоресурсов. Качественно внедренный учет энергопотребления дает гарантию контроля использования энергоресурсов. Это достигается при использовании АСТУЭ и АИИС КУЭ.

Под энергоресурсами чаще всего используемыми на предприятии понимаются такие, как вода, тепло, электроэнергия, воздух. Около 30 % закупаемых энергоресурсов расходуется на содержание зданий и сооружений и обеспечение производственного процесса. В зависимости от типа производства одной из основных расходных статей на производство

продукции является электроснабжение. Расходование электроэнергии на кондиционирование, работу оборудования, освещение производственных помещений не всегда раньше можно было посчитать. Это стало возможным только при использовании внутреннего технического учета. На одном из десяти предприятий в России имеется автоматизированная система учета энергоресурсов. Предприятия не сильно стремятся к внедрению таких инноваций. Связано это с некоторыми причинами:

1. Отсутствие полной информации расхода энергоносителей у руководителей. Руководители многих производств, не имея такой системы, не видят всей картины расходования энергоресурсов и, соответственно, не представляют потенциала для их экономии и снижения материальной составляющей. Не видя всей картины, невозможно определить, какое оборудование требует модернизации.

2. Не хватает информации о современных энергосберегающих технологиях. Современное развитие технологий в мире в целом не позволяет быстро ориентироваться в новейших разработках. Новые технологии, способные экономить энергоресурсы, обзвываются на специализированных выставках и не всегда доступны для ответственных за энергохозяйство руководителей.

3. Отсутствие у многих предприятий собственных средств. Для реализации каких-либо проектов по повышению энергоэффективности на предприятии, руководству требуются заемные средства под большой процент, что приводит к увеличению сроков окупаемости. Многие руководители не готовы вкладывать деньги в такие проекты.

Правильно составленная программа энергосбережения предприятия поможет качественно оценить первоочередные моменты в реализации организационных и технических мероприятий, позволит детализировать финансовое состояние обеспечения существующей ранее программы энергосбережения. Одним из важнейших пунктов реализации этой программы является материальная заинтересованность персонала. До каждого работника предприятия должна быть доведена информация правильности действий для выполнения мероприятий, утвержденных программой энергосбережения.

Для гарантии правильности выбранных мероприятий прибегают к анализу известных успешно внедренных проектов из опыта других стран. Для успешной реализации проектов по энергосбережению требуются комплексные меры в технических и экономических аспектах.

Замена устаревшего осветительного оборудования на современные светодиодные лампы – первый шаг в экономии. Максимальное

использование световых проемов в цехах для естественного освещения в дневное время может существенно снизить использование ламп. Установка датчиков освещенности и реле времени исключит человеческий фактор. Использование частотных приводов и устройств плавного пуска позволит снизить нагрузки на электроприводах и увеличить срок их службы. Покраска стен помещений в светлые тона снизит расход электроэнергии.

Замена и своевременный ремонт сантехнического оборудования снизит потери воды, газа и сжатого воздуха (ведь из капающего крана за сутки набирается ведро воды). Потери из трубопровода со сжатым воздухом приводят к частому включению компрессорного оборудования и, соответственно, к увеличению расхода электроэнергии.

Правильное утепление помещений позволяет снизить расходы на газ и тепловую энергию. Модернизация тепловых пунктов, оснащение современными приборами учета и установка точных датчиков. Использование современных материалов для изоляции теплотрасс снизит потери еще на пути к потребителю. Модернизация котельных, перевод на более дешевый вид топлива даст хорошую экономию в долгосрочной перспективе.

Предприятия в России уже начали внедрение энергосберегающих технологий, но активная реализация происходит медленно. Это связано с долгосрочной окупаемостью таких проектов из-за дороговизны и отсутствием на предприятиях свободных средств для их реализации.

Литература

1. Тупикина А. А. Энергетическая эффективность российской экономики: динамика показателей по ключевым секторам // Бизнес. Образование. Право. 2015. № 2 (31). С. 219–222.

2. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: Федеральный закон от 23.11.2009 г. № 261-ФЗ [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_93978/ (дата обращения: 23.01.2020).

3. Романова А. М., Стародубцева О. А. Переход к энергосберегающим технологиям – выход промышленных предприятий на новый уровень // Производственный менеджмент: теория, методология, практика: сб. матер. 11 Междунар. науч.-практ. конф. (Новосибирск, 7 дек. 2017 г.). Новосибирск: Изд-во ЦРНС, 2017.

УДК 621.316

ПРИВЛЕЧЕНИЕ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ К УПРАВЛЕНИЮ СПРОСОМ НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ

¹Ленючева Анастасия Дмитриевна, ²Матюнина Юлия Валерьевна

ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», г. Москва

¹N-Lenucheva@yandex.ru, ²MatiuninaYV@mpei.ru

Оценивается эффективность работы потребителя по регулированию графика нагрузки с учетом тарифной политики розничного рынка электроэнергии. Рассмотрены механизмы привлечения потребителей к управлению спросом на электроэнергию.

Ключевые слова: потребитель розничного рынка; управление спросом; ценозависимое потребление.

ATTRACTING CONSUMERS TO ELECTRICITY DEMAND MANAGEMENT

¹Lenyucheva Anastasiya Dmitrievna, ²Matyunina Yulia Valeryevna

MPEI, Moscow

¹N-Lenucheva@yandex.ru, ²MatiuninaYV@mpei.ru

The effectiveness of the consumer's work on regulating the load schedule taking into account the tariff policy of the retail electricity market is estimated. The mechanisms of attracting consumers to the management of demand for electricity are considered.

Key words: consumer of the retail market; demand management; price-dependent consumption.

Электричество нельзя запастись впрок, она одновременно производится и потребляется, поэтому производители электроэнергии не могут влиять на спрос, что мешает эффективному функционированию рынка электрической энергии [1]. Для выравнивания графика нагрузки энергосистемы – снижения дневного максимума и уменьшения ночного провала – на протяжении многих лет создавались экономические механизмы, стимулирующие потребителей: двухставочные тарифы на электроэнергию, тарифы, дифференцированные по зонам суток (двухзонный и трехзонный).

Создание оптового и розничного рынков электроэнергии, переход к почасовому учету потребления электроэнергии также способствуют выравниванию графиков нагрузки за счет изменения тарифов в зависимости от спроса и времени суток. Но спрос на электроэнергию неэластичен, даже несмотря на высокую стоимость в часы пик (часы максимальной цены), потребители все равно не снижают нагрузку.

Рассмотрим, выгодно ли потребителю снижать нагрузку в часы максимума энергосистемы, изменяя режимы работы оборудования для переноса нагрузки на другие часы. Для этого проанализируем тарифы на электроэнергию для третьей ценовой категории в г. Москва за август и ноябрь 2019 г. [2]. Основное внимание уделим рабочим дням, так как для выходных и праздничных дней проблема снижения максимума не так актуальна.

Поскольку тарифы на розничный рынок транслируются с оптового рынка электроэнергии, то фактически они определяются спросом и предложением в каждый час суток и не остаются постоянными. Для потребителей, покупающих электроэнергию на уровне напряжения СН I (среднее напряжение 6, 10, 20 кВ) ставки для фактических почасовых объемов не превышали 3000 руб./МВт·ч ночью, с времени 0.00 до 7.00 в августе и с 22.00 до 8.00 в ноябре. В дневное время тарифы находятся в пределах от 3000 до 3500 руб./МВт·ч, то есть в течение суток тарифы могут изменяться более чем на 30 %.

Следует отметить, что в ноябре 2019 г. тарифы оказались в среднем ниже, чем в августе, но причины такого снижения мы не анализировали.

Для оценки, выгодно ли потребителю снижать свое электропотребление в часы максимума, использовали тарифный калькулятор на сайте Мосэнергосбыта [2]. Для работы с программой необходимо указать ценовую категорию, уровень напряжения, тип присоединения, диапазон максимальной мощности, объемы потребления мощности и электроэнергии за выбранный период. Также выбирается профиль потребления (можно задать вручную по часам).

В качестве примера заданы такие условия: субъект потребляет электроэнергию на среднем напряжении в городе Москве по третьей ценовой категории, тип присоединения – основной, диапазон максимальной мощности – от 670 кВт до 10 МВт, максимальная мощность – 2000 кВт в месяц, профиль потребления задан вручную. Профиль будем задавать упрощенно для предельных случаев

равномерной нагрузки и со значительными объемами снижения. Профиль задается в процентах для каждого часа от суточного электропотребления. Работа объекта – преимущественно в дневное время, в ночной период потребление минимально.

Общий вид тарифного калькулятора представлен на рис. 1. Приведен предельный случай, когда с 9 до 19 ч нагрузка практически постоянна (профиль 1). При этом плата за электроэнергию за месяц ориентировочно составит 3461750 руб. (расчеты ведутся по усредненным тарифам).

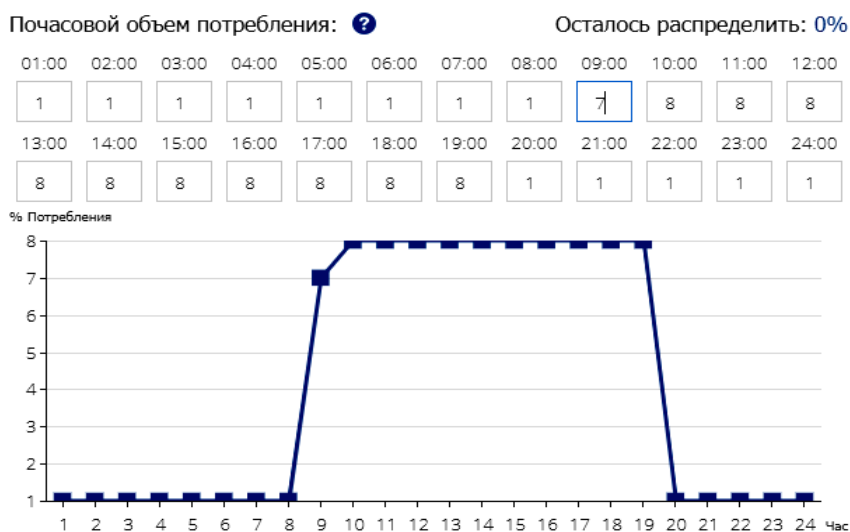


Рис. 1. Общий вид тарифного калькулятора при расчете по профилю 1

Рассмотрим еще два профиля нагрузки. Все рассмотренные варианты в период с 9 до 19 ч сведены в таблицу. В остальные часы электропотребление неизменно, по 1 % от суточного. Профиль 2 – снижаем максимальную нагрузку примерно на 10 % на 5 ч в утренние часы максимума, с увеличением нагрузки в другие рабочие часы. Профиль 3 – значительно снижаем нагрузку в часы максимума с перераспределением нагрузки на другие часы.

Использованные профили нагрузки

Профиль	Распределение потребления, %, по часам										
	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00
1	7	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
2	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8
3	5	5	5	5	5	10,5	10,5	10,5	10,5	10	10

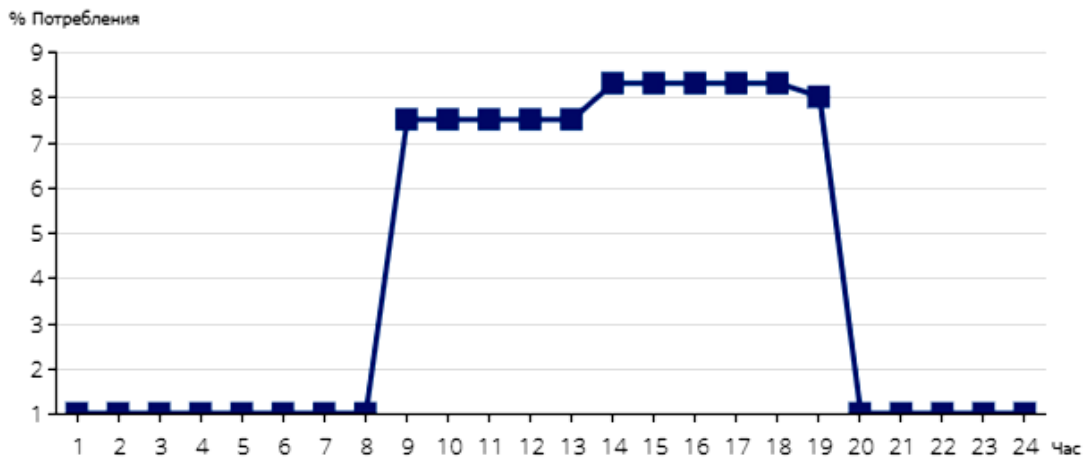


Рис. 2. Профиль 2

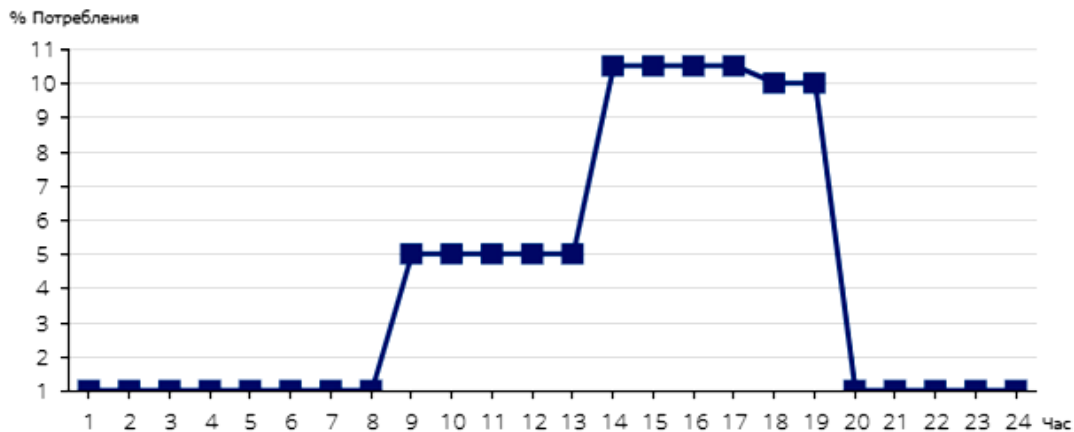


Рис. 3. Профиль 3

Тарифный калькулятор определяет плату за электроэнергию при выполнении профиля 2 в 3461188 руб., а при выполнении профиля 3 – в 3464038 руб., т. е. плата за электроэнергию фактически не меняется. Таким образом, потребитель практически не получит эффекта от разницы цен на розничном рынке при достаточно сложном регулировании графика нагрузки.

Поэтому для привлечения потребителей к управлению спросом необходимы другие механизмы, напрямую определяющие финансовую заинтересованность потребителя. В 2019 г. было принято Постановление Правительства Российской Федерации № 287 от 20.03.2019 [3], внесшее поправки в «Правила отбора субъектов электроэнергетики и потребителей электрической энергии, оказывающих услуги по обеспечению системной надежности, и оказания таких услуг» [4].

Потребителям предлагается получать индивидуальный экономический эффект (плату за оказание услуг) за участие в выравнивании графика нагрузки путем снижения потребления электроэнергии, а именно: за изменение режима работы энергопринимающего устройства и (или) изменение режима работы объектов генерации (находящихся в собственности потребителя) установленной генерирующей мощностью менее 25 МВт, или с использованием накопителей электрической энергии.

Для участия в управлении спросом потребитель должен пройти конкурсный отбор, подав заявку системному оператору с приложенными необходимыми документами. Потребитель сам определяет количество последовательных часов в сутки (2 или 4), когда он сможет обеспечить готовность к оказанию услуг, в зависимости от этого коэффициент учета объема оказанных услуг будет составлять соответственно 0,5 или 1.

В настоящее время АО «Мосэнергосбыт» начал привлекать потребителей – объекты малого и среднего бизнеса – к участию в управлении спросом в соответствии с этим механизмом. При этом потребителю, принимающему участие в проекте, будут подаваться сигналы на снижение потребления в определенные часы, не более 5 раз в месяц. От потребителя требуется почасовой учет и дистанционная передача данных.

АО «Мосэнергосбыт» будет выступать как агрегатор спроса, взаимодействующий с оператором рынка. По итогам расчетного периода оператор рынка оплатит определенную сумму агрегатору, а тот рассчитается с потребителями – участниками проекта. По оценочным расчетам, за снижение максимума нагрузки на 0,5 МВт (в заданные часы) в течение пяти 4-часовых периодов в месяц потребитель может получить около 200 тыс. руб. Это гораздо выгоднее и эффективнее самостоятельного переноса максимума нагрузки, как показано выше.

По оценке председателя рабочей группы Национальной технологической инициативы «Энерджинет» О. Гринько «Реально достижимый и экономически оправданный потенциал управления спросом для ЕЭС России оценивается на уровне 4–6 ГВт. Сводный экономический эффект от управления спросом в России в перспективе может составить 67–105 млрд руб. в год» [5].

Привлечение потребителей к участию в управлении спросом, таким образом, окажется экономически выгодным и субъектам электроэнергетики, и потребителям.

Литература

1. Некрасов С. А., Матюнина Ю. В., Цырук С. А. Оптимизация электроснабжения с целью выравнивания графика нагрузки и снижения энергозатрат // Промышленная энергетика. 2015. № 5. С. 2–8.

2. Сайт АО «Мосэнергосбыт» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mosenergosbyt.ru/> (дата обращения: 23.01.2020).

3. О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации по вопросам функционирования агрегаторов управления спросом на электрическую энергию в Единой энергетической системе России, а также совершенствования механизма ценозависимого снижения потребления электрической энергии и оказания услуг по обеспечению системной надежности: постановление Правительства РФ от 20.03.2019 г. № 287 [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_320896/ (дата обращения: 23.01.2020).

4. О порядке отбора субъектов электроэнергетики и потребителей электрической энергии, оказывающих услуги по обеспечению системной надежности, и оказания таких услуг, а также об утверждении изменений, которые вносятся в акты Правительства Российской Федерации по вопросам оказания услуг по обеспечению системной надежности: постановление Правительства РФ от 3 марта 2010 г. № 117 [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_98460/ (дата обращения: 23.01.2020).

5. В НТИ сообщили, сколько может составить экономия при управлении спросом на электроэнергию [Электронный ресурс]. URL: <https://tass.ru/ekonomika/7177025> (дата обращения: 23.01.2020).

УДК 620.179.14

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ПОДСТАНЦИИ

¹Максимочкин Игорь Николаевич, ²Минлибаев Муслим Рафаэльевич

Филиал ФГБОУ ВО УГНТУ в г. Салавате, г. Салават

¹maksimochkin2771@gmail.com, ²muslimmr@rambler.ru

Системой собственных нужд подстанции является комплекс элементов, обеспечивающих устойчивую, безопасную и эффективную работу основных устройств электрической станции за счет электроснабжения внутренних приемников подстанции оперативным постоянным и переменным током. Прерывание работы

систем собственных нужд подстанции в случае аварий и повреждений может привести к отключению подстанции и к проблемам при дальнейшем включении ее в работу. Поэтому для надежной и безопасной работы систем собственных нужд подстанции требуется руководствоваться выбором надежного и качественного оборудования.

Ключевые слова: трансформаторы, собственные нужды, подстанции, ток, напряжение, эффективность.

MODERNIZATION OF THE SUBSTATION'S OWN NEEDS

¹Maksimochkin Igor Nikolaevich, ²Minlibaev Muslim Rafaelevich

Branch of USPTU in Salavat, Salavat

¹maksimochkin2771@gmail.com, ²muslimmr@rambler.ru

The substation's own needs system is a set of elements that ensure stable, safe and efficient operation of the main devices of the power plant, due to the power supply to the substation's internal receivers with operational direct and alternating current. Interruption of the auxiliary systems of the substation's own needs, in the event of accidents and damage, can lead to the shutdown of the substation and to problems when it is further turned on. Therefore, for reliable and safe operation of the substation's own needs systems, it is necessary to be guided by the choice of reliable and high-quality equipment.

Keywords: transformers, own needs, substations, current, voltage, efficiency.

Системой собственных нужд подстанции является комплекс элементов, обеспечивающих устойчивую, безопасную и эффективную работу основных устройств электрической станции за счет электропитания внутренних приемников подстанции оперативным постоянным и переменным током. Прерывание работы систем собственных нужд подстанции в случае аварий и повреждений может привести к отключению подстанции и к проблемам при дальнейшем включении ее в работу [1–5].

Приемники электрической энергии разделяются на 3 группы. Согласно определению, из ПУЭ п. 1.2.18: «Электроприемники первой категории – электроприемники, перерыв электроснабжения которых может повлечь за собой опасность для жизни людей, угрозу для безопасности государства, значительный материальный ущерб, расстройство сложного технологического процесса, нарушение функционирования особо важных элементов коммунального хозяйства,

объектов связи и телевидения». Такими механизмами в системе собственных нужд подстанции являются:

- система охлаждения силовых трансформаторов;
- сети аварийного освещения, система пожаротушения;
- система подогрева приводов разъединителей и подогрева шкафов КРУ;
- система оперативного управления, связи и телемеханики.

Прерывания в работе данных механизмов недопустимо. Для исключения аварийных ситуаций и выхода из строя ответственных механизмов системы собственных нужд подстанции должно оборудоваться следующими видами оборудования:

- трансформаторы собственных нужд;
- независимый источник питания;
- распределительное устройства среднего напряжения;
- щит собственных нужд (два или три ввода с АВР);
- система оперативного постоянного тока, включающую зарядно выпрямительные устройства, аккумуляторные батареи и щиты постоянного тока;
- распределительные шкафы и панели оперативного тока, автоматизированная система для интеграции оборудования собственных нужд в АСУТП подстанций.

Для надежной и безопасной работы систем собственных нужд подстанции требуется руководствоваться выбором надежного и качественного оборудования. Сейчас на рынке электрооборудования для оснащения электрических подстанций можно найти разнообразные виды оборудования от европейских и российских производителей [6, 7]. Нами проведен небольшой обзор вариантов надежного и качественного оборудования.

Например, для защиты трансформаторов от токов короткого замыкания и токов перегрузки компания АВВ предлагает следующее предложение – защита на предохранителях, включающая в себя следующие наименования:

- выключатели нагрузки с предохранителями серии *SlimLine XR*;
- выключатель нагрузки/разъединителей под предохранителями серии *Inline II*.

Также для защиты от токов короткого замыкания и токов перегрузки, а также для контроля и мониторинга состояния энергосистемы компания АВВ предлагает НКУ *NeoGear* с применением инновационной системы изолированных шин, обеспечивающих высочайший уровень безопасности.

В свою очередь компания *Ensto* предлагает *Ensto Voltage Booster* – устройство для повышения качества электроснабжения путем повышения уровня напряжения удаленных потребителей 0,4 кВ.

Литература

1. Баширов М. Г., Грибовский Г. Н., Галлямов Р. У., Гареев И. М., Хисматуллин А. С. Рекомендации по повышению надежности электроснабжения промышленной площадки линейно-производственного управления магистральных газопроводов // Электротехнические системы и комплексы. 2016. № 2 (31). С. 23–26.

2. Баширов М. Г., Прахов И. В., Хисматуллин А. С., Хуснутдинова И. Г. Совершенствование методов оценки технического состояния силовых трансформаторов // Промышленная энергетика. 2018. № 7. С. 2–10.

3. Кривоконева О. О., Кудояров Р. И., Мавлекаев Е. Ю., Коныс Е. М., Прахов И. В., Хисматуллин А. С. Продление ресурса масляных трансформаторов с длительным сроком эксплуатации // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. 2017. Т. 17. № 3. С. 60–66.

4. Хисматуллин А. С., Хисматуллин А. Г., Камалов А. Р. Исследование теплопереноса в промышленных силовых трансформаторах с элегазовым охлаждением // Экологические системы и приборы. 2017. № 2. С. 29–33.

5. Хисматуллин А. С., Кофанов М. В., Каримов Ш. Д., Оснач А. А., Шантиев Е. И. Фильтрация элегаза в модернизированной системе охлаждения масляного трансформатора // Наука и бизнес: пути развития. 2019. № 5 (95). С. 149–153.

6. Khismatullin A. S. Method for increasing oil resources transformers with longterm operation // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Pp. 22058.

7. Khismatullin A. S. Automated software to determine thermal diffusivity of oilgas mixture // Journal of Physics: Conference Series. 2018. Vol. 1015. Pp. 52013.

УДК 66.074.2

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПЛОТНОСТИ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ НА СТЕПЕНЬ ОЧИСТКИ ГАЗА

¹Петрова Татьяна Сергеевна, ²Салеева Анастасия Николаевна,
³Имамиева Зарина Ривкатовна
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
¹vadd_93@mail.ru

В работе рассмотрена актуальная задача повышения эффективности улавливания мелкодисперсных частиц из технологических запыленных газовых потоков на промышленных предприятиях. Разработан прямоугольный сепаратор, позволяющий улавливать из газовых потоков мелкодисперсные частицы размером 1–10 мкм. Установка сепаратора в качестве второй очистительной ступени после аппарата грубой очистки позволит предотвратить унос ценного материала в атмосферу.

Ключевые слова: циклон, пылеосадительная камера, циклон, сепаратор, многофазный поток, запыленный поток, мелкодисперсные частицы.

ESTIMATION OF INFLUENCE OF DENSITY OF FINE PARTICLES ON DEGREE OF GAS PURIFICATION

¹Petrova Tatyana Sergeevna, ²Saleeva Anastasiya Nikolaevna,
³Imamieva Zarina Rivkatovna
KSPEU, Kazan
vadd_93@mail.ru

The current task of increasing the efficiency of collecting fine particles from process dusty gas flows at industrial enterprises is considered. Rectangular separator is developed, which allows to collect fine particles of 1-10 mcm size from gas flows. Installation of the separator as the second cleaning stage after the coarse cleaning apparatus will prevent loss of valuable material into the atmosphere.

Keywords: cyclone, dust settling chamber, cyclone, separator, multiphase flow, dust flow, fine particles.

В связи с повышением санитарных норм к чистоте атмосферного воздуха вблизи электростанций, промышленных котельных и других предприятий возникает необходимость в модернизации существующих технологических очистных систем газовых потоков. С каждым годом

актуальность данной проблемы возрастает: рост промышленных предприятий, использующих твердое топливо, приводит к увеличению доли низкосортных углей, которые добываются наиболее экономичным открытым способом. Из-за ухудшения качественных характеристик энергетических углей на предприятиях внедряются новые эффективные системы и оборудования для приготовления и сжигания угольной пыли, вследствие использования которых происходит резкое возрастание доли мелких фракций золы и угля. Таким образом, при сжигании низкокалорийных топлив увеличивается общее количество золы и угольной пыли, подлежащих очистке, что усложняет решение проблемы защиты окружающей среды. Следует отметить, что осложнение очистки газовых выбросов от твердых частиц также связано с уменьшением степени дисперсности частиц золы и угольной пыли. Поэтому возникает необходимость в разработке новых устройств для очистки газовых потоков.

Для решения проблемы авторами данной работы был разработан прямоугольный сепаратор (рис. 1). Устройство представляет собой компактный прямоугольный корпус, внутри которого расположено несколько рядов элементов, соединенных поперечными пластинами. Размеры прямоугольного сепаратора подбираются в зависимости от конфигурации воздуховода, по которому движется запыленный поток. Ранее проведенные исследования показали, что эффективность улавливания мелкодисперсных частиц размером 1–10 мкм из запыленных потоков прямоугольным сепаратором составляет не ниже 50 %, для частиц размером более 10 мкм эффективность составляет более 99 % [1–4].



Рис. 1. Трехмерная модель прямоугольного сепаратора с элементами формы двутавров

Прямоугольный сепаратор предлагается интегрировать в технологическую очистную систему газовых потоков после циклона, золоуловителя или другого аппарата грубой очистки. Таким образом, технологическая очистная система газовых потоков будет включать две ступени очистки: первая ступень – аппараты грубой очистки (циклоны, золоуловители и др. аппараты), позволяющие улавливать из газов крупно- и среднедисперсные частицы, вторая ступень – прямоугольный сепаратор, позволяющий улавливать из газов мелкодисперсные частицы.

Одной из важных задач при проектировании большинства аппаратов является определение наиболее эффективных технологических параметров. Поэтому целью данной работы является исследование влияния различных технологических параметров на эффективность работы прямоугольного сепаратора.

Настоящее исследование проводилось путем численного моделирования в программном комплексе *ANSYS Fluent*. Для упрощения расчетов была построена двухмерная модель прямоугольного сепаратора. Переход от трехмерной модели к двухмерной обусловлен тем, что геометрия элементов по высоте не изменяется. Стоит отметить, что поперечные пластины, выполняющие роль укрепления конструкции, которые располагаются в верхней и нижней частях прямоугольного сепаратора, в ходе расчетов двухмерных моделей не учитывались, вследствие того, что они не влияют на принцип действия устройства, также их влияние на гидравлическое сопротивление аппарата мало.

В работе рассматривалось несколько форм элементов: двутавровые, дугообразные и П-образные. Длина элементов составляла 14 мм. Для повышения эффективности улавливания мелкодисперсных частиц из газовых потоков ряды элементов относительно друг друга располагались таким образом, чтобы достигалось максимальное значение центробежной силы. Для этого необходимо выполнение следующего условия: окружность, проведенная из центра выступа двутаврового элемента, должна проходить через выступы соседних рядов элементов. На входе и выходе из устройства задавалась входная скорость газового потока W в диапазоне 3–25 м/с и атмосферное давление, равное 10^5 Па, соответственно. Для оценки эффективности улавливания мелкодисперсных частиц из газового потока на входе в устройство задавалось определенное количество частиц $n = 1000$. После проведения каждого расчета на выходе из устройства фиксировалось количество частиц n_k , которые остались в газовом потоке после очистки.

Эффективность сепарации мелкодисперсных частиц размером 1–10 мкм и плотности $\rho_a = 1000 \text{ кг/м}^3$ из газового потока в среднем равна 84, 80 и 78 % для двутавровых, дугообразных и П-образных элементов, соответственно, при скорости газового потока $W = 8 \text{ м/с}$. Увеличилась эффективность сепарации мелкодисперсных частиц размером 1–5 мкм из газового потока при росте скорости газового потока от 5 до 8 м/с на 3, 1 и 0,5 % для двутавровых, П-образных и дугообразных элементов, соответственно (рис. 2).

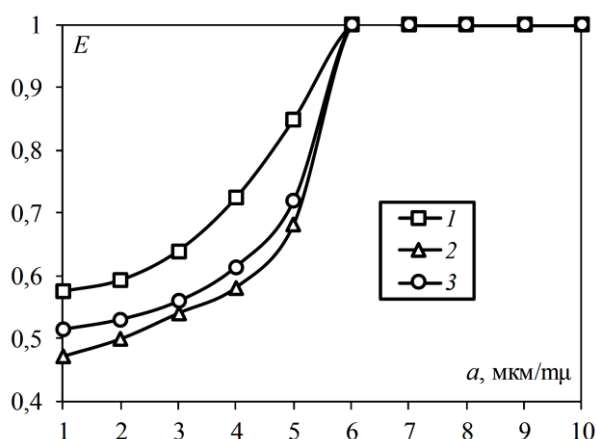


Рис. 2. Зависимость эффективности сепарации газового потока от размера мелкодисперсных частиц при различных формах сепарационных элементов: 1 – двутавровые; 2 – П-образные; 3 – дугообразные. Входная скорость газового потока $W = 8 \text{ м/с}$

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ № МК – 616.2020.8

Литература

1. Дмитриев А. В., Зинуров В. Э., Дмитриева О. С., Поляков А. И. Эффективность входной ступени прямоугольных сепараторов // Вестник технологического университета. 2018. Т. 21. № 11. С. 66–69.
2. Дмитриев А. В., Зинуров В. Э., Дмитриева О. С., Ву Линь Нгуен. Улавливание частиц из дымовых газов прямоугольными сепараторами // Вестник Иркутского технического университета. 2018. Т. 22. № 3(134). С. 138–144.
3. Дмитриев А. В., Зинуров В. Э., Дмитриева О. С., Семенова Ю. О. Экспериментальные исследования очистки загрязненных газовых потоков от мелкодисперсных частиц в прямоугольном сепараторе // Вестник технологического университета. 2018. Т. 21. № 12. С. 109–112.

4. Зинуров В. Э., Дмитриев А. В., Соловьева О. В., Латыпов Д. Н. Влияние загрязнения пылеочистительного сепаратора мелкодисперсной пылью на энергетические затраты в ходе его эксплуатации // Вестник технологического университета. 2019. Т. 22. № 8. С. 33–37.

УДК 621.444

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОТЫ СБРОСНОГО ПАРА В СИСТЕМАХ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ЗАО «ЗАВОД АВТОКЛАВНОГО ГАЗОБЕТОНА»

¹Пташкина-Гирина Ольга Степановна, ²Волкова Ольга Сергеевна,
³Шавшаева Алина Игоревна
ФГБОУ ВО Южно-Уральский ГАУ, г. Челябинск
¹girina2002@mail.ru, ²olgamezhenina@mail.ru, ³alinashavshaeva@mail.ru

В работе был произведен анализ потенциала сбросного тепла в технологии производства газобетона методом автоклавного твердения на примере ЗАО «Завод автоклавного газобетона». Предложено использование влажно-паровой центростремительной микротурбины, утилизирующей теплоту сбросного пара на выходе из автоклава. Предложена схема теплоснабжения в системах отопления и горячего водоснабжения, а также производства электрической энергии для снабжения собственных нужд предприятия.

Ключевые слова: сбросная теплота, сбросной пар, тепловая энергия, энерго-снабжение, теплоснабжение, паровая микротурбина, энергосберегающие технологии.

USE OF WASTE STEAM HEAT IN POWER SUPPLY SYSTEM AT AUTOCLAVE AERATED CONCRETE PLANT

¹Ptashkina-Girina Olga Stepanovna, ²Volkova Olga Sergeevna,
³Shavshaeva Alina Igorevna
FSBEI HE SUSAU, Chelyabinsk,
¹girina2002@mail.ru, ²olgamezhenina@mail.ru, ³alinashavshaeva@mail.ru

The paper analyzes the potential of waste heat in the production technology of aerated concrete by autoclave hardening at the autoclave aerated concrete plant. It is proposed to use a wet-steam micro turbine that recovers the heat of the waste steam at the outlet of the autoclave. It is proposed the scheme of heat supply in systems of heating and also production of electric energy for supply own needs of plant is offered.

Keyword: waste heat, waste steam, thermal energy, energy supply, heat supply, steam micro turbine, saving technology.

Использование вторичных энергетических ресурсов, в том числе тепловых (теплоты пара, горячей воды, конденсата и т.д.) на сегодняшний день является актуальным методом энергосбережения на предприятиях.

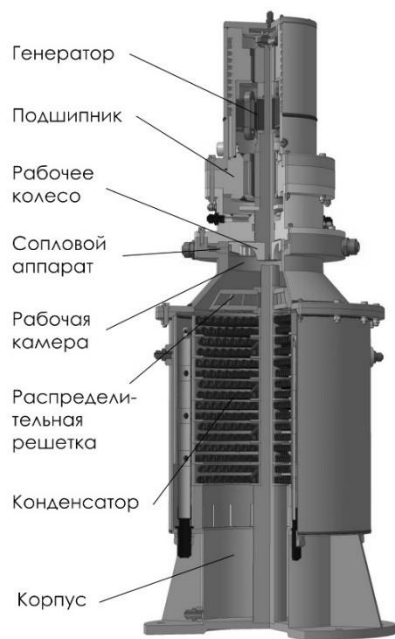
Перед авторами ставилась задача провести анализ теплового баланса технологии производства газобетона на базе ЗАО «Завод автоклавного газобетона». Изучив технологию, было выяснено, что для улучшения свойств выпускаемой продукции на предприятии применяется технология автоклавного твердения газобетонных блоков. В результате данной технологии в автоклавы поступает пар из собственной котельной, и после 12-часового цикла пропарки блоков он сбрасывается в атмосферу.

Анализ технологической линии производства газобетона данным методом позволил определить, что тепловая мощность сбросного пара составляет 335 кВт, при этом, согласно его параметрам (давление 5 бар, средняя температура составляет 145 °С), его можно отнести к источнику низкопотенциальной энергии [1–3]. Кроме того, поток сбросного пара неравномерен, длится в течение 2 ч после 12-часового цикла твердения газобетонных блоков. На производстве установлены пять автоклавов, но в связи с разной загруженностью производства не всегда все они находятся в работе, что также влияет на возможность использования сбросного пара в качестве постоянного источника теплоты [4, 5].

Авторами была предложена схема утилизации теплоты отработанного пара с помощью влажно-паровой центростремительной микротурбины, разработанной ООО НПО «Донские технологии», с целью подключения системы отопления, горячего водоснабжения и электроснабжения собственных нужд предприятия.

Влажно-паровая турбина представляет собой герметичный корпус, в котором размещены турбинное колесо, генератор и конденсатор (рис. 1) [6].

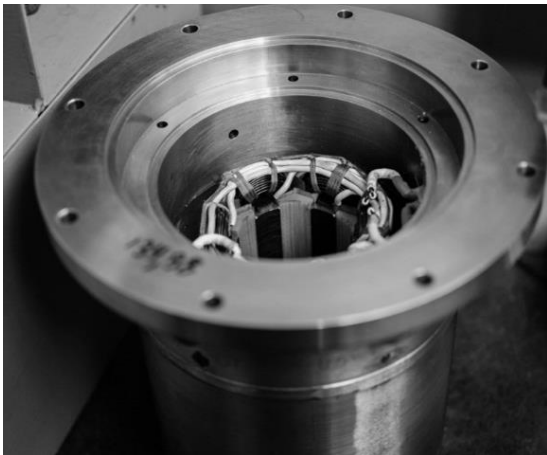
Принцип действия центростремительной влажно-паровой турбины заключается в следующем. В самом начале острый пар попадает внутрь корпуса и, проходя через статичный сопловой аппарат, поступает на лопасти турбины, где тепловая энергия пара преобразуется в механическую энергию вращения ротора. Отработанный в турбине пар поступает в конденсатор, расположенный внутри корпуса влажно-паровой турбины, в котором отдаёт свое тепло поверхностям теплообменника и конденсируется. Внутри самих поверхностей теплообменника протекает охлаждающая вода, которая также осуществляет охлаждение генератора и подшипников [7, 9].



а)



б)



в)



г)

Рис. 1. Конструкция влажно-паровой турбины [6]:

а – конструкция; б – внешний вид; в – статор генератора; г – конденсатор

Особенности влажно-паровой турбины:

- работает при температуре пара на входе не более 160 °С;
- вырабатывает 5–30 кВт электрической энергии;
- имеет независимое регулирование электрической и тепловой энергии;
- моторесурс составляет 200–300 тыс. ч;
- вертикальная конструкция позволяет облегчить нагрузку на подшипники;

– применение центростремительной схемы движения пароводяной среды позволяет применять заданный теплоперепад в одной ступени давления [8].

Проведенный тепловой баланс здания предприятия площадью 148 м² показал, что требуемая мощность системы отопления составляет 11,33 кВт; тепловая мощность для подогрева воды в системе горячего водоснабжения при одновременной работе 75 человек – 6,79 кВт; энергопотребление здания – 18,25 кВт. Такие потребности могут быть покрыты при установке влажно-паровой турбины в системе энерго-снабжения собственных нужд предприятия. Схема установки представлена на рис. 2.

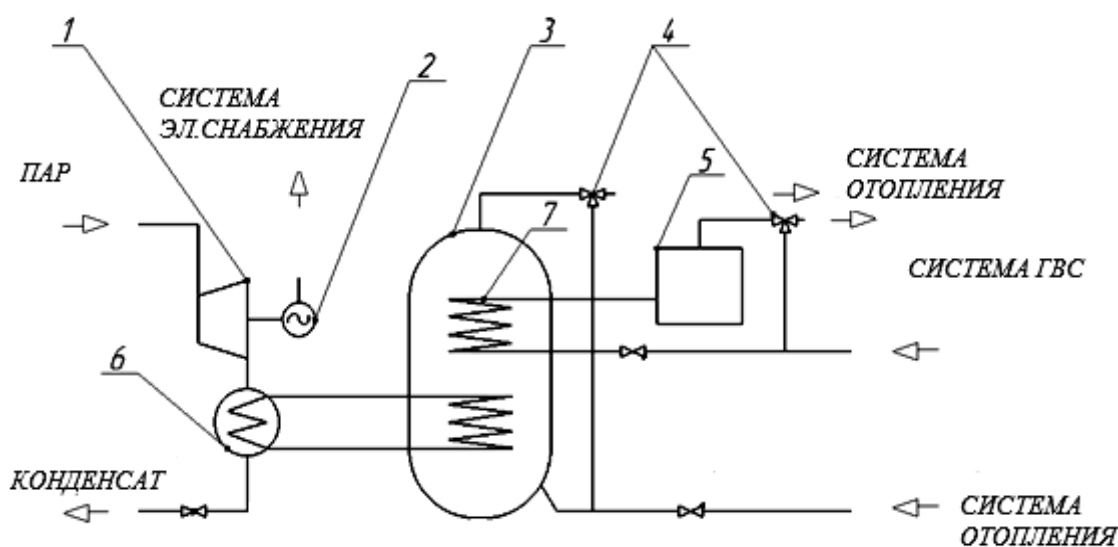


Рис. 2. Схема энергоснабжения предприятия с применением влажно-паровой турбины:
 1 – влажно-паровая турбина; 2 – электрический генератор; 3 – бак-аккумулятор;
 4 – трехходовой вентиль; 5 – бак-аккумулятор системы ГВС;
 6 – конденсатор; 7 – теплообменник

Принцип действия данной схемы: пар из автоклава, имеющий в самом начале температуру около 160 °С, поступает в паровую турбину, где происходит выработка электрической энергии за счет вращения ротора электрогенератора, расположенного на одном валу с ней. При этом вырабатывается около 30 кВт электрической мощности [9]. Отработанный в турбине пар в конденсаторе конденсируется за счет отвода теплоты охлаждающей жидкости, поступающей в бак-аккумулятор. Полученный конденсат направляется в питательный бак котельной для дальнейшего парообразования. Отведённого в конденсаторе тепла достаточно, чтобы нагреть 4 м³ воды в баке-аккумуляторе до 80 °С для использования в системе отопления. С баком-аккумулятором также связан контур

теплообменника системы горячего водоснабжения объемом $0,5 \text{ м}^3$. Трехходовые вентили обеспечивают регулирование температуры. После того, как цикл работы будет закончен, начнётся сброс пара нового автоклава, остывшая до $43 \text{ }^\circ\text{C}$ вода из конденсатора отводится питательным насосом обратно в общую систему нагрева воды для дальнейшего парообразования.

Представленная схема позволяет расширить представление о возможности использования вторичных энергоресурсов предприятия, а именно теплоты сбросного пара, открывает нишу для применения влажно-паровых микротурбин.

Литература

1. Tseyzer G., Ptashkina-Girina O., Guseva O. Efficiency of use of waste heat energy on the example of Chelyabinsk // International Scientific Conference on Energy, Environmental and Construction Engineering (EECE-2019). E3S Web of Conferences 140, 11003 (2019).

2. Пташкина-Гирина О. С., Гусева О. А., Козырева К. Н. Энергосберегающие технологии применения теплового насоса в системе вентиляции животноводческих помещений // Энергетика и энергосбережение: теория и практика: сб. матер. IV Всерос. науч.-практ. конф. Кемерово: КузГТУ, 2018. С. 162.

3. Жарков Е. В., Гусева О. А. Анализ эффективности работы теплонасосной установки от вида теплообменника в условиях южного Урала // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Атомная энергетика: матер. Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Екатеринбург: УрФУ им. Б.Н.Ельцина, 2018. С. 660–663.

4. Гусева О. А., Пташкина-Гирина О. С., Жарков Е. В. Исследование режимов работы теплообменных аппаратов для применения в испарителе теплонасосной установки // Экологическая безопасность и устойчивое развитие урбанизированных территорий: сб. докл. II Междунар. науч.-практ. конф. Нижний Новгород: ННГАСУ, 2019. С. 260–273.

5. Пташкина-Гирина О. С., Волкова О. С. Потенциальная работоспособность тепловой энергии естественных водоемов Челябинской области // Наука ЮУрГУ: матер. 70-й науч. конф. Челябинск: Южно-Уральский государственный университет, 2018. С. 483–488.

6. Влажно-паровая микротурбинная установка // Донские технологии / [Электронный ресурс]. URL: https://don-tech.ru/zavershenie_nir_okr/razrabotka-vlazhno-parovoj-mikroturbinnoj-stanovki-dlya-sistem-maloj-raspredelennoj-energetiki.html (дата обращения: 25.12.2019).

7. Микротурбинная установка для эффективного энергоснабжения автономных индивидуальных потребителей // Донские технологии / [Электронный ресурс]. URL: <http://don-tech.ru/wp-content/uploads/2014/05/Microturbinnaya-ustanovka.pdf>. (дата обращения: 25.12.2019).

8. Ефимов Н. Н., Малышев П. А., Паршуков В. И., Папин В. В., Безуглов Р. В. Вертикальная паровая турбина малой мощности. Патент РФ № 99541. 2010. Бюл. №32.

9. Папин В. В. Микроэнергокомплекс на базе влажно-паровой турбины, солнечного коллектора и теплового насоса: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Новочеркасск, 2013. 19 с.

УДК 621.3.052

ОДНОПРОВОДНАЯ ПЕРЕДАЧА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ С ПОМОЩЬЮ ФАЗОВРАЩАТЕЛЕЙ

¹Рудаков Александр Иванович, ²Киселев Игорь Николаевич

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

¹rud-38@mail.ru, ²igorkiselev17@gmail.com

Изложена идея однопроводной передачи электроэнергии с использованием фазовращателей, показано назначение трансформатора и обнулителя, приведена критическая точка зрения о данной системе. Рассмотрены достоинства данного метода передачи электроэнергии.

Ключевые слова: линия электропередачи, фазовращатель, трансформатор, обнулитель.

SINGLE-WIRED ELECTRICITY TRANSMISSION USING THE INVERTER

¹Rudakov Alexander Ivanovich, ²Kiselev Igor Nikolaevich

KSPEU, Kazan

¹rud-38@mail.ru, ²igorkiselev17@gmail.com

The idea of a single-wire power transmission using inverters is outlined, the purpose of a transformer and nullifier is shown, a critical point of view about this system is given. The advantages of this method of electric power transmission are considered.

Key words: power line, inverter, transformer, nullifier.

Как известно, для передачи электроэнергии от источника энергии к нагрузке нужно иметь два провода. При этом предполагается, что ток от генератора втекает в нагрузку по одному проводу и возвращается к генератору по другому проводу. Активная мощность передается от генератора в нагрузку и не возвращается обратно к генератору аналогично, например, распространению волн в одном направлении по одиночному каналу – волноводу или оптоволоконному кабелю [1, 3]. Поэтому можно считать, что и ток течет только от генератора в нагрузку и не возвращается по обратному проводу: по одному проводу течет ток I_1 , а по обратному – I_2 , т.е. эти токи имеют сдвиг по фазе 180° (рис. 1, а). Следовательно, для протекания тока также нужен только один канал, а прямой и обратный провода можно объединить, но для того, чтобы не было короткого замыкания нужно установить инверторы (фазовращатели) в цепи генератора и в цепи нагрузки, обеспечивающие сдвиг по фазе между токами равный 180° (рис. 1, б). Эта идея принадлежит профессору Иерусалимского технологического колледжа М. Банку [1].

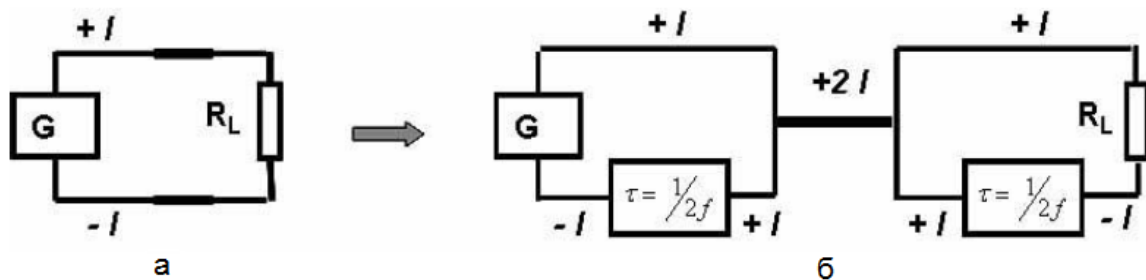


Рис. 1. Идея передачи электроэнергии с помощью фазовращателей:
а – схема двухпроводной линии, б – схема однопроводной линии

В качестве инвертора на низких частотах 50–60 Гц удобнее использовать трансформатор с коэффициентом трансформации, равным 1, и с встречным включением обмоток, причем потенциалы концов обмоток должны быть обязательно обнулены. Проще всего сделать обнуление с помощью заземляющего устройства.

Из моделирования однофазной однопроводной системы (рис. 2) в ПО *NI Multisim 14* можно сделать следующие выводы. Во-первых, в узле в начале линии ток от источника $V1$ и ток от инвертора $T1$ находятся в одной фазе и равны по амплитуде, что регистрируется осциллографом $XSC1$ (рис. 3). Значит, в линии по первому закону Кирхгофа течет удвоенный ток, что регистрируется амперметром. Во-вторых, ток течет через землю, т.к. амперметры U_5 , U_6 , U_7 показывают одинаковое значение тока. Критики данной системы передачи электроэнергии указывают

именно на это: ток течет по одному проводу и возвращается к источнику по земле через заземляющее устройство [2]. Таким же образом работает система для передачи электроэнергии под названием *SWER* (*Single Wire Earth Return*), причем в ней отсутствуют инверторы.

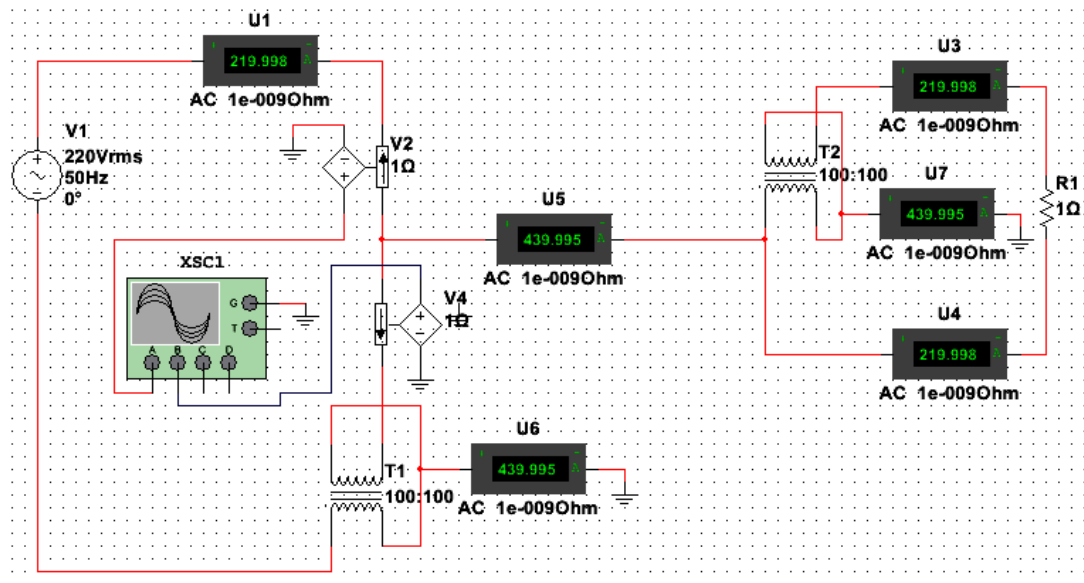


Рис. 2. Моделирование однофазной однопроводной системы

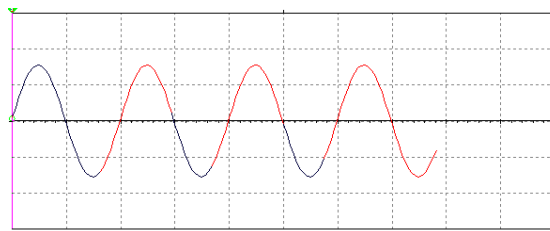


Рис. 3. Экран осциллографа XSC1

В этом отношении система *SWER* экономичнее, хотя у нее имеется недостаток – необходимость передачи по линии реактивной мощности, но этот недостаток легко нивелируется устройствами компенсации реактивной мощности [1]. Однако М. Банк утверждает, что проводимость земли мала (10^{-2} – 10^{-3} См) по сравнению с проводимостью проводов и не может выполнять функции обратного провода, задача земли – обнулить потенциалы концов обмоток трансформаторов [5]. Для подтверждения этого он в качестве обнулителя использовал экспериментальный земляной обнулитель, изолированный от земли непроводящей тканью, и контейнер, заполненный землей (рис. 4). Также в качестве обнулителя им предложена антенна [1].



Рис. 4. Земляные обнулители

Подобная система передачи электроэнергии разработана и для трехфазных цепей и позволяет три провода заменить на один с жилой такого же поперечного сечения [2]. В первой модели осуществляется преобразование трехфазного сигнала в однофазный при помощи инвертора, конденсатора и индуктивности (рис. 5). Однако при изменении нагрузки необходимо изменять C и L , чтобы обеспечить трехфазную симметричную систему напряжений [6]. Для этого нужна обратная связь. Чтобы снизить влияние изменений нагрузки, была разработана другая модель, схема которой приведена на рис. 6. Трансформатор $T3$ служит для поворота одного вектора трехфазной симметричной системы токов на 180° .

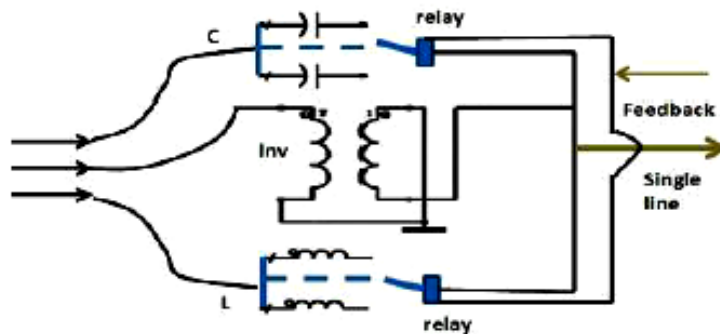


Рис. 5. Схема конвертора

В результате происходит геометрическое сложение этих векторов, и по линии передается однофазный сигнал. Трансформаторы $T4$ и $T9$ соответственно повышают и понижают величину напряжения, но их может не быть. В трансформаторах с встречно включенными обмотками используется рассмотренный выше обнулитель [7].

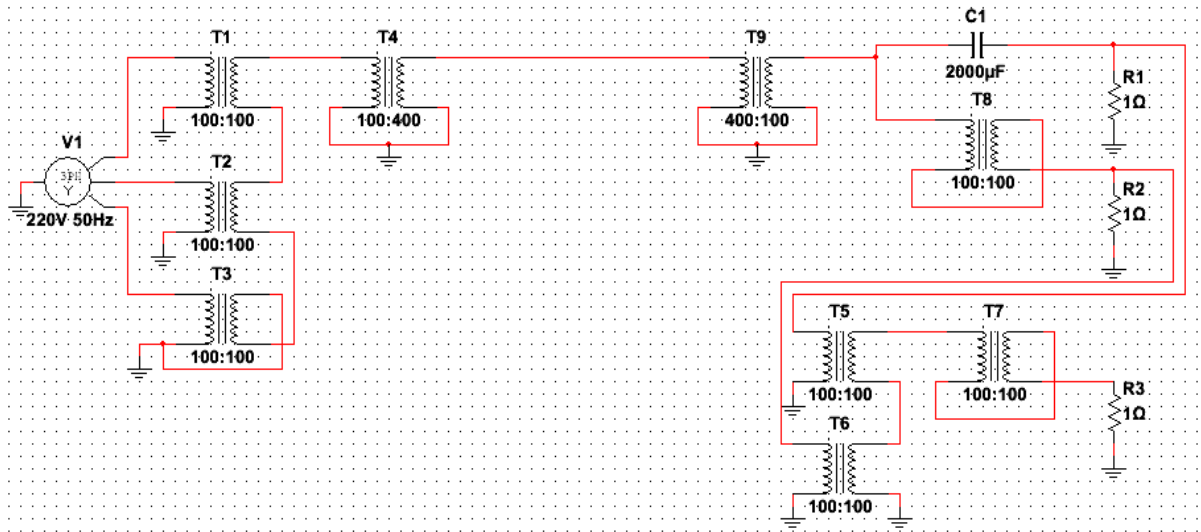


Рис. 6. Трехфазная однопроводная электропередача

Достоинствами данной системы являются упрощение конструкции опор ЛЭП и уменьшение количества проводов, исключение межфазных коротких замыканий, отсутствие коронного разряда, уменьшение влияния электромагнитных полей на человека и отсутствие взаимодействия между проводами, применение обнулителей, не вводящих ток в землю [1,4].

Литература

1. Банк М. Совсем Другое Электричество, передаваемое с помощью только одного провода / ред. А. Мальгинский. Иерусалим: Изд-во JCT, 2016. 69 с.
2. Bank M. Electrical Energy Transportation [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ofdma-manfred.com/> (дата обращения: 23.10.2019).
3. Рудаков А. И., Ильясов И. В. Применение явления резонанса в электроэнергетике для повышения энергоэффективности генерирующих систем // Матер. Междунар. науч. практ. конф. «Достижения совр. науки». София: Изд-во «Мир науки», 2016. С. 62–66.
4. Иванова В. Р., Киселев И. Н. Частотно-регулируемый электропривод для энергосбережения и оптимизации технологических процессов в электротехнических комплексах // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2019. № 21(5). С. 59–70.
5. Ivanova V. R., Fetisov L. V., Bulatov O. A. The Analysis of Measurements of Indicators of Quality of the Electric Power and Calculation of Economic Efficiency After Installation of the Booster Transformer

(Анализ замеров показателей качества электроэнергии и расчёт экономической эффективности после установки вольтодобавочного трансформатора) // 2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon). Vladivostok, 2018. Pp. 1–4. DOI: 10.1109/FarEastCon.2018.8602756.

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

7. Иванов И. Ю., Галеев Э. Г., Кузьмин И. Л. и др. Микропроцессорные устройства релейной защиты и автоматики линий электропередач: учеб. пособие. СПб.: ПЭИПК, «Северная звезда», 2016. 198 с.

УДК 621.613.13

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ХОЗЯЙСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРОСЕТЕВОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ

¹Сапрыкин Андрей Игоревич, ²Сизганова Евгения Юрьевна

ФГАОУ ВО «Сибирский государственный университет», г. Красноярск

¹andrich08@gmail.com, ²seu_eset@mail.ru

В статье представлена методика определения потребителей электрической энергии для реализации энергосберегающих мероприятий, образующих крупную систему типа техноценоз. Применение методики рассмотрено на примере совокупности объектов хозяйственных нужд предприятия электрических сетей Красноярского края. Последовательно отражены процедуры, образующие представленную методику: верификация исходной базы данных, получение рангового параметрического распределения, определение коэффициентов математической модели рангового параметрического распределения, интервальное оценивание и вычисление индекса жизнеспособности, которые позволяют определить объекты, в первую очередь, нуждающиеся в проведении энергетического обследования и применении энергосберегающих мероприятий.

Ключевые слова: техноценоз, ранговое распределение, объекты хозяйственных нужд, оценка, интервальное оценивание, аппроксимация, очередность энергоаудита, энергетическое обследование, электропотребление, энергосбережение, энергоэффективность.

METHODOLOGY FOR DETERMINING THE ESTABLISHMENT NEEDS OBJECTS OF THE ELECTRIC NETWORK ENTERPRISE FOR THE IMPLEMENTATION OF ENERGY-SAVING MEASURES

¹Saprykin Andrey Igorevich, ²Sizganova Evgeniya Yurevna

Siberian Federal University, Krasnoyarsk

¹andrich08@gmail.com, ²seu_eset@mail.ru

The article presents the methodology for determining electric energy consumers, which form a large system such as technocenosis, for the implementation of energy-saving measures. The application of the methodology is considered on a set of establishment needs objects of the enterprise of electric grids based in Krasnoyarsk region. The methodology consists of the following procedures, which are sequentially reflected in the article: verification of the initial database, obtaining the rank parametric distribution, determining the coefficients of a mathematical model of the rank parametric distribution, interval assessment and viability index calculation. These procedures allow a researcher to identify objects, that are primarily in need of energy inspection and the application of energy saving measures.

Keywords: technocenosis, ranking distribution, establishment needs objects, assessment, interval assessment, approximation, sequence of energy audits, energy audits, power consumption, energy economy, energy efficiency.

Задача комплексного анализа потребления электроэнергии является весьма трудоемкой, если выполняется в отношении большого количества объектов, различающихся по своей специфике. Примером может являться совокупность объектов хозяйственных нужд предприятия электрических сетей Красноярского края в количестве 158 штук. Они представляют собой вспомогательные и непромышленные подразделения, находящиеся на балансе электростанций и предприятий электрических сетей, необходимые для обслуживания основного производства, но непосредственно не связанные с технологическими процессами производства тепловой и электрической энергии на электростанциях, а также с передачей и распределением этих видов энергии [1].

Оценить энергетическую эффективность традиционными методами, основанными на определении эталонного электропотребления [2, 6, 7], весьма затруднительно ввиду необходимости детального рассмотрения технологического процесса каждого объекта. Помимо этого, отсутствие индивидуального учёта электроэнергии на ряде объектов вынуждает рассматривать их электропотребление совместно.

Для оценки энергетической эффективности объектов хозяйственных нужд был применен техноценологический подход, имеющий в своей основе универсальную модель техноценоза [3, 4]. В соответствии с классическим определением, введенным Б.И. Кудриным, под техноценозом понимается ограниченная во времени и пространстве взаимосвязанная совокупность более неделимых технических изделий (так называемых особей), соединенных слабыми связями, характер которых определяется конструктивной и во многом технологической независимостью отдельных технических изделий, а также разнообразием их функций. Единая конечная цель, достигаемая с помощью общих систем управления, обеспечения и т.д. обуславливает взаимосвязанность техноценоза.

Процедуры оценки энергоэффективности объектов техноценоза можно условно разделить на два этапа: предварительная обработка эмпирических данных и аналитический этап.

На первом предварительном этапе:

– показатели электропотребления рассматриваемых объектов за несколько предыдущих лет важно проверить на предмет неполных, отрицательных или нулевых данных. При их выявлении такие показатели были уточнены, скорректированы и приняты к дальнейшему использованию. Объекты, данные по электропотреблению которых не прошли верификацию, были исключены;

– проранжировать в порядке убывания, исходя из величины потребленной электроэнергии, рассматриваемые объекты, присвоив каждому номер по порядку (ранг), и получить ранговое параметрическое распределение (РПР), представленное на рис. 1 (для всего рассматриваемого периода предыстории);

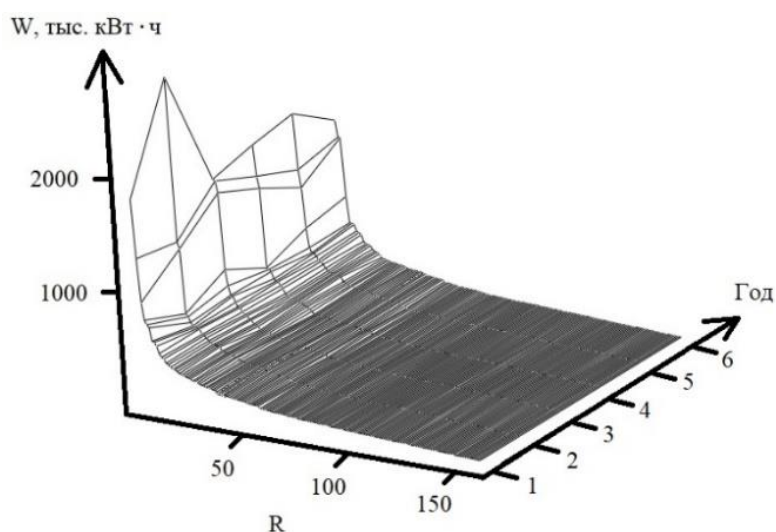


Рис. 1. Трёхмерная поверхность РПР: абсцисса – ранг объекта; ордината – временной интервал; аппликата – электропотребление

– определить коэффициенты математической модели РПР, которая имеет стандартную двухпараметрическую гиперболическую форму (1), описанную в [3].

$$W(r) = \frac{W_1}{r^\beta}. \quad (1)$$

Данная форма является не самой совершенной, однако она обладает значительным достоинством – сводит задачу аппроксимации к определению только двух параметров W_1 и β (см. таблицу).

Коэффициенты математической модели

	Временной интервал исследования (год)					
	1	2	3	4	5	6
W_1	$11,24 \cdot 10^6$	$9,55 \cdot 10^6$	$7,72 \cdot 10^6$	$8,66 \cdot 10^6$	$11,32 \cdot 10^6$	$11,25 \cdot 10^6$
β	1,212	1,165	1,118	1,184	1,270	1,265

На втором аналитическом этапе:

– охарактеризовать каждый объект техноценоза с точки зрения характера электропотребления, используя процедуру интервального оценивания РПР [3, 5];

– определить относительную величину отклонения точек от границ доверительного интервала и проранжировать их по этому показателю в порядке убывания, получив предварительный список очередности проведения энергетического обследования;

– вычислить индекс жизнеспособности [4] и уточнить на основании его очередность объектов для энергообследования.

РПР был разделен на ряд участков (интервалов) таким образом, что в каждый участок попало не менее 10–12 точек, а отклонения значений параметров, полученных экспериментально, от соответствующих теоретических значений, полученных с помощью аппроксимационной кривой, распределялись внутри участка по нормальному закону. Для каждого участка записано уравнение:

$$\frac{\Delta}{\sigma(\Delta\Theta)} = \Phi^{-1}\left(\frac{Pd}{2}\right), \quad (2)$$

где Δ – ширина доверительного интервала с одной стороны от кривой; $\sigma(\Delta\Theta)$ – среднеквадратичное отклонение теоретической кривой (эмпирически – стандарт) от точек, полученных экспериментально;

$\Phi^{-1}(t)$ – обратная функция Лапласа; p_d – доверительная вероятность, принимаемая априорно.

Решение уравнения (2) позволяет определить ширину доверительного интервала на каждом из участков разбиения. При этом, если точка на РПР попадает в доверительный интервал, значит, в рамках гауссового распределения параметра можно судить о нормальном электропотреблении данного объекта. Если точка располагается под нижней границей доверительного интервала, то с большей долей вероятности имеет место нарушение нормального технологического процесса электропотребления на данном объекте (частые отключения электроэнергии, неплатежи, избыточная экономия и т.п.). Если точка находится над верхней границей доверительного интервала, то на данный объект имеет повышенное потребление электрической энергии (рис. 2).

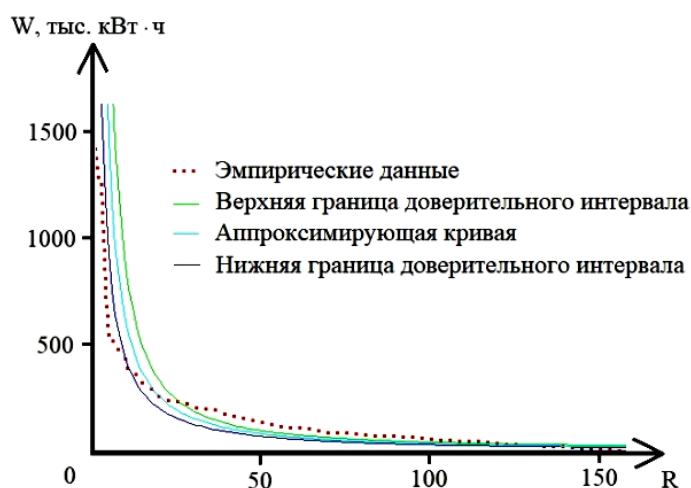


Рис. 2. Доверительный интервал для полного РПР: абсцисса – ранг объекта; ордината – электропотребление

Указанные процедуры дополнены оцениванием жизнеспособности объектов по электропотреблению [4].

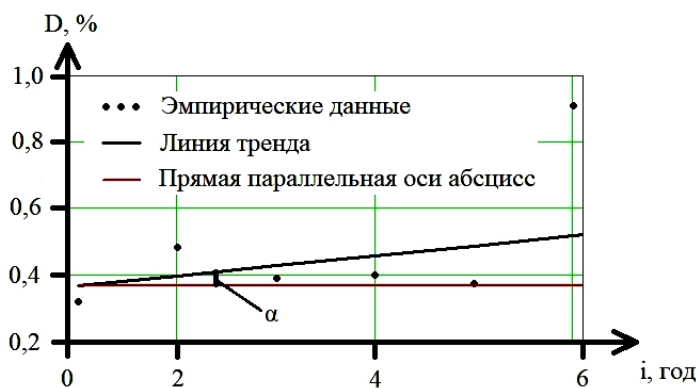


Рис. 3. Индекс жизнеспособности

Индексом жизнеспособности является угол, образуемый с осью абсцисс линией тренда временного ряда относительного электропотребления объекта, которое определяется как отношение электропотребления объекта к суммарному электропотреблению техноценоза. Величина и знак индекса отражают динамику и характер изменения относительного электропотребления рассматриваемого объекта в системе. На рис. 3 приведена иллюстрация индекса жизнеспособности (угол α) для одного из объектов хозяйственных нужд, у которого в рассматриваемом временном интервале отмечается динамика к увеличению доли электропотребления в суммарном электропотреблении всех объектов.

Таким образом, с помощью представленной методики из всей совокупности рассматриваемых объектов возможно выделить те, которые имеют наибольшее превышение над верхней границей доверительного интервала на РПР и динамику на увеличение доли в общем энергопотреблении. Эти объекты, в первую очередь, рекомендованы к проведению энергетического обследования, внедрению энергосберегающих технологий и проведению сопутствующих мероприятий, направленных на снижение потребления электроэнергии.

Литература

1. РД 34.09.101-94 Типовая инструкция по учету электроэнергии при ее производстве, передаче и распределении с изменением №1. М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004. 48 с.
2. Горяев А. Б., Данилов О. Л., Ефимов А. Л., Яковлев И. В. Энергосбережение в энергетике и технологиях. М.: Издательство МЭИ, 2002. 48 с.
3. Гнатюк В. И. Закон оптимального построения техноценозов: учеб. пособие. М.: Изд-во ТГУ, Центр систем. исследований, 2005. 384 с.
4. Гнатюк В. И., Лагуткин О. Е. Ранговый анализ техноценозов: монография. Калининград: БНЦ РАЕН – КВИ ФПС РФ, 2000. 86 с.
5. Кудрин Б. И. Введение в технетику. Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та, 1993. 552 с.
6. Литвак В. В., Дидрих А. В. Энергосбережение (энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях): учеб. пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. 178 с.
7. Степанов В. С., Степанова Т. Б. Эффективность использования энергии. Новосибирск: Наука, 1994. 257 с.

УДК 621.316.53-52

ЭЛЕКТРОННЫЙ БЛОК УПРАВЛЕНИЯ ДВУХОБМОТОЧНОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СИСТЕМОЙ КОНТАКТОРА

¹Свинцов Геннадий Петрович, ²Иванова Светлана Петровна,
³Михайлов Алексей Валерьевич, ⁴Мальцев Алексей Андреевич,
⁵Сорокин Николай Николаевич

^{1, 2}ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова»,
г. Чебоксары

^{3, 4, 5}АО «Чебоксарский электроаппаратный завод», г. Чебоксары

¹ea@chuvsu.ru, ²spi_chuvsu@mail.ru

³Mikhaylov.box@yandex.ru, ⁴amaltcev@mail.ru, ⁵n.sorokin@cheaz.ru

В статье приведены конструкция контактора, структурная и электрическая принципиальная схемы ключа с описанием их работы, рассмотрена конструкция блока управления электромагнитом контактора.

Ключевые слова: контактор, пусковая и удерживающая обмотки катушки, электронный ключ, блок управления электромагнитом контактора.

ELECTRONIC CONTROL UNIT OF TWO-WISE ELECTROMAGNETIC CONTACTOR SYSTEM

¹Svintsov Gennady Petrovich, ²Ivanova Svetlana Petrovna,
³Maltsev Alexey Andreevich, ⁴Mikhailov Alexey Valerevich,
⁵Sorokin Nikolay Nikolaevich

^{1, 2}FSBEI of HE «I.N. Ulianov Chuvash State University», Cheboksary

^{3, 4, 5}JSC «Cheboksary Electric Appliance Plant», Cheboksary

¹ea@chuvsu.ru, ²spi_chuvsu@mail.ru

³Mikhaylov.box@yandex.ru, ⁴amaltcev@mail.ru, ⁵n.sorokin@cheaz.ru

The article shows the design of the contactor, the structural and electrical schematic diagrams of the key with a description of their operation, the design of the control unit of the contactor electromagnet

Keywords: contactor, starting and holding coil windings, electronic key, contactor electromagnet control unit.

Снижение потребляемой мощности с одновременным уменьшением габаритных размеров и массы электрических аппаратов продолжает оставаться актуальной задачей электротехники. Акционерному обществу

«Чебоксарский электроаппаратный завод» (АО «ЧЭАЗ») [1] удалось добиться уменьшения габаритных размеров и массы при снижении потребляемой мощности нового низковольтного контактора на номинальный ток 115 и 150 А, предназначенного для коммутации электрических цепей переменного тока, в том числе для включения и отключения асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором [2–4]. Решение упомянутой задачи было достигнуто применением электронного блока для управления двухобмоточной электромагнитной системой контактора. В контакторах на номинальный ток 115 и 150 А применены конструктивные решения аналогичные контакторам на номинальные токи 80 и 95 А производства АО «ЧЭАЗ» [5]. Внешний вид и устройство контактора приведены на рис. 1.

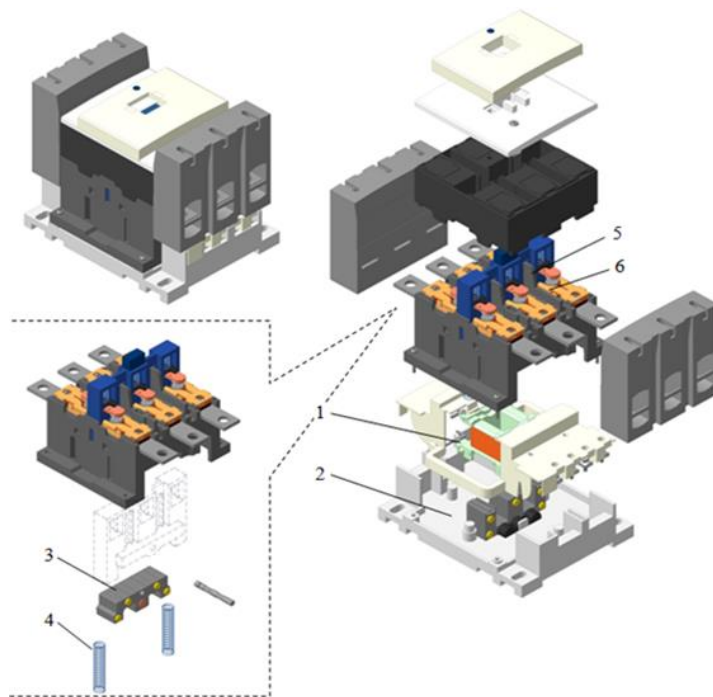


Рис. 1. Контактор АО «ЧЭАЗ» на 115 и 150 А:

- 1 – двухобмоточная катушка электромагнита и блок управления,
- 2 – сердечник, 3 – якорь электромагнита, 4 – возвратные пружины,
- 5 – подвижные главные контакты, 6 – неподвижные главные контакты

Для включения электромагнитного привода контактора, катушка которого содержит две обмотки (пусковую и удерживающую), разработан блок управления, являющийся сборочным узлом контактора. Структурная схема блока управления приведена на рис. 2 [5]. Особенность работы блока управления заключается в следующем. На зажимы А1, А2 контактора подается постоянное или переменное напряжение, выпрямленное диодным мостом 1. При этом мгновенно включаются удерживающая обмотка контактора 5 и ключ 2, который подает

напряжение на пусковую обмотку электромагнитного привода контактора 4. Пусковая обмотка контактора 4 обладает в несколько раз меньшим сопротивлением относительно удерживающей обмотки 5, поэтому практически весь ток потечет через пусковую обмотку 4. По прошествии установленного времени времязадающая цепь 3 отключает ключ 2, который в свою очередь снимает напряжение с пусковой обмотки 4. В итоге, остается включенной только удерживающая обмотка контактора 5.

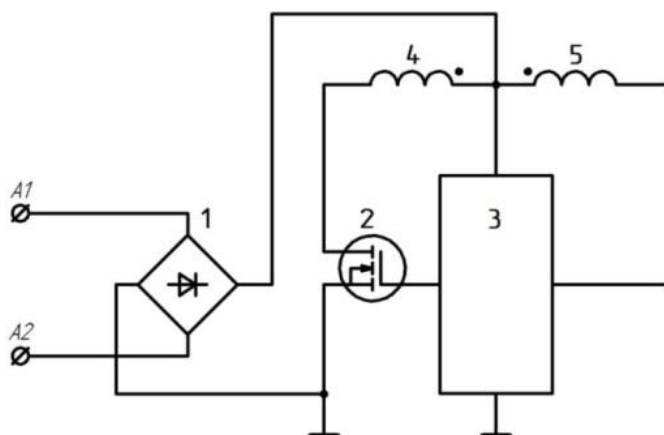


Рис. 2. Схема структурная блока управления:

1 – диодный мост; 2 – ключ; 3 – времязадающая цепь; 4 – пусковая обмотка;
5 – удерживающая обмотка

Электрическая принципиальная схема электронного ключа приведена на рис. 3 и содержит:

– выпрямитель напряжения управления с защитной цепью. Выпрямитель представляет собой однофазный выпрямительный мост, выполненный на диодах $VD3$ - $VD6$. В качестве цепи защиты элементов схемы от импульсных перенапряжений и помех используются быстродействующие защитные TVS -диоды $VD1$, $VD2$, включенные параллельно зажимам цепи управления контактором $A1$, $A2$ через токоограничивающий резистор $R1$;

– электронный ключ с защитой от коммутационных перенапряжений. Электронный ключ выполнен на n -канальном полевом $MOSFET$ транзисторе $VT3$ с включенным параллельно цепи сток-исток транзистора, быстродействующим защитным TVS -диодом $VD10$. Включение ключа осуществляется подачей выпрямленного напряжения управления на затвор транзистора через балластный резистор $R6$. Ограничение напряжения на затворе транзистора осуществляется стабилитроном $VD9$. Пульсации выпрямленного переменного напряжения управления сглаживаются конденсатором $C3$;

– времязадающую цепь. Времязадающая цепь реализована на резисторах $R2-R5$, транзисторах $VT1, VT2$, диоде $VD8$, стабилитроне $VD7$, конденсаторах $C1, C2$. Ток удерживающей катушки, протекая по цепи, образованной резистором $R2$, диодом $VD8$ и стабилитроном $VD7$, вызывает падение напряжения на стабилитроне $VD7$, которое сглаживается конденсатором $C1$. Это напряжение, составляющее 3,3 В, подается на времязадающую цепь, образованную резистором $R3$ и конденсатором $C2$. После заряда конденсатора $C2$ до напряжения 0,6 В открывается транзистор $VT2$, который открывает транзистор $VT1$, что приводит к шунтированию затвора транзистора $VT3$ с последующим его выключением и отключением форсирующей обмотки контактора. Биполярные транзисторы $VT1, VT2$, включенные по схеме «транзисторного эквивалента тиристора», образуют выходной орган времязадающей цепи, обеспечивающий надежное шунтирование затвора силового транзистора $VT3$, и тем самым удерживают его в выключенном состоянии после выдержки времени на включение контактора. Резистор $R4$ разряжает времязадающий конденсатор $C2$ после снятия напряжения управления, что снижает время готовности контактора к повторному включению.

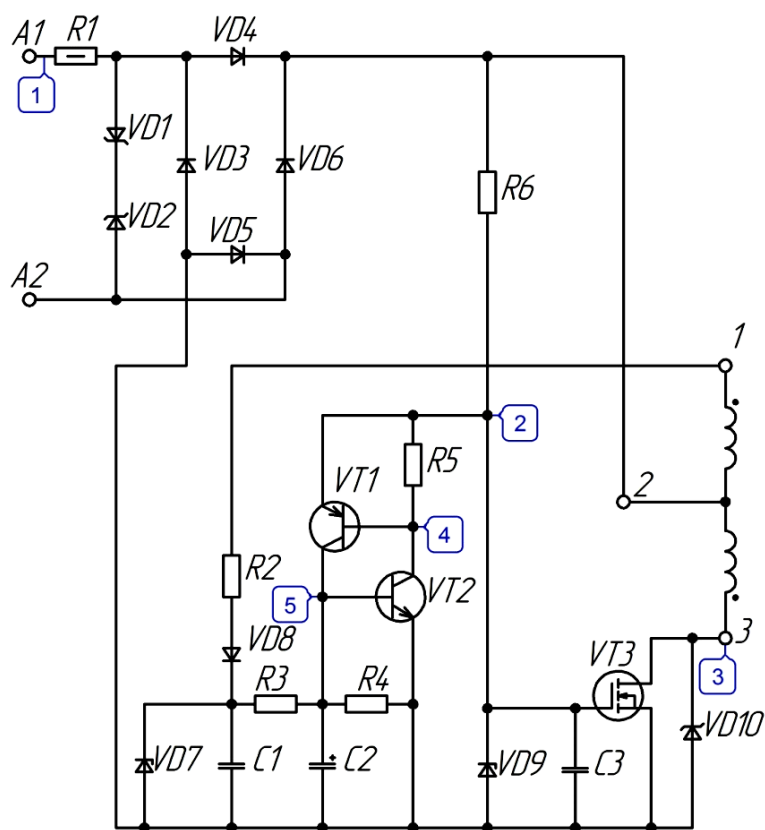


Рис. 3. Схема электрическая принципиальная электронного ключа

Напряжение в контрольных точках схемы электронного ключа (рис. 3) приведены в таблице.

Напряжение в контрольных точках схемы

Номинальное напряжение	Напряжение в точке, В					
	1	2	3 (нормальный режим)	3 (режим перенапряжения)	4	5
$U_{н}, В$						
≈ 110	138	11	136,6	220	9,1	0,84
~ 110	170	11	168,6	220	9,1	0,84
≈ 220	275	11	273,6	672	9,1	0,84
~ 220	341	11	339,6	672	9,1	0,84
~ 380	589	11	587,6	672	9,1	0,84

Блок управления состоит из печатной платы с элементами для поверхностного монтажа, который устанавливается в пазы каркаса катушки. Электромагнитный привод контактора находится внутри корпуса изделия, вследствие чего электронный ключ не нуждается в дополнительной защите от механических воздействий. В зависимости от номинального напряжения цепи управления контактором электрическая принципиальная схема электронного ключа отличается номиналом (количеством) токоограничивающих резисторов $R6$ и номиналом (количеством) ограничителей напряжения $VD1, VD2, VD10$.

Сравнительные фотографии форсированных магнитных систем контакторов на номинальные 80, 95 А и 115, 150 А приведены на рис. 4, а на рис. 5 – экспериментально снятые осциллограммы тока.

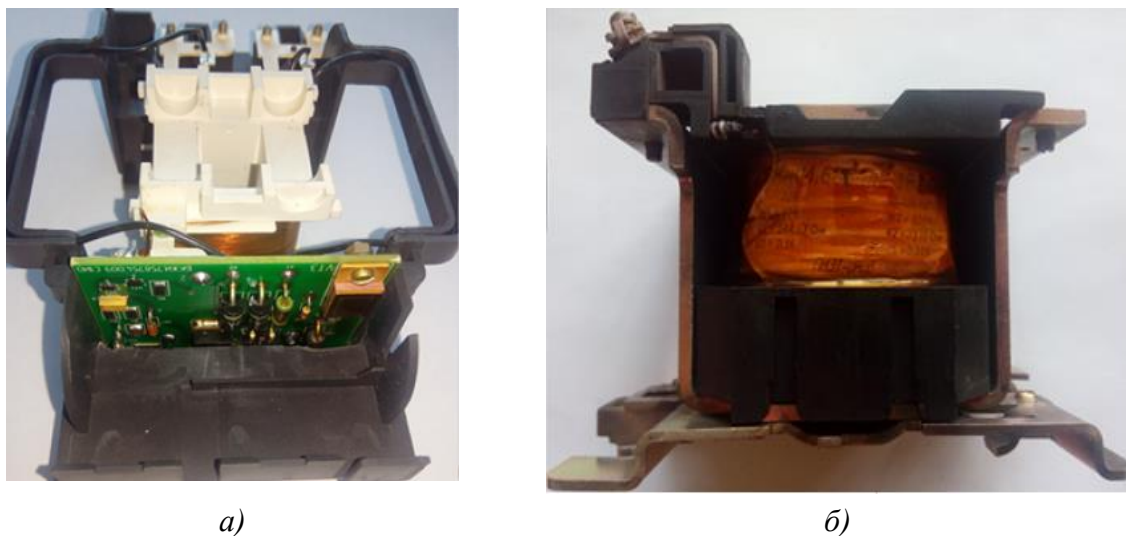


Рис. 4. Форсированные магнитные системы: а) контакторов на 115 и 150 А
б) контакторов на 80 и 95 А (сердечник и якорь не показаны)

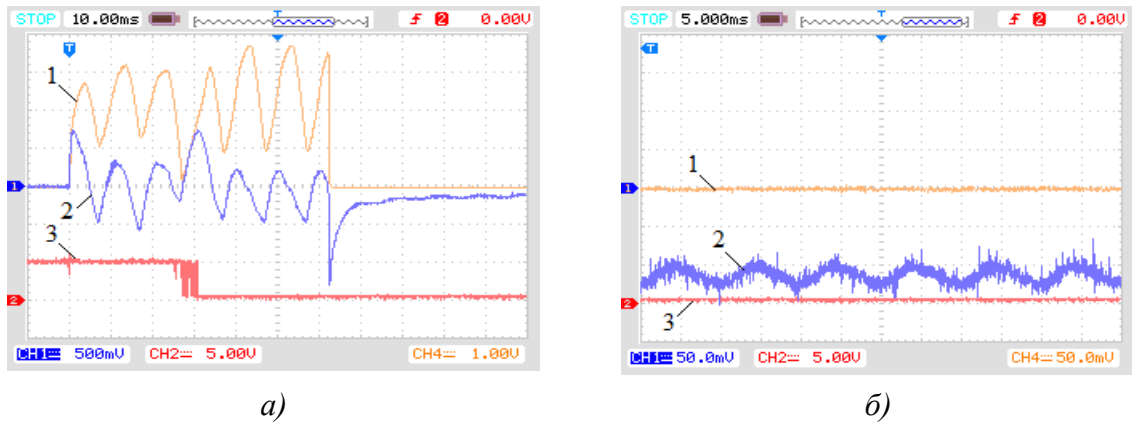


Рис. 5. Осциллограммы:
 а) при включении и б) при удержании контактора;
 1 – осциллограмма тока в пусковой обмотке;
 2 – осциллограмма тока в удерживающей обмотке;
 3 – осциллограмма состояния главных контактов контактора

В контакторах на 115 и 150 А применен бóльший коэффициент форсировки, что позволило добиться снижения потребляемой мощности в режиме удержания более чем в 2 раза и увеличения быстродействия контактора на 30 % относительно контактора на номинальные токи 80 и 95 А.

Разработанный электронный блок управления двухобмоточной электромагнитной системой контактора обеспечивает пониженное энергопотребление с уменьшенными габаритами и массой и увеличивает быстродействие контактора относительно контактора с одной обмоткой катушки электромагнита. Изделия с данным блоком управления изготавливаются на АО «ЧЭАЗ».

Литература

1. АО «Чебоксарский электроаппаратный завод» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.cheaz.ru> (дата обращения: 23.01.2020).
2. Электрические и электронные аппараты: учебник и практикум для академического бакалавриата / П. А. Курбатов и др.; под ред. П. А. Курбатова. М.: Изд-во Юрайт, 2018. 440 с. [Электронный ресурс]. URL: www.biblio-online.ru/book/3B1F2957-B527-428E-A861-ED08F2114461 (дата обращения: 23.01.2020).
3. Акимов Е. Г., Коробков Ю. С., Соколов В. П., Таланов Е. В. Выбор и применение низковольтных электрических аппаратов распределения, управления и автоматики: справ. пособие / под ред. Е. Г. Акимова и Ю. С. Коробкова. М.: Издательский дом МЭИ, 2009. 344 с.

4. Информационная система «Все об электротехнике» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ielectro.ru/> (дата обращения: 23.01.2020).

5. Свинцов Г. П., Мальцев А. А., Михайлов А. В., Сорокин Н. Н., Курочкин М. В., Иванова С. П. Электронный блок управления электромагнитной системы контакторов // Проблемы и перспективы развития энергетики, электротехники и энергоэффективности: матер. III Междунар. науч.-техн. конф. Чебоксары: Изд-во Чуваш. гос. ун-та, 2019. С. 466–472.

УДК 621.311.4

ФОРМИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ДЛЯ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПИТАНИЯ

¹Сидоров Александр Евгеньевич, ² Камалетдинов Рамиль Ильшатович

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

¹ asidorini@rambler.ru, ² kamaletdinovramill @yandex.ru

Работа посвящена вопросу обеспечения бесперебойного питания различных потребителей при возникновении перебоев с поставкой электрической энергии.

Ключевые слова: электрическая энергия, электрооборудование, бесперебойное питание.

FORMATION OF THE OPTIMAL STRUCTURE OF THE POWER SUPPLY SYSTEM FOR REGULAR ELECTRIC CURRENT PROVISION

¹Sidorov Alexander Evgenievich, ²Ramil Rishatovich Kamaletdinov

KSPEU, Kazan

¹ asidorini@rambler.ru, ² kamaletdinovramill @yandex.ru

The work is devoted to the issue of ensuring uninterrupted power supply to various consumers in the event of interruptions in the supply of electrical energy.

Keywords: electric energy, electrical equipment, uninterrupted power supply.

Факторов, которые способны привести к перебоям в подаче электроэнергии, существует великое множество. Электроснабжение объекта может быть прервано по различным причинам: это может быть внезапная авария на подводящей линии, связанная с выходом из строя

трансформаторного оборудования, плановое отключение электроэнергии, природная стихия, повредившая линии электропередач и многое другое [1, 2], однако эффективный способ борьбы с ними только один – это своевременно организованное бесперебойное электроснабжение объекта. Системы бесперебойного электроснабжения функционируют на основе резервных источников электроэнергии, которые принято называть альтернативными источниками. Они защищают промышленные объекты, дома, квартиры, офисы и другие объекты от последствий внезапного отключения электроэнергии. В состав систем бесперебойного электропитания входит несколько основных модулей:

- источники электрической энергии различного принципа действия (дизельные генераторы, ветрогенераторы, солнечные батареи и т. д.) – устройства, преобразующие энергию солнца, ветра или топлива в электричество;

- аккумуляторы – устройства, позволяющие аккумулировать электроэнергию, полученную от альтернативных источников (благодаря наличию аккумуляторов система бесперебойного электроснабжения может быть включена в работу в любой момент и в любое время суток);

- инверторы – устройства, позволяющие организовывать качественное электроснабжение объектов и приводить параметры электрического тока в соответствие с характеристиками потребителей электроэнергии (например, инверторы преобразуют низкое напряжение аккумуляторных батарей в напряжение, соответствующее сети потребителей 220 В, одновременно понижая силу тока в цепи);

- блоки управления – позволяют оперативно переводить питание потребителей (от сети общего пользования на сеть резервной системы электроснабжения и наоборот) [3, 4].

В зависимости от функционального предназначения объекта от его месторасположения и от других внешних условий может предусматривать наличие разных источников электроэнергии для бесперебойной системы электроснабжения. Для решения данной проблемы могут использоваться ветрогенераторные установки, а также солнечные батареи или их комбинация. Недостатком систем, работающих от подобных источников, является наличие большого количества вспомогательных устройств в системе: контроллеры, инверторы, аккумуляторы и т. д. (что, определенно, отражается на стоимости системы). Без вспомогательных элементов подобная система будет обладать низкой производительностью или вовсе будет неработоспособной.

Нередко можно встретить резервное электроснабжение, работающее на основе дизельных генераторов. К преимуществам подобной системы можно отнести высокую мощность источников электроэнергии и возможность в любой момент времени задействовать их в работу.

Основным негативным моментом в этом случае является высокая стоимость топлива, необходимого для их функционирования. Если, к примеру, солнечная энергия – бесплатна, то топливо для дизельного генератора стоит денег. И какие затраты будет нести его владелец в процессе эксплуатации, зависит от мощности резервной системы и от того, насколько регулярно она будет использоваться.

Создание бесперебойных систем электроснабжения – это не только монтаж электрических сетей, это целый перечень мероприятий, связанных с расчетом электрооборудования, с выбором оптимального источника электроэнергии с организацией безопасных условий для эксплуатации подобной системы и так далее. Поэтому, если вы нуждаетесь в строительстве бесперебойной системы электроснабжения, обязательно обращайтесь к услугам профильной организации. Ее специалисты не только грамотно спроектируют систему, но и помогут правильно объединить между собой все ее рабочие элементы.

Проектирование систем электроснабжения, как, впрочем, и сложных технических систем другого вида, имеет две достаточно ярко выраженные стадии: внешнее проектирование и внутреннее проектирование [5, 6].

Основной задачей внешнего проектирования является выбор оптимальной для заданных условий общей структуры системы, т. е. совокупности основных элементов (объектов, агрегатов, устройств) этой системы, оптимальных численных значений параметров элементов, характера функциональных, динамических и конструктивных связей, обеспечивающих, решение поставленной функциональной задачи наиболее рациональным (в смысле принятого критерия предпочтения) способом. Задачей внутреннего проектирования является оптимизация внутренней структуры элементов принятого варианта построения системы, выбор конкретных технических решений относительно конструктивного исполнения этих элементов, а также оптимизация процесса функционирования этой системы.

Характерной особенностью стадии внешнего проектирования является наличие существенных неопределенностей как при выборе альтернативных вариантов построения системы, так и при количественной оценке показателей

качества этих вариантов. Это создает проблемы информационного характера для применения методов синтеза на этом этапе проектирования. Одновременно имеют место проблемы математического характера, так как выбор общей структуры системы электроснабжения формальными методами не может быть сведен к поиску оптимального сочетания численных значений показателей качества и параметров элементов системы.

Следовательно, с практической и теоретической точек зрения одной из основных современных проблем в области синтеза сложных систем электроснабжения является разработка формализованных методов, позволяющих при приемлемом объеме вычислительной работы выбирать на этапе внешнего проектирования оптимальный вариант системы в результате логико-математического синтеза ее структуры.

В наиболее полном виде вопросы синтеза систем электроснабжения рассмотрены в работе [5, 7, 8], в которой изложен возможный подход к решению задачи синтеза систем электроснабжения судов, как одной из самых энергоемких. Используемый в этой работе методологический подход связан с необходимостью установления однозначного соответствия между численными значениями параметров проектируемой системы и возможными вариантами технических решений.

Учитывая отмеченные выше трудности информационного и математического характера, решение рассматриваемой проблемы целесообразно искать в комплексном использовании эвристических и математических приемов оптимизации. В этом случае весьма важное значение приобретает выбор рационального логико-математического аппарата, направленного поиска оптимальных решений, который позволил бы объединить на единой основе операции логики и математики. Такой основой является теория графов.

Литература

1. Морозовский В. Т., Синдеев И. М., Рунков К. Д. Системы, электроснабжения летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1973. 420 с.
2. Веретенников Л. П. Исследование процессов в судовых электроэнергетических системах. Теория и методы. Л.: Судостроение, 1973. 376 с.

3. Лазарев И. А. Синтез структуры систем электроснабжения летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1976. 254 с.

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

5. Воронов Ю. Н., Сидоров А. Е., Васильев А. Н. Обобщенная структура проектируемой системы электроснабжения самоходного артиллерийского орудия // Известия вузов. Проблемы энергетике. 2018. № 1–2. С. 132–135.

6. Ступаченко А. А. САПР технологических операций. Л. : Машиностроение : Ленингр. отд-ние, 1988. 233 с.

7. Идрисова А. Р., Роженцова Н. В., Мухаметзянова Ф. М. Мероприятия по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях // Энергоэффективность и энергобезопасность производственных процессов. 2016. С. 97–100.

8. Fetisov L. V., Ivanova V. R., Bulatov O. A. The Analysis of Measurements of Indicators of Quality of the Electric Power and Calculation of Economic Efficiency After Installation of the Booster Transformer // 2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon): Vladivostok, 2018. Pp. 1–4.

УДК 621.311.4

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ АЭРОПОРТА С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ

¹Сидоров Александр Евгеньевич, ²Саттаров Марат Шамилович

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

¹ asidorini@rambler.ru, ² sattarovmaratka@yandex.ru

В статье рассматривается возможность подхода к созданию избыточной структуры системы электроснабжения с целью ее оптимизации по критерию надежности и бесперебойности питания.

Ключевые слова: система электроснабжения, оптимизация, надежность, бесперебойность.

MODERNIZATION OF THE AIRPORT'S POWER SUPPLY SYSTEM IN ORDER TO IMPROVE RELIABILITY WHILE ENSURING FLIGHT SAFETY

¹Sidorov Alexander Evgenievich, ²Sattarov Marat Shamilovich

KSPEU, Kazan

¹ asidorini@rambler.ru, ² sattarovmaratka@yandex.ru

The article considers the possibility of an approach to creating a redundant structure of the power supply system in order to optimize it by the criterion of reliability and uninterrupted power supply.

Keywords: power supply system, optimization, reliability, continuity.

Проведение модернизации связано с решением задачи оптимизации системы электроснабжения (СЭС) аэропорта, как правило, по экономическому показателю. Необходимо отметить, что для данного объекта на первое место выходит надежность функционирования системы в целом и ее элементов в отдельности. При этом обязательно надо учитывать состояние существующих сетей и потребителей.

Современные аэропорты работают в любое время суток и практически при любой погоде. Именно отсутствие перерывов и необходимость создания комфортных условий для приема/отправки самолетов обуславливают высокие требования к освещению взлетно-посадочных комплексов и их надежного функционирования [1].

При использовании методов математического синтеза необходим выбор рационального алгоритма решения рассматриваемой экстремальной задачи. Традиционные подходы к решению задачи синтеза структуры проектируемой технической системы основаны на том, что на первом этапе решения этой задачи осуществляется выбор оптимального варианта процесса функционирования этой системы путем сопоставительной оценки нескольких возможных вариантов построения ее структуры. Затем осуществляется проверка соблюдения накладываемых ограничений на показатели качества, структуру и параметры проектируемой системы [1–3]. Таким образом, указанный подход предполагает решение задачи синтеза структуры системы при использовании целевой функции, соответствующей обратной технической задаче исследования операций. Это связано с необходимостью подробного формализованного описания структуры сопоставляемых вариантов построения системы на начальном этапе решения задачи синтеза, когда имеют место существенные неопределенности относительно структуры этой системы.

При значительном количестве альтернативных вариантов структуры проектируемой системы указанный подход приводит к существенному усложнению рассматриваемой задачи математического синтеза. В результате, при практическом решении задач выбора структуры очень часто предпочтение отдается эвристическим методам.

Одним из возможных альтернативных подходов к решению указанной задачи является осуществление поэтапного расширения формализованного описания проектируемой системы по мере разрешения в процессе синтеза неопределенностей относительно ее структуры. С этой целью на начальном этапе синтеза используется формальная качественная модель, соответствующая целевой функции прямой технической задачи исследования операций. На заключительном этапе синтеза осуществляется построение развернутой формальной модели, процесса функционирования всей системы электроснабжения.

В этом случае процесс синтеза структуры проектируемой системы состоит из нескольких основных этапов и операций, в который первым входит этап формирования известной информации по многообразию возможных вариантов структуры проектируемой системы электроснабжения.

Операции, входящие в данный этап:

- анализ требований к проектируемой системе и ожидаемых условий ее работы, определение численных значений величин, не варьируемых параметров этой системы;

- формирование на основе исходных данных перечня функциональных операций, необходимых для решения поставленной функциональной задачи;

- определение на основе исходной информации, многообразия альтернативных вариантов технической реализации установленных функциональных операций;

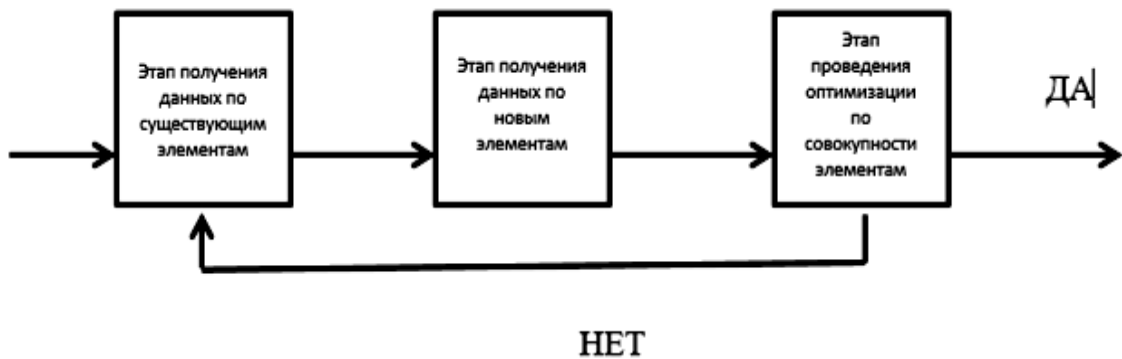
- формирование априорной информации по показателям качества альтернативных вариантов технической реализации установленных функциональных операций;

- построение оптимизационной функционально-избыточной качественной модели, отображающей многообразие возможных вариантов структуры проектируемой системы.

С целью решения данной проблемы целесообразно провести декомпозицию системы электроснабжения на подсистемы с любым уровнем иерархии, определить световые устройства первой категории бесперебойности питания, отвечающие за безопасность. Под элементом $x_i \in X_{\text{сист}}$ системы в данном случае понимается техническое устройство

(световая установка) со своими характеристиками и свойствами, которое обеспечивает выполнение какой-то определенной функциональной операции φ_i [3, 4].

Основная задача декомпозиции связана с анализом реальных технических возможностей составных элементов выполнять свои функции, с заданными параметрами качества функционирования системы в целом (см. рисунок). При этом на отдельном этапе определяются параметры характеризующие состояние элементов системы электроснабжения на текущий момент времени, которые уже существуют. Определяется их способность выполнять свои функции с заданным качеством [5, 6].



Блок-схема решения задачи

В ходе решения задачи с учетом состояния существующих элементов системы, их параметров поэтапно осуществляется расширение формализованного описания модернизируемой системы. Необходимо добавить, что на разных этапах оптимизации модернизируемой системы, критерий качества определяется в соответствии с этапом синтеза [7,8].

Литература

1. Морозовский В. Т., Синдеев И. М., Рунков К. Д. Системы, электроснабжения летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1973. 420 с.
2. Веретенников Л. П. Исследование процессов в судовых электроэнергетических системах. Теория и методы. Л.: Судостроение, 1973. 376 с.
3. Лазарев И. А. Синтез структуры систем электроснабжения летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1976. 254 с.
4. Rozhentcova N. V., Ivanova V. R., Fetisov L. V., Yarmuhametov I. Y.

Development of a stand construction concept for safe and efficient after-repair tests of induction motors up to 1 kV // 2019 International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems (ICOECS). Pp. 146–150.

5. Воронов Ю. Н., Сидоров А. Е., Васильев А. Н. Обобщенная структура проектируемой системы электроснабжения самоходного артиллерийского орудия // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2018. № 1–2. С. 132–135.

6. Ступаченко А. А. САПР технологических операций. Л.: Машиностроение : Ленингр. отд-ние, 1988. 233 с.

7. Идрисова А. Р., Роженцова Н. В., Мухаметзянова Ф. М. Мероприятия по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях // Энергоэффективность и энергобезопасность производственных процессов. 2016. С. 97–100.

8. Булатов О. А., Фетисов Л. В. Повышение энергоэффективности распределения электрической энергии в сетях низкого напряжения с применением вольтодобавочных трансформаторов // Матер. Междунар. науч.-практ. конф. «Современные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации». Кишинев, 2017. С. 13–17.

УДК 621.3

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ С СИНХРОННЫМИ ГЕНЕРАТОРАМИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УРОВНЯ НАПЯЖЕНИЯ НА ШИНАХ СВЯЗИ С ЭНЕРГОСИСТЕМОЙ

¹Соколов Александр Павлович, ²Газизова Ольга Викторовна

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

¹sasha777sokolov@list.ru

Развитие электроэнергетики в современном мире подразумевает собой высокие требования к бесперебойности и качеству электрической энергии. Соответствовать таким высоким требованиям становится все сложнее в виду усложнения электрических схем, увеличения количества промышленных электрических потребителей и их чувствительности к внешним изменениям в сети. В частности, рассматривая промышленные электрические станции, данная тенденция требует повышения качества управления возможными переходными режимами с целью снижения аварийных простоев электрооборудования. Помимо надежности питания

потребителей важную роль играют перетоки активной и реактивной мощностей в сети, что также требует разработки и исполнения организационных и технических мероприятий по их устранению. Таким образом, целью данной работы является расчет перетоков, потерь мощности в сети, а также распределение реактивной мощности среди синхронных генераторов, питающих промышленную сеть.

Ключевые слова: синхронный генератор, программное обеспечение, распределение, перетоки, потери, уровень напряжения.

DISTRIBUTION OF REACTIVE POWER IN AN INDUSTRIAL ELECTRIC NETWORK WITH SYNCHRONOUS GENERATORS DEPENDING ON THE VOLTAGE LEVEL ON THE TIRES OF COMMUNICATION WITH THE ENERGY SYSTEM

¹Sokolov Aleksandr Pavlovich, ²Gazizova Olga Viktorovna

FSBEIHE NMST, Magnitogorsk

sasha777sokolov@list.ru

The development of the electric power industry in the modern world implies high requirements for the uninterrupted operation and quality of electric energy. It is becoming increasingly difficult to meet such high requirements in view of the complexity of electrical circuits, the increase in the number of industrial electrical consumers and their sensitivity to external changes in the network. In particular, considering industrial power plants, this trend requires improving the quality of control of possible transient conditions in order to reduce emergency downtime of electrical equipment. In addition to the reliability of consumer power, an important role is played by flows of active and reactive capacities in the network, which also requires the development and implementation of organizational and technical measures to eliminate them. Thus, the aim of this work is to calculate the overflows, power losses in the network, as well as the distribution of reactive power among synchronous generators supplying the industrial network.

Keywords: synchronous generator, software, distribution, flows, losses, voltage level.

Современные требования в электроэнергетической сфере к производству электрических станций – электроэнергии, достаточно высоки. Помимо высокого качества в рамках того или иного промышленного процесса, а также бесперебойности питания потребителей, большое внимание уделяется распределению электрической энергии – её перетокам. Данное замечание уместно в свете потерь электрической энергии и, следовательно,

экономической составляющей поставок электроэнергии. В связи с этим повышаются требования к управлению режимами оперативным персоналом, а также усложняются нормальный, аварийный и послеаварийный режимы систем электроснабжения в связи с выполнением мероприятий, удовлетворяющим вышеперечисленным требованиям.

Помимо режимов, указанных выше, могут возникать и такие, в которых наблюдаются отклонения электрических параметров, например: реактивной мощности, напряжения, токов и частоты. Данные параметры не случайно указаны, т.к. они напрямую влияют на наблюдаемые в сети перетоки. Рассмотрим различные ситуации в электрической сети с точки зрения теории и смоделируем их в программном комплексе КАТРАН, разработанном на базе кафедры электроснабжения промышленных предприятий МГТУ им. Г.И. Носова.

При подключении группы генераторов на параллельную работу с сетью их магнитные поля обмоток статора и роторы будут вращаться с одинаковой скоростью. Если увеличить ток возбуждения, то по обмотке статора будет протекать чисто реактивный ток, и генератор будет выдавать повышенную реактивную мощность в сеть [1–5]. Но в сети должен быть баланс мощностей, следовательно, другие генераторы будут разгружаться от реактивной мощности. Чтобы вернуть рассматриваемый генератор в исходный режим, нужно снизить его ток возбуждения, а также подавать большее количество пара на его турбины для разгона до прежней скорости, т. к. приняв ранее на себя большее количество реактивной мощности, он разгрузился по активной при соответствующих системах автоматического регулирования. В это время другие генераторы, ранее разгрузившиеся от реактивной нагрузки и загрузившиеся по активной, будут ускоряться, т. к. момент сопротивления на их валу становится меньше. Таким образом, частота тока в сети возрастает. Чтобы избежать данного отклонения в параметрах режима, нужно добавить подачу пара на их турбины, заводя обратные связи на устройства управления синхронных машин. Также в данном режиме между генераторами будет протекать дополнительный уравнивающий ток, размагничивающий обмотку статора генератора с повышенным током возбуждения и намагничивающий обмотки статора остальных синхронных генераторов. Также этот ток будет олицетворять собой переток реактивной мощности и, следовательно, увеличение потерь в промышленной сети.

Далее будем моделировать данные режимы в вышесказанном программном обеспечении: узнаем уровень загрузки синхронных машин, потери мощности в сети в связи с изменением напряжения на шинах 110 кВ, которые запитаны от группы генераторов через трансформаторы. Данная часть промышленного энергоузла представлена на рис. 1.

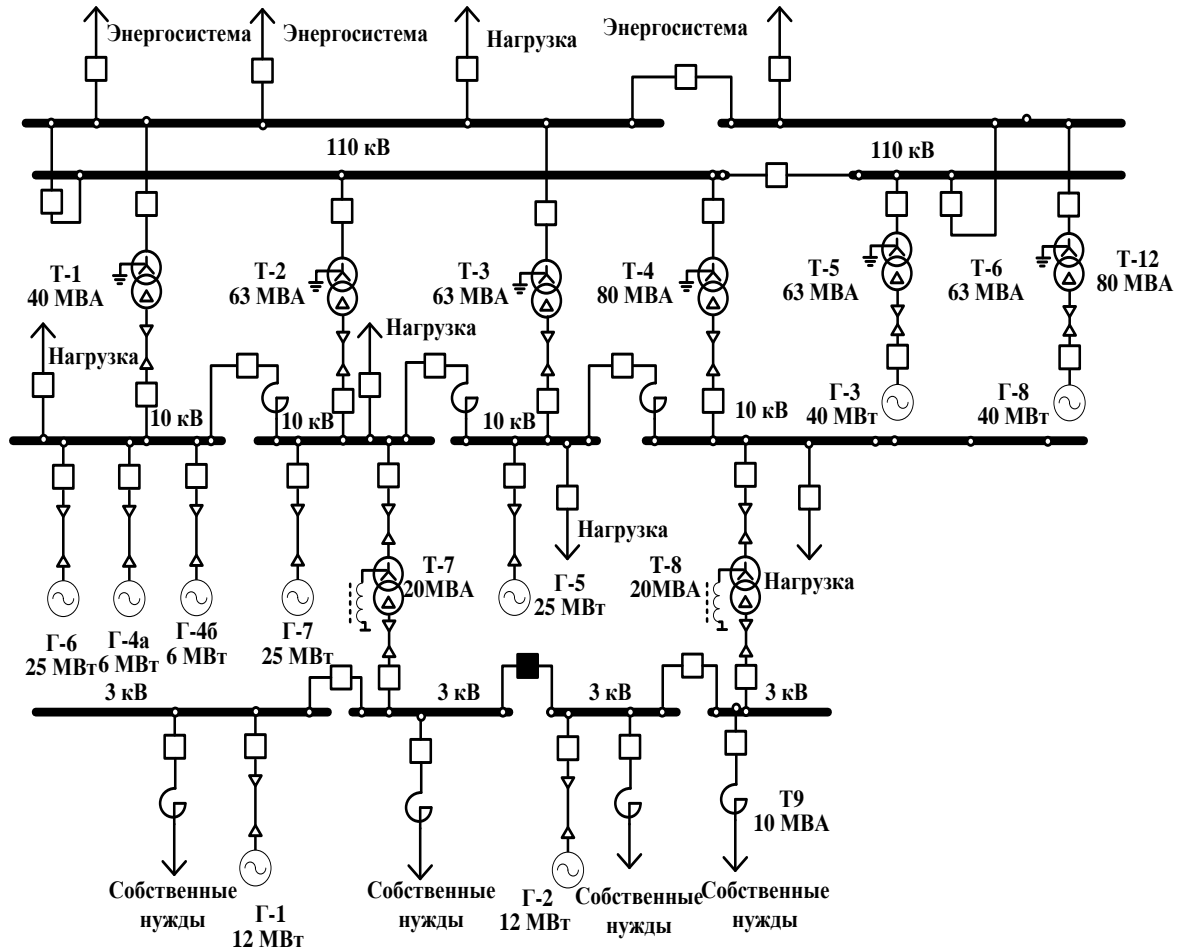


Рис. 1. Промышленная электростанция

Рассматриваемый участок сети характеризуется наличием семи генераторов мощностью от 6 до 25 МВт, а также одной или двумя ступенями удаленности от места снижения напряжения. Данное замечание очень важно, т.к. при разгрузке генератора по реактивной мощности и загрузке его по активной, либо наоборот, будет меняться протекаемая через трансформатор мощность, что также влияет на потерь холостого хода силового трансформатора.

В ходе моделирования были получены следующие зависимости, представленные на рис. 2 и 3.

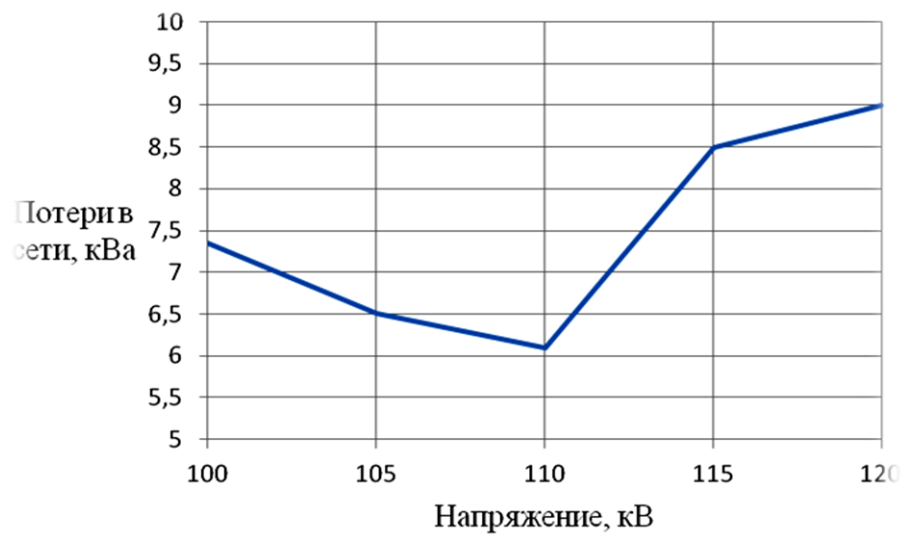


Рис. 2. Зависимость потери в сети от уровня напряжения на шинах ВН

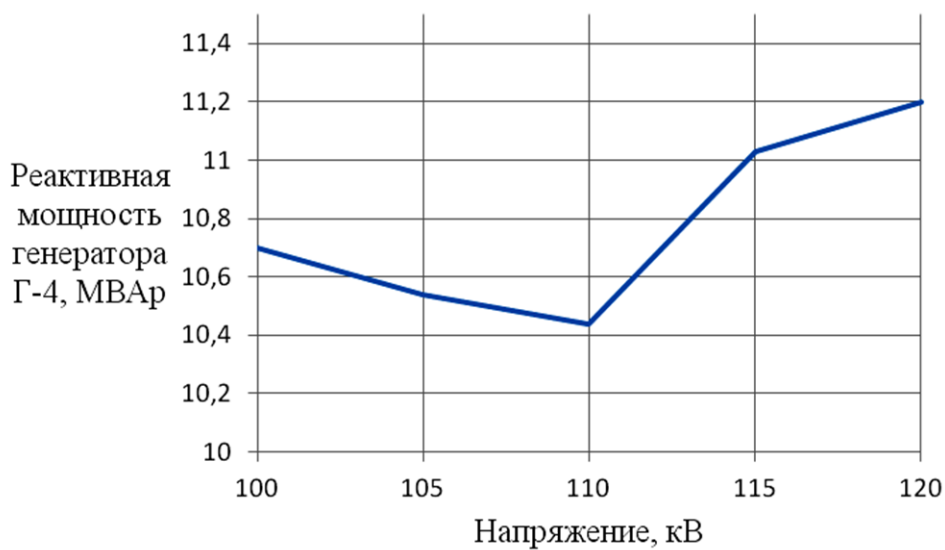


Рис. 3. Значение реактивной мощности генератора Г-4 от уровня напряжения на шинах ВН

Таким образом, на графике, отражающем потери в сети, видно, что при отклонениях напряжения в сторону уменьшения или увеличения напряжения потери в сети выше, чем при номинальном напряжении в сети. Это связано с протеканием уравнительных токов, имеющих реактивный характер, следовательно, в сети в эти моменты времени имеется повышенное значение реактивной мощности. Аналогичную зависимость имеет реактивная мощность генератора Г-4, т. к. в данный

момент времени по обмотке возбуждения протекает повышенный ток возбуждения.

Большую роль при распределении реактивных мощностей играет выбранный закон регулирования возбуждения синхронных генераторов. Для промышленных электростанций он может быть на постоянство напряжения на выводах обмотки статора, реактивной мощности и тока возбуждения. В рассматриваемом случае он принят на постоянство выдачи реактивной мощности, что при изменениях уровня напряжения на шинах связи с энергосистемой не эффективно.

Таким образом, исследование распределения реактивных мощностей в промышленной сети с собственными генераторами представляет собой комплексную задачу и является необходимым при планировании и повышении эффективности эксплуатационных режимов.

Литература

1. Жданов П. С. Вопросы устойчивости энергетических систем / под ред. Л. А. Жукова. М.: Энергия, 1979. 456 с.
2. Буланова О. В., Малафеев А. В., Ротанова Ю. Н., Тарасов В. М. Анализ переходных режимов систем электроснабжения промышленных предприятий, имеющих в своем составе объекты малой энергетики // Промышленная энергетика. 2010. № 4. С. 22–28.
3. Ротанова Ю. Н., Малафеев А. В., Буланова О. В., Ротанова Ю. Н. Исследование динамической устойчивости систем электроснабжения промышленных предприятий с собственными электростанциями при отделении от энергосистемы в результате короткого замыкания // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2008. № 17 (117). С. 72–74.
4. Варганова А. В. Алгоритм внутростанционной оптимизации режимов работы котлоагрегатов и турбогенераторов промышленных электростанций // Промышленная энергетика. 2018. № 1. С. 17–22.
5. Газизова О. В., Кондрашова Ю. Н., Малафеев А. В. Повышение эффективности управления режимами электростанций промышленного энергоузла за счет прогнозирования статической и динамической устойчивости при изменении конфигурации сети // Электротехнические системы и комплексы. 2016. № 3 (32). С. 27–38.

УДК 621.317.334

МАГНИТОЖИДКОСТНЫЕ ДАТЧИКИ ДИАГНОСТИКИ ВИБРАЦИЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

¹Федосеева Виктория Павловна, ²Сайкин Михаил Сергеевич

ФГБОУ ВО «ИГЭУ», г. Иваново

¹Wikelodium@yandex.ru, ²saikinms@mail.ru

В работе представлены конструктивные разработки магнитожидкостных датчиков вибраций, предназначенных для контроля и регистрации изменения механических параметров электротехнического оборудования и их преобразования в электрическое напряжение. Проведены численные исследования. Получены расчётные зависимости.

Ключевые слова: вибрации, магнитная жидкость, чувствительный элемент, постоянный магнит, магнитная индукция.

MAGNETO-LIQUID SENSORS FOR DIAGNOSING VIBRATION OF ELECTRICAL EQUIPMENT

¹Fedoseeva Victoria Pavlovna, ²SaikinMikhail Sergeevich

ISPU, Ivanovo

¹Wikelodium@yandex.ru, ²saikinms@mail.ru

The paper presents the design developments of magneto-liquid vibration sensors designed to monitor and record changes in the mechanical parameters of electrical equipment and their conversion into electrical voltage. Numerical studies have been carried out. Calculated dependencies obtained.

Keywords: vibration, magnetic fluid, sensing element, permanent magnet, magnetic induction

Вибрации возникают при работе электротехнического оборудования объектов энергетики, авиационного и железнодорожного транспорта, эксплуатации речных и морских судов. Наличие вибраций на технических объектах может привести к нарушению работы и возникновению аварий. Так, причиной аварии на втором гидроагрегате Саяно-Шушенской ГЭС в 2009 году стала высокооборотная вибрации с амплитудой 800 мкм (вместо 100 мкм по норме).

Магнитожидкостные датчики диагностики вибраций (МЖДВ) предназначены для контроля и регистрации виброскоростей, виброускорений, амплитуд и частот колебаний, а также для преобразования скорости линейной вибрации в электрическое напряжение.

В настоящее время разработаны две конструкции магнитожидкостных датчиков вибраций, одна из которых представлена на рис. 1 [1]. Она состоит из немагнитопроводного корпуса 1 подвижного кольцевого магнита 2, который является чувствительным элементом, измерительной обмотки 3, торцевой крышки 4. Магнитный подвес выполнен в виде двух соосно установленных кольцевых постоянных магнитов, ориентированных одноименными полюсами относительно полюсов подвижного постоянного магнита, один из которых 5 установлен в крышке, а другой 6 – в корпусе устройства. Через внутреннее отверстие чувствительного элемента проходит полый немагнитопроводный стержень 7. Подвижный кольцевой магнит 2 образует зазоры с корпусом 1 и с полым немагнитопроводным стержнем 7. Оба зазора заполнены магнитной жидкостью 8, которая удерживается в них пондеромоторной силой и обеспечивает левитацию чувствительного элемента в корпусе датчика. В торцевой крышке 4 и полой немагнитопроводном стержне 7 выполнены отверстия 9 и 10 для предотвращения возникновения перепада давлений между внутренними полостями корпуса датчика.

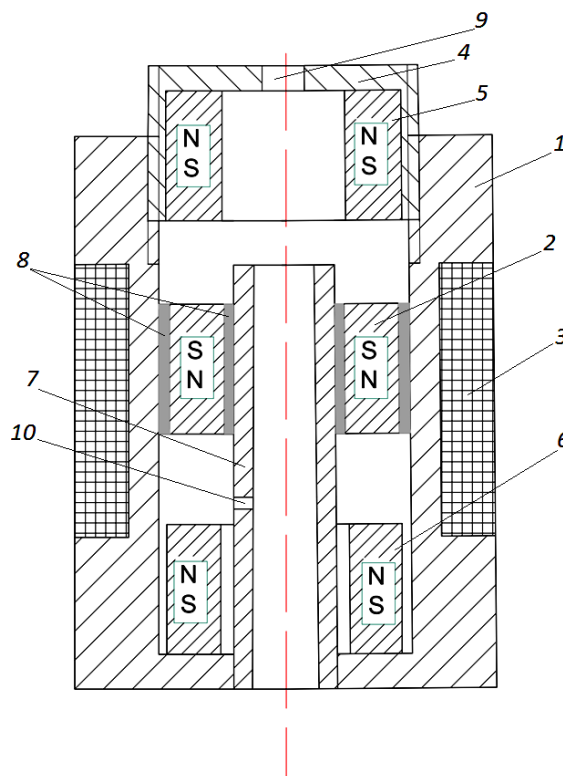


Рис. 1. Конструкция магнитожидкостного датчика диагностики вибраций

Немагнитный корпус датчика жёстко крепится к оборудованию. При возникновении вибраций происходят колебания чувствительного элемента. В измерительной обмотке наводится ЭДС, частота изменения которой пропорциональна частоте вибраций. Она обрабатывается электронным блоком и отражает параметры вибраций электротехнического оборудования.

Одним из элементов магнитной цепи МЖДВ является магнитная жидкость (МЖ). Градиент магнитной индукции, наибольшее значение которого наблюдается на кромках кольцевого постоянного магнита, влияет на характеристики МЖ, что приводит к её расслоению и изменению метрологических характеристик датчика.

Как известно, МЖ перераспределяется в неоднородном магнитном поле [2]. Интенсивность её перераспределения зависит от физических свойств МЖ, а время расслоения определяется согласно выражению [3]:

$$t = \frac{g \cdot \eta \cdot h}{2 \cdot a^2 \cdot \bar{M} \cdot \Delta B}, \quad (1)$$

где g – ускорение свободного падения; η – динамическая вязкость дисперсионной фазы МЖ; h – половина величины зазора; a – радиус магнитной частицы в жидкости; \bar{M} – намагниченность магнитной жидкости; \bar{B} – индукция магнитного поля.

Таким образом, снижение градиента магнитной индукции приводит к увеличению времени расслоения МЖ в градиентном магнитном поле датчика и повышению стабильности его метрологических характеристик.

Для решения этой задачи разработана конструкция, обеспечивающая левитацию чувствительного элемента внутри корпуса датчика при минимально необходимом значении градиента магнитной индукции. В данной конструкции чувствительный элемент помещён в составной кожух из немагнитопроводного материала [4].

Для определения рациональных размеров кожуха в радиальном направлении проведены численные исследования величины магнитной индукции в зависимости от изменения его толщины. Для этих целей использовалась интегрированная среда *FEMM*.

Для расчётов были выбраны магниты с размерами: К32×18×5, К17,1×10×11, К11×6×2,5, имеющими величину остаточной магнитной индукции $B_r = 0,92$ Тл и коэрцитивной силы $H_c = 617$ кА/м. Толщина немагнитопроводного кожуха изменялась в пределах от 1 до 5 мм.

Расчёты для всех типоразмеров магнитов были проведены при следующих соотношениях: $\Delta = 0,1 \cdot D$, $\Delta = 0,3 \cdot D$, $\Delta = 0,5 \cdot D$, $\Delta = D$, где D – наружный диаметр кольцевого магнита, Δ – расстояние между магнитами, а δ – толщина предполагаемого кожуха. Расчётные зависимости представлены на рис. 2–4.

На основании полученных зависимостей проведён расчёт градиента магнитной индукции. Результаты расчёта составили: 0,18–0,017 Тл/мм для наименьшего и 0,097–0,03 Тл/мм для наибольшего размеров магнитов.

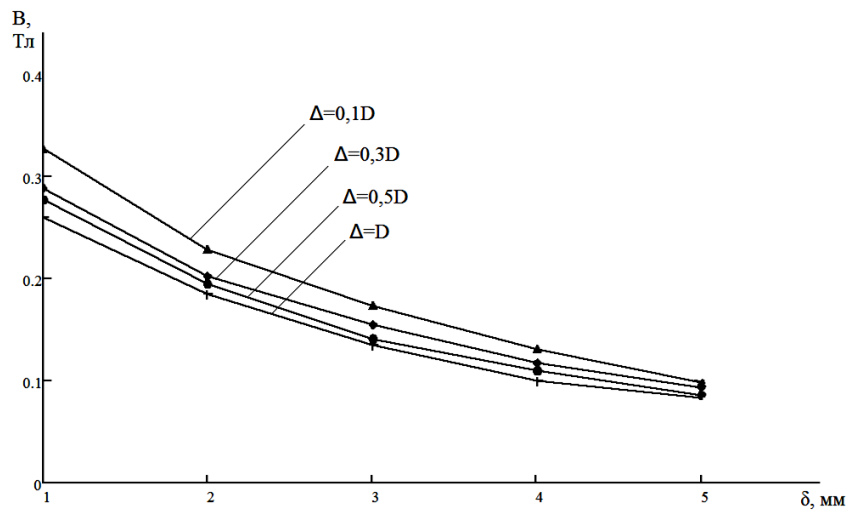


Рис. 2. Значение магнитной индукции при разной толщине кожуха для магнита К32×18×5

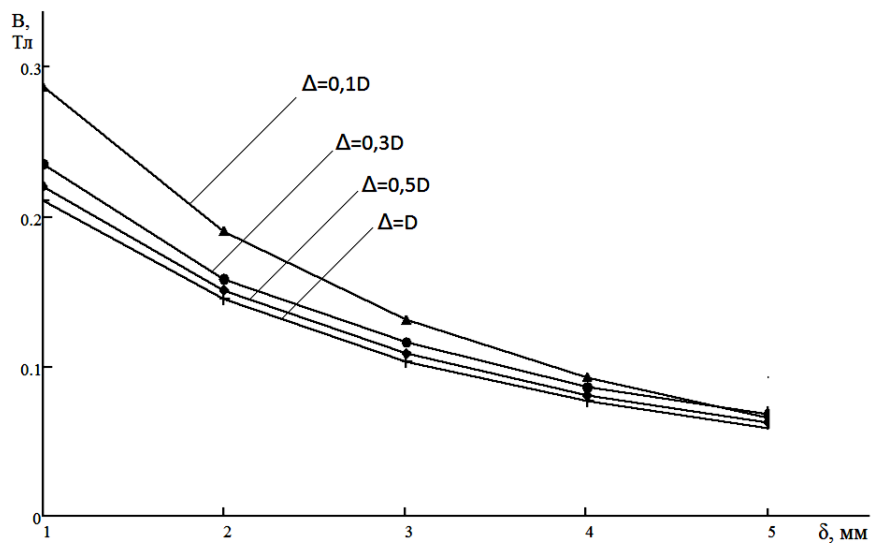


Рис. 3. Значение магнитной индукции при разной толщине кожуха для магнита К17,1×10×11

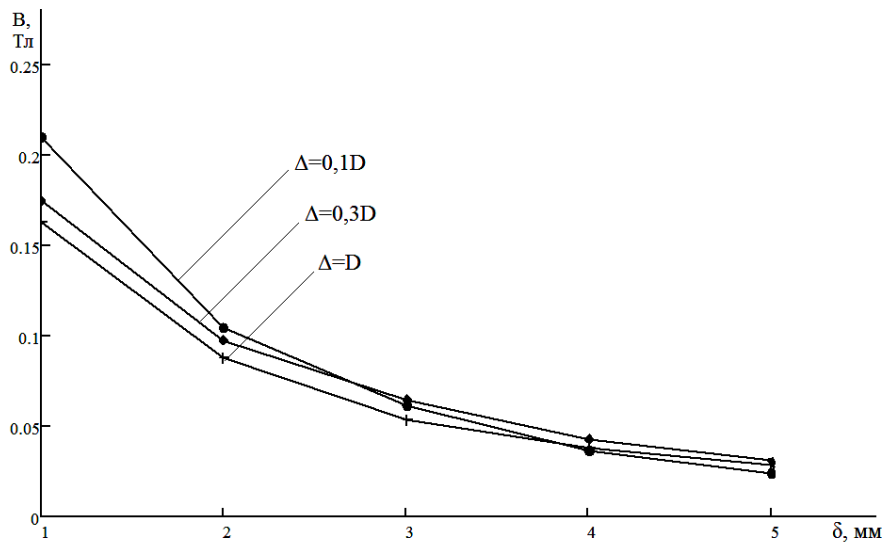


Рис. 4. Значение магнитной индукции при разной толщине кожуха для магнита K11×6×2,5

Устойчивая левитация чувствительного элемента достигается при значении градиента магнитной индукции не менее 0,04 Тл/мм [6]. Проведённые исследования показали, что толщина кожуха для магнита K11×6×2,5 должна составлять не менее 2 мм, а для магнита K32×18×5 – не менее 4 мм, соответственно.

В таблице представлены предполагаемые характеристики магнито-жидкостных датчиков диагностики вибраций.

Предполагаемые характеристики датчиков

Частотный диапазон, Гц	4–2500
Чувствительность, мВ/g	свыше 500
Диапазон ускорений, g	0,2–300
Диапазон температур, °С	± 60

Литература

1. Сайкин М. С., Федосеева В. П. Устройство для измерения вибраций. Патент РФ №184838. 2018. Бюл. № 32.
2. Казаков Ю. Б., Сайкин М. С., Щелькалов Ю. Я. Учёт перераспределения магнитных частиц в магнитной жидкости, находящейся в неоднородном магнитном поле герметизатора // Электротехника. 2003. № 12. С. 20–24.

3. Сайкин М. С. Магнитожидкостные герметизаторы технологического оборудования. СПб.: Издательство «Лань», 2017. 136 с.

4. Сайкин М. С., Федосеева В. П. Устройство для измерения вибраций. Патент РФ №189089. 2019. Бюл. № 14.

5. Сайкин М. С., Федосеева В. П. Исследование распределения магнитной индукции в магнитожидкостном датчике вибраций // Надёжность и долговечность машин и механизмов: сб. тр. IX Всерос. науч.-практ. конф., Иваново, 2018. С. 205–208.

6. Морозова Д. Ю., Сайкин М. С. Влияние параметров чувствительного элемента магнитожидкостного датчика угла наклона на силу подвеса // Датчики и системы. 2015. № 7. С.15–18.

УДК 621.316.172

МНОГОТАРИФНАЯ СИСТЕМА УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

¹Федотова Анастасия Александровна, ²Таратыкина Светлана Вадимовна,
³Долгопол Татьяна Леонидовна

ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет
им. Т. Ф. Горбачёва», г. Кемерово

¹faa291991@gmail.com, ²s.v.0796@yandex.ru, ³tdolgopol@yandex.ru

Подавляющее большинство населения России оплачивают потребленный объем электроэнергии по одноставочному тарифу. Существует такое предположение, что, перейдя на дифференцированные тарифы по двум или трем зонам суток, бытовые потребители могут существенно сэкономить на оплате электроэнергии, так как ночной тариф значительно ниже дневного. Однако процесс перехода на дифференцированные тарифы в жилом секторе протекает крайне медленно, так как есть несколько обстоятельств, заметно снижающих их привлекательность.

В статье рассмотрена динамика изменения тарифов на электроэнергию в некоторых регионах России (для населения Москвы, Челябинска и Хабаровска). Также сделаны выводы о целесообразности перехода на дифференцированные тарифы.

Ключевые слова: график электрической нагрузки, одноставочные тарифы, дифференцированные тарифы, зоны суток, стоимость потребленной электроэнергии, многотарифный счетчик, срок окупаемости.

MULTIPLE TARIFF ELECTRICITY METERING SYSTEM

¹Fedotova Anastasia Aleksandrovna, ²Taratykina Svetlana Vadimovna,
³Dolgopol Tatyana Leonidovna

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo

¹faa291991@gmail.com, ²s.v.0796@yandex.ru, ³tdolgopol@yandex.ru

The vast majority of the Russian population pays for the consumed amount of electricity at a single-rate tariff. There is an assumption that by switching to differentiated tariffs for two or three zones of the day, consumers can significantly save on electricity payments since the night tariff is much lower than the daily one. However, the process of transition of household consumers to differentiated tariffs progresses extremely slow, as there are several circumstances that significantly reduce their appeal.

The dynamics of changes in electricity tariffs in some regions of Russia are considered in the article (for the population of Moscow, Chelyabinsk, and Khabarovsk). There are also conclusions made about the feasibility of switching to differentiated tariffs.

Keywords: electric load schedule, single-rate tariffs, differentiated tariffs, zones of the day, cost of consumed electricity, multi-tariff meter, payback period

Объемы потребления электроэнергии в жилом секторе подвержены значительным суточным изменениям (рис.1).

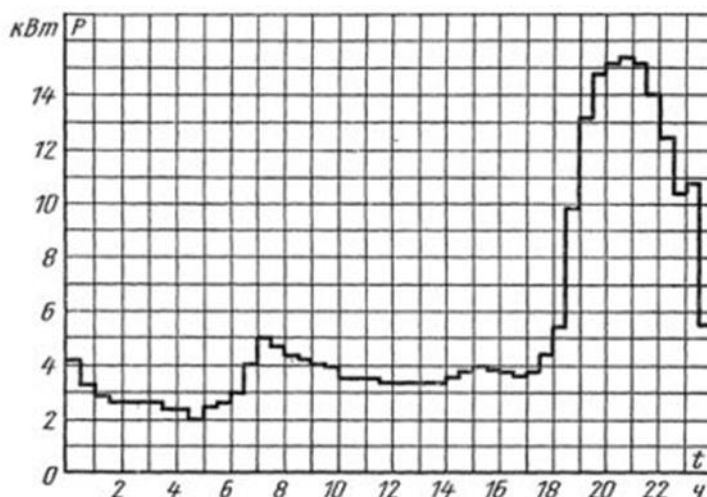


Рис. 1. Усредненный суточный график нагрузки

Как следует из суточного графика бытовой нагрузки, вечерний максимум более чем в три раза превышает утренний, а потребляемая мощность в ночное и дневное время (с 10:00 до 17:00) практически не отличаются. Чтобы получить максимальный экономический эффект

при выборе дифференцированных тарифов, необходимо регулировать график нагрузки за счет использования опций современной бытовой техники (отложенный режим запуска их в работу в ночное время суток, когда тариф на электроэнергию минимальный). Однако для начала необходимо произвести сравнительную оценку дифференцированных и одноставочного тарифов.

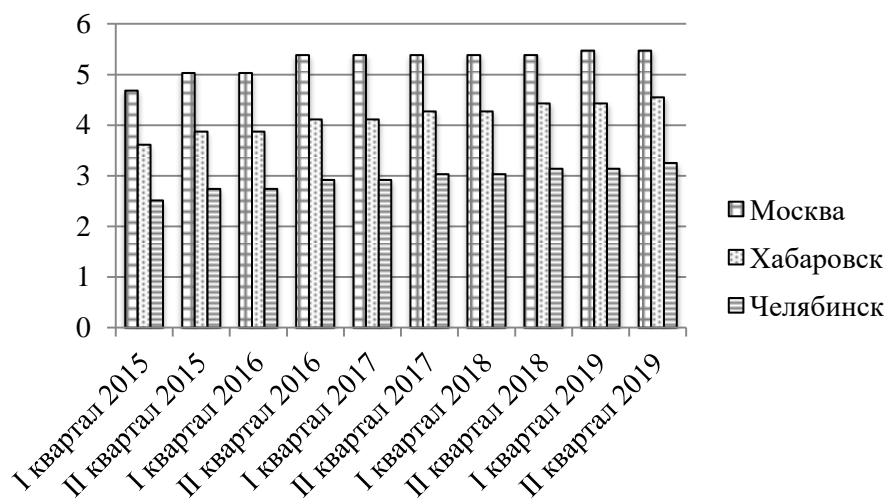


Рис. 2. Динамика изменения одноставочного тарифа

Для оценки динамики изменения тарифов на электроэнергию с сайта energybase.ru были взяты тарифы на электроэнергию для населения в Москве, Челябинске и Хабаровске за последние пять лет [1].

Анализ показал, что тарифы на электроэнергию в Москве значительно выше, чем в Хабаровске и Челябинске (рис. 2).

Тарифы на электроэнергию во всех рассматриваемых регионах из года в год увеличиваются. Так, одноставочный тариф на электроэнергию для населения, проживающего в Москве в домах, оборудованных газовыми и электрическими плитами, за последние пять лет увеличился на 16,88 и 41,77 %, соответственно. Значительное увеличение одноставочного тарифа для квартир с электроплитами, вероятно, связано с тем, что большая часть московских квартир оборудована именно электрическим, а не газовым оборудованием.

Для населения Хабаровска и Челябинска одноставочный тариф увеличился на 26 и 29 %, соответственно, независимо от типа электроплит. Дифференцированные тарифы для рассматриваемых регионов за последние пять лет тоже значительно увеличились (рис. 3).

На рисунке представлена динамика изменения дифференцированного тарифа по трем зонам суток за последние пять лет.

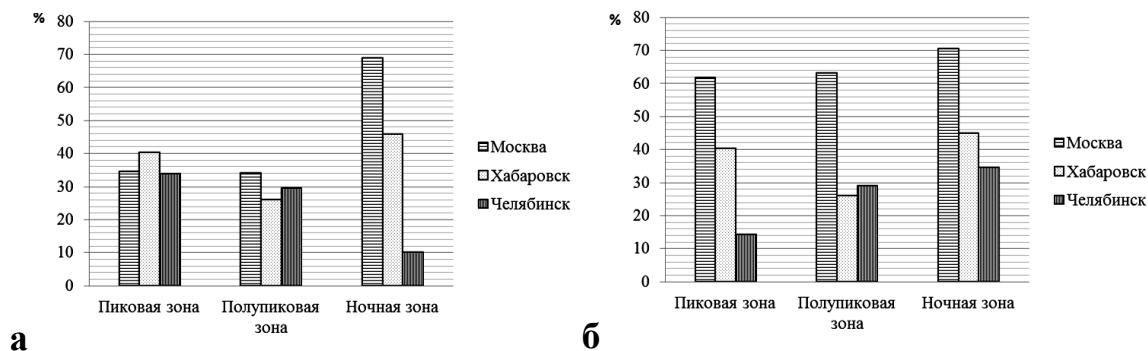


Рис. 3. Динамика изменения дифференцированного тарифа по трем зонам суток за последние пять лет для квартир, оборудованных газовыми (а) и электрическими (б) плитами

В большей степени увеличился тариф ночной зоны для населения Москвы и Хабаровска. Для населения, проживающего в Челябинске в домах, оборудованных газовыми плитами, значительно увеличился тариф пиковой зоны (33,9%), в то время как тариф ночной зоны увеличился за пять лет всего на 10,2%. Для населения Челябинска, чьи квартиры оборудованы электрическими плитами, наблюдается несколько иная ситуация. Тариф ночной зоны увеличился на 34,6%, тариф в пиковой зоне возрос на 14,35%.

Существенное увеличение дифференцированных тарифов, вероятно, обусловлено возрастающим интересом населения к таким тарифам и желанием перехода на них с одноставочных тарифов.

Используя усредненные графики нагрузок домов с газовыми и электрическими плитами в указанных городах, было определено соотношение потребляемой мощности в разное время суток (рис. 4), которое оказалось практически одинаковым.

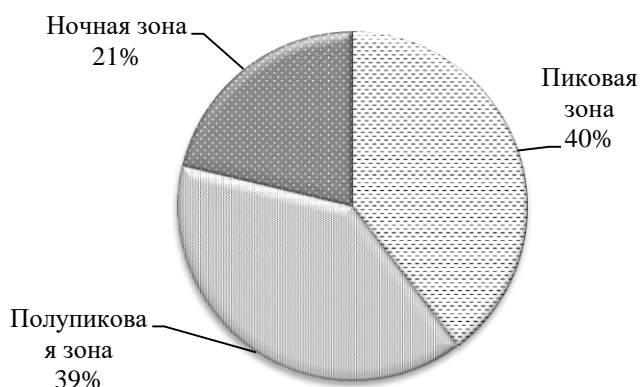


Рис. 4. Соотношение потребляемой мощности в разное время суток

Расчет стоимости потребленной электроэнергии показал, что дифференцированный тариф по трем зонам суток является наиболее экономически выгодным для населения, проживающего в Москве и в Хабаровске. Именно для этих регионов наблюдалось значительное увеличение дифференцированных тарифов. Причем, в 2015 г. было самое привлекательное соотношение тарифов, позволяющее населению сэкономить денежные средства при переходе на дифференцированные тарифы. А именно, в 2015 г. при переходе с одноставочного на дифференцированный тариф жители Москвы и Хабаровска, квартиры которых оборудованы газовыми плитами, могли сэкономить 1858 и 1034 руб. в год, соответственно, в то время как в 2019 г. экономия сократилась до 673 и 739 руб. в год, соответственно.

Аналогичная ситуация складывается для жителей Москвы и Хабаровска, чьи квартиры оборудованы электрическими плитами. Москвичи в 2015 г. могли сэкономить 1962 руб. в год, в 2019 г. экономия составляет всего 558 руб. в год. Жители Хабаровска в 2015 г. При переходе с одноставочного на дифференцированный тариф по трем зонам суток могли сэкономить 1087 руб. в год, в 2019 г. экономия сократилась до 780 руб. в год. Соотношение тарифов для населения г. Челябинск такое, что выгоднее оплачивать электроэнергию по одноставочному тарифу.

Важно отметить, что для расчета по дифференцированным тарифам необходимо произвести замену приборов учета. Согласно информации, размещенной на сайте Мосэнергосбыта, перевод (установка/замена) прибора учета электрической энергии на многотарифный учет электрической энергии обойдется потребителям в среднем в 4800 руб. [2]. Таким образом, с учетом экономии за оплату электроэнергии при переходе на дифференцированные тарифы, замена электросчетчика в 2019 г. могла окупиться населению, проживающему в Москве и в Хабаровске в квартирах, оборудованных газовыми плитами, за 7 и 5,8 лет, соответственно. Для населения, проживающего в Москве и в Хабаровске в квартирах, оборудованных электрическими плитами, замена прибора учета электрической энергии на многотарифный учет электрической энергии окупится за 8,6 и 5,8 лет, соответственно.

Важно отметить также, что в случае рационального распределения нагрузки в течение дня, оплата по дифференцированным тарифам может позволить значительно сэкономить бюджет населению Москвы и Хабаровска и значительно сократить срок окупаемости замены приборов учета.

Литература

1. Тарифы на электроэнергию для населения в России [Электронный ресурс]. URL: <https://energybase.ru/tariff/electricity>(дата обращения: 04.12.2019).

2. Перевод прибора учета электрической энергии на многотарифный учет [Электронный ресурс]. URL: https://market.mosenergosbyt.ru/catalog/perevod_ustanovka_zamena_ru/perevod_ustanovka_zamena_pribora_ucheta_elektricheskoy_energii_na_mnogotarifnyy_uchet_elektricheskoy_8/(дата обращения: 07.12.2019).

УДК 681.5

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЛИФТА ПАРНОГО (ГРУППОВОГО) УПРАВЛЕНИЯ

¹Фетисов Леонид Валерьевич, ²Ахметов Рустам Ханифович

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

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

Данная статья посвящена энергоэффективности лифтового оборудования жилищно-коммунального хозяйства.

Ключевые слова: лифт, энергосбережение, рекуперация энергии, частотно-регулируемый привод.

ENHANCEMENT OF ENERGY SAVING AND EFFICIENCY OF WORK OF THE ELEVATOR OF PAIR (GROUP) MANAGEMENT

¹Fetisov Leonid Valerievich, ²Ahmetov Rustam Hanifovich

KSPEU, Kazan

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

This article is devoted to energy efficiency of elevator equipment for housing and communal services

Keywords: elevator, energy saving, energy recovery, variable frequency drive.

Рассмотрим возможность энергосбережения и повышения эффективности работы лифтов парного управления. Характеристика лифтов представлена в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика лифтов

№	Модель лифта	Грузо-подъемность, кг	Количество остановок	Мощность двигателя лебедки, кВт	Мощность двигателя привода дверей, кВт
1	OTIS 2000R	1000	17	8,5	0,2
2	OTIS 1000R	400	17	5,5	0,2

Необходимо, чтобы при эксплуатации лифта пассажирами не происходил повторный приказ парного лифта. То есть при вызове лифта с посадочной площадки и при нажатии приказа из кабины лифта исключить одновременную команду вызова второму парному лифту.

Классический принцип парной работы в группе из 2-х лифтов следующий. В парной работе вызова, поступающего с этажей, вызов распределяется между двумя лифтами по следующему алгоритму:

1) при наличии на 1-м этаже одной свободной кабины (под свободной кабиной понимается порожняя кабина, без выбранного направления движения с закрытыми дверьми) эта кабина выполняет следующие вызовы:

- вызов с 1-ого этажа (открытие двери);
- вызов, поступившей выше движущейся вниз второй кабины;
- любой вызов, поступивший при движении вниз второй кабины, загруженной более 90 % загрузки (после пропадания сигнала готовности к паре т.е. с задержкой времени);

2) при наличии на 1-м этаже двух свободных, вызов 1-го этажа (открытие двери) и следование по вызову с других этажей выполняется только одной кабиной;

3) кабина, освободившаяся от пассажиров на промежуточном этаже, выполняет следующие вызовы:

- любой вызов, кроме вызова с 1-ого этажа, если кабина другого лифта находится на 1-м этаже;
- вызов, зарегистрированный выше движущейся кабины другого лифта;
- любой вызов, зарегистрированный при движущейся вниз кабине другого лифта, загруженного более 90 %;
- отправляется вниз на 1-ый этаж, если другая кабина едет вверх или стоит выше;

4) при движении вниз сразу двух кабин попутный вызов выполняется одной из них, а именно той, которая ближе к этажу с вызовом.

Парная работа двух лифтов возможна только тогда, когда оба лифта готовы к парной работе. Сигнал о готовности к парной работе формируется при условии, что лифт находится в режиме нормальной работы и одновременном отсутствии сигналов о перегрузке (110 %), неисправности «дисп. 2», а также, если отсутствует загрузка движущейся кабины на 90 % и замкнут блокировочный пускатель КМ6.

Сигнал «дисп. 2» формируется в режиме нормальной работы при одном условии:

- срабатывание замка перегородки после появления ВКО (открытие дверей);
- сбой местоположения после появления ВКО;
- охрана шахты лифта ДШ;
- время открытия или закрытия дверей больше контрольного времени;
- нарушение цепи безопасности;
- наличие КБР в режиме нормальной работа;
- неисправность дверей (8 реверсов);
- появление сигнала пожарной опасности;
- перегрев 2 (кабина стоит на этаже);
- наличие требования при наличии ВКЗ и отсутствия движения;
- обрыв фаз [1, 2].

Несмотря на технически правильный принцип алгоритма парной работы лифтов, данный алгоритм имеет недостаток в ограниченности числом возможных вариантов действий, что в свою очередь отрицательно сказывается на работе комфортной доставке пассажиров и дополнительных энергозатрат.

Решение задачи управления работой парного управления лифтами происходит таким образом. Считается, что наилучшим алгоритмом управления группой лифтов является тот, который обеспечивает минимальные значения времени ожидания кабины пассажирами на посадочном этаже и перемещения их между этажами, а также минимизирует расход электроэнергии и при этом не требует значительных финансовых затрат. При определении параметров группы лифтов и алгоритмов управления требуется аналитически оценить характеристики пассажиропотока здания. Основными такими характеристиками являются интенсивность пассажиропотока, время ожидания кабины на этаже и время кругового рейса кабины.

При установлении дополнительного контроллера в станцию управления лифтом, согласно схеме, изображенной на рисунке.

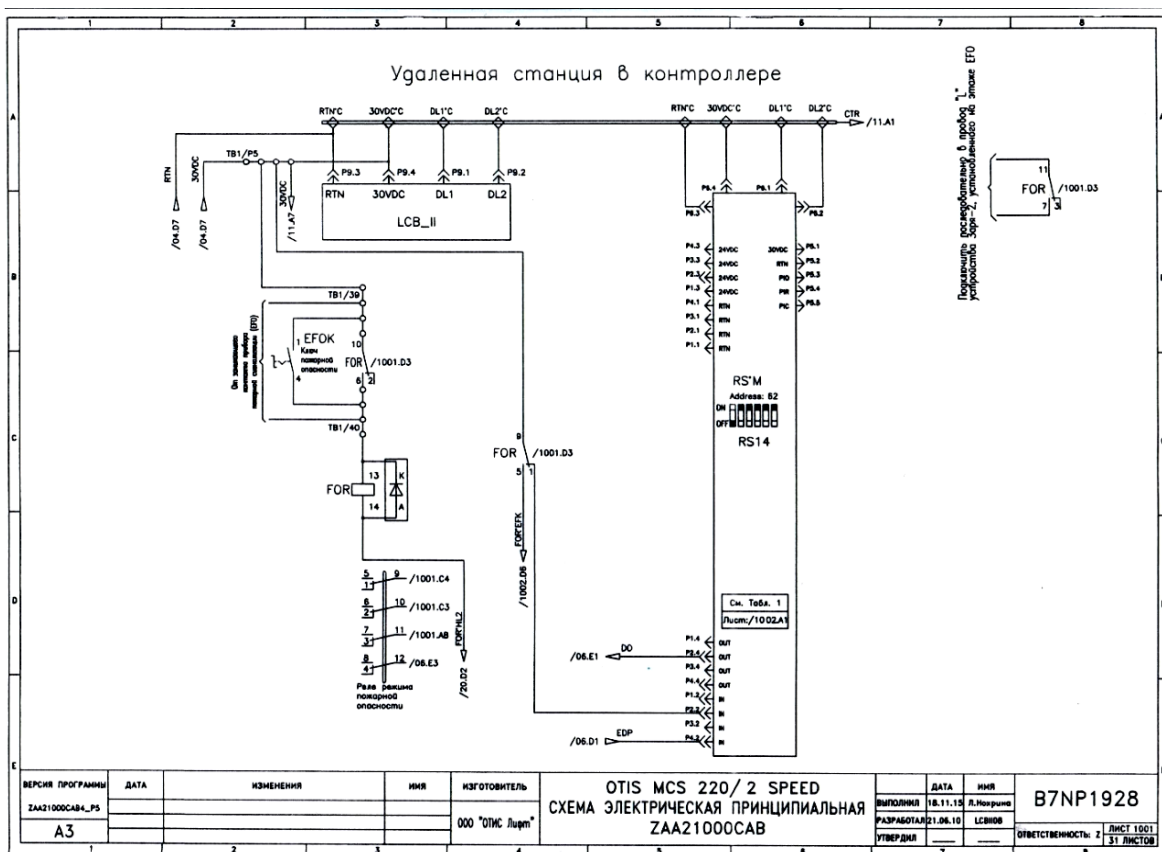


Схема электрическая принципиальная OTIS MCS 220/2

Получаем след алгоритм парной (групповой) работы лифтов, изображенной в табл. 2.

Таблица 2

Алгоритм парной работы лифтов контролера ТСВ

GROUP – Параметры работы в группе			
N	Символ	По умолчанию	Параметр и диапазон установки
1	2	3	4
0.	GRP-NO	1	Номер идентификатора кабины в группе: 1 (1) 3
1.	GROUP	1	Количество кабин в группе: 1 (1) 3
2.	CNL	1	Количество кабин, паркующихся на этаже Lobby : 1 (1) 3
3.	MIT-ST	0	Задержка старта MIT (средний входящий пассажиропоток): Если в течение промежутка времени MIT-ST, выраженного в секундах, две кабины покидают этаж Lobby с пассажирской нагрузкой LNS, то инициируется режим MIT. 0 (1) 255 с

Продолжение табл. 2

1	2	3	4
4.	MIT-T	0	Приостановление MIT: Если в течение промежутка времени MIT-T ни одна из кабин не покинет этаж Lobby с пассажирской нагрузкой LNS, то действие режима MIT приостанавливается. 0 (1) 255 с
5.	MIT-VD	0	Переменный интервал отправки MIT: Кабина, находящаяся на этаже Lobby, покинет этот этаж, если последовали вызовы и истекло время MIT-VD, или если кабина загружена. 0 (1) 255 с
6.	MIT-DOOR	0	Двери по умолчанию в режиме MIT: Если кабина находится на этаже Lobby в ожидании пассажиров, то: 0 стоит с открытой дверью 1 стоит с закрытой дверью
7.	MIT-NLB	0	MIT без пропуска этажа Lobby: 0 Отвечает на вызовы с этажей при движении к этажу Lobby 1 Не отвечает на вызовы с этажей
8.	DUPK-P	255	Позиция границы DualUpPeakBorder (двойного пика вверх): При активации входа DUPK группа разбивается на две подгруппы. Выбранная этажная площадка DUPK-P разделяет группы 0 (1) 31 >31 Запрещено
9.	DUPK-G	0	Двойной пик вверх (DualUpPeak) группы: <u>0 Кабина приписана к подгруппе 1.</u> Кабина обслуживает этаж Lobby и все этажи ниже этажа DUPK-P, но не отвечает на вызовы с этажных площадок. <u>1 Кабина приписана к подгруппе 2.</u> Кабина обслуживает этаж Lobby и все этажи выше этажной площадки DUPK-P. Эта кабина отвечает на все вызовы с этажных площадок
10.	MOT-T	0	Приостановление MOT (средний нисходящий пассажиропоток): Если в промежутке времени MOT-T, выраженном в секундах, на этаж Lobby прибывают две кабины с пассажирской нагрузкой LNS, то инициируется MOT. Если за тот же промежуток времени на этаж Lobby не прибывает ни одна кабина с пассажирской нагрузкой LNS, то действие режима MOT приостанавливается. 0 (1) 255 с
11.	EN-UCB	0	Разрешение пропуска вызовов вверх: 0 Кабина отвечает на вызовы с этажных площадок для движения как вверх, так и вниз 1 Кабина отвечает на вызовы с этажных площадок только для движения вниз

1	2	3	4
12.	TFS-P	255	<p>Позиция этажаперехода:</p> <p>Если группа кабин разбита на подгруппы малой и высокой этажности, то на этом этаже пассажиры переходят из одной подгруппы в другую.</p> <p>0 (1) 31 >31 Запрещено</p>
13.	EN-ZBS	0	<p>Разрешение отдельной подвальной зоны:</p> <p>0 Запрещена свободная парковка в подвальной зоне 1 Разрешена свободная парковка в подвальной зоне</p>
14.	SEL-COMP	0	<p>Выбор совместимой связи с MCS310:</p> <p>00 <u>MCS120 / 220 /220M</u> (Группа из трёх кабин – кольцо ICD3.3) <u>1 MCS310 с программным обеспечением G44</u> (Группа из двух кабин - кольцо ICD3.0) <u>2 MCS310 с программным обеспечением G57</u> (Группа из двух кабин – кольцо ICD3.0) Примечание: Данный параметр становится действительным после очередной подачи электропитания.</p>
15.	L-PARK	0	<p>Опция парковки на этаже Lobby (только если SEL- COMP0): Вторая кабина входит на этаж Lobby, когда кабина, находящаяся на этаже Lobby, 0 Получает вызов 1 Покидает этаж Lobby</p>
16.	PRKDST	0	<p>Минимальная дистанция до позиции парковки, разрешающая парковочный прогон: Парковочный прогон выполняется только в том случае, если расстояние до этажа назначения больше, чем число, обозначенное данным параметром.</p> <p>0 (1) 31</p>
17.	EN-GSS	0	<p>Поочередной старт группы</p> <p>Если электрическая мощность, подведённая к зданию, ограничена, то надлежит принять меры, исключающие одновременный старт нескольких кабин. При управлении группой кабин используется кольцевая связь, в то время как при управлении одиночными кабинами используются удалённые входы и выходы I/Qs, посредством которых кабины блокируют друг друга:</p> <p>Если вход GSSI активен, то кабина не придёт в движение. Если вход GSSI не активен, то кабина настроит свой выход GSSO (который соединён с входом GSSI другой кабины) на промежуток времени MG-DEL и придёт в движение.</p> <p>0 Запрещён 1 GSS вызван удалёнными I/OsGSSI (972), GSSO (973) для сводных одиночныхкабин 2 GSSt последовательной связью с группой</p>
18.	MG-DEL	0	<p>Задержка генератор-двигатель для GSS</p> <p>0 (1) 255 с</p>

Таким образом, в сравнении с классическим алгоритмом парного управления, современный способ управления группой лифтов будет более эффективным. Данное использование контроллера позволит реализовывать более сложные алгоритмы без серьезного увеличения дополнительного оборудования [3–5]. Появляются возможности внедрения новых функций для обеспечения комфортного обслуживания в зависимости от количества потока пассажиров, а также снижения энергозатрат в рамках вышеуказанного контроллера, например для проведения самоанализа вызова лифта на часто используемые посадочные площадки. При разработке подобных систем в качестве показателя эффективности работы целесообразно использовать число внедряемых функций наряду с уже существующими показателями эффективности [6, 7].

Литература

1. Устройство управления пассажирскими лифтами для жилых зданий с применением микроэлектроники. Техническое описание. С. 54–59.
- 2/ Field component manual руководство, Software Data MCS-ТСВ/НСВ, Установочные параметры, 4-АА3, № GAA26800 ВА VIIIc, № GAA26800 BW VIIIc, С. 1/40, Дата 17 мая 2002 г., SCN:GAA30084CAA.
3. Рудаков А. И., Роженцова Н. В., Денисова А. Р. Современные технические средства повышения энергоэффективности водокольцевых машин // Промышленная энергетика. 2014. № 5. С. 27–30.
4. Виды модернизации лифтов [Электронный ресурс]. URL: <https://www.liftholding.ru/uslugi/modernizatsiya-liftov/vidy-modernizatsii-liftov/> (дата обращения: 07.10.2019).
5. Системы управления лифтами на базе микропроцессорной техники [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.liftspas.ru/read/2/73-sistemy-upravleniya-liftami-na-baze-mikroprocessornoj-tehniki.html> (дата обращения: 07.10.2019)
6. Федотов А. И, Роженцова Н. В., Вагапов Г. В., Абдуллазянов Р. Э. Методика проверки эффективности токоограничивающего устройства для снижения глубины провала напряжения // Промышленная энергетика. – М.: Научно-техническая фирма «Энергопрогресс», 2016. – №12. – С. 28–33.
7. Rozhentcova N. V., Ivanova V. R., Fetisov L. V., Yarmuhametov I. Y. Development of a stand construction concept for safe and efficient after-repair tests of induction motors up to 1 kV / 2019 International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems (ICOECS). Pp. 146–150.

УДК 621.311

ОПЫТ РЕАЛИЗАЦИИ ПОТЕНЦИАЛА ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА: МИРОВОЙ И ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ УРОВЕНЬ

¹Фетисов Леонид Валерьевич, ²Гарифуллин Айдар Азатович
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
¹leonidfetisov@mail.ru, ²stantist@mail.ru

Жилищно-коммунальное хозяйство владеет большими возможностями для сокращения потребления энергоресурсов в нашей стране и во всем мире. По докладом специалистов, каждый год отрасль теряет порядка 300 млрд руб. только из-за низкой энергоэффективности, которые можно было сэкономить, внедрив современные технологии энергосбережения. Для качественного обнаружения потенциала энергосбережения проводят комплекс энергосберегающих процедур, который, в свою очередь, дает технологический, энергетический, финансовый или другой эффекты. Проблема повышения энергоэффективности жилищно-коммунального хозяйства России на сегодняшний день требует немедленного решения данной проблемы в целом. А это всё требует больших инвестиционных вложений, идей, времени и человеческих ресурсов. В соседних странах энергосбережение в ЖКХ активно растет и позволяет видеть хорошие результаты. В статье рассмотрены опыты энергосбережения таких стран, как Германия, Япония, Швейцария, США, которые могут быть использованы для поднятия жилищно-коммунального хозяйства России на новый уровень энергоэффективности.

Ключевые слова: потенциал энергосбережения, жилищно-коммунальное хозяйство, энергосбережение, технологии, экономика, мероприятия.

EXPERIENCE IN IMPLEMENTING THE POTENTIAL OF ENERGY SAVING OF THE HOUSING AND COMMUNITY SERVICES: WORLD AND DOMESTIC LEVE

¹Fetisov Leonid Valerievich, ²Garifullin Aidar Azatovich
KSPEU, Kazan
¹leonidfetisov@mail.ru, ²stantist@mail.ru

Housing and utilities has great potential for reducing energy consumption in our country and around the world. According to experts, every year the industry loses about 300 billion rubles. only because of low energy efficiency, which could be saved by

introducing modern energy-saving technologies. For high-quality detection of energy saving potential, a complex of energy-saving procedures is carried out, which in turn gives a technological, energy, financial or other effect. The problem of increasing the energy efficiency of the housing and communal services of Russia today requires an immediate solution to this problem as a whole. And all this requires large investments, ideas, time and human resources. In neighboring countries, energy saving in housing and communal services is actively growing and allows you to see good results. The article discusses the energy-saving experiments of countries such as Germany, Japan, Switzerland, the United States, which can be used to raise the housing and communal services of Russia to a new level of energy efficiency.

Key words: energy saving potential, housing and communal services, energy saving, technology, economics, events.

Энергосбережение ресурсов в жилищно-коммунальном хозяйстве (ЖКХ) на современном этапе развития занимает лидирующую позицию в проблеме энергетики всего мира и в нашей стране включительно. Эти проблемы определяются такими факторами, как дефицит и истощение устаревших энергоресурсов и не активное вложение инвестиций в разработки современных технологий и их совершенствование, в области энергосбережения, а также защита окружающей среды. Для устранения и недопущения данных проблем необходим более внимательный подход к энергосбережению ЖКХ и их поэтапная реализация [2]. Потенциал энергосбережения – это технологический, социальный, энергетический, финансовый, физиологический или иной эффекты, которые могут быть получены от запланированных энергосберегающих мероприятий. ЖКХ является одним из ключевых секторов экономики России, также лидирующим по затратам в потреблении топливно-энергетических ресурсов (ТЭР). На долю ЖКХ, которое потребляет до 25 % энергоресурсов, приходится около 30 % общей величины основных фондов РФ. В настоящее время ЖКХ нашей страны проявляет нестабильное состояние, так как оно связано с амортизацией основных производственных фондов, так и неэффективным распределением поступающих в отрасль денежных средств. Все эти упущения тянут «вниз» и ведут к деградации инфраструктуры ЖКХ и хроническому недофинансированию отрасли в целом [1]. Исходя из отчетов Министерства энергетики России, резерв энергосбережения составляет 38 % от общего уровня энергосбережения по всей стране (380–450 млн т.у.т.): запасы энергосбережения по электроэнергии составляют 20–25 %, по тепловой энергии – 30–65 %. Также по расчету Института энергетических исследований РАН

в ближайшие годы будут непоколебимо увеличиваться цены на энергоносители. И, естественно, это очень сильно повлияет на скорость повышения тарифов на электроэнергию, воду, газ и на теплоэнергию [3].

Для качественной реализации возможности энергосбережения необходимо применение современных и новейших технологий, которые будут сохранять энергию в отрасли ЖКХ. Также стоит не только уменьшать потребление энергоресурсов, таких как газ и нефть, но и уже начать широкое использование возобновляемых и альтернативных источников энергии: солнце, ветер и биогаз, а также энергию приливов и отливов.

Биогаз относится к одному из часто встречающихся источников энергии за границей. Его получают из пищевых и сельскохозяйственных отходов, синтезируя процесс газообразования необходимыми микроорганизмами. В нашей стране данные отходы транспортируют на свалки и на мусорные полигоны, где они разлагаются вместе с полимерами и металлами, принося ущерб не только водным и земельным ресурсам, но флоре и фауне этой территории. Энергопотенциал биогаза очень высок и позволяет при рациональном и грамотном применении снабжать биогазом целые улицы и районы. Одна из таких стран – Швеция, и она свободно применяет биогаз в области ЖКХ. В одном из районов «Западная гавань» в г. Мальмё на каждой кухне вмонтированы устройства, называемые диспоузерами. На данных устройствах жители измельчают остатки пищевых продуктов, и после переработки эта масса перемешивается с водой и далее накапливается в специальном бункере, где в бескислородной среде выделяется метан. Из полученного биогаза производят электроэнергию для домов этого района [4].

По расчетам Минэнерго всего 7 % граждане РФ задумываются об экономии энергоресурсов. В скандинавских странах необходимость экономии энергоресурсов прививается с младшего возраста, что благоприятно сказывается на увеличении сознательных жителей среди взрослого населения до 95 %. Например, в Германии из-за постоянного увеличения тарифа на газ и другие энергоносители, проявляется высокий интерес к энергосберегающим технологиям. Немаловажное условие, что энергосберегающие технологии финансируют не государство, а банки и крупные организации. Германия – это современная и успешно развивающаяся страна, которая активно применяет возобновляемые источники энергии и современные технологии энергосбережения. В наши дни треть всей электроэнергии в Германии получают от ветроустановок. Берлин рассчитывает снабдить пустыри солнечными панелями.

Планируется, что инвесторы внесут инвестиции на размещение более 100 000 м² солнечных панелей, и генерированная энергия будет транспортироваться в районную электросеть. При закупках вычислительно-цифровой и оргтехники организации и предприятия Берлина обязаны выбирать устройства с минимальным потреблением электроэнергии. Данные мероприятия позволят Германии достичь в ближайшее время более желаемого потенциала энергосбережения и поднять экономику на ещё более высокий уровень [6].

Высочайшие успехи в области энергосбережения ЖКХ в США стали достигать еще 10–15 лет назад. Вследствие проведения энергосберегающих мероприятий в это время энергопотребление снизилось на 20 %. Благоприятный результат был достигнут благодаря множеству научных исследований и опытов, которые верно определили направление энергосбережения, а также свою не маловажную роль сыграло своевременное принятие законов и законодательных актов, на основе которых были внедрены современные строительные и архитектурные технологии. Жители Америки, чьи дома энергетически неэффективны и имеют плохую теплоизоляцию, получают государственную поддержку от Министерства энергетики США в оценке энергоэффективности и предоставления услуг по дальнейшему утеплению жилья, и эта программа охватила более пяти миллионов американских семей и включает следующее:

- 1) энергоаудит и другие мероприятия;
- 2) обшивание дома и замена стеклопакетов;
- 3) изоляция стен, чердака и труб;
- 4) модернизация системы климат-контроля (нагревание, вентиляция, кондиционирование).

Данный проект предоставляет жителям США возможность сократить расходы на коммунальные услуги на 20 %, что способствует экономии семейного бюджета [3].

На протяжении долгих лет и по нынешнее время Европейские страны стремятся к повышению энергоэффективности с помощью применения высокоэффективной теплоизоляции, установкой тепловых насосов, современных стеклопакетов и входных групп, предотвращающих утечку теплого воздуха, применение котельных установок с высоким КПД и устройств поквартирного управления температурой теплоносителя [4]. Политика в ресурсосбережении зародилась в Японии ещё с XX века, 1970-ые гг. В стране «восходящего солнца» активно работают над усовершенствованием технологий возведения зданий для уменьшения затрат на отопление и кондиционирование, разрабатываются мероприятия

и проводятся эксперименты по повышению энергоёмкости жилья. Наибольший интерес в Японии уделяют обучению граждан в сбережении энергии в быту (временное удержание от просмотра телевизоров, кратковременное отключение кондиционеров и других потребителей). Как и в Германии, в Японии обширно применяются солнечные панели. Финансирование на приобретение солнечных панелей населению на 1/3 оплачивается правительством страны [3]. В странах Юго-Восточной Азии (Сингапур, Корея, Тайвань, Гонконг) наибольшая часть энергосберегающих мероприятий компенсируется государством. Правительство страны агитирует на установку энергосберегающего оборудования и предлагает выгодные предложения, такие как беспроцентные ссуды и субсидии на покупку материалов и модернизацию здания в соответствии с современными стандартами и рекомендациями специалистов [4].

Россия – страна больших возможностей в формировании и исполнении потенциала энергосбережения как в ЖКХ, так и в других секторах экономики. На сегодняшний день ЖКХ основательно проигрывает коммерческому и промышленному сектору экономики. Энергосберегающие технологии частично вводятся на возводимых объектах ЖКХ и ещё не стали концепцией для всего энергокомплекса. Необходима повсеместная установка приборов учёта тепловой энергии. А из-за недофинансирования ЖКХ выходят проблемы с ремонтом кровли и чердаков жилых домов, заменой устаревших и прочих сетей коммуникаций. Основной угрозой в энергоснабжении является неудовлетворительное состояние энергоисточников, магистральных и распределительных тепловых сетей. Участвовавшие сбои и аварии в тепло- и электроснабжении увеличивают экономические потери [3]. Сфера жилищно-коммунального хозяйства России специфична и неоднородна. Поэтому экспертам крайне сложно разработать универсальную методику для устранения накопившихся проблем. Специалисты Аналитического центра при правительстве РФ проанализировали опыт внедрения энергоэффективных технологий в разных странах мира и подготовили список рекомендаций, которые можно применить в условиях России. Наряду с установкой энергоэффективных светильников, использованием автоматизированных систем управления теплом, уличным и подъездным освещением, а также внедрением программы «Умный город» также были названы:

- 1) создание региональных и областных агентств, фондов, органов, которые будут принимать участие в подготовке проектов, привлекать финансирование и нести ответственность за реализацию программы энергосбережения в ЖКХ;

- 2) сокращение кризиса неплатежей и потерь энергоресурсов;
- 3) государственная поддержка энергоэффективных проектов;
- 4) привлечение инвесторов из-за рубежа.

Применение энергосберегающих технологий и программ в сфере ЖКХ позволят сократить потребление ТЭР, также повысит качество услуг, предоставляемых населению, в соответствии с принятыми стандартами, снизит нагрузку на региональные бюджеты, повысит безопасность населения страны и сгладит социальную напряженность по стране. Качественная реализация потенциала энергосбережения не только устранит проблемы, но и поднимет ЖКХ России на совсем другой уровень.

Литература

1. Першина Т. А. Развитие системы управления энергозатратами на предприятиях жилищно-коммунальной сферы: дис. ... канд. экон. наук. Волгоград, 2006. 174 с.

2. Беляев М. К., Максимчук О. В., Першина Т. А. Управление энергозатратами на предприятиях жилищно-коммунального хозяйства. Волгоград: ВолгГАСУ, 2009. 144 с.

3. Федотов А. И, Роженцова Н. В., Вагапов Г. В., Абдуллазянов Р. Э. Методика проверки эффективности токоограничивающего устройства для снижения глубины провала напряжения // Промышленная энергетика. 2016. № 12. С. 28–33.

4. Фетисов Л. В., Низамутдинов Р. Р., Шайхиев И. Г. Энергосбережение в электроприводе аэрационных установок очистных сооружений биологической очистки сточных вод // Вестник технологического университета. 2016. Т.19. № 5. С. 158–160.

5. Энергосбережение, энергосберегающие технологии [Электронный ресурс]. URL: <http://www.verdit.ru/finansing/4131-this-article-will-reveal-a-bit-on-qenergy-savingq.html> (дата обращения: 23.01.2020).

6. Иванова В. Р., Иванов И. Ю., Новокрещенов В. В. Структурный и параметрический синтез алгоритмов противоаварийного управления для реализации адаптивной частотной делительной автоматики электротехнических систем // Известия вузов. Проблемы энергетике. 2019. Т. 21. № 4. С. 66–76, DOI:10.30724/1998-9903-2019-21-4-66-76.

УДК 537.311

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ НА 6(10) КВ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕКЛОУЗЕРОВ

¹Фетисов Леонид Валерьевич, ²Каримуллин Самат Мавлютович
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
¹leonidfetisov@mail.ru, ²karimullin1996@gmail.com

В статье рассматривается использование линий на основе реклоузеров, которые способны обеспечить надежность бесперебойного питания потребителей.

Ключевые слова: реклоузер, воздушные линии, фидер, вакуумный выключатель.

INCREASE THE ENERGY EFFICIENCY OF AIR ELECTRIC TRANSMISSION LINES BY 6(10) KV AT THE INVENTION OF USING RECLOSER

¹Fetisov Leonid Valerevich, ²Karimullin Samat Mavlutovich
KSPEU, Kazan
¹leonidfetisov@mail.ru, ²karimullin1996@gmail.com

The article discusses the use of lines based on reclosers that are able to ensure the reliability of uninterrupted power supply to consumers.

Key words: recloser, air line, feeder, vacuum switch.

Обеспечение бесперебойного питания электрической энергией потребителя закладывается как основополагающий факт в начале этапа проектирования системы электроснабжения. В зависимости от категории потребителя электрической энергии проектировщик обязан уложиться во временные рамки по перебою в питании. Последним этапом при транспортировке электроэнергии к потребителям являются линия электропередач.

Разделение линии ЛЭП на малые участки и установление в них умных систем управления помогут значительно увеличить надежность электроснабжения, поэтому перспективность таких систем очевидна.

Разработка системы электроснабжения на основе использования реклоузера, в основе которой лежит явление секционирования линии с использованием дистанционного управления, является актуальной задачей [1].

Различают два вида передачи электрической энергии – по воздушной и по кабельной линиям. Рассмотрим передачу на 6(10) кВ по воздушным линиям электропередачи. Воздушные распределительные сети 6(10) кВ являются наиболее незащищенным звеном в схеме электроснабжения, так как в них происходит около 75 % нарушений снабжения электричеством потребителей. Это возникает из-за того, что провода находятся на открытой местности и любые природные катаклизмы могут привести к обрыву линии, например: попадание молнии в ЛЭП, обрушение одной из опор каскада воздушной линии (ВЛ), скрещивание проводов ВЛ. Воздушные линии электропередач 6(10) кВ построены по радиальному принципу древовидной структуры, то есть сечения проводов уменьшаются от головного участка к концу линии. На пути следования установлены множество связей на ручных разъединителях, на подстанциях 110/35/6(10) кВ установлены аппараты защиты.

Система работы защитной аппаратуры построена таким образом, что при возникновении отклонения измеряемых параметров тока, защитная аппаратура реагирует на изменения и отключает электроснабжение с фидера. Происходит отключение множества числа потребителей на неопределенное количество времени, так как к старым аппаратам защиты не предъявляются требования по многократной реализации автоматического повторного включения (АПВ).

Обеспечение бесперебойного питания решают также путем многократного резервирования и секционирования линии разъединителями с ручным приводом. Но этот способ также имеет свои минусы. Решают данную проблему секционированием линии на несколько относительно короткие участки с установкой на них промежуточных автоматических защитно-коммутационных аппаратов – реклоузеров [2, 3].

Реклоузер – устройство автоматического управления и защиты воздушных ЛЭП на основе вакуумных выключателей под управлением специализированного микропроцессора. Их установка помогает вывести поврежденный участок сети на время ликвидации неисправностей без нарушения питания большинства потребителей. Помимо защитных и противоаварийных функций реклоузер может использоваться в качестве устройства мониторинга, а также собирать данные характеристик и параметров электросетей. Поскольку они относятся к классу небольших автоматических выключателей, у них есть функция автоматического повторного включения (АПВ). В случае возникновения нештатной

ситуации анализ данных с использованием реклоузера позволяет обесточить поврежденный участок и направить туда ремонтную бригаду в кратчайшие сроки.

Реклоузер включает в себя:

- вакуумный (элегазовый) коммутационный аппарат;
- систему первичных преобразователей тока и напряжения;
- автономную систему оперативного питания;
- микропроцессорную систему релейной защиты и автоматики с возможностью подключения системы телемеханики;
- систему портов для подключения устройств телеметрии;
- комплекс программного обеспечения.

На каждый разделенный участок сети ЛЭП устанавливается собственное данное устройство. Согласно установленному заранее алгоритму он анализирует параметры работы и выполняет её конфигурацию. Существуют следующие варианты функционирования реклоузеров [4]:

- секционирование радиальной линии с односторонним питанием, в этом случае отсутствует сетевой резерв;
- установка на магистральном участке, при возникновении повреждения ближайший к нему реклоузер отключает нижестоящий участок сети;
- секционирование радиальной линии с двухсторонним питанием, дополнительно к реклоузерам на магистрали устанавливают еще один реклоузер, который используется в качестве пункта АВР.

Понятие «реклоузер» сегодня знакомо всем проектировщикам и релейщикам. Первые реклоузеры были произведены в компании Kyle (США) в 1941 г. На сегодняшний день самым крупным производителем вакуумных реклоузеров является компания «NOJA Power», производство которой расположено в Австралии. Родоначальником производства реклоузеров в нашей стране является компания Таврида Электрик. В нашей стране первые автоматические секционирующие пункты с комбинированной изоляцией и встроенной системой измерения были выпущены компанией Таврида Электрик еще в 2000 г. Внедрение реклоузеров в распределительные сети 6 (10) кВ является перспективным, технологически оправданным [5]. Можно сказать с уверенностью, что внедрение новых «умных» систем поможет повысить качество электроснабжения и вывести электрические сети среднего напряжения на более высокий уровень [6, 7].

Литература

1. Хасанзянов Б. Ф. О реклоузерах // Молодой учёный. 2014. № 7. С. 188–190.
2. Воротницкий В. Э., Бузин С. Реклоузер – новый уровень автоматизации и управления ВЛ 6(10) кВ // Новости электротехники. 2005. № 3. С. 33–34.
3. Ivanova V. R., Fetisov L. V., Bulatov O. A. The Analysis of Measurements of Indicators of Quality of the Electric Power and Calculation of Economic Efficiency After Installation of the Booster Transformer // 2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon): Vladivostok, 2018. Pp. 1–4.
4. Rozhentcova N. V., Ivanova V. R., Fetisov L. V., Yarmuhametov I. Y. Development of a stand construction concept for safe and efficient after-repair tests of induction motors up to 1 kV // 2019 International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems (ICOECS). Pp. 146–150.
5. Иванова В. Р. Устройства для эффективного и безопасного функционирования систем электроснабжения // Проблемы и перспективы развития энергетики, электротехники и энергоэффективности: матер. III Междунар. науч.-техн. конф. Чебоксары: ЧГУ им. И.Н. Ульянова. С. 462–466.
6. Рудаков А. И., Роженцова Н. В., Денисова А. Р. Современные технические средства повышения энергоэффективности водокольцевых машин // Промышленная энергетика. 2014. № 5. С. 27–30.
7. Иванов И. Ю. Совершенствование дифференциальной защиты линий электропередачи напряжением 110–220 кВ // Известия вузов. Проблемы Энергетики. 2012. № 1-2. С. 152–160.

УДК 621.314

ТЕПЛОВИЗИОННОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ТРАНСФОРМАТОРОВ. ОСНОВНЫЕ ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ

¹Яруллин Рамазан Рамилович, ²Ильин Олег Владимирович

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

¹yarullinramazan@yandex.ru, ²oleg-ili@yandex.ru

В статье представлен анализ метода исследования электрооборудования с помощью инфракрасной диагностики. Рассмотрены основные достоинства и недостатки данного метода.

В настоящее время вопросы диагностирования электрооборудования обретают всё большую актуальность, связанную с рядом причин. В первую очередь, это высокий темп роста числа оборудования, которое отработало свой срок службы. В РФ еще в 2000 г. доля такого оборудования превышала 50 % от общего числа оборудования. Также по причине недостаточного финансирования в течение продолжительного времени планово-профилактические работы проводились в неполном объеме, что привело к снижению качества и надежности энергоснабжения, а также к увеличению повреждаемости электрооборудования.

Ключевые слова: диагностика электрооборудования, тепловизионный метод, трансформатор, надежность, дефектовка, повреждаемость электрооборудования.

THERMAL VISION SURVEY OF TRANSFORMERS. KEY ADVANTAGES AND DISADVANTAGES

¹Yarullin Ramazan Ramilovich, ²Ilyin Oleg Vladimirovich

KSPEU, Kazan

¹yarullinramazan@yandex.ru, ²oleg-ili@yandex.ru

The article presents an analysis of the research method of electrical equipment using thermal imaging equipment. The main advantages and disadvantages of this are given. Recently, the issues of diagnosing electrical equipment are gaining great relevance, associated with a number of reasons. First of all, due to the fact that in recent decades there has been a high growth rate in the number of equipment that has worked out its life. As far back as 2000, the share of such equipment in the Russian Federation exceeded 50% of the total number of equipment. Also, due to insufficient funding for a long time, preventive maintenance was carried out incompletely, which led to a decrease in the quality and reliability of energy supply, as well as to an increase in damage to electrical equipment.

Ключевые слова: electrical equipment diagnostics, thermal imaging method, transformer, reliability, fault detection, electrical equipment downtime.

Увеличение числа электрооборудования, отработавшего нормативный срок службы, также справедливо и для трансформаторов на подстанциях 35–750 кВ, являющихся одним из их важнейших элементов, определяющих надежность электроснабжения [1].

Данная ситуация неизбежно привела к тому, что проблема оценки состояния и прогнозирования остаточного ресурса и работоспособности является одной из главных в системе обслуживания на сегодняшний день. Именно по этой причине очень большое внимание уделяется вопросам разработки методов и устройств диагностики, позволяющие осуществлять контроль состояния оборудования в процессе его эксплуатации.

По данным анализа отказов силовых трансформаторов, проведенного «ОРГРЭС», 60 % отказов приходится на трансформаторы старше 12 лет.

Одним из современных и эффективных способов диагностики является тепловизионное обследование, которое позволяет обнаружить дефекты на ранней стадии [2].

Тепловизионные обследования по выявлению дефектов действующего электрооборудования позволяют провести оценку теплового состояния трансформаторов различного назначения в процессе их эксплуатации без снятия напряжения.

Суть тепловизионного метода диагностики заключается в дистанционном определении температурного поля на поверхности контролируемого устройства посредством измерительной аппаратуры, составлении термограммы и ее анализа с использованием ЭВМ для определения места и вида дефекта и принятия решения о возможности или недопустимости дальнейшей эксплуатации оборудования [3].

Наличие дефекта при такой диагностике характеризуется отклонением температуры в зоне дефекта по сравнению с температурой качественными участками.

Такая диагностика электрооборудования информативна, экономична и удобна для мониторинга технического состояния электрооборудования. Преимуществами тепловизионной диагностики электрооборудования по сравнению с другими методами неразрушающего контроля являются:

- обследование объектов в процессе эксплуатации без снятия напряжения;
- возможность классификации дефектов по степени их опасности;
- возможность объективного документирования обнаруженных дефектов [4].

Основным недостатком тепловизионного обследования является технические требования к устройствам, используемым в рамках обследования, к ним относятся:

- спектральный диапазон – 2,5–5,0 или 8,0–14,0 мкм;
- погрешность измерения температуры – $\pm 2,00^{\circ}\text{C}$;
- чувствительность – $0,20^{\circ}\text{C}$;
- диапазон измеряемых температур – $-20 - +150^{\circ}\text{C}$;
- формат изображения – не менее 320 на 240 элементов для тепловизоров и не менее 100 элементов для сканеров;
- количество сохраняемых изображений – не менее 30;
- температурные условия работы – $15 - +50^{\circ}\text{C}$ [5].

Проведенный в РАО «ЕЭС России» анализ повреждений маслонаполненного оборудования, главным образом, показал, что в силовых трансформаторах и шунтирующих реакторах 87,7 % повреждений в основном приходится на три узла – маслонаполненные вводы, обмотки и устройства регулирования под нагрузкой и устройства регулирования напряжения без нагрузки. По этой причине при проведении тепловизионного обследования трансформаторов именно данным узлам следует уделить особое внимание.

В процессе анализа результатов обследования с помощью тепловизионного оборудования важно учитывать конструктивные особенности исполнения рассматриваемого типа трансформатора, а именно способ охлаждения обмоток и магнитопровода, также немаловажным являются факторы условий эксплуатации и ее длительности [6].

Для этого необходимо провести предварительную подготовку к обследованию, которая заключается в изучении паспортных и конструктивных данных трансформатора, срока и условий эксплуатации, данных о проведенных ремонтных работах и их результатах, а также степени загрузки трансформатора.

Завершающим этапом тепловизионного обследования трансформатора является составление отчета, в котором фиксируется перечень обнаруженных дефектов и их степень, а также приводятся рекомендации и мероприятия по их устранению, важно приложить термограммы с их привязкой к видеоизображению для упрощения устранения и последующего контроля.

Данный объем информации позволяет планировать ремонтные работы, опираясь не только на нормативы, но и используя мониторинг актуального состояния агрегата и его узлов по результатам тепловизионного обследования [7].

Тепловизионное обследование, главным образом, направлено на диагностику маслонаполненных трансформаторов тока, оно позволяет оценить состояние как внутренних, так и внешних контактных соединений. Учитывая специфику функционирования измерительных и релейных трансформаторов тока, на начальном этапе подготовки к обследованию необходимо обратить внимание на количество и величину токов контактной сети, которые протекают по обмоткам, кроме того, важно обратить внимание на результаты измерения характеристик изоляции обмоток.

Необходимо выполнить пофазное сравнение температур, которые измерялись в идентичных зонах поверхности крышек трансформатора тока, при этом разность температур не должна превышать 0,3 °С. Нагревание контактов внутреннего переключающего устройства

на термограмме проявляется в виде температурной аномалии на поверхности расширителя [8]. При превышении температуры более чем на 10–15°C можно говорить об аварийном состоянии переключателя [9].

Маслонаполненные трансформаторы напряжения серии НКФ работают в режиме насыщения, по этой причине при тепловизионном обследовании на термограмме наблюдается повышение температуры на фарфоровой крышке. Кроме того, повышенный нагрев трансформатора напряжения может быть вызван потерями в стали магнитопровода в виду ее повреждений, витковых замыканиями в обмотках или из-за попадания влаги и загрязнения [10].

Таким образом, можно заключить, что тепловизионный метод имеет ряд значимых преимуществ, таких как дистанционность, наглядность, объективность, высокая производительность и оперативность. По сравнению с традиционными методами диагностики электрооборудования, это делает его весьма привлекательным и эффективным при необходимости обследования большой группы разнородных объектов электрооборудования в процессе его эксплуатации без отключения нагрузки, кроме того тепловизионные обследования электрооборудования могут применяться при периодическом обследовании, что дает возможность оперативно обнаруживать дефекты на ранней стадии их развития [11].

Литература

1. Ковганюк В. Ф., Шишкина А. Ф. Применение тепловизоров для обнаружения неисправностей электрооборудования // Ответственный редактор. 2017. С. 26.

2. Апенин М. В., Большачков А. А., Козлов А. Н. Методы диагностики маслонаполненного электрооборудования // Вестник Амурского государственного университета. Серия: Естественные и экономические науки. 2016. № 75. С. 58–61.

3. Баталова А. В., Захаренко В. А., Зенков В. В. Бесконтактный контроль температуры электрических контактных соединений // Россия молодая: передовые технологии в промышленность. 2015. № 1. С. 108–111.

4. Кашин Я. М. и др. Инфракрасная диагностика состояния электрооборудования // Технические и технологические системы. 2016. С. 63.

5. Ivanova V. R., Ivanov A. S., Fetisov L. V. The development of an automated station for group soldering of the led lines // 2018 14th International scientific-technical conference on actual problems of electronic instrument engineering (APEIE) – 44894 proceedings. P. 336–338.

6. Хальясмаа А. И. и др. Диагностика электрооборудования электрических станций и подстанций: учеб. пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015.

7. Сандаков В. Д., Подрезов А. Н., Валеев И. М. К вопросу очистки газов переменным электрическим полем // Энергетика Татарстана. 2014. № 3–4. С. 81–83.

8. Иванов И. Ю. Уменьшение влияния погрешностей электромагнитных трансформаторов тока в переходных режимах на работу дифференциальной защиты энергообъектов // Энергетика Татарстана. 2011. №3. С. 67–70.

9. Иванова В. Р., Иванов И. Ю. Метод тепловизионного контроля для увеличения сроков службы электротехнического оборудования и эксплуатации после выработки им положенного ресурса // Вестник современных исследований. 2018. № 8–3 (23). С. 253–255.

10. Воронов А. В. и др. Диагностика состояния силовых трансформаторов, автотрансформаторов, масляных реакторов с помощью средств инфракрасной техники // Введение в энергетику. 2016. С. 232.

11. Rozhentcova N. V., Ivanova V. R., Fetisov L. V., Yarmuhametov I. Y. Development of a stand construction concept for safe and efficient after-repair tests of induction motors up to 1 Kv // 2019 International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems (ICOECS). Pp. 146–150.

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ	3
Азаров Н.В., Огреничев А.В., Полуянович Н.К., Дубяго М.Н. Прогнозирование ресурса кабельных линий с использованием метода искусственных нейронных сетей	3
Андреев А.А. Определение замыканий на землю в кабельных линиях в сетях с изолированной нейтралью	9
Баймеева Д.Р., Галиуллина И.З., Хизбуллин Р.Н. Характеристики и нормативы проектирования систем электроснабжения	14
Буштрук Т.Н. Корреляционно-спектральный идентификатор в контуре управления энергосистемы	20
Бычков А.В. Причины возникновения квазипостоянных токов в электро- энергетической системе	25
Волгушев П.А., Бурнаев А.И., Агеев В.А., Душутин К.А. Подход к анализу балансов мощностей с применением программного комплекса	30
Галеева Р.У., Фадеев П.С., Петров А.Р. Учет фазной взаимоиндукции двухцепной воздушной линии высокого напряжения при оперативных расчетах тока короткого замыкания в ПВК RASTRWIN3	36
Дайнеко А.В. Анализ влияния геоиндуцированного тока на искажение синусоидальной формы напряжения силового трансформатора при различных значениях коэффициентов мощности нагрузки	42
Зукол А.В. Методические основы технико-экономического обоснования развития (реконструкции) распределительных электрических сетей: теория и практика	48
Иванов И.Ю., Новокрещенов В.В. Защита линии электропередачи с любой степенью продольной компенсации	54
Иванова В.Р., Юдин А.В., Илинбаев А.А. Исследование работоспособ- ности электротехнической системы на территории Нижнего Новгорода...	59
Иркагалиева И.И., Хузяшев Р.Г. Алгоритмы классификации сигналов переходного процесса	64
Кочегуров Р.С. Проблемы и перспективы термоядерного синтеза	69

Лысенко В.И., Шевченко Н.Ю. Проектирование больших переходов через водные преграды с применением современных типов проводов..	73
Макарова Е.А., Рыжкова Е.Н. Феррорезонансные процессы в системах электроснабжения и мероприятия по их подавлению	79
Минлибаев М.Р., Сафин Э.М. Теоретические проблемы при анализе влияния различных факторов на работу электромагнитно-акустических преобразователей	84
Морозов В.А., Митрофанов С.В., Кильметьева О.И. Проблемы и перспективы развития системы электроснабжения дачных массивов садоводческих обществ	89
Муравьев И.К., Коровкин А.В., Шитов Р.А. Исследование влияния режимных и внешних климатических факторов на экологические показатели работы газотурбинных установок в составе энергоблоков с парогазовыми установками	96
Мялковский И.К., Тряель В.А. Ожидаемые изменения производительности предприятия в результате цифровизации объектов электротехники	102
Петров В.В. Особенности защиты и автоматики фидера контактной сети тяговой подстанции	109
Самолина О.В., Вахнина В.В. Влияние конструктивных особенностей магнитной системы трансформаторного оборудования на интенсивность воздействия квазипостоянных токов	114
Староверова И.И., Малафеев А.В. Выявление недостоверных данных в узлах учета энергосбытовой компании применительно к городским сетям 6–10 кВ	119
Таймаров М.А., Салтанаева Е.А., Майстер А.В. Антиобледенительное покрытие электропроводов	126
Тимонин А.С., Цырук С.А. Оптимизация проектных решений электроснабжения птицефабрики с целью улучшения показателей качества электрической энергии	131
Тухватуллин Л.Т., Хузяшев Р.Г., Кузьмин И.Л. Исследование затухания сигналов в линиях электропередач	138
Федяй О.В. Основные источники квазипостоянных токов	143
Хабибрахманов Д.А., Сафаров И.М. Сравнительный анализ систем автоматического проектирования	146

Харитонов А.С., Веселова Н.М. Применение точки трансформации 35/6(10) кВ для улучшения надежности распределительных сетей 6, 10 кВ	148
Храмшина Е.А., Сарлыбаев А.А., Дружинин Н.Н. Система мониторинга и локализации неисправностей силового трансформатора	154
Шакиров Р.Г., Саттаров Р.Р. Конструирование и расчет проводов из современных алюминиевых сплавов	160

СЕКЦИЯ 2. ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ И КОММУНАЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Галеева Р.У., Беляков К.Ю. Исследование влияния фазировки многопроводных линий электропередач на симметричный аварийный режим...	169
Денисова А.Р., Зиатдинов Т.Ф. Программа энергосбережения электротехнических систем административных учреждений	174
Денисова А.Р., Фархутдинов А.Р. Перспективы внедрения систем интеллектуального учета электроэнергии	179
Денисова А.Р., Абдуллина Г.Р. Энергоэффективное управление электротехническими системами	185
Зинуров В.Э., Галимова А.Р., Маматкулова Д.Р., Файзрахманов И.Д. Разделение водонефтяных эмульсий в прямоугольном сепараторе	189
Зинуров В.Э., Мубаракшина Р.Р., Антонов М.А. Повышение эффективности процессов газоочистки от твердых частиц	193
Иванова В.Р., Каримуллин С.М. Перспективы внедрения цифровых подстанций	197
Иванова В.Р., Садриева Л.Н. Исследование работоспособности и качества функционирования электрооборудования при различных внешних воздействиях	201
Лебедев Е.В., Самолина О.В., Шаповалов С.В. Энергосбережение промышленных предприятий	205
Ленючева А.Д., Матюнина Ю.В. Привлечение потребителей к управлению спросом на электроэнергию	209
Максимочкин И.Н., Минлибаев М.Р. Модернизация систем собственных нужд подстанции	214

- Петрова Т.С., Салеева А.Н., Имамиева З.Р.** Оценка влияния плотности мелкодисперсных частиц на степень очистки газа 218
- Пташкина-Гирина О.С., Волкова О.С., Шавшаева А.И.** Использование теплоты сбросного пара в системах энергоснабжения ЗАО «Завод автоклавного газобетона» 222
- Рудаков А.И., Киселев И.Н.** Однопроводная передача электроэнергии с помощью фазовращателей 227
- Сапрыкин А.И., Сизганова Е.Ю.** Методика определения объектов хозяйственных нужд электросетевого предприятия для реализации энергосберегающих мероприятий 232
- Свинцов Г.П., Иванова С.П., Михайлов А.В., Мальцев А.А., Сорокин Н.Н.** Электронный блок управления двухобмоточной электромагнитной системой контактора 238
- Сидоров А.Е., Камалетдинов Р.И.** Формирование оптимальной структуры системы электроснабжения для бесперебойного питания... 244
- Сидоров А.Е., Саттаров М.Ш.** Модернизация системы электроснабжения аэропорта с целью повышения надежности при обеспечении безопасности полетов 248
- Соколов А.П., Газизова О.В.** Распределение реактивной мощности в промышленной электрической сети с синхронными генераторами в зависимости от уровня напряжения на шинах связи с энергосистемой 252
- Федосеева В.П., Сайкин М.С.** Магнитожидкостные датчики вибраций электротехнического оборудования 258
- Федотова А.А., Таратыкина С.В., Долгопол Т.А.** Многотарифная система учета электроэнергии 263
- Фетисов Л.В., Ахметов Р.Х.** Повышение энергосбережения и эффективности работы лифта парного (группового) управления ... 268
- Фетисов Л.В., Гарифуллин А.А.** Опыт реализации потенциала энергосбережения жилищно-коммунального хозяйства: мировой и отечественный уровень 275
- Фетисов Л.В., Каримуллин С.М.** Повышение энергоэффективности воздушных линий электропередач на 6(10) кВ за счет использования реклоузеров 281
- Яруллин Р.Р., Ильин О.В.** Тепловизионное обследование трансформаторов. Основные достоинства и недостатки 284

Научное издание

**ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ**

II ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

Казань, 18–19 марта 2020 года

Материалы конференции

В двух томах

Том I

Корректор *Л.Р. Гайнуллина*
Компьютерная верстка *Т.И. Лунченковой*
Дизайн обложки *Ю.Ф. Мухаметшиной*

Подписано в печать 18.05.2020
Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 17,09. Уч.-изд. л. 12,34.
Тираж 40 экз. Заказ № 5193

Редакционно-издательский отдел КГЭУ,
420066, г. Казань, ул. Красносельская, 51