

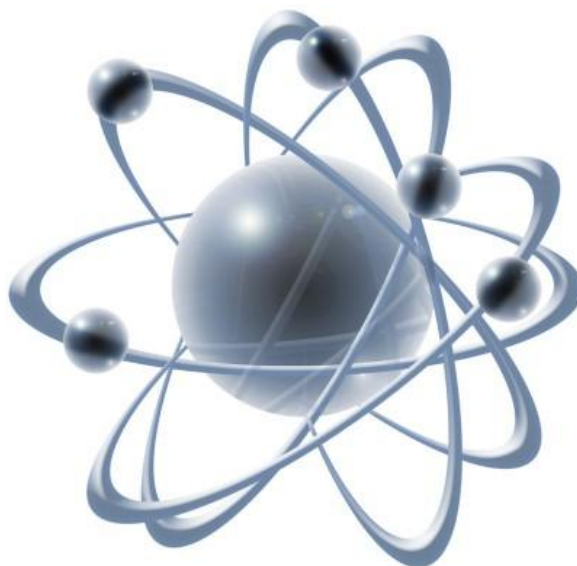
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ И ПРОМЫШЛЕННОСТИ

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ И ЭКОЛОГИИ

*Сборник материалов докладов и сообщений
студенческой научно-практической конференции
26 мая 2022 года*



Севастополь
2022

УДК 621.31(063)+504.06(063)

ББК 20.1

C568

Редакционная коллегия:

А.М. Акимов – д-р техн. наук, профессор

С.А. Качур – д-р техн. наук, доцент

Б.А. Якимович – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой ВИЭЭСС

М.Р. Найдук – зам. директора ИЯЭиП по учебной и научной работе

К.Б. Матузаев – канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой ЯППУ

А.А. Скидан – канд. техн. наук, доцент, зав. каф. СКиУАС

В.М. Завьялов – д-р техн. наук, доцент, зав. каф. ЭСАС

Е.А. Магдыч – канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой ХТАС

C568 **Современные проблемы энергетики и экологии:** материалы докладов и сообщений заочной студенческой научно-практической конференции 26 мая 2022 года / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Севастопольский государственный университет, Институт ядерной энергии и промышленности ; редакционная коллегия: А.М. Акимов [и др.]; под общей редакцией Ю.А. Омельчук. – Севастополь: СевГУ, 2022. – 202 с.: ил. – Текст: электронный.

Представлены материалы докладов и сообщений студенческой научно-практической конференции студенческого научного общества Института ядерной энергии и промышленности, которая состоялась в мае 2022 года

Сборник предназначен для всех интересующихся проблемами энергетики и экологии.

УДК 621.31(063)+504.06(063)

ББК 20.1

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕПЛОВЫЕ И ЯДЕРНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ.....	6
ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ КОНСТРУКЦИИ ТЕПЛОЫДЕЛЯЮЩЕГО ЭЛЕМЕНТА И ИХ НАЗНАЧЕНИЕ	7
Котлов Д.В.	7
ЯДЕРНЫЙ ТОПЛИВНЫЙ ЦИКЛ. ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ УРАН-ПЛУТОНИЕВОГО ТОПЛИВА.....	11
А.В. Никоненко	11
СИСТЕМА БЕЗОПАСНОСТИ АЭС	15
Карасева Ю. А., Скидан А. А.	15
ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РОССИИ	19
М.В. Керосиренко	19
ДЕЙСТВУЮЩИЕ И СТРОЯЩИЕСЯ АТОМНЫЕ СТАНЦИИ В РОССИИ, ИХ ПРИНЦИП РАБОТЫ	26
К.И. Шубнов	26
ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ	34
А.С. Калмыкова	34
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОБОРОТАМИ ШАГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ ПО ПРОИЗВОЛЬНОМУ ЗАКОНУ	38
И.В. Пешков, Г.Е. Гулевич	38
ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ	47
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОСМОТИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ ДАННОГО НАПРАВЛЕНИЯ.....	48
В.В. Смирнов, А.В. Темиров	48
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕТРОВЫХ И СОЛНЕЧНЫХ УСТАНОВОК	53
Р.А. Нашев, Б. А. Якимович	53
ТЕПЛОФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ГЕЛИОПРОФИЛЬ ДЛЯ АВТОНОМНЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ	57
В.В. Кувшинов, О.Н. Деев, И.С. Парфенцев	57
ПРИМЕНЕНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С ЦЕЛЮ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕСПЕРЕБОЙНОЙ РАБОТЫ МЕДИЦИНСКОЙ ТЕХНИКИ	64
В.В. Кувшинов, В.А. Березняк	64
ПРИМЕНЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ ДЛЯ НУЖД ПОТРЕБИТЕЛЕЙ В ГОРОДЕ СЕВАСТОПОЛЬ	69
С.В. Колесникова И.С. Кабанцова.....	69
ПРИМЕНЕНИЕ ПОМТЭ И ТОТЭ В МОРСКОМ ТРАНСПОРТЕ	73
Сухенко А.К., Якимович Б.А.	73

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ ТЯГИ В ВЕТРОЭНЕРГЕТИКЕ	79
И.С. Ивантеев, Л.Ю. Юферев	79
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННЫХ СОЛНЕЧНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ КРЫШ ЗДАНИЙ	83
В. В. Кувшинов, А. Р. Шабанов, Д. А. Глемязный	83
ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ.....	87
ПЕРСПЕКТИВЫ ПЕРЕРАБОТКИ ОТРАБОТАННЫХ МАСЕЛ.....	88
П.В. Макарова	88
ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОБЪЕКТОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ.....	91
А.А. Якушина, М.А. Фролова.....	91
ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ НА УГЛЕСИТАЛЛОВОМ ЭЛЕКТРОДЕ В МЕТОДЕ ИНВЕРСИОННОЙ ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИИ	96
С.В. Русяев, Э.В. Ткаченко	96
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ И СИСТЕМЫ.....	100
ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЙ ЭЛЕМЕНТ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ – УПРАВЛЯЕМЫЙ ПОДМАГНИЧИВАНИЕМ ШУНТИРУЮЩИЙ РЕАКТОР	101
О.Р. Ивченко, И.К. Смирнов, В.В. Смирнов.....	101
ТЕХНИЧЕСКАЯ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УПРАВЛЯЕМЫХ ШУНТИРУЮЩИХ РЕАКТОРОВ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ	107
И.К. Смирнов, О.Р. Ивченко, В.В. Смирнов.....	107
ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ КАТУШКИ РОГОВСКОГО В СИСТЕМАХ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ...	113
В.М. Завьялов, В.К. Олифиренко	113
СТАНДАРТЫ И ПРОТОКОЛЫ ЦИФРОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ.....	119
Велиляев А.С. Косыч И.Ф.	119
ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ РЕШЕНИЙ И ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ ДАТЧИКОВ НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ ЭНЕРГЕТИКИ.....	125
В.М. Завьялов, Н.Н. Смокталь, В.А. Кирченков, В.В. Гаврилец	125
СВЕРХПРОВОДЯЩИЙ ИНДУКТИВНЫЙ НАКОПИТЕЛЬ КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ	130
В.Н. Третьяченко, В.В. Смирнов	130
ИССЛЕДОВАНИЕМ ВЛИЯНИЯ ПРОВАЛОВ НАПРЯЖЕНИЯ НА РАБОТУ СТАТИЧЕСКОЙ И ВРАЩАЮЩЕЙСЯ НАГРУЗКИ.	134
И.И. Зеленский, Ю.А. Майорова.....	134
ОБЗОР ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ДЛЯ СИСТЕМ ДУГОВОЙ ЗАЩИТЫ КОМПЛЕКТНЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ	137
К.К. Санников, К.Н. Малиновский	137

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ	146
А.Е. Пахольчук, Ю.А. Майорова.....	146
МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ	150
Д.А. Гринченко, Ю.А. Майорова.....	150
АНАЛИЗ ДИСТАНЦИОННЫХ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ	154
Т.А. Геня, Ю.А. Майорова	154
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ С ИССЛЕДОВАНИЕМ РЕЖИМОВ ПУСКА И РЕГУЛИРОВАНИЯ СИНХРОННЫХ КОМПЕНСАТОРОВ.....	160
А.А. Колтырин, Ю.А. Майорова	160
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ УСТРОЙСТВ КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ИЗОЛЯЦИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ НАПЯЖЕНИЕМ ДО 1000В.....	163
Самков Е.В., Якимович Б.А., Крастелев О.М.	163
АНАЛИЗ СПОСОБОВ БОРЬБЫ С ХИЩЕНИЯМИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ДО 1000В ..	173
А.А.Киселёв, Б.А.Якимович, О.М.Крастелёв.....	173
АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ УСТРОЙСТВ ЭКОНОМИЧНОГО ОСВЕЩЕНИЯ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ НАПЯЖЕНИЕМ ДО 1000 В.	181
А.А. Востриков, Б.А. Якимович, Крастелев О.М.	181
ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ВНУТРЕННЕГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ НАПЯЖЕНИЕМ ДО 1000В	190
А.В. Полищук, Б.А.Якимович, О.М.Крастелев	190
ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ЭНЕРГОПРЕДПРИЯТИЯХ	199
А.С.Наумко, Ю.А.Майорова	199

**ТЕПЛОВЫЕ И ЯДЕРНЫЕ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ**

УДК 621.1-1/-9

ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ КОНСТРУКЦИИ ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩЕГО ЭЛЕМЕНТА И ИХ НАЗНАЧЕНИЕ

Д.В. Котлов

Тепловыделяющий элемент является важнейшей составляющей энергетического ядерного реактора. В данной статье рассматривается процесс создания конструкции тепловыделяющего элемента, его составляющих, а также функции, выполняемые тепловыделяющим элементом.

Введение

На сегодняшний день существует огромное количество видов ядерных реакторов, а также типов тепловыделяющих элементов. Для постройки реактора необходимо выбрать наиболее выгодный процесс создания ТВЭЛа, который бы являлся дешевым и надежным для безопасной работы сотрудников.

Цель работы

Целью данной работы является исследование основных элементов ТВЭЛа, выполняемых ими функций, а также рассмотреть процесс их изготовления.

Тепловыделяющий элемент

Тепловыделяющий элемент (ТВЭЛ) — главный конструктивный элемент активной зоны гетерогенного ядерного реактора, содержащий ядерное топливо. В ТВЭЛах происходит деление тяжёлых ядер ^{235}U или ^{239}Pu , сопровождающееся выделением тепловой энергии, которая затем передаётся теплоносителю. ТВЭЛ должен обеспечить отвод тепла от топлива к теплоносителю и препятствовать распространению радиоактивных продуктов из топлива в теплоноситель.

Тепловыделяющие элементы для упрощения учета ядерного топлива и его перемещения собираются в тепловыделяющую сборку (ТВС).

Тепловыделяющая сборка

Тепловыделяющая сборка (ТВС) — машиностроительное изделие, содержащее делящиеся вещества и предназначенное для получения тепловой энергии в ядерном реакторе за счёт осуществления управляемой ядерной реакции.

Обычно представляет собой четырёхгранный (PWR) или шестигранный (ВВЭР) пучок ТВЭЛов длиной 2,5 - 3,5 м (что примерно соответствует высоте активной зоны) и диаметром 30 - 40 см, изготовленный из нержавеющей стали или сплава циркония (для уменьшения поглощения нейтронов).

В одной ТВС обычно содержится 150 - 350 ТВЭЛов, а в активную зону реактора обычно помещается 200 - 450 ТВС.

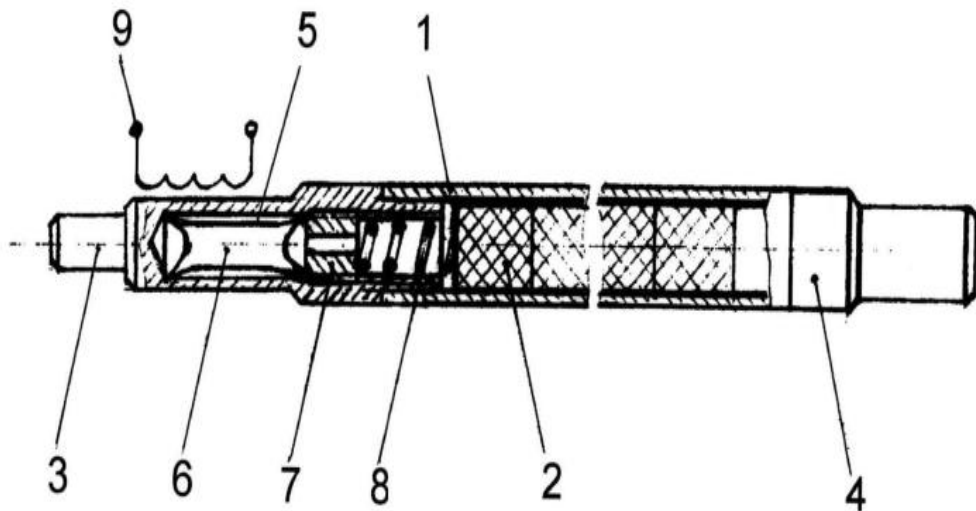


Рис. 1. Конструкция тепловыделяющего элемента

Тепловыделяющий элемент (рис. 1) состоит из оболочки 1, в которой размещен топливный сердечник 2. Оболочка 1 соединена с концевыми элементами 3 и 4 при помощи швов, выполненных многопроходной ЭЛС. В концевом элементе 3 выполнена полость 5, в которую помещена газонаполненная ампула 6, зафиксированная от осевого смещения резьбовой пробкой 7 с отверстием. Топливный сердечник 2 зафиксирован винтовой пружиной 8. Напротив ампулы 6 расположен нагреватель 9.

Изготовление ТВЭЛа осуществляют следующим образом. Вначале подготавливают оболочку 1 и размещают в ней топливный сердечник 2. Изготавливают концевые элементы 3, 4 и, по крайней мере, в одном из них формируют полость 5, в которую помещают ампулу 6, заполненную газом заданного состава и давления. Резьбовой пробкой 7 с отверстием фиксируют ее от осевого смещения. В концевой элемент устанавливают пружину 8. Затем в вакуумируемую камеру помещают: оболочку 1 с топливным сердечником 2, концевой элемент 3 с размещенной в полости 5 ампулой, пробкой и пружиной, второй концевой элемент 4. Концевые элементы 3 и 4 первоначально устанавливаются с зазором к оболочке ТВЭЛа.

Герметизацию отвакуумированного ТВЭЛа производят многопроходной электронно-лучевой сваркой (ЭЛС) концевых элементов с оболочкой, после чего тепловым воздействием на легкоплавкую оболочку ампулы производят ее вскрытие и находящийся в ней газ заполняет внутреннюю полость оболочки до заданного значения давления. Возможно, производить тепловое воздействие на ампулу электронным лучом непосредственно в камере направив его на концевой элемент с ампулой, либо непосредственно перед операцией проверки на герметичность.

Оболочка тепловыделяющего элемента

Оболочки ТВЭЛов находятся в сложных условиях эксплуатации. Они подвергаются тепловому, химическому и механическому воздействию. Основные требования, предъявляемые к оболочке: высокая теплопроводность, коррозионная и эрозионная стойкость в теплоносителе и в контакте с ядерным топливом, стабильность формы и размеров во время эксплуатации, минимальный захват нейтронов, технологичность; по возможности низкая стоимость.

По геометрической форме оболочки ТВЭЛов могут быть классифицированы на: а) трубы с прямыми ребрами; б) гладкие трубы; в) трубы со спиральными ребрами; г) сферы; д) пластины. Наибольшее распространение, в энергетических аппаратах, получили оболочки трубчатого типа, изготавливаемые из сплавов циркония и нержавеющей стали.

Сердечник тепловыделяющего элемента

В большинстве энергетических реакторов обычно применяют керамические сердечники из диоксида урана (UO_2), которые не деформируются в течение рабочего цикла выгорания топлива. Другое важное свойство этого соединения — отсутствие реакции с водой, которая может привести в случае разгерметизации оболочки ТВЭЛа к попаданию радиоактивных элементов в теплоноситель. Также, к достоинствам диоксида урана можно отнести то, что его плотность близка к плотности самого урана, что обеспечивает нужный поток нейтронов в активной зоне.

Возможны два вида конструкций ТВЭЛов с диоксидом урана:

1) Контейнерный, в котором топливный сердечник в виде столба из таблеток или стерженьков спрессованной и спеченной двуокиси урана помещают с некоторым зазором в трубу из материала оболочки.

2) Монолитный, в котором в трубку засыпают порошок высокоплотной предварительно спеченной и затем размолотой двуокиси урана с последующим уплотнением различными методами.

Практическое применение в основном получили ТВЭЛы контейнерного типа. Особенности стержневых ТВЭЛ контейнерного типа являются: свободный объем для сбора газообразных продуктов деления; оболочка, устойчивая по отношению к наружному давлению теплоносителя.

Таблетки из UO_2 являются одной из основных составляющих ТВЭЛов, в значительной степени определяющих их работоспособность, поэтому к ним предъявляются довольно жесткие требования по многим параметрам:

- Плотность (10,4–10,7 г/см³); геометрия (геометрия таблеток должна обеспечивать зазор 130–150 мкм между таблетками и оболочкой);
- Внешний вид (таблетки должны быть без сколов и трещин); термическая стабильность (таблетки не должны спекаться при выводе реактора на номинальную мощность);
- Микроструктура (размер и форма зерна, количество и крупность пор).

Технологии производства таблеток из двуокиси урана схожи для различных производств и технологических цепочек. Это один из наиболее сложных, важных и ответственных этапов производства ТВЭЛов. Он включает большое количество технологических стадий.

Газонаполненный тепловыделяющий элемент

Вернемся к тепловыделяющему элементу и его производству. Наиболее близким известным техническим решением, принятым за прототип, является тепловыделяющий элемент энергетического ядерного реактора, включающий оболочку, заполненную газом заданного состава и давления, с размещенным в ней топливным сердечником, концевые элементы, герметично соединенные с оболочкой сварными швами.

Соединение второго концевого элемента с оболочкой (т.е. при окончательной герметизации) ТВЭЛа, снаряженного топливом и заполненного инертным газом

(гелием), выполняется контактно-стыковой сваркой (КСС). Для каждого ТВЭЛа применяется два вида сварки: ЭЛС и КСС. Заполнение газом производится в отдельной камере, что сопряжено с его повышенным расходом.

Изготовление ТВЭЛа

Изготовление конструкции ТВЭЛа заключается в том, что подготавливают оболочку, размещают в ней топливный сердечник, вакуумируют, заполняют оболочку инертным газом с избыточным давлением и соединяют ее с концевыми элементами при помощи сварных швов. При этом один концевой элемент приваривают при помощи ЭЛС, а после заполнения газом ТВЭЛа приваривают второй концевой элемент при помощи КСС. Технический результат заполнения инертным газом - получение ТВЭЛа с более качественными, коррозионностойкими, менее напряженными сварными швами.

Вывод

Тепловыделяющий элемент – неотъемлемая часть активной зоны ядерного реактора, с помощью которой осуществляется отвод тепла от топлива к теплоносителю. ТВЭЛы используются на реакторах типа ВВЭР и PWR.

Список использованных источников

1. Самойлов А.Г., Волков В.С., Солонин М.И. Тепловыделяющие элементы ядерных реакторов, С. 5-49.
2. Стручалин П.Г. Теплофизические характеристики ТВЭЛов с плотным топливом реакторов с тяжелым жидкометаллическим теплоносителем, С. 24-41.
3. Сайт <https://findpatent.ru> Тепловыделяющий элемент энергетического ядерного реактора и способ его изготовления.
4. Колпаков Г.Н., Селиваникова О.В. Конструкции ТВЭЛов, каналов и активных зон энергетических реакторов, С. 51-61.

УДК 62-67

ЯДЕРНЫЙ ТОПЛИВНЫЙ ЦИКЛ. ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ УРАН-ПЛУТОНИЕВОГО ТОПЛИВА

А.В. Никоненко

В современном мире достаточно много источников энергии, некоторые используют не возобновляемые полезные ископаемые, некоторые – возобновляемые, но они не оправдывают себя так как топливо может закончиться, а возобновляемые источники не могут полностью обеспечить человечество энергией. В данной статье проанализирована разработка о замкнутом топливном цикле и способы реализации данной разработки.

Введение

На сегодняшний день достаточно остро стоит проблема с обеспечением энергией человечества, т.к. топливо на не возобновляемых источниках энергии заканчивается. Также высоко поднят вопрос о загрязнении Земли из-за производственных отходов. Решением данных проблем может выступить разработка замкнутого ядерного топливного цикла (ЯТЦ).

Цель работы

Целью данной работы является анализ разработки замкнутого ЯТЦ, выявление достоинств и недостатков.

Виды ядерного топливного цикла

Ядерный топливный цикл — это вся последовательность повторяющихся производственных процессов. Эти процессы включают в себя:

1. Добыча топлива (большинство атомных станций использует U-235). В роли топлива выступает руда.
2. Переработка урановой руды с целью обогатить уран. В природном уране содержится всего 0,72 % U-235. Путем обогащения процентное содержание U-235 повышается до 4,95 %.
3. Изготовление тепловыделяющих сборок и их эксплуатация в ядерном реакторе.
4. Хранение отработавшего топлива.

В зависимости от дальнейших процессов работы с топливом существуют два вида ЯТЦ:

- Разомкнутый (открытый) – происходит захоронение отработавшего топлива.



Рис 1. Схема открытого ЯТЦ

- Замкнутый (закрытый) – происходит регенерация топлива с помощью U-238 и P-239 (вторичное топливо) и его повторная эксплуатация.

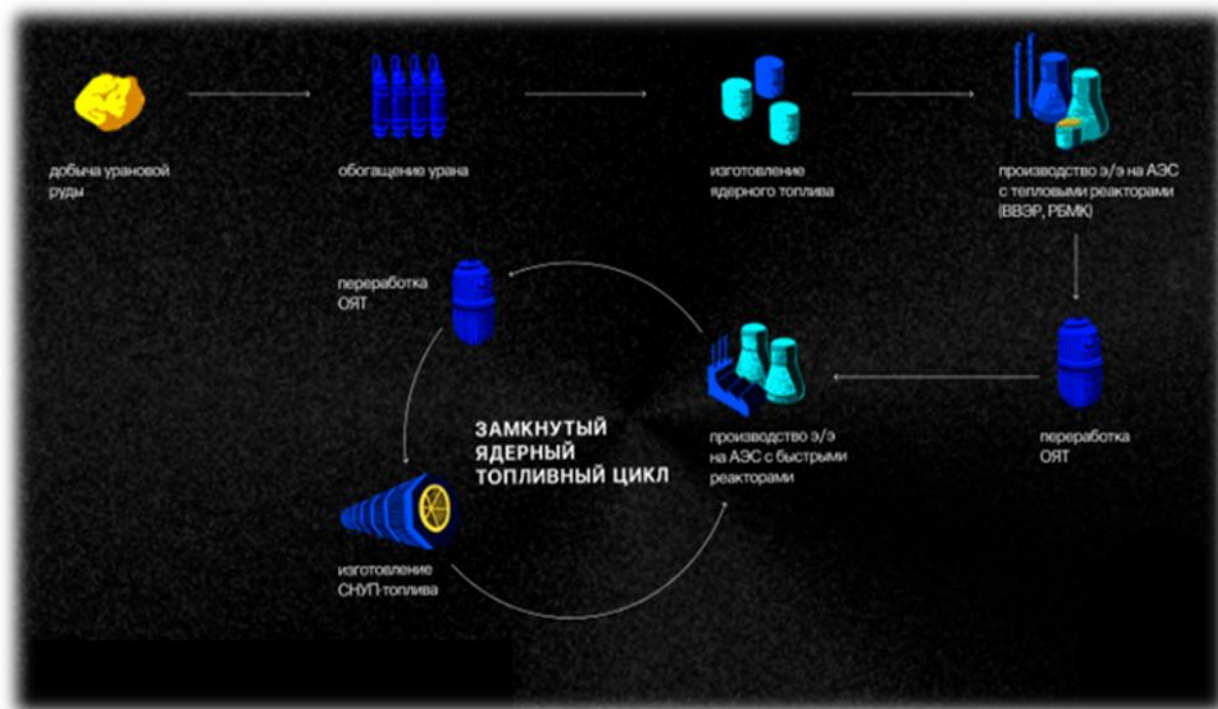


Рис 2. Схема закрытого ЯТЦ

Топливо, используемое в замкнутом ЯТЦ

В замкнутом ЯТЦ осуществляется переработка отработанного ядерного топлива (ОЯТ) с целью возврата в цикл невыгоревшего U-235, почти всей массы U-238, а также изотопов плутония (Р-239), образовавшихся при работе ядерного реактора. Из ядерного топлива выделяют ценные компоненты, которые используют для изготовления нового ядерного горючего. Обычно отработанное топливо содержит до 1 % U-235 и несколько меньшее количество плутония, поэтому переработка экономит ресурсы, предотвращая нерациональный расход ценных материалов. Переработка позволяет повторять ядерный цикл в свежих тепловыделяющих элементах, сохраняя, таким образом, приблизительно до 30 % естественного урана. Получается так называемый уран-плутониевый топливный цикл. Смесь этих изотопов имеет название МОХ-топливо. Данное топливо используется в реакторах на быстрых нейтронах (энергия которых от 0,2 МэВ до 2 МэВ). Одним из привлекательных свойств МОХ-топлива является то, что при его производстве могут необратимо утилизироваться излишки оружейного плутония, которые в противном случае являлись бы радиоактивными отходами или могли бы использоваться для создания ядерного оружия.

Достоинства использования уран-плутониевого топливного цикла

- Экономия природного урана, который, как и любое топливо имеет свойство заканчивается. С помощью замкнутого ЯТЦ существует решение данной проблемы.
- Понижение производства ядерного оружия.
- Уменьшается количество радиоактивных отходов, которые загрязняют Землю.

Недостатки использования уран-плутониевого цикла

К недостаткам использования уран-плутониевого цикла относится более нестабильное состояние топлива, гораздо более жесткие требования к режимам охлаждения и регулирования реактора, что вследствие несет жесткие требования к работникам АЭС. Пожалуй, это достаточно весомый аргумент для того, чтобы не торопиться с массовым строительством АЭС с использованием МОХ-топлива, несмотря на столько преимуществ.

О МОХ-топливе

По данным Всемирной ядерной ассоциации, за всю историю в коммерческих реакторах использовано свыше 2 тысяч тонн МОХ-топлива, однако в мире на складах накоплено 1,6 миллиона тонн обедненного урана. Только на этих запасах, без учета отработавшего ядерного топлива, реакторы на быстрых нейтронах позволяют обеспечить текущий уровень мирового потребления энергии на 326 лет.

Промышленное производство МОХ-топлива «Росатом» начал в сентябре 2015 года на своём горно-химическом комбинате в Железногорске, Красноярского края. Проектная мощность пускового комплекса составляет 400 ТВС в год и должна была быть достигнута в 2019 году, однако реально промышленное производство началось уже в августе 2018 года, когда первая серийная партия топливных сборок была отправлена на Белоярскую АЭС. На ГХК ядерное топливо будет производиться из

регенерированных материалов, в том числе высокоактивного плутония. В запуске этого производства участвовали более 20 предприятий атомной промышленности России.

О внедрении замкнутого ЯТЦ в России

Замкнутый ЯТЦ напрямую связан с реакторами на быстрых нейтронах, но в России большинство АЭС – ВВЭР, поэтому необходимо при строительстве новых энергоблоков и АЭС, учитывать тот факт, что реактор должен быть на быстрых нейтронах. Основной целью работ по разработке реакторов на быстрых нейтронах является реализация программы «Новая технологическая платформа: замкнутый ядерный топливный цикл и реакторы на быстрых нейтронах».

Стратегическая роль быстрых реакторов для развития атомной энергетики страны отражена в Федеральной целевой программе «Ядерные энерготехнологии нового поколения на период 2010–2015 годов и на перспективу до 2020 г.».

В российской атомной отрасли к настоящему времени накоплен уникальный практический опыт создания и длительной успешной эксплуатации реакторов на быстрых нейтронах. С ними связывается перспектива перехода атомной энергетики на замкнутый топливный цикл, обеспечивающий наиболее эффективное использование урановых ресурсов и решение экологических проблем обращения с ОЯТ и РАО.

Ожидаемый эффект заключается в повышении эффективности использования природного урана и рециклинге ОЯТ: ожидаемый рост эффективности использования природного урана к 2030 г. за счет этого составит не менее чем в 30 раз по сравнению с 2009 г. с прекращением всех накоплений ОЯТ на складах.

Вывод

Итак, главная идея замкнутого ядерного топливного цикла является использование переработанного отработавшего ядерного топлива с реакторов на тепловых нейтронах – МОХ-топливо – в реакторах на быстрых нейтронах. Это позволит значительно снизить добычу и использование природного урана.

Список использованных источников

1. В.С. Малышевский. Методические указания к курсу "Ядерная физика и элементарные частицы" для студентов физического факультета. Часть 2. Ядерный топливный цикл // РГУ (Ростов-на-Дону). – 2003. – № от 2004-04-05.
2. А. В. Очкин. Проблемы переработки отработавшего топлива современных энергетических реакторов // Теоретические основы химической технологии. – 2014.
3. Т.Х. Маргулова. Атомная энергетика сегодня и завтра. – М., 1989.
4. В.М.Красинский. Переработка и утилизация отработанного топлива атомных АЭС // Минск. – Мельбурн: «Uranium Information Centre Ltd», 2012.
5. К.Орлов, В.Червинский(СХК). О МОКС-топливе не понаслышке и без предубеждений // газета «Красное знамя» (Томск). – 2004.

УДК 621.311.25

СИСТЕМА БЕЗОПАСНОСТИ АЭС

Ю. А. Карасева, А. А. Скидан

На сегодняшний день системы безопасности АЭС весьма разнообразны и охватывают вопросы барьеров безопасности, их количество, предназначение каждого из четырёх барьеров и их свойства. Контейнмент спроектирован и построен таким образом, чтобы выдерживать внутреннее и внешнее воздействие огромной силы, его мощный купол гермооболочки настолько плотно прижат к корпусу, что реактору не страшны некоторые возможные угрозы, и помимо этого он обеспечивает герметичность внутреннего объема ядерного реактора. В статье предложена работа спринклерной системы и уникальная российская разработка, ловушка расплава, благодаря которой наши станции считаются самыми безопасными в мире.

Введение

Системы безопасности атомной станции предназначены для защиты персонала и населения от внешнего и внутреннего облучения, а окружающей среды - от загрязнения радиоактивными веществами в пределах допустимых норм в условиях нормальной эксплуатации и во всех аварийных ситуациях, включая запроектную аварию. Для выполнения указанных целей системы безопасности должны обеспечить: аварийную остановку реактора в любых возникающих аварийных ситуациях; поддержание реакторной установки в подкритическом состоянии; аварийный отвод тепла; удержание реактивных продуктов в предусмотренных зонах при любых аварийных режимах; уменьшение последствий запроектных аварий. Надежность систем безопасности обеспечивается высокой избыточностью (резервированием) для выполнения требуемых функций, а также высоким качеством изготовления, монтажа и эксплуатации.

Цель работы

Целью данной работы является анализ вопросов: естественного фона: как защитить персонал станции и окружающую среду; защиты от внешних угроз; как станции подготовлены к внутренним неполадкам.

Естественный фон: как защитить персонал станции и окружающую среду

Радиоактивные продукты деления и образующееся в его ходе ионизирующее излучение не покидают корпус реактора благодаря четырем барьерам безопасности. Барьеры напоминают фильтры на водоочистительной станции, которые поэтапно задерживают крупные, средние, а затем и вовсе неразличимые глазом примеси. «Фильтры» в реакторе по очереди останавливают продукты радиораспада – от самых медленных и тяжелых осколков деления до самых легких и быстрых частиц.

Первым барьером служит сама топливная таблетка – спрессованный в характерную форму твердый диоксид урана. Таблетки перед сборкой в

тепловыделяющий элемент (ТВЭЛ) спекаются при температуре 1650 °С, после чего они приобретают керамические свойства и задерживают некоторые нуклиды. Радионуклиды и частицы распада, которые проходят первый барьер, сталкиваются со вторым – оболочкой ТВЭЛ. Оболочку изготавливают из сплавов циркония ядерной чистоты, практически лишенного примесей, как правило, с небольшой добавкой ниобия. Чистота сплава обеспечивает повышенную коррозионную стойкость циркония. В нормальных режимах эксплуатации (без разгерметизации ТВЭЛ) все продукты деления остаются внутри ТВЭЛ.

Третий и четвертый барьеры призваны окончательно запечатать нуклиды и частицы внутри реактора и не дать им ни единого шанса вырваться наружу. Корпус реактора толщиной 20 см и первый контур с теплоносителем, доставляющим тепло из активной зоны к парогенератору, – это третий защитный барьер. Четвертым является так называемый контейнмент – внешняя герметичная оболочка активной зоны, выполненная из железобетона. Толщина стенки контейнмента – 1 м: это надежная защита от возможного выхода радиоактивных веществ (или материалов) в окружающую среду даже в случае серьезной аварии.

Защита от внешних угроз

Контейнмент не просто толстый слой бетона, который защищает окружающую среду от радиации из чрева реактора. Внутри бетонной толщии натянуты металлические тросы, которые придают конструкции дополнительную монолитность и повышают ее устойчивость. Контейнмент спроектирован и построен таким образом, чтобы выдерживать внутреннее и внешнее воздействие огромной силы. Мощный купол гермооболочки настолько плотно прижат к корпусу, что реактору не страшны следующие возможные угрозы:

- ударная волна, создающая давление 30 кПа;
- самолет массой 20 т, падающий со скоростью 200 м/с (720 км/ч);
- ураган и смерч со скоростью ветра до 56 м/с;
- наводнение;
- землетрясение до 8 баллов.

Что означают эти цифры? В быту давление 30 кПа кажется совсем не опасным. Такое давление на пол создает человек массой 65 кг, если стоит на одной босой ноге 40-го размера. Но ударная волна, создающая такое давление в воздухе, разрывает барабанные перепонки человека, выводит из строя самолеты и вертолеты, а в зданиях под действием воздушной волны такой силы разбиваются стекла, ломаются внутренние перегородки, изгибаются алюминиевые панели и начинают разрушаться стены. Толщина стен контейнмента выдержит такую нагрузку.

Ураганный ветер со скоростью выше 50 м/с не только собьет с ног стоящего человека и перевернет легковой автомобиль, если тот движется с большой скоростью. Такой ветер с корнем выворачивает деревья, разбивает окна, сносит крыши домов и создает на море волны высотой с 4-5-этажное здание, но не может разрушить гермооболочку реактора.

Как станции подготовлены к внутренним неполадкам

Контейнмент, кроме защиты окружающей среды от радиации и активной зоны реактора от внешних угроз, обеспечивает также герметичность внутреннего объема ядерного реактора. При проектировании оболочки инженеры рассчитали невозможную гипотетическую ситуацию, когда вся поданная в реактор вода испарится. В этом случае контейнмент выдержит колоссальное давление – до 5 килограммов на квадратный сантиметр.

Давление пара снижается с помощью спринклерной системы (системы разбрызгивания), установленной внутри защитной оболочки под куполом. В случае аварии система активируется, и на активную зону разбрызгивается раствор борной кислоты и других веществ, под действием которых пар быстро конденсируется. За счет конденсации пара давление внутри контейнмента снижается до нормального за считанные секунды.

Кроме спринклерной системы, под куполом реактора устанавливается система удаления водорода. Объем контейнмента довольно большой – 65 000-67 000 м³, потому риск скопления в нем водорода взрывоопасной концентрации пренебрежимо мал и без дополнительного оборудования. Рекомбинаторы ставят, чтобы еще больше снизить эту вероятность. Водород не скапливается в замкнутом объеме, и возможность его взрыва практически полностью исключена.

Спринклерная система разбрызгивания борной кислоты дублируется системой аварийного охлаждения активной зоны, которая автоматически активируется в случае максимальной проектной аварии – разрыва первого контура охлаждения реактора. В систему входят емкости с борной кислотой, расположенные над реактором. Бор отлично поглощает нейтроны, а значит, может экстренно погасить цепную реакцию деления ядер урана. Каждая емкость – очень толстый сосуд из двухслойной стали объемом 60 м³. Такого количества раствора хватит, чтобы охладить реактор до подключения системы аварийного расхолаживания и охлаждения, которая обеспечивает долговременный отвод тепла при любых аварийных ситуациях, в том числе и при полном обесточивании АЭС.

На дне шахты реактора расположена так называемая ловушка расплава – последний рубеж обороны при аварийных ситуациях. Она включается в работу, если, несмотря на систему отвода тепла, температура в реакторе продолжает расти и достигает до 2500 °С – температуры плавления конструкций. Это может произойти только в самых тяжелых авариях, вероятность которых почти нулевая: шанс примерно такой же, как шанс падения на Землю крупного метеорита, который способен уничтожить все человечество.

Ловушка расплава – это 750-тонное устройство, предназначенное для локализации расплавленной активной зоны реактора в пределах гермооболочки. По сути, это холодный тигель – огнеупорная емкость: подобные емкости используют для нагрева и плавления веществ. Ловушка заполнена «жертвенным» материалом из оксидов железа и борной кислоты, который впитывает в себя расплавленную активную зону и позволяет мгновенно заглушить реакцию деления и остудить расплав до затвердевания. Это значит, что расплавленное топливо в ловушке останется в стабильном безопасном состоянии. Ловушка расплава – это уникальная российская разработка, благодаря которой наши станции считаются самыми безопасными в мире.

Выводы

В настоящее время выработаны общие принципы обеспечения безопасности АС. Они универсальны для всех типов реакторов, хотя и существует необходимость их адаптации к проектным и эксплуатационным особенностям конкретных реакторных установок.

Список используемой литературы

1. Сайт <https://popmech-ru.turbopages.org/popmech.ru/s/technologies/614943-sterzhni-sprinkler-konteynment-kak-ustroena-sistema-bezopasnosti-aes/>
2. Сайт <https://forca.ru/knigi/arhivy/ekspluataciya-aes-78.html>
3. Сайт https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/30304/Principy_obespecheniya_bezopasnosti_AEN_S.pdf?sequence=1&isAllowed=y
4. Браславский Ю. В., Дудаков В. Ф. Системы безопасности АЭС с ВВЭР-1000 (В-320): учеб. пособие – Севастополь, СКУЯЭиП, 2011. – 136 с., ил.
5. Аникевич К. П. Система аварийной защиты ядерного реактора: учеб. пособие / К. П. Аникевич – Севастополь: СевГУ, 2020. – 116с.
6. Аникевич К. П. Управление арматурой АЭС. Учеб. пособие. – Севастополь: СКУЯЭиП, 2006. – 252 с. ил.

УДК 621.039

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РОССИИ

М.В. Керосиренко

На сегодняшний день повсеместное применение ядерной энергии началось благодаря научно-техническому прогрессу не только в военной области, но и в мирных целях. Сегодня нельзя обойтись без нее в промышленности, энергетике и медицине. Вместе с тем, использование ядерной энергии имеет не только преимущества, но и недостатки. Прежде всего, это опасность радиации, как для человека, так и для окружающей среды.

Введение

Установлено, что мировые энергетические ресурсы ядерного топлива (уран, плутоний и т.д.) существенно превышают энергетические ресурсы природных запасов органического топлива (нефть, уголь, природный газ и т. д.). Это открывает широкие перспективы для удовлетворения быстро растущих потребностей в топливе. Кроме того, необходимо учитывать увеличение потребления угля и нефти для технологических целей глобальной химической промышленности, которая становится серьезным конкурентом тепловым электростанциям. Несмотря на открытие новых месторождений органического топлива и совершенствование методов его добычи, существует тенденция к относительному увеличению его стоимости в мире. Это создает самые сложные условия для стран с ограниченными запасами ископаемого топлива.

Цель работы

Целью данной работы является рассмотреть проблемы и перспективы атомной энергетики. Изучить плюсы и минусы использования ядерной энергии. Усвоить историю создания ядерных реакторов. Рассмотреть проблемы эксплуатационной безопасности. Проанализировать состояние атомной энергетики на сегодняшний день и перспективы её развития.

Глава 1. Общая характеристика атомной энергетики

Атомная энергетика (ядерная энергетика) – вид энергетики, занимающийся производством двух видов энергии: электрической и тепловой. Атомная энергия генерируется путём расщепления атомов с целью высвобождения энергии, удерживаемой в ядре. Ядерное деление генерирует тепло, которое направляется на охлаждающий агент – обычно воду. Получающийся пар вращает турбину, соединённую с генератором, производя электричество.

Ядерная энергия не считается возобновляемой, учитывая её зависимость от добытого конечного ресурса, но поскольку действующие реакторы не выделяют

парниковых газов, способствующих глобальному потеплению, сторонники говорят, что это следует рассматривать как решение проблемы изменения климата.

Уран (U) является самым распространённым топливом для производства атомной энергии. После добычи он перерабатывается в U-235, обогащённый вариант, используемый в качестве топлива в ядерных реакторах, поскольку его атомы легко поддаются делению. Побочный продукт ядерных реакций, плутоний (Pu), также может быть использован в качестве ядерного топлива.

Преимущества атомной энергетики.

Огромная энергоёмкость используемого топлива.

1 кг урана, обогащённый до 4 %, при полном выгорании выделяет энергию, эквивалентную сжиганию примерно 100 тонн высококачественного каменного угля или 60 тонн нефти.

Повторное использование

Расщепляющийся материал (уран-235) выгорает в ядерном топливе не полностью и может быть использован снова после регенерации (в отличие от золы и шлаков органического топлива). В перспективе возможен полный переход на замкнутый топливный цикл, что означает практически полное отсутствие отходов. Снижение «парникового эффекта».

Интенсивное развитие ядерной энергетики можно считать одним из средств борьбы с глобальным потеплением. К примеру, атомные станции в Европе ежегодно позволяют избежать эмиссии 700 миллионов тонн CO₂. Ежегодно работа всех АЭС российского дизайна в мире экономит выбросы парниковых газов в объеме более 210 млн тонн CO₂-экв.

Доступность. Уран – относительно недорогое топливо. Месторождения урана распространены в мире достаточно широко.

Относительно дешёвая отрасль. Большие затраты требуются только на этапе создания АЭС, в процессе дальнейшей эксплуатации затраты намного меньше.

Техническое обслуживание ядерных электростанций не нужно проводить так же часто, как дозаправку и техобслуживание традиционных электростанций.

Ядерные реакторы и связанные с ними периферийные устройства могут работать в отсутствие кислорода. Они могут быть целиком изолированы и при необходимости помещены под землю или под воду без вентиляционных систем.

- Строительство АЭС обеспечивает экономический рост, появление новых рабочих мест: 1 рабочее место при сооружении АЭС создаёт более 10 рабочих мест в смежных отраслях. Развитие атомной энергетики способствует росту научных исследований и интеллектуального потенциала страны.

- Атомные электростанции, построенные и эксплуатируемые с соблюдением всех мер предосторожности, могут помочь мировой экономике избавиться от чрезмерной зависимости от ископаемого топлива для производства электричества.

Развитие экономики

Строительство АЭС обеспечивает экономический рост, появление новых рабочих мест: 1 рабочее место при сооружении АЭС создает более 10 рабочих мест в смежных отраслях. Развитие атомной энергетики способствует росту научных исследований и объемов экспорта высокотехнологичной продукции.

Самые низкие показатели травматизма.

Согласно исследованиям, на АЭС фиксируется самый низкий процент несчастных случаев со смертельным исходом (см. иллюстрацию, источник – публикация

Всемирной ядерной ассоциации (WNA) за 2019 год, цитирующая исследование Института Пауля Шеррера).

История развития атомной энергетики

Идея ядерной энергии возникла в 1930-х годах, когда физик Энрико Ферми впервые доказал, что нейтроны могут расщеплять атомы. Ферми возглавил команду, которая в 1942 году осуществила первую ядерную цепную реакцию на стадионе в Чикагском университете. В 1951 году произведено первое электричество из атомной энергии на экспериментальном реакторе-размножителе №1 (EBR-I) в Айдахо. В 1954 году, в СССР в г. Обнинске начала работать первая в мире атомная электростанция, а первая коммерческая АЭС открыта в 1957 году в Шиппингпорте (штат Пенсильвания, США).

Атомная энергетика стремительно вошла в жизнь человечества. Первая АЭС (СССР, г. Обнинск) имела мощность 5 МВт. В 1956 г. в мире работали две АЭС (СССР и Великобритания). В 1964 г. суммарная мощность АЭС составила уже 5000 МВт, то есть выросла за 10 лет в 1000 раз. К 1975 г. 19 стран мира имели АЭС суммарной мощностью 78 000 МВт. На 1982 г. 24 страны эксплуатируют АЭС суммарной мощностью 180 000 МВт, то есть за 7 лет мощность возросла почти в 2,5 раза. На 2011 г. 32 страны имели АЭС суммарной мощностью 370 000 МВт, то есть очередное удвоение мощности произошло почти за 30 лет.

Успех атомной энергетики в разных странах был омрачен авариями на АЭС (Уиндскейл, Три-Майл-Айленд, Чернобыль, Фукусима), ужасные последствия которых приостановили развитие мировой ядерной энергетики.

Глава 2. Проблемы развития энергетики

Развитие индустриального общества опирается на постоянно растущий уровень производства и потребления различных видов энергии. В основе производства тепловой и электрической энергий лежит процесс сжигания ископаемых энергоресурсов - угля, нефти или газа, а в атомной энергетике - деление ядер атомов урана и плутония при поглощении нейтронов. Для производства необходимого человечеству количества энергии добываются и расходуются огромные масштабы энергоресурсов, металлов, воды и воздуха, а запасы этих ресурсов стремительно сокращаются. Особенно остро стоит проблема быстрого истощения запасов органических природных энергоресурсов.

Мировые запасы энергоресурсов оцениваются величиной 355 Q, где Q - единица тепловой энергии, равная $Q=2,521017$ ккал = 36109 тонн условного топлива (т.у.т.), топлива с калорийностью 7000 ккал/кг, так что запасы энергоресурсов составляют 12,81012 т.у.т. Из этого количества примерно одна треть (что составляет $\sim 4,31012$ т.у.т.) может быть извлечена с использованием современной техники при умеренной стоимости топливодобычи. С другой стороны, современные потребности в энергоносителях составляют 1,11010 т.у.т./год и растут со скоростью 3-4% в год, то есть удваиваются каждые 20 лет.

Не составляет никакого труда догадаться, что органические ископаемые ресурсы, даже при вероятном замедлении темпов роста энергопотребления, будут в значительной мере израсходованы в самом ближайшем будущем. Отметим также, что при сжигании ископаемых углей и нефти, обладающих сернистостью около 2,5 %,

ежегодно образуется до 400 млн тонн сернистого газа и окислов азота, что составляет 70 кг вредных веществ на каждого жителя Земли в год.

Использование энергии атомного ядра и развитие атомной энергетики частично снимает остроту этой проблемы. Действительно, открытие деления тяжелых ядер при захвате нейтронов, сделавшее XX век атомным, стало существенным складом к запасам энергетического ископаемого топлива. Запасы урана в земной коре оцениваются огромной цифрой - 1014 тонн. Однако основная масса этого богатства находится в рассеянном состоянии - в гранитах, базальтах. В водах мирового океана количество урана достигает 4109 тонн. В тоже время богатых месторождений урана, где добыча была бы недорога, известно сравнительно немного. Поэтому массу ресурсов урана, которую можно добыть при современной технологии и при умеренных ценах, оценивают в 108 тонн. Ежегодные потребности в уране составляют, по современным оценкам, 104 тонны естественного урана. Так что эти запасы позволяют, как сказал академик А.П.Александров, "убрать Дамоклов меч топливной недостаточности практически на неограниченное время".

Накопление радиоактивных отходов (РАО) в атомной энергетике. Обращение с радиоактивными отходами АЭС имеет критическое значение с точки зрения безопасности и охраны окружающей среды. А некоторые радионуклиды, и в первую очередь плутоний, образующийся в реакторе АЭС в процессе ядерного деления, остаются опасными в течение срока, соизмеримого с историей человечества. Общий объем РАО, накопленный в России, составляет около 600 млн м³ с суммарной радиоактивностью 1,5 млрд Ки. 99,9 % отходов накоплено на предприятиях Минатома России. Самый существенный вклад в образовавшиеся в России радиоактивные отходы внесли радиохимические предприятия, созданные для решения оборонных задач.

Другая важная проблема современного индустриального общества - обеспечение сохранности природы, чистоты воды и воздуха. Известна озабоченность ученых по поводу "парникового эффекта", возникающего из-за выбросов углекислого газа при сжигании органического топлива, и соответствующего глобального потепления климата на нашей планете. Проблемы загазованности воздушного бассейна, "кислых" дождей, отравления рек приблизились во многих районах к критической черте. Атомная энергетика не потребляет кислорода и имеет ничтожное количество выбросов при нормальной эксплуатации, что позволяет устранить возможность возникновения парникового эффекта с тяжелыми экологическими последствиями глобального потепления. Чрезвычайно важным обстоятельством является тот факт, что атомная энергетика доказала свою экономическую эффективность практически во всех районах земного шара. Кроме того, даже при большом масштабе энергопроизводства на АЭС, атомная энергетика не создаст особых транспортных проблем, поскольку требует минимальных транспортных расходов, что освобождает общество от бремени постоянных перевозок огромных количеств органического топлива.

Глава 3. Перспективы развития атомной энергетики

В России в настоящее время работают девять атомных электростанций суммарной установленной мощностью 21 242 МВт (эл.), имеющих 29 энергоблоков с реакторами разных типов. В их числе 13 энергоблоков с водо-водяными реакторами типа ВВЭР, 11 - с канальными реакторами типа РБМК, 4 - с канальными реакторами типа ЭГП-6 и один энергоблок с реактором на быстрых нейтронах типа БН-600.

Перечень и основные характеристики действующих энергоблоков российских АЭС приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Перечень и основные характеристики действующих энергоблоков российских АЭС

Характеристика действующих российских АЭС					
АЭС (тип реактора)	Номер энерго-блока	Электри-ческая мощность (брутто), МВт	Срок ввода в эксплуатацию, год	Срок окончания эксплуатации, год	Поколение энергоблока
Белоярская (БН-6000)	3	600	1980	2010	II
Билибинская (ЭГП-6)	1	12	1974	2004	I
	2	12	1974	2004	I
	3	12	1975	2005	I
	4	12	1976	2006	I
Балаковская (ВВЭР-1000)	1	1000	1985	2015	II
	2	1000	1987	2017	II
	3	1000	1988	2018	II
	4	1000	1993	2023	II
Кольская (ВВЭР-440)	1	440	1973	2003-2008*	I
	2	440	1974	2004-2009*	I
	3	440	1981	2011	II
	4	440	1984	2014	II
Курская (РБМК-1000)	1	1000	1976	2006-2011*	I
	1	1000	1979	2009-2014*	I
	3	1000	1983	2013	II
	4	1000	1985	2015	II
Ленинградская (РБМК-1000)	1	1000	1973	2003-2008*	I
	2	1000	1975	2005-2010*	I
	3	1000	1979	2009-2014*	II
	4	1000	1981	2011	II
Нововоронежская (ВВЭР-440)	1	417	1971	2001-2006*	I
	2	417	1972	2002-2007*	I
	3	1000	1980	2010	II
Смоленская (РБМК-1000)	1	1000	1982	2012	II
	2	1000	1985	2015	II
	3	1000	1990	2020	II
* С учетом планируемого продления срока эксплуатации					

Имеющиеся мировые запасы природного урана не могут обеспечить устойчивого долгосрочного развития атомной энергетики на тепловых реакторах. При достижении мощности АЭС России 60 ГВт к 2030 году они будут обеспечены дешевым топливом в течение 60 лет.

Однако применение технологии быстрых реакторов с замкнутым топливным циклом расширяет ресурсный потенциал по топливообеспечению АЭС. Поэтому атомную энергетику будущего предусматривается развивать на основе технологии быстрых реакторов. Россия обладает уникальным, не имеющим аналогов в мире, опытом разработки и эксплуатации энергоблоков АЭС с реакторами на быстрых нейтронах (20 лет успешной эксплуатации энергоблока БН-350 и действующего энергоблока №3 БН-600 Белоярской АЭС).

Стратегия развития атомной энергетики в первой половине XXI века основывается на следующих принципах:

- воспроизводство ядерного топлива;
- естественная безопасность;
- конкурентоспособность.

Одним из фундаментальных принципов Стратегии является принцип естественной безопасности.

Естественная безопасность это:

- детерминистическое исключение тяжёлых реакторных аварий и аварий на предприятиях ядерного топливного цикла.
- малоотходная переработка ядерного топлива с радиационно-эквивалентным захоронением радиоактивных отходов.
- технологическая поддержка режима нераспространения.

В соответствии со Стратегией развития атомной энергетики в первой половине XXI века формирование технологий, реализующих воспроизводство ядерного топлива и принцип естественной безопасности, должно сопровождаться повышением конкурентоспособности атомной энергетики в условиях ужесточения экологических требований к ТЭКу.

Реализация долгосрочной перспективы развития атомной энергетики предусматривается за счет:

1. Создания новой АЭС с естественной безопасностью (демонстрационный энергоблок БРЕСТ-300 к 2010 году).

Отличительными качествами этих АЭС являются:

- исключение возможности тяжелых аварий с радиационными последствиями для населения;
- повышение конкурентоспособности по сравнению с существующими АЭС;
- радиационно-эквивалентное обращение с радиоактивными отходами;
- снятие ограничений по топливообеспечению;
- технологическая поддержка режима нераспространения.

2. Создания технологической базы для перспективной атомной энергетики.

3. Участия в международном проекте термоядерного энергетического реактора ИТЭР.

Реалии сегодняшнего дня указывают на то, что крупномасштабная атомная энергетика в России может быть востребована гораздо раньше, чем это прогнозировалось ещё совсем недавно. Поэтому данная стратегия развития атомной энергетики предусмотрена к реализации как неотъемлемая часть Энергетической стратегии России.

Выводы

Атомная энергетика ввиду растущего спроса на электроэнергию, который не сможет быть удовлетворен лишь за счёт нефти и газа, вероятнее всего, не потеряет свою актуальность. Существует множество предпосылок к тому, что данный вид энергетики станет самой безопасной, экономически выгодной и перспективной отраслью выработки энергии в мире.

Список использованных источников

1. Акатов А.А., Коряковский Ю.С. Атомная энергетика. Спрашивали? Отвечаем! – М.: АНО «ИЦАО», 2012. – 56 с.
2. Акатов А.А., Коряковский Ю.С. Радиация: говорят что... – М.: АНО «ИЦАО», 2012. – 32 с.
3. Бекман И.Н. Ядерная индустрия. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 867 с.
4. Габараев Б.А. Атомная энергетика XXI века. – М.: Издательский дом МЭИ, 2013. – 250 с.
5. Гилетич А.Н, Дешевых Ю.И., Кириллов Г.Н. Атомные станции: обеспечение пожарной безопасности, вопросы контроля и надзора. – М.: ВНИИПО, 2012. – 100 с.
6. Жаркова Ю.Г., Семиколенных А.А. Оценка воздействия на окружающую среду объектов атомной энергетики. – М.: Инфа-Инженерия, 2013. – 368 с.
7. Самые крупные радиационные и ядерные аварии в мире. - [Электронный ресурс]. - Режим доступа // <http://climatgate.wordpress.com/2011/06/02/>

УДК 621.311.25

ДЕЙСТВУЮЩИЕ И СТРОЯЩИЕСЯ АТОМНЫЕ СТАНЦИИ В РОССИИ, ИХ ПРИНЦИП РАБОТЫ

К.И. Шубнов

В данный момент атомная энергетика считается очень популярной, а также перспективной среди остальных. И в этой работе рассматриваются атомные станции России, их особенности и принцип работы.

Введение

Концерн «Росэнергоатом», входящий в Электроэнергетический дивизион Госкорпорации «Росатом», является крупнейшей генерирующей компанией в России и 2-й в мире по объему атомных генерирующих мощностей.

Цель работы

Целью данной работы является анализ и ознакомление с атомными электростанциями в эксплуатации, находящихся на этапе создания на территории России, а также механизм их действия.

Действующие АЭС в России

В общей сложности на 11 АЭС России эксплуатируются 37 энергоблоков суммарной установленной мощностью свыше 29,5 ГВт, среди них:

- 22 энергоблока с реакторами типа ВВЭР (из них 4 энергоблока – ВВЭР-1200, 13 энергоблоков – ВВЭР-1000 и 5 энергоблоков – ВВЭР-440 различных модификаций);
- 11 энергоблоков с канальными реакторами (8 энергоблоков с реакторами типа РБМК-1000 и 3 энергоблока с реакторами типа ЭГП-6);
- 2 энергоблока с реакторами на быстрых нейтронах с натриевым охлаждением (БН-600 и БН-800);
- 2 реакторные установки типа КЛТ-40С электрической мощностью по 35 МВт в составе плавучей атомной теплоэлектростанции (ПАТЭС).

Доля выработки электроэнергии атомными станциями в России составляет около 20 % от всего производимого электричества. При этом в Европейской части страны доля атомной энергетики достигает 30 %, а на Северо-Западе – 37 %.

АЭС России вносят заметный вклад в борьбу с глобальным потеплением. Благодаря их работе ежегодно предотвращается выброс в атмосферу свыше 100 млн тонн углекислого газа (CO₂).

Приоритетом эксплуатации российских АЭС является безопасность. За последние 20 лет на российских АЭС не зафиксировано ни одного серьезного нарушения безопасности, классифицируемого выше первого уровня по Международной шкале INES. Неуклонно сокращается число внеплановых отключений АЭС от сети и внеплановых остановов работы реакторов. Радиационный фон в районах расположения

АЭС не превышает установленных норм и соответствует природным значениям, характерным для соответствующих местностей.

Важной задачей в сфере эксплуатации российских АЭС является повышение коэффициента использования установленной мощности (КИУМ) работающих станций. Для решения этой задачи была разработана специальная программа, которая обеспечивает существенный рост выработки электроэнергии.

Действующие АЭС:

Балаковская АЭС

Балаковская АЭС относится к числу крупнейших и современных предприятий энергетики России, обеспечивая четверть производства электроэнергии в Приволжском федеральном округе. Ее электроэнергией надежно обеспечиваются потребители Поволжья (76 % поставляемой электроэнергии), Центра (13 %), Урала (8 %) и Сибири (3 %). Она оснащена реакторами ВВЭР (водо-водяные энергетические реакторы корпусного типа с обычной водой под давлением). Станция является признанным лидером по многим показателям. Она признавалась лучшей АЭС России в 1995, 1999-2000, 2003, 2005-2009, 2011-2014 и 2016-2017 годах.

Белоярская АЭС

Это первая АЭС большой мощности в истории атомной энергетики страны, и первая с реакторами разных типов на площадке. Именно на Белоярской АЭС эксплуатируется – самый мощный энергоблок в мире с реактором на быстрых нейтронах БН-800 (№ 4). По показателям надежности и безопасности он входит в число лучших ядерных реакторов мира. Энергоблоки на быстрых нейтронах призваны существенно расширить топливную базу атомной энергетики и минимизировать объем отходов за счёт организации замкнутого ядерно-топливного цикла. Энергоблоки № 1 и № 2 выработали свой ресурс, и в 1980-е годы были окончательно остановлены. Энергоблок с реактором на быстрых нейтронах БН-800 был принят в промышленную эксплуатацию 1 ноября 2016 года.

Введенный в эксплуатацию реактор на быстрых нейтронах БН-800, который может работать на МОКС-топливе, позволяет повторно использовать отработавшее ядерное топливо вместо его хранения. С точки зрения важного требования устойчивого развития по замыканию производственного цикла эта технология позволяет Госкорпорации «Росатом» развивать технологии ЗЯТЦ и безопасности хранения радиоактивных отходов (РАО).

Билибинская АЭС

Станция производит около 50 % электроэнергии, вырабатываемой в регионе. В настоящий момент на АЭС эксплуатируются три уран-графитовых канальных реактора типа ЭГП-6 установленной электрической мощностью 12 МВт каждый. Станция вырабатывает как электрическую, так и тепловую энергию, которая идет на теплоснабжение Билибино. Установленная электрическая мощность Билибинской АЭС – 48 МВт при одновременном отпуске тепла потребителям до 67 Гкал/ч. При снижении температуры воздуха до –50 °С АЭС работает в теплофикационном режиме и развивает теплофикационную мощность 100 Гкал/ч при снижении генерируемой электрической мощности до 38 МВт. В январе 2019 года Ростехнадзор выдал «Росэнергоатому» лицензию на эксплуатацию в режиме без генерации энергоблока № 1 станции, остановленного для вывода из эксплуатации.

Калининская АЭС

В составе Калининской атомной станции четыре действующих энергоблока с водо-водяными энергетическими реакторами ВВЭР-1000 мощностью 1000 МВт (эл.) каждый. Калининская АЭС вырабатывает 70 % от всего объема электроэнергии,

производимой в Тверской области, и обеспечивает электроэнергией большинство промышленных предприятий Тверской области. Благодаря своему географическому расположению, станция осуществляет высоковольтный транзит электроэнергии и выдает мощность в Единую энергосистему Центра России, и далее по высоковольтным линиям — в Тверь, Москву, Санкт-Петербург, Владимир и Череповец. В рамках выполнения отраслевой Программы увеличения выработки электроэнергии на действующих энергоблоках АЭС на 2011–2015 гг. на энергоблоках Калининской АЭС реализуется программа увеличения мощности реакторной установки до 104% от номинальной. В 2014 году получена лицензия Ростехнадзора на эксплуатацию энергоблока № 1 в продленном сроке (до 28 июня 2025 года). Этому предшествовало выполнение масштабной программы модернизационных работ, которые проводились, начиная с 2009 года. В ноябре 2017 года была получена лицензия Ростехнадзора на продление срока эксплуатации энергоблока № 2 на 21 год, до 30 ноября 2038 года. Этому предшествовало выполнение целого ряда подготовительных мероприятий (включая полную модернизацию третьей системы безопасности, замену комплекса электрооборудования системы управления и защиты реактора, аппаратуры автоматического контроля нейтронного потока и др.).

Кольская АЭС

Кольская АЭС, расположенная в 200 км к югу от г. Мурманска на берегу озера Имандра, является основным поставщиком электроэнергии для Мурманской области и Карелии. В эксплуатации находятся четыре энергоблока с реакторами типа ВВЭР-440 проектов В-230 (блоки № 1 и № 2) и В-213 (блоки № 3 и № 4). Генерируемая мощность — 1760 МВт. В июле 2018 года Ростехнадзор выдал лицензию на продление эксплуатации блока № 1 Кольской АЭС до июля 2033 года. В декабре 2019 года была выдана лицензия на продление работы энергоблока № 2 еще на 15 лет.

Курская АЭС

Курская АЭС расположена на левом берегу реки Сейм, в 40 км юго-западнее Курска. На ней эксплуатируются четыре энергоблока с реакторами РБМК-1000 (уран-графитовые реакторы канального типа на тепловых нейтронах) общей мощностью 4 ГВт (эл.). В 1993-2004 гг. были радикально модернизированы энергоблоки первого поколения (блоки № 1 и № 2), в 2008-2009 гг. — блоки второго поколения (№ 3 и № 4). Курская АЭС демонстрирует высокий уровень безопасности и надежности. В настоящее время ведется строительство станции замещения – Курской АЭС-2. Она будет укомплектована инновационными реакторами ВВЭР-ТОИ.

Ленинградская АЭС

Ленинградская АЭС - крупнейший производитель электрической энергии на Северо-Западе России. Станция обеспечивает более 50% энергопотребления Санкт-Петербурга и Ленинградской области. Она была первой в стране станцией с реакторами РБМК-1000. АЭС была построена в 80 км западнее Санкт-Петербурга, на берегу Финского залива. На Ленинградской АЭС эксплуатируются четыре энергоблока электрической мощностью 1000-1200 МВт каждый. Сооруженные замещающие энергоблоки с реакторами ВВЭР установленной мощностью 1200 МВт каждый призваны стать надежным источником электроэнергии для Северо-Запада России. Энергоблок № 1 второй очереди был введен в промышленную эксплуатацию в декабре 2018 года, энергоблок № 2 – в марте 2021 года. 21 декабря 2018 года первый в стране энергоблок типа РБМК-1000 был остановлен для вывода из эксплуатации. 10 ноября 2020 года был остановлен для последующего вывода из эксплуатации энергоблок № 2 Ленинградской АЭС.

Нововоронежская АЭС

Первая в России АЭС с реакторами типа ВВЭР. Каждый из пяти реакторов станции является прототипом серийных энергетических реакторов. Энергоблок № 1 был оснащен реактором ВВЭР-210, энергоблок № 2 — реактором ВВЭР-365, энергоблоки № 3 и № 4 — реакторами ВВЭР-440, энергоблок № 5 — реактором ВВЭР-1000. В настоящее время в эксплуатации находятся четыре энергоблока (энергоблоки № 1, № 2 и № 3 были остановлены для вывода из эксплуатации, соответственно, в 1988, 1990 и 2016 гг.).

Инновационный энергоблок № 1 поколения 3+ Нововоронежской АЭС-2 был введен в промышленную эксплуатацию в феврале 2017 года. Он имеет улучшенные технико-экономические показатели, обеспечивает абсолютную безопасность при эксплуатации, и полностью соответствует «постфукусимским» требованиям МАГАТЭ. Особенностью таких энергоблоков является большая насыщенность пассивными (способными функционировать даже в случае полной потери электроснабжения и без вмешательства оператора) системами безопасности. Именно этот российский энергоблок стал первым в мире атомным энергоблоком нового поколения «3+», сданным в промышленную эксплуатацию. Энергоблок № 2 Нововоронежской АЭС-2 был сдан в эксплуатацию 31 октября 2019 года.

Ростовская АЭС

Ростовская АЭС расположена на берегу Цимлянского водохранилища, в 13,5 км от Волгодонска. Она является одним из крупнейших предприятий энергетики Юга России. Станция обеспечивает 46 % производства электроэнергии в регионе. Энергоблок № 2 был введен в промышленную эксплуатацию 10 декабря 2010 года, энергоблок № 3 - 17 сентября 2015 года, энергоблок № 4 - 28 сентября 2018 года. Ростовская АЭС – первая в новейшей истории, где было возрождено так называемое «поточное строительство», обеспечивающее как соблюдение директивных сроков строительства, так и максимально эффективное использование материальных и денежных ресурсов.

Смоленская АЭС

Смоленская АЭС — одно из ведущих энергетических предприятий региона, ежегодно она выдает в энергосистему страны порядка 20 млрд. киловатт часов электроэнергии (около 13 % энергии, вырабатываемой на АЭС России и более 80 % от того, что производят энергопредприятия Смоленской области). Она состоит из трёх энергоблоков с реакторами РБМК-1000. В 2007 году станция первой среди АЭС России получила сертификат соответствия системы менеджмента качества международному стандарту ISO 9001:2000. В 2009 г. Смоленская АЭС получила сертификат соответствия системы экологического менеджмента требованиям национального стандарта ГОСТ Р ИСО 14001-2007 и была признана лучшей АЭС России по направлению «Физическая защита». В рамках реализации программы по продлению сроков эксплуатации был проведен капитальный ремонт и модернизация энергоблока № 1. Смоленская АЭС — крупнейшее градообразующее предприятие области, доля поступлений от нее в областной бюджет составляет более 30 %.

Плавучая атомная теплоэлектростанция

Единственная в мире плавучая атомная теплоэлектростанция (ПАТЭС) состоит из береговой инфраструктуры и плавучего энергоблока (ПЭБ) «Академик Ломоносов», оснащенного двумя судовыми атомными реакторами типа КЛТ-40С. Электрическая мощность станции - 70 МВт. Строительство первого плавучего энергоблока началось в 2007 году на ОАО «ПО «Севмаш». В 2008 году проект был передан ОАО «Балтийский завод» в Санкт-Петербурге. В июне 2010 года состоялся спуск на воду плавучего

энергоблока. В мае 2018 года ПЭБ «Академик Ломоносов», покинувший в апреле 2018 года территорию Балтийского завода, успешно пришвартовался в Мурманске, на площадке ФГУП «Атомфлот» (дочернее подразделение Росатома), где состоялась загрузка ядерного топлива. В сентябре 2019 года «Академик Ломоносов» пришвартовался в месте своего основного базирования - в г. Певек Чукотского автономного округа (ЧАО). В декабре 2019 года ПАТЭС выдала первую электроэнергию в изолированную сеть Чаун-Билибинского узла ЧАО. В мае 2020 года состоялся ввод станции в промышленную эксплуатацию

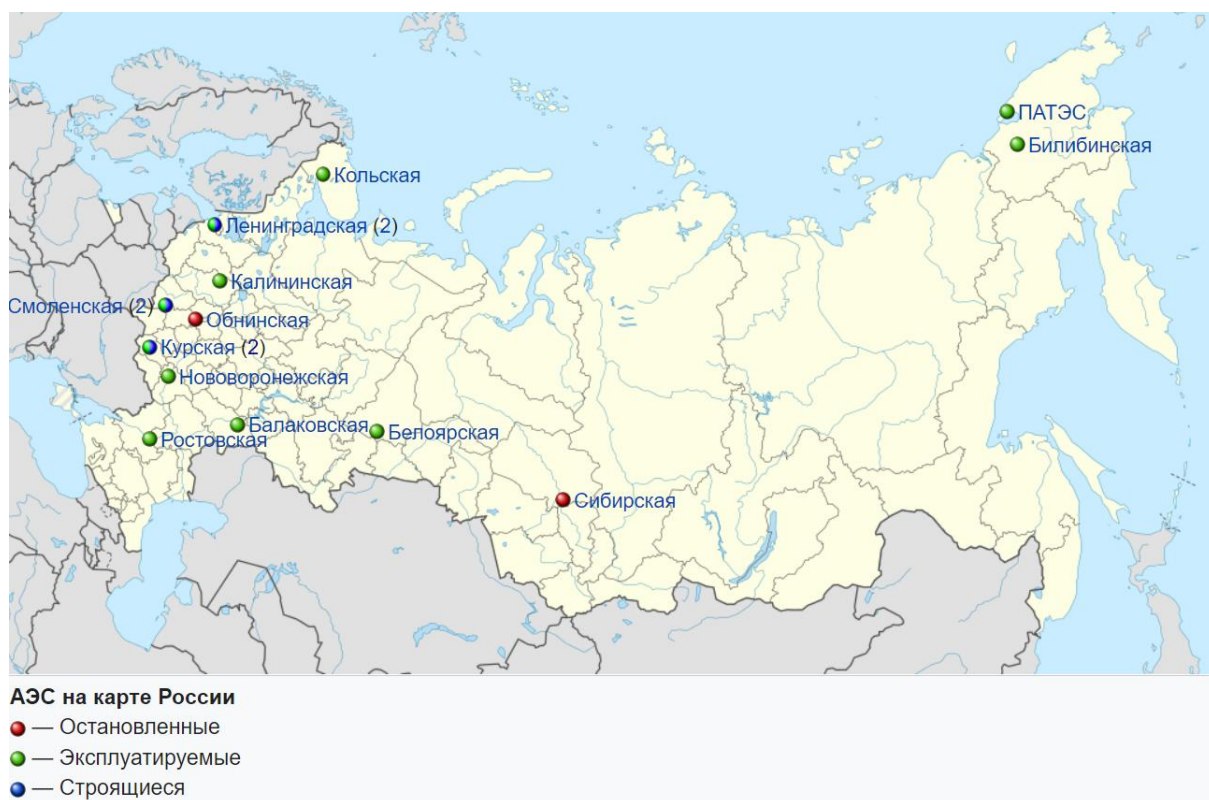


Рис. 1

Строящиеся атомные станции в России

Госкорпорация «Росатом» осуществляет масштабную программу сооружения АЭС как в Российской Федерации, так и за рубежом. В настоящее время Росатом сооружает в России 3 новых энергоблока. Портфель зарубежных заказов включает 35 блоков на разных стадиях реализации.

Курская АЭС-2

Курская АЭС-2 сооружается как станция замещения взамен выбывающих из эксплуатации энергоблоков действующей Курской АЭС. Проект Курской АЭС-2 включает в себя четыре энергоблока с российскими реакторными установками типа ВВЭР-ТОИ (водо-водяной энергетический реактор типовой оптимизированный информатизированный) сооружаются по проекту ВВЭР-ТОИ, и соответствуют требованиям МАГАТЭ в области безопасности. Мощность каждого энергоблока составит 1200 МВт. Ввод в эксплуатацию двух первых энергоблоков Курской АЭС-2

планируется синхронизировать с выводом из эксплуатации энергоблоков №1 и №2 действующей станции. Застройщик - технический заказчик объекта – АО «Концерн Росэнергоатом». Генеральный проектировщик - АО ИК «АСЭ», генеральный подрядчик - АСЭ (Инжиниринговый дивизион Госкорпорации «Росатом»). В 2012 году были проведены предпроектные инженерные и экологические изыскания по выбору наиболее предпочтительной площадки размещения четырёхблочной станции. На основании полученных результатов выбрана площадка Макаровка, расположенная в непосредственной близости от действующей АЭС. Церемония заливки «первого бетона» на площадке Курской АЭС-2 состоялась в апреле 2018 года. В 2021 году на стройплощадке энергоблоков № 1 и № 2 станции были выполнены все 10 ключевых событий года, а также четыре государственных задания выполнены в соответствии с графиком, а некоторые – с опережением сроков. В здании реактора первого энергоблока завершено устройство шахты реактора, установлены в проектное положение гидроемкости системы аварийного охлаждения активной зоны реактора, завершён монтаж купольной части внутренней защитной оболочки. Завершено бетонирование фундаментной плиты блочной насосной станции и установлена в проектное положение опорная ферма в шахте реактора энергоблока № 2 Курской АЭС-2. Энергетический пуск энергоблока № 1 Курской АЭС-2 запланирован на 2025 год.

БРЕСТ-ОД-300

В июне 2021 года началось строительство атомного энергоблока с инновационным реактором на быстрых нейтронах БРЕСТ-ОД-300. Новый реактор со свинцовым теплоносителем и новым смешанным нитридным уран-плутониевым топливом, оптимальным для реакторов на быстрых нейтронах, будет иметь установленную мощность 300 МВт. Он станет частью Опытного демонстрационного энергокомплекса (ОДЭК). Этот кластер ядерных технологий будущего включает три взаимосвязанных объекта, не имеющих аналогов в мире: модуль по производству (фабрикации/рефабрикации) уран-плутониевого ядерного топлива; энергоблок БРЕСТ-ОД-300; а также модуль по переработке облученного топлива. Таким образом, впервые в мировой практике на одной площадке будут построены АЭС с быстрым реактором и пристанционный замкнутый ядерный топливный цикл. Облученное топливо после переработки будет направляться на рефабрикацию (то есть, повторное изготовление свежего топлива) – таким образом эта система станет фактически возобновляемой и практически безотходной в производственной цепочке.

Кроме того, недавно начались подготовительные работы по сооружению новых энергоблоков в Ленинградской и Смоленской областях.

Принцип работы АЭС России

Атомная электростанция — комплекс необходимых систем, устройств, оборудования и сооружений, предназначенный для производства электрической энергии. В качестве топлива станция использует уран-235. Наличие ядерного реактора отличает АЭС от других электростанций.

На АЭС происходит три взаимных преобразования форм энергии (рис. 2).

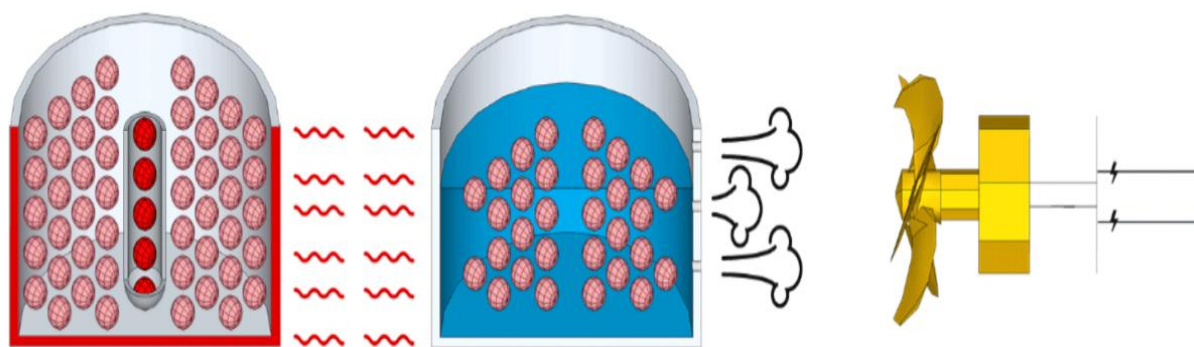


Рис. 2

Основой станции является реактор — конструктивно выделенный объем, куда загружается ядерное топливо и где протекает управляемая цепная реакция. Уран-235 делится медленными (тепловыми) нейтронами. В результате выделяется огромное количество тепла.

Тепло отводится из активной зоны реактора теплоносителем — жидким или газообразным веществом, проходящим через ее объем. Эта тепловая энергия используется для получения водяного пара в парогенераторе.

Механическая энергия пара направляется к турбогенератору, где она превращается в электрическую и дальше по проводам поступает к потребителям.

Из чего состоит АЭС

Атомная станция представляет собой комплекс зданий, в которых размещено технологическое оборудование. Основным является главный корпус, где находится реакторный зал. В нём размещается сам реактор, бассейн выдержки ядерного топлива, перегрузочная машина (для осуществления перегрузок топлива), за всем этим наблюдают операторы с блочного щита управления (БЩУ).

Основным элементом реактора является активная зона(1). Она размещена в бетонной шахте. Обязательными компонентами любого реактора являются система управления и защиты, позволяющая осуществлять выбранный режим протекания управляемой цепной реакции деления, а также система аварийной защиты — для быстрого прекращения реакции при возникновении аварийной ситуации. Все это смонтировано в главном корпусе.

Есть также второе здание, где размещается турбинный зал(2): парогенераторы, сама турбина. Далее по технологической цепочке следуют конденсаторы и высоковольтные линии электропередач, уходящие за пределы площадки станции.

На территории находятся корпус для перегрузки и хранения в специальных бассейнах отработавшего ядерного топлива. Кроме того, станции комплектуются элементами оборотной системы охлаждения — градирнями(3) (бетонная башня, сужающаяся кверху), прудом-охладителем (естественный водоем, либо искусственно созданный) и брызгальными бассейнами.

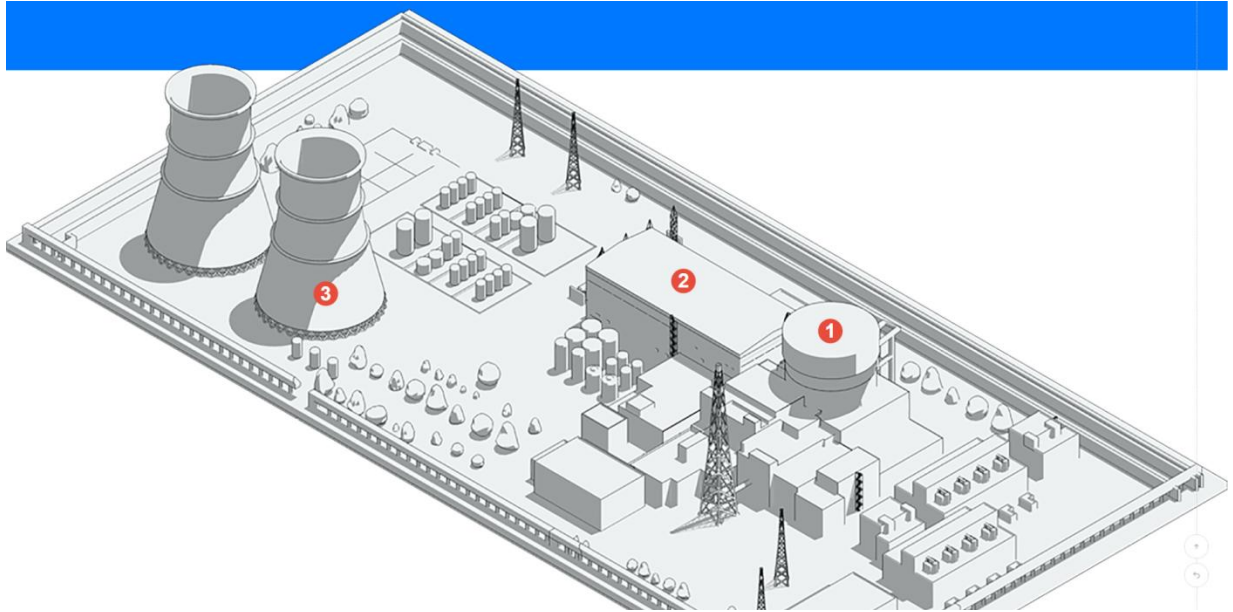


Рис. 3

Список использованных источников

1. Мерзликин Г.Я. Основы теории ядерных реакторов.
2. <https://www.rosatom.ru>.

УДК 621.039

ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

А.С. Калмыкова

На сегодняшний день существует множество видов производства энергии. Одним из способов является создание электроэнергии на АЭС. Рассмотрим положительные и негативные стороны этого вида производства энергии, а также разберемся существует ли влияние на окружающую среду?

Введение

Мировой уровень выделяемого углекислого газа составляет около 32 млрд тонн в год и продолжает расти. Прогнозируется, что к 2030 году объем выделяемого углекислого газа превысит 34 млрд тонн в год.

Решением проблемы может стать активное развитие ядерной энергетики, одной из самых молодых и динамично развивающихся отраслей глобальной экономики. Все большее количество стран сегодня приходят к необходимости начала освоения мирного атома.

Установленные мощности мировой атомной энергетики составляют 397 гигаватт. Если бы вся эта мощность генерировалась за счет угольных и газовых источников, то в атмосферу ежегодно выбрасывалось бы дополнительно около 2 млрд тонн углекислого газа. По оценкам межправительственной группы экспертов по изменению климата, все бореальные леса (таежные леса, расположенные в северном полушарии) ежегодно поглощают около 1 млрд тонн CO_2 , а все леса планеты – 2,5 млрд тонн углекислоты. То есть, если за критерий взять влияние на уровень CO_2 в атмосфере, атомная энергетика соизмерима с «экологической мощностью» всех лесов планеты.

Цель работы

Целью данной работы является ознакомиться с атомной энергетикой, рассмотреть и выявить существующие преимущества и недостатки в целом.

В чем преимущества ядерной энергетики

1. Огромная энергоемкость

1 килограмм урана с обогащением до 4 %, используемого в ядерном топливе, при полном выгорании выделяет энергию, эквивалентную сжиганию примерно 100 тонн высококачественного каменного угля или 60 тонн нефти.

2. Повторное использование

Расщепляющийся материал (уран-235) выгорает в ядерном топливе не полностью и может быть использован снова после регенерации (в отличие от золы и шлаков органического топлива). В перспективе возможен полный переход на замкнутый топливный цикл, что означает практически полное отсутствие отходов.

3. Снижение «парникового эффекта»

Интенсивное развитие ядерной энергетики можно считать одним из средств

борьбы с глобальным потеплением. К примеру, атомные станции в Европе ежегодно позволяют избежать эмиссии 700 миллионов тонн CO₂. Ежегодно работа всех АЭС российского дизайна в мире экономит выбросы парниковых газов в объеме более 210 млн тонн CO₂-экв.

4. Развитие экономики

Строительство АЭС обеспечивает экономический рост, появление новых рабочих мест: 1 рабочее место при сооружении АЭС создает более 10 рабочих мест в смежных отраслях. Развитие атомной энергетики способствует росту научных исследований и объемов экспорта высокотехнологичной продукции.

Атомная отрасль России представляет собой мощный комплекс из около 350 предприятий и организаций, в которых занято свыше 250 тыс. человек. В структуре отрасли — четыре крупных научно-производственных комплекса: предприятия ядерного топливного цикла, атомного машиностроения, ядерного оружейного комплекса и отраслевые научно-исследовательские институты. Кроме того, в состав Госкорпорации «Росатом» входит единственный в мире атомный ледокольный флот (ФГУП «Атомфлот»).

В современных условиях атомная энергетика — один из важнейших секторов экономики России. Динамичное развитие отрасли является одним из основных условий обеспечения энергонеизависимости государства и стабильного роста экономики страны.

5. Самые низкие показатели травматизма

Согласно исследованиям, на АЭС фиксируется самый низкий процент несчастных случаев со смертельным исходом (источник — публикация Всемирной ядерной ассоциации (WNA) за 2019 год, цитирующая исследование Института Пауля Шеррера).

6. Площадь

Атомной установке требуется мало места по сравнению с другими видами энергетической деятельности; для установки реактора и градирен требуется лишь относительно небольшой участок земли.

Напротив, для деятельности в области ветровой и солнечной энергии потребовалась бы большая земля для производства той же энергии, что и для атомной электростанции, в течение всего срока ее полезного использования.

Недостатки атомной энергетики

Мы рассмотрели, что делает ядерную энергетику отличным вариантом для удовлетворения наших потребностей в электроэнергии в будущем, в нашем списке ядерных плюсов и минусов. Однако при рассмотрении вопроса о том, является ли этот источник энергии лучшей формой экологически чистой энергии для нашего будущего, следует помнить о недостатках ядерной энергии. Вот некоторые из основных недостатков ядерной энергетики.

1. Дорогое строительство

Несмотря на то, что строительство АЭС относительно недорогое в эксплуатации, оно невероятно дорогое, а стоимость продолжает расти. С 2002 по 2008 год прогнозируемая стоимость строительства атомной электростанции выросла с 2-4 миллиардов долларов до 9 миллиардов долларов, а электростанции часто превосходили их прогнозы затрат во время строительства.

Помимо строительства электростанции, атомным станциям также необходимо выделять средства на защиту производимых ими отходов и поддерживать их на охлаждаемых объектах с соблюдением процедур безопасности. Все это делает ядерную энергетику очень дорогостоящей.

2. Производит радиоактивные отходы.

Хотя ядерная энергия не производит выбросов, она производит радиоактивные отходы, которые необходимо надежно хранить, чтобы они не загрязняли окружающую среду.

Хотя радиация может показаться ужасной, мы постоянно подвергаемся небольшому воздействию космических лучей или радиоактивности радона в воздухе, которым дышим. Радиация не опасна в ограниченных количествах, но радиоактивные отходы от переработки ядерной энергии чрезвычайно опасны.

Хранение радиоактивных отходов представляет собой серьезную проблему, с которой сталкиваются атомные электростанции. Поскольку ядерные отходы невозможно уничтожить, текущее решение - надежно запечатать их в контейнерах и хранить глубоко под землей, где они не могут загрязнить окружающую среду. Надеемся, что по мере совершенствования технологий мы найдем более эффективные способы хранения радиоактивных отходов в будущем.

3. Воздействие на окружающую среду

Атомные электростанции оказывают большее воздействие на окружающую среду, чем просто производимые ими отходы. Добыча и обогащение урана не являются экологически безопасными процессами. Открытая добыча урана полезна для горняков, но оставляет после себя радиоактивные частицы, вызывает эрозию и даже загрязняет близлежащие источники воды.

Подземная добыча не столь лучше и подвергает горняков воздействию большого количества радиации во время добычи и обработки при производстве радиоактивной пустой породы.

4. Ограниченная подача топлива

Хотя у ядерной энергии могут быть некоторые основные плюсы и минусы, одно из наиболее важных соображений, о которых следует помнить, заключается в том, что ядерная энергия зависит от урана и тория для производства энергии.

Если мы не сможем найти способ создать ядерный синтез или разработать реакторы-размножители, пока наши поставки не иссякнут, с атомными электростанциями, которые мы запланировали на будущее, мы не сможем производить электричество.

Выводы

На современном этапе развития общества уже практически всем стало очевидно, что экологически чистых и абсолютно безопасных энергетических технологий не может быть. Использование каждой из них для выработки электроэнергии неизбежно сопровождается тем или иным видом отрицательных воздействий. Поэтому, как любой крупный энергетический или промышленный комплекс, АЭС и другие объекты инфраструктуры ядерного топливного цикла при их эксплуатации выступают источниками определенного техногенного влияния на природную среду и системы жизнедеятельности человека. Радиационный фактор является барьером в общественном сознании для атомной энергетики при выборе вида энергоисточника, поскольку сформировалось противоречивое восприятие техногенных рисков различной природы.

Вместе с тем, атомная энергетика положительно решает многие экологические проблемы, не потребляет ценного природного сырья и атмосферного кислорода, не выбрасывает в атмосферу парниковые газы, и стабильно обеспечивает получение самой дешевой энергии.

Энергия атома, помимо снабжения населения и промышленности электрической

энергией, используется в настоящее время и в иных целях. Нельзя переоценить плюсы атомной энергетики для подводного флота и атомных ледоколов. Использование атомных двигателей позволяет им долгое время существовать автономно, перемещаться на любые расстояния, а подводным лодкам – месяцами находиться под водой.

Многие эксперты считают, что при исключении аварий с серьезными радиоэкологическими последствиями с точки зрения воздействия на окружающую среду, охраны качества воды и воздуха, защиты землепользования, ущерб, который может быть причинен атомной энергетикой, является относительно низким, поэтому ядерная энергетика, удовлетворяющая основные потребности человечества в энергии, может внести положительный вклад в качество жизни и снизить темпы загрязнения окружающей среды. Право на существование атомная энергетика имеет только в случае обеспечения предельно высокого уровня безопасности ее предприятий при любых обстоятельствах.

Список использованных источников

1. Мерзликин Г.Я. Основы теории ядерных реакторов.
2. <https://www.rosatom.ru>.

УДК 621.313.13-133.32

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОБОРОТАМИ ШАГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ ПО ПРОИЗВОЛЬНОМУ ЗАКОНУ

И.В. Пешков, Г.Е. Гулевич

В данной статье рассматривается исследование и разработка системы управления шаговым электромагнитным двигателем, с целью применения его в дальнейших исследованиях как натурную регулируемую модель движения потоков жидкости внутри трубопроводов. Данная разработка может быть использована для последующих научных работ или применена как полноценная основа будущего самобытного проекта.

Введение

Впервые шаговый двигатель (ШД) был упомянут в 1927 г., включал описание трёхфазного реактивного ШД, который активно использовался для дистанционного управления индикатором направления торпедных аппаратов и орудий на Военных кораблях. Коммутатор вращаемый человеком, использовался для переключения управляющего тока.

Шести шагам соответствовал один полный оборот рукоятки, выполняющие поворот ротора на 90° . Движение ротора шагами по 15° было замедленно с целью получения требуемой точности положения ротора. Конструктивно шаговые электродвигатели состоят из статора, на котором расположены обмотки возбуждения, и ротора, выполненного из магнито-мягкого или из магнито-твёрдого материала.

Существует множество способов управления ШД, начиная от ЭВМ и заканчивая платой драйвера ШД. Управление ШД должно осуществляться по закону, возьмем, к примеру, синусоидальный.

Цель работы

Целью работы является разработка схемы управления шаговым двигателем по синусоидальному закону, при различных методах управления.

Анализ проблемы, ее актуальность

В наши дни существует большое количество заводов и предприятий, а также ТЭС, которые имеют в своём составе трубы и трубопроводы, по которым протекает какая-либо жидкость, следовательно, появляется необходимость в измерении скорости потока жидкости. Однако существующие измерительные средства позволяют измерить лишь среднюю по измеряемому объёму, или по сечению трубопровода, в котором протекает жидкость, скорость. Средняя скорость является показателем режима течения потока. В данной работе мы воспользовались бесконтактным методом измерения скорости для построения эпюры скоростей. Существует еще один метод измерения, но для него необходимо внедрять измерительный зонд в поток жидкости, а это разрушает исходную структуру потока жидкости. Поэтому мы воспользуемся первым методом, можно провести исследования без наличия потока жидкости, достаточно иметь физику потока жидкости в необходимой его части.

Так как мы не имеем возможности исследовать поток в трубопроводе было принято решение построить модель, мы провели исследования на модели, в роли которой выступал вращающийся на валу ШД диск.

Моделирование это исследование объектов познания на их моделях. Суть моделирования заключается в том, чтобы исходя из результата опытов на модели можно было давать ответы о различных величинах, связанных с реальным объектом. Моделирование будет корректно только в случае, если явления в реальном объекте и в модели будут подобны. Явления можно считать подобными если по заданным значениям и характеристикам, одного можно получить значения и характеристики другого простым пересчётом. Не стоит забывать и о погрешности при моделировании, так как на практике не всегда есть возможность выполнить все условия моделирования.

Способы управления шаговым двигателем

Шаговый электродвигатель (ШД) — это синхронный бесщёточный электродвигатель с несколькими обмотками, в котором ток, подаваемый в одну из обмоток статора, вызывает фиксацию ротора. Последовательная активация обмоток двигателя вызывает дискретные угловые перемещения (шаги) ротора. По сравнению с другими приборами, которые могут выполнять эти же или подобные функции, система управления, используемая в ШД, обладает следующими существенными преимуществами: во-первых, у нее нет обратной связи, обычно необходимой для управления положением или частотой вращения; во-вторых, не накапливается ошибка положения; в-третьих, ШД совместим с современными цифровыми устройствами.

В нашем распоряжении на момент написания работы имелся Шаговый электромагнитный двигатель с постоянными магнитами биполярный. Это во много предопределяет систему управления, которая зависит от конструктивного исполнения ШД.

В шаговых двигателях с постоянными магнитами в качестве ротора выступает постоянный магнит цилиндрической формы, а статор выполнен из зубцов, вокруг каждого из которых присутствует обмотка. В данном случае шаг двигателя определяется по количеству зубцов и является строго дифференцированным.

Особенность такого исполнения ШД в первую очередь в том, что ротор всегда приходит в фиксированное положение, даже в случае снятия питания с обмоток статора. В таком случае произойдет его фиксация. Такое положение называется положением фиксации, которое как правило совпадает с конечным положением возбужденной фазы (одной из обмоток), рис.1.

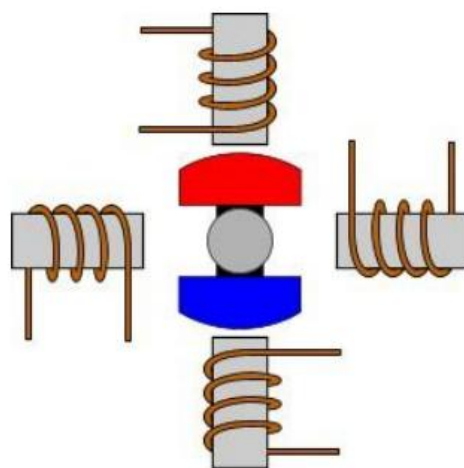


Рис. 1. Обмотки ШД с постоянными магнитами

Типичная структурная схема управления шаговым двигателем выглядит как показано на рис. 2.

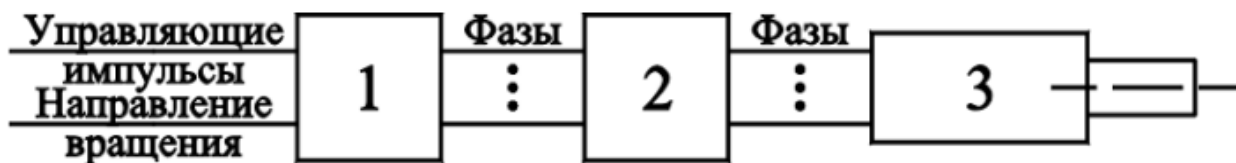


Рис. 2. Структурная схема управления шаговым двигателем:
1 – логический блок; 2 – инвертор; 3 – шаговый двигатель

Биполярный ШД имеет в своём арсенале три режима управления;

- Полношаговый;
- Полушаговый;
- Микрошаговый.

Для корректного управления шаговым биполярным двигателем необходима электрическая схема, которая должна выполнять функции старта, останова, реверса, изменения скорости. Шаговый двигатель “посылает” последовательность цифровых переключений в движение. Так называемое “Вращающееся” магнитное поле обеспечивается соответствующими переключениями напряжений на обмотках. Вслед за этим полем будет вращаться непосредственно и сам ротор.

В полношаговом, самом скоростном режиме, обмотки коммутуются токами практически мгновенно. Последовательность воздействия управляющего сигнала приведена на рис. 3.

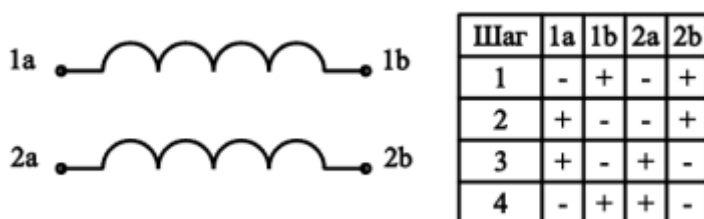


Рис. 3. 1a, 1b – выводы первой обмотки биполярного ШД;
2a, 2b – выводы второй обмотки биполярного ШД

На рисунке 4 показаны токи обмоток ШД в полношаговом режиме, в зависимости от шага.

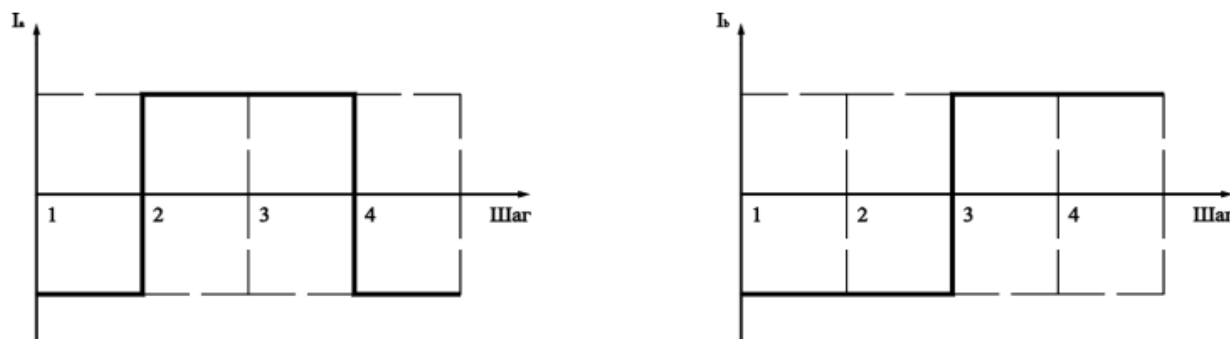


Рис. 4. Токи обмоток ШД в полношаговом режиме;
слева – для первой, справа – для второй

Воздействовать на управляющие шаговый двигатель токи можно различными способами. Наиболее удобными для данной работы мы посчитали электронную систему Arduino UNO, и ШИМ – Контроллер. Обработкой токов в любом из случаев будет являться драйвер управления шаговым двигателем. Его логика работы проста – он попеременно коммутует обмотки приходящим к нему током. При чем линия питания непосредственно шагового привода – постоянная, для ШД Sanky MSJC200B1 это +12V.

Управление шаговым электромагнитным двигателем с помощью Arduino

Система Arduino позволяет без особых усилий управлять возбуждающим воздействием обмоток через ЭВМ. Достаточно иметь драйвер A499, плату Arduino и сам ШД.

Схема подключения такого типа драйвера шд приведена на рисунке 5.

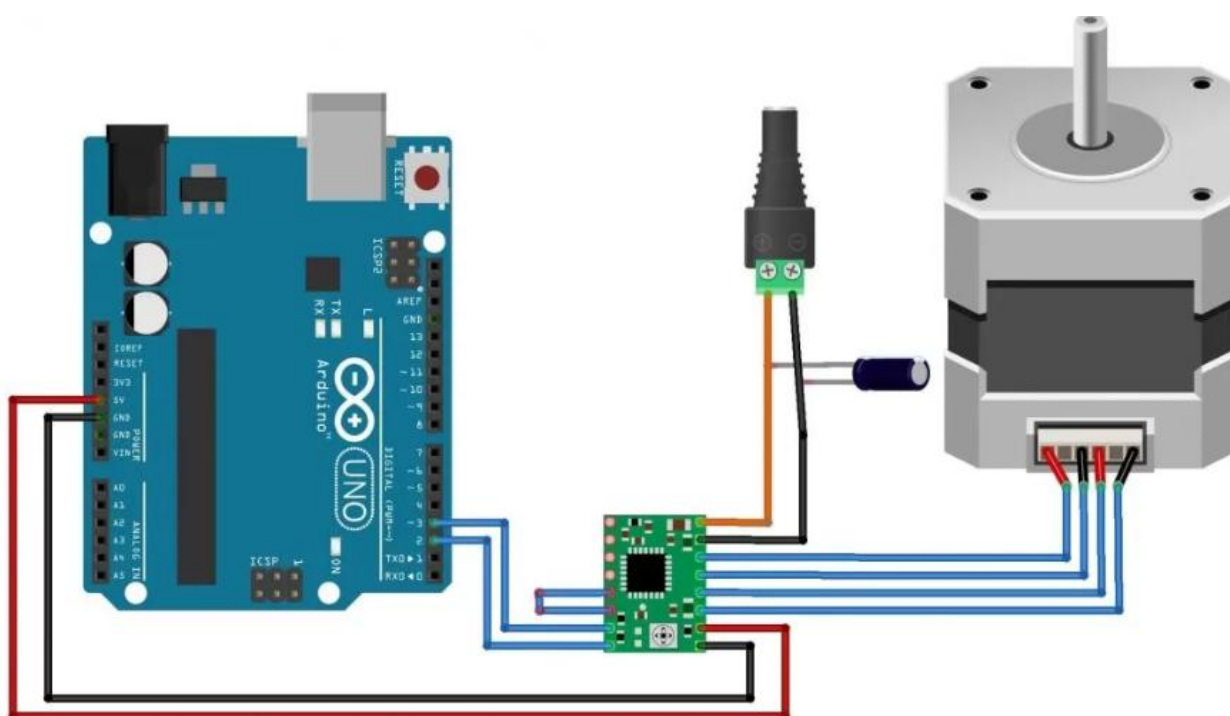


Рис. 5. Схема подключения а499 к плате Arduino

А вот как это выглядит натурно – рис. 6.

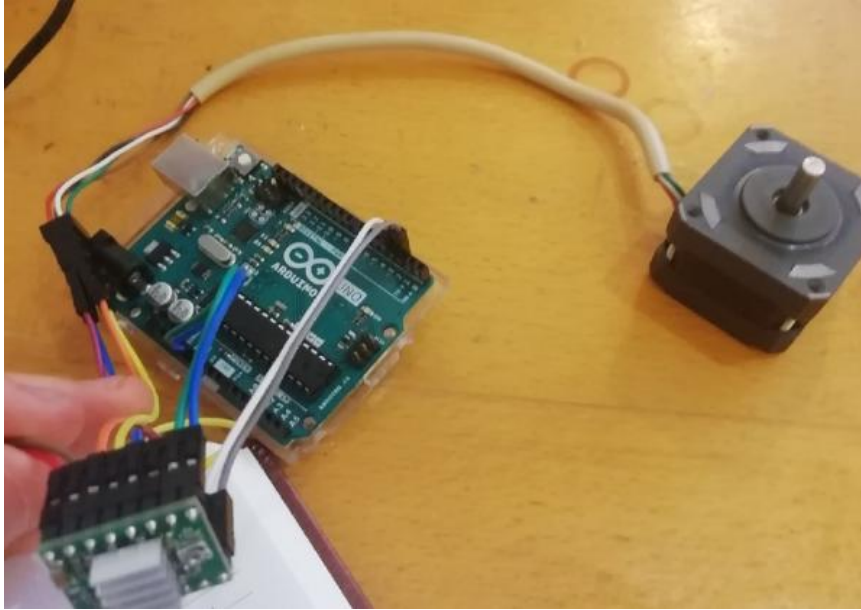


Рис. 6

После подключения был написан скетч, для попеременного воздействия на обмотки. В таком случае шаговый двигатель вращался в среднем с скоростью в полтора оборота в секунду, попеременно меняя направление и скорость вращения.

Коммутацию обмотки ШД и его питание наблюдали на следующей осциллограмме – рисунок 7.

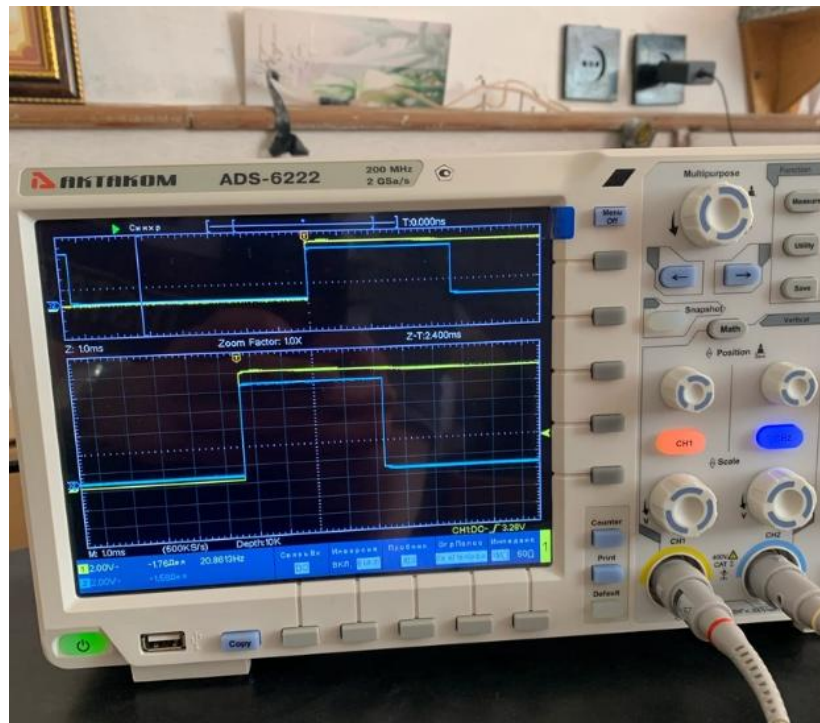


Рис. 7. Осциллограмма возбуждающего воздействия шагового двигателя
синий цвет – импульс, приходящий на обмотку, желтый – постоянные 12V,
приходящие на ШД в качестве питания

Применение платы Arduino очень упрощает процесс управления и моделирования поведения шагового двигателя, позволяет тонко задавать законы движения ротора, вращать его с изменением направления, замедлением или ускорением в нужные моменты времени.

Управление шаговым электромагнитным двигателем с помощью ШИМ-контроллера

ШИМ – это широтно-импульсная модуляция, процесс управления мощностью методом пульсирующего включения и выключения потребителя энергии.

При таком способе управления, драйвер A4988 подключается к ШИМ-контроллеру, который питается от блока питания с возможностью вариации напряжения от +8 до +34V. В остальном подключение аналогичное предыдущему способу, к соответствующим ножкам драйвера подключаются одноименные выходы ШИМ – контроллера и сами обмотки шагового двигателя.

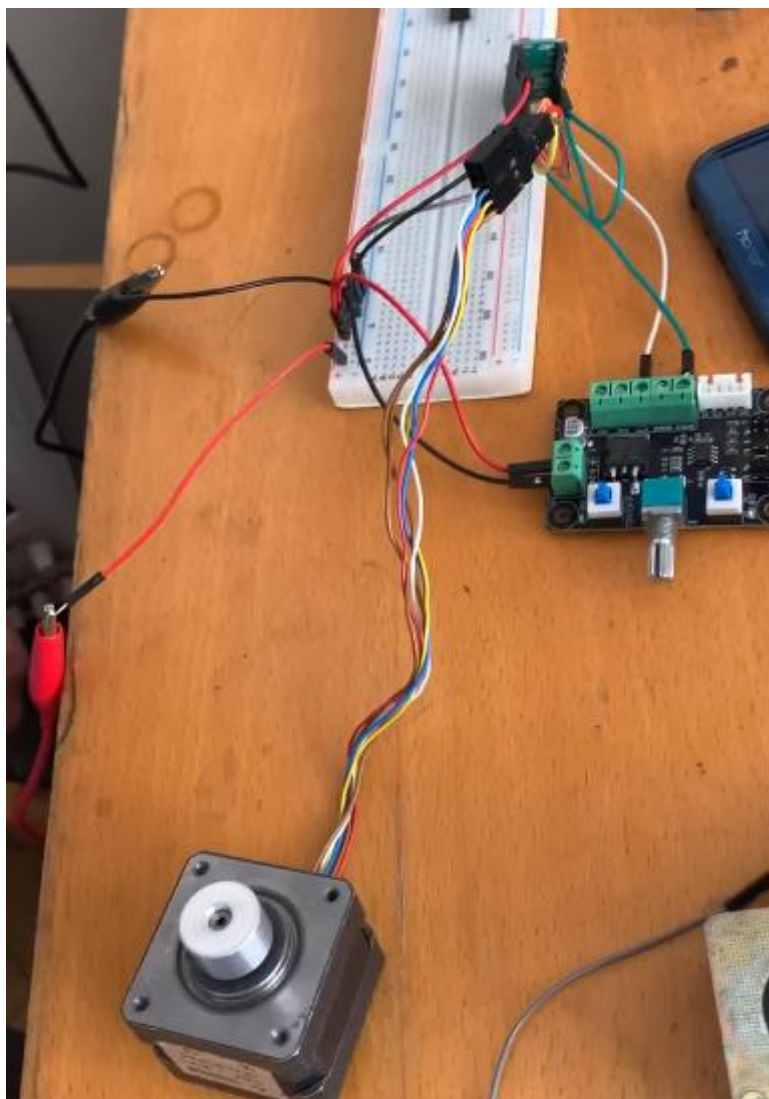


Рис. 8. Подключение драйвера a4988 к ШИМ-Контроллеру

ШИМ контроллер модулирует импульсы в широком диапазоне частот. Для того чтобы двигатель работал корректно и не закусывал, опытным путем пришли к значению в 800 – 815 Гц на входе, для достижения скорости в 3 оборота в секунду.

Стоит отметить что подаваемое напряжение, приходящее на вход контроллера никак не влияет на его частоту, а лишь на амплитуду выходного сигнала.

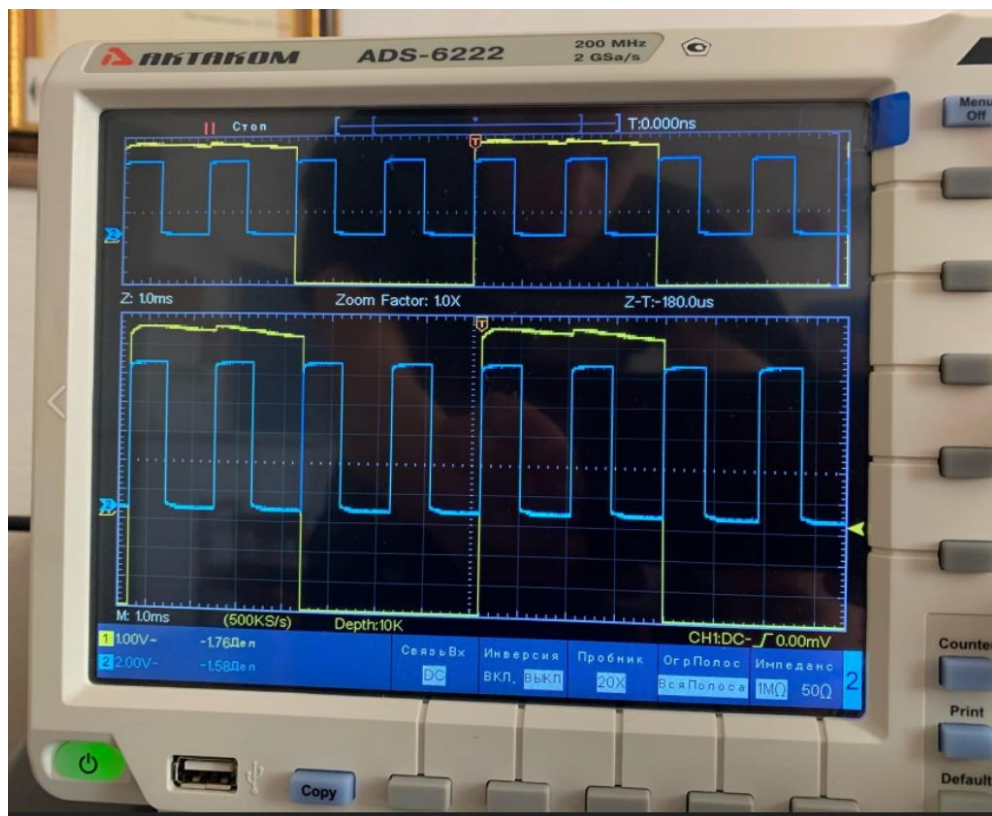


Рис. 9. Осциллограмма работы ШИМ контроллера – синий цвет, и выходного сигнала на обмотках – желтый цвет

Стоит заметить, что на три импульса создаваемые ШИМ – контроллером, на ШД приходит лишь один, с большей скважностью, чем входные. Это особенность работы драйвера а4988, в других моделях управляющих драйверов об этом не упоминается. Но факт занимательный.

Обработка полученных данных

Во время исследования и разработки системы управления шаговым приводом, для достижения наибольшей скорости вращения нами была замечена интересная закономерность. С ростом частоты модулируемых импульсов, время необходимое на полный оборот ротора уменьшается. Казалось бы, это очевидно, но если бы не одно НО! Эта зависимость нелинейная, а скорее экспоненциальная.

Провели серию экспериментов для получения широкой выборки данных. Прибегнув к помощи программы SFormul обработали полученные данные, сведя их в график зависимости времени одного оборота от частоты ШИМ-контроллера на входе (рисунок 10).

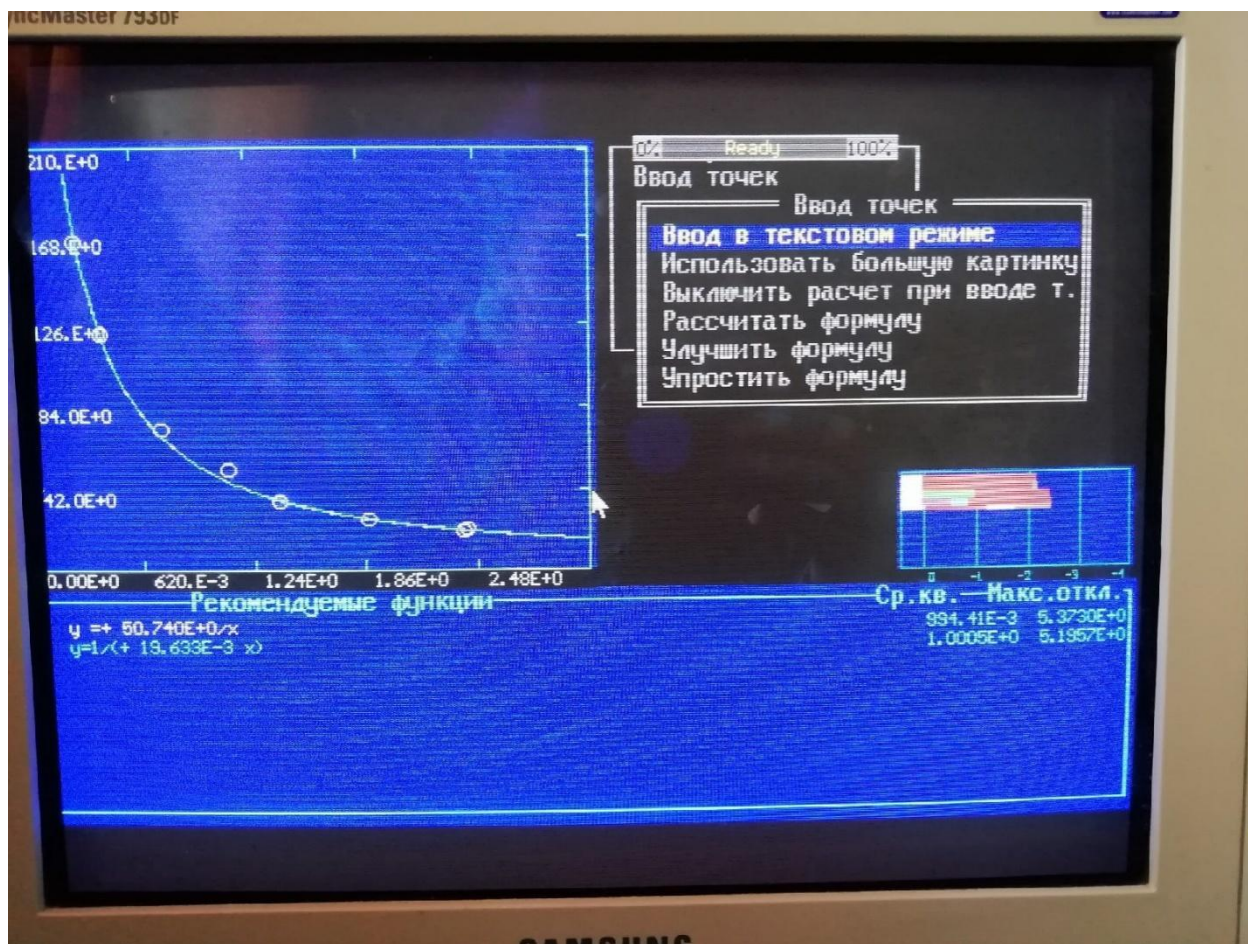


Рис. 10. График зависимости времени одного оборота от частоты импульсов

Экспоненциальный характер кривой подтверждает наши догадки. Программа сама усреднила кривую и создала наиболее оптимальную по погрешности формулу, отражающую эту зависимость (1)

$$T^{об} = \frac{1}{19.633 \cdot 10^{-3} \cdot f^{ШИМ}} \quad (1)$$

где f – частота подаваемых на вход импульсов, сгенерированных ШИМ-генератором.

Список использованных источников

1. Ткачев А. , Повзун Ю. Научно-исследовательская работа на тему «Разработка системы считывания линейной скорости потока по сечению трубопровода» - ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», 2016 год.
2. Канаев С.В. магистерская работа на тему «Разработка и исследование системы управления комплексом шаговых двигателей, моделирующих сопряженно движущиеся слои потока жидкости» - ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», 2013 год.

3. Шихалёв В.И. бакалаврская работа на тему: «Разработка системы управления шаговым электродвигателем» - ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», 2020 год.
4. ON Semiconductor. AMOS-3062x Micro-stepping motor driver family, robust motion control using the AMIS-3063x// Семейство микрошаговых драйверов AMIS-3062x, робастное управление движением с применением AMIS-3062x. Application Note AND8404, 2009 год.
5. Atmel Corporation. Linear speed control of stepper motor // Линейное управление скоростью шагового двигателя. Application Note AVR466, 2006 год.
6. Ревич Ю. Практическое программирование микроконтроллеров Atmel AVR на языке ассемблера. БХВ-Петербург 2008 год.

ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

УДК 621.22

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОСМОТИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ ДАННОГО НАПРАВЛЕНИЯ

В.В. Смирнов. А.В. Темиров

Явление осмоса используется в промышленных масштабах уже более 40 лет. Только это не классический прямой осмос аббата Нолле, а обратный осмос — искусственный процесс проникновения растворителя из концентрированного в разбавленный раствор под действием давления, превышающего естественное осмотическое давление.

Такая технология применяется в опреснительных и очистительных установках с начала 1970-х. Соленая морская вода нагнетается на специальную мембрану и, проходя через ее поры, лишается значительной доли минеральных солей, а заодно бактерий и даже вирусов.

Для прокачивания соленой или загрязненной воды приходится затрачивать большие объемы энергии, но игра стоит свеч — на планете существует множество регионов, где дефицит питьевой воды является острой проблемой. Такая мембрана должна была выдерживать давление, в 20 раз превышающее давление обычного бытового водопровода, и иметь чрезвычайно высокую пористость. Создание материалов с подобными свойствами стало возможным после Второй мировой, когда накопленный в ходе военных проектов научный потенциал дал толчок развитию технологий производства синтетических полимеров.

Принципиальная схема Трудно поверить, что одна лишь разница в концентрации двух растворов способна создать серьезную силу, однако это действительно так: осмотическое давление может поднять уровень морской воды на 120 м. Наиболее значительный прорыв в этой области произошел в 1959 году.

Сидней Лоэб и Шриниваса Суранджан из Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе разработали спиральную анизотропную мембрану, способную выдерживать колоссальное давление, эффективно задерживать минеральные соли и механические частицы размером до 5 мкм и главное — обладающую высокой пропускной способностью при минимальных размерах. Изобретение Лоэба и Суранджана сделало осмотическое опреснение экономически выгодным бизнесом. В начале 1960-х в калифорнийской Коалинге Лоэб построил первую в мире опреснительную станцию на эффекте PRO (Pressure retarded osmosis), а затем перебрался в Израиль, где на средства ЮНЕСКО продолжил свои исследования.

При участии Лоэба в 1967 году в местечке Йотвата была построена опреснительная установка мощностью 150 м³ в сутки, производившая чистую питьевую воду из подземного озера с соленостью, десятикратно превышавшей морскую. Еще через три года технология PRO была защищена американским патентом. Мембранная лаборатория в Центре NASA им. Эймса уже много лет подряд занимается решением проблемы обеспечения обитателей космических станций питьевой водой. Ученые разработали технологию DOC, комбинирующую два разнонаправленных процесса — прямой и обратный осмос.

При обратном осмосе мембрана работает как фильтр тонкой очистки и требует больших затрат энергии. Прямой осмос, наоборот, производит ее. Каждый из этих процессов по отдельности лишает водные растворы подавляющего количества примесей. В результате получается так называемая серая вода, которую можно использовать для гигиенических целей. Для того чтобы сделать из серой воды питьевую, раствор проходит этап мембранной очистки без дополнительного нагревания и далее очистку от бактерий и вирусов в подсистеме каталитического окисления. Балансовая энергоемкость ДОС достаточно низка для применения в космосе.

Оригинальный способ очистки воды для космических станций представила американская компания Osmotek. Для сбора продуктов жизнедеятельности она предлагает использовать мембранные пакеты наподобие чайных с содержащимся в них активированным углем. Мембрана пропускает наружу лишь воду с незначительным количеством загрязнений. Этот первичный раствор затем попадает в мембранную камеру со специальным концентрированным субстратом в другой части. Возникающее явление прямого осмоса завершает процесс. Компания Oasys обещает снизить расход энергии осмотических опреснительных установок ни много ни мало в десять раз. Правда, в данном случае речь идет не об обратном, а о прямом осмосе. И не простом, а модифицированном.

Изюминка методики Oasys в том, что поток чистой пресной воды не смешивается с вытягивающим раствором.

Опыты по превращению осмотического давления в электрическую энергию с использованием мембран Лоэба-Суранджана проводились различными научными группами и компаниями с начала 1970-х. Проблема была лишь в том, что классические мембраны для PRO были слишком дороги, капризны и не обеспечивали необходимой мощности потока. С мертвой точки дело сдвинулось в конце 1980-х, когда за решение задачи взялись норвежские химики Торлейф Хольт и Тор Торсен из института SINTEF.

Введение

Рывок в применении осмотических мембран наступил в конце 80-х годов, когда норвежские эксперты Хольт, а также Торсен, предложили употреблять измененную полиэтиленовую пленку на глиняной базе. Улучшение структуры доступного целлофана позволило сотворить конструкцию спиральных мембран, подходящих для применения в производстве осмотической энергии. Для испытания технологии получения энергии от результата осмоса в 2009 году была построена а также запущена 1-ая в мире экспериментальная осмотическая электростанция.

Норвежская энергетическая фирма Statkraft, получив муниципальный грант, а также затратив наиболее 20 млн. баксов, стала пионером в новоиспеченном облике энергетики. Построенная осмотическая электростанция производит возле 4 кВт мощности, которой хватает для работы ... 2-ух электро чайников. Только цели постройки станции еще серьезней: ведь проработка технологии а также проверка в настоящих критериях материалов для мембран раскрывают путь к творенью существенно наиболее массивных сооружений.

Финансовая привлекательность станций наступает с отдачи съема мощности наиболее 5 Вт с квадратного метра мембран. На норвежской станции в Тофте это смысл едва превосходит 1 Вт/м². Только теснее сейчас испытываются мембраны с отдачей 2,4 Вт/м², а к 2015 году ожидается приобретение рентабельного смысла 5 Вт/м². Осмотическая электростанция в Тофте.

Однако имеется обнадеживающая информация из исследовательского центра Франции. Работая с материалами на базе углеродных нанотрубок, эксперты получили на образчиках отдача отбора энергии осмоса возле 4000 Вт/м². А это теснее никак не элементарно прибыльно, а превосходит отдача фактически всех обычных источников энергии. Если удастся в течении наиболеешего десятилетия постановить делему мембран для осмотических станций, то свежееиспеченный родник энергии одолжит ведущее село в обеспечении человечества экологически чистыми энергоносителями. В сравнение от энергии ветра а также солнца, установки прямого осмоса имеют все шансы действовать круглые день а также никак не зависят от погодных критерий.

Цель работы

Целью данной работы является анализ перспективных решений по созданию эффективных энергоустановок, работающих только на возобновляемых источниках энергии, используя при этом энергию основанную на принципе диффузии жидкостей (осмос).

Принцип действия

Осмотическая электростанция — стационарная энергетическая установка, основанная на принципе диффузии жидкостей (осмос).

Первая и единственная, на данный момент в мире, осмотическая электростанция построена компанией Statkraft (en:Statkraft) в норвежском городке Тофте (коммуна Хурум), на территории целлюлозно-бумажного комбината «Södra Cell Tofte»[1][2].

Строительство электростанции обошлось в 20 миллионов долларов и 10 лет, проведенных в исследованиях и разработке технологии. Эта электростанция пока вырабатывает очень мало энергии: примерно 2—4 киловатта.

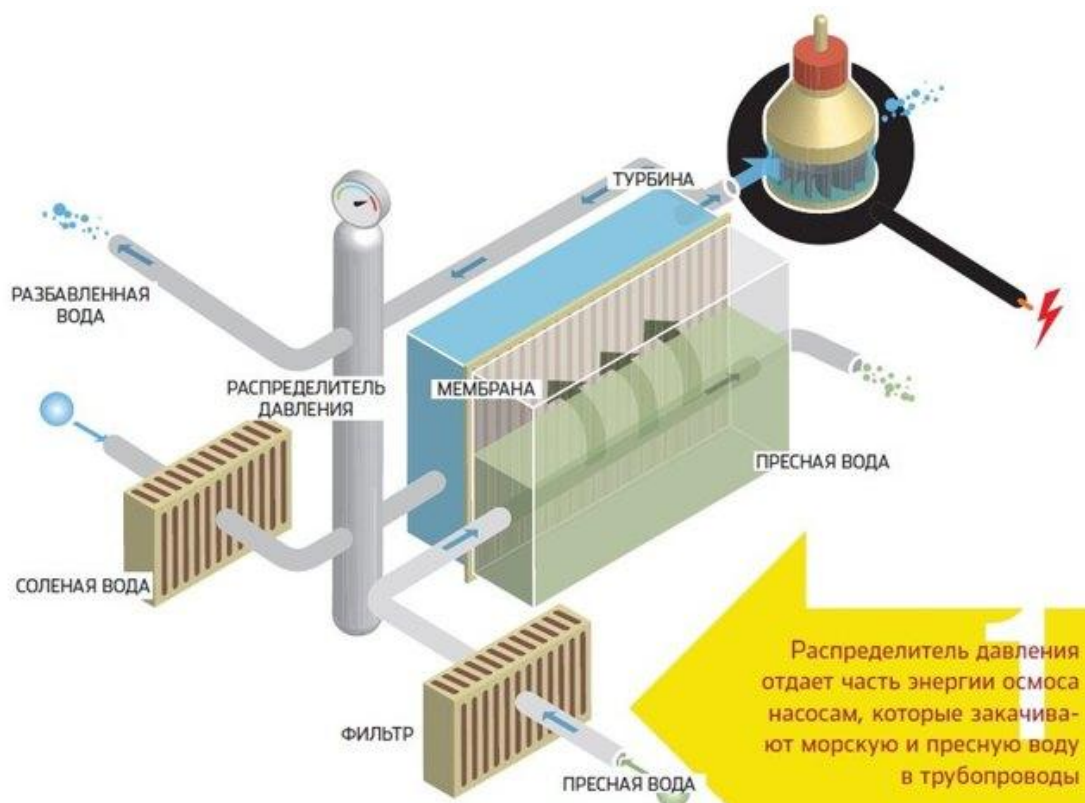
Впоследствии планируется увеличить выработку энергии до 10 киловатт[1]. На данный момент электростанция имеет вид экспериментальной, но в случае успешного завершения испытаний, станция будет запущена для коммерческого использования

Осмотическая электростанция берёт под контроль смешивание солёной и пресной воды, тем самым извлекает энергию из увеличивающейся энтропии жидкостей. Смешивание проходит в резервуаре, который разделен на два отсека полупроницаемой мембраной. В один отсек подается морская вода, а в другой пресная. За счёт разной концентрации солей в морской и пресной воде, молекулы воды из пресного отсека, стремясь выровнять концентрацию соли, переходят через мембрану в морской отсек. В результате этого процесса в отсеке с морской водой формируется избыточное давление, которое в свою очередь используется для вращения гидротурбины, вырабатывающей электроэнергию.

Преимущества и недостатки технологии

Преимущества

- В отличие от ветра и солнца, предоставляется непрерывный возобновляемый источник энергии, с незначительными сезонными колебаниями.
- Отсутствует парниковый эффект.



Недостатки

- У текущей мембраны показатель составляет 1 Вт/м^2 . Показатель, который позволит сделать станции рентабельными — 5 Вт/м^2 . В мире есть несколько компаний, производящих подобные мембраны (General Electric, Dow Chemical, Hydranautics, Toray Industries), но устройства для осмотической станции должны быть гораздо тоньше производимых сейчас.

- Осмотическая электростанция может использоваться только в устьях рек, где пресная вода вливается в солёную.

Потенциал и перспективы осмотической энергетики

- Компания Statkraft оценивает потенциал данного типа энергетики в 1600—1700 ТВт*ч. Что составляет около 10 % от всего мирового потребления электроэнергии.[1]

- Примерно через 2-3 года (данные на 2009) планируется создание ещё одной экспериментальной электростанции, мощностью до одного мегаватта.[1]

Примечания

1. Первая осмотическая электростанция заработала в Норвегии
2. Первая в мире осмотическая электростанция открылась в Норвегии

Выводы

При помощи ультратонкой мембраны из дисульфида молибдена и нанопорам ученые смогли добиться от устройства получения мощности 1 мегаватт.

Ученые из Швейцарии и США создали прототип очень мощной осмотической электростанции. Для выработки электроэнергии они использовали мембрану толщиной всего в три атома и соленую воду. Результаты этой работы опубликованы в Nature, сообщает пресс-служба Эколь политекник в Лозанне (EPFL).

Работа осмотической электростанции основана на явлении осмоса, то есть стремлении жидкостей при смешении уравнивать концентрацию растворенных в них соединений.

(Поскольку ионы — это электрически заряженные частицы, их движение используют для выработки электроэнергии.)

Особенность созданной учеными из лаборатории нанобиологии EPFL под руководством Цзяньдун Фэн (Jiandong Feng), — в мембране из дисульфида молибдена, толщиной всего в три атома. В ней проткнута всего одна дырка — нанопора, которая заряжена негативно.

Через нанопору в отсек в пресной водой из отсека с соленой водой проникают позитивно заряженные ионы соли, а их электроны передаются на проводник, чтобы генерировать электроэнергию. Из-за нанопоры в одном отсеке скапливаются положительно заряженные ионы, в другом — отрицательно заряженные.

Возникает напряжение между отсеками, течет электрический ток.

Регулируя размер нанопоры, можно влиять на силу тока либо величину напряжения. Ученым оставалось только подобрать оптимальный диаметр нанопоры, чтобы найти лучшее соотношение тока и напряжения, которое продуцирует наибольшую возможную мощность.

Этого достаточно, чтобы зажечь 50 тысяч энергосберегающих лампочек. Результат впечатляющий.

Дисульфид молибдена не относится к редким соединениям, а из технических проблем ученые пока видят только одну — сделать как можно более одинаковые нанопоры.

Электростанции, использующие осмос, разрабатываются и уже эксплуатируются в экспериментальном режиме — в Норвегии, Нидерландах, Японии и США, но их производительность оставляет желать лучшего. Поскольку осмотические электростанции — экологически чистые, ученые продолжают их совершенствовать.

Осмотические электростанции можно ставить в устьях рек, впадающих в моря, где пресная вода встречается соленую. См. подробнее об этом в статье «Устье реки как источник энергии». Такие электростанции могут в идеале работать вечно. Авторы работы пророчат своему устройству большие перспективы.

Список использованных источников

1. Осмотическая сила - Osmotic power - Википедия (wiki5.ru)Осмотическая электростанция Википедия (ruwikiorg.ru)
2. Создан прототип очень мощной осмотической электростанции — In-power.ru
3. ОСМОТИЧЕСКИЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ - Альтернативные источники энергии (studbooks.net).
4. Осмотическая электростанция: чистая энергия соленой воды - ООО «УК Энерготехсервис» (xn----dtbchbawj2amueleii7b6i.xn--p1ai).
5. Осмотическая электростанция — Википедия (wikipedia.org).

УДК 620.92

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕТРОВЫХ И СОЛНЕЧНЫХ УСТАНОВОК

Р.А. Нашев, Б. А. Якимович

На сегодняшний день наблюдается рост энергопотребления, как в мире, так и в России в целом. Тенденции такого развития потребления отображены в « Энергетической стратегии России на период до 2030 года». Одним из стратегических пунктов является использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ) [1].

Введение

В России, на сегодняшний момент, развитие альтернативной энергетики находится на начальном этапе. Наибольшее распространение в России получают солнечные (СЭС) и ветровые электростанции (ВЭС) так, как на большей части России наличие большой скорости ветровых потоков и воздействие солнечного излучения в противофазе (т.е. при ярком солнце, скорость ветровых потоков обычно мала, а если дует сильный ветер, то солнечная радиация незначительна). Поэтому для обеспечения бесперебойного электроснабжения целесообразно использовать гибридные ветро-солнечные электростанции.[2] Преимущество гибридных ветро-солнечных станций очевидно, их применение в случае отсутствия солнца или ветра.

Цель работы

Целью данной работы является анализ перспективных направлений в области применения энергии полученной от ветро-солнечных электростанций.

Ветро-солнечная электростанция

В России значительную роль в распространении распределенной генерации энергии играет то обстоятельство, что почти 70 % территории страны с населением около 20 млн. чел. не имеют в настоящее время централизованного энергоснабжения . Использование же ВИЭ для создания автономных систем энергоснабжения в таких районах требует решения вопросов аккумулирования больших объемов электроэнергии ввиду нестационарности основных возобновляемых источников, обладающих наиболее высоким энергетическим потенциалом – источников солнечной, ветровой и гидроэнергии [4]. В Севастополе летом преобладают западные и северо-западные ветра, зимой - северо-восточные, с наибольшей скоростью в ноябре [3]. Приблизительно 40 дней в году преобладают сильные ветра и бури, скорость ветры может быть более 15 м/с. Кроме ветров общей циркуляции наблюдаются местные ветра – дневные и ночные. Севастополь расположен на широте 45°, является одним из наиболее солнечных городов России - суммарная радиация равна 5261 МДж/год м².

В состав ветро-солнечной электростанции входит ветроустановка EuroWind 1 и фотоэлектрическая батарея, состоящая из трёх фотоэлектрических модулей, производства фирмы «Квазар» общей мощностью 450 Вт.

Таблица 1 - Энергетические характеристики ВЭУ

Месяцы	Средняя энергосработка (кВт ч)	Энергосработка по месяцам (кВт ч)
январь	0,55	413
февраль	0,833	580
март	0,708	527
апрель	0,468	337
май	0,333	248
июнь	0,314	226
июль	0,266	198
август	0,345	257
сентябрь	0,446	321
октябрь	0,552	411
ноябрь	0,576	415
декабрь	0,684	509

Таблица 2 - Теоретические энергетические характеристики Вт·ч с 1 м² фотоэлектрической батареи при установке на горизонтальную поверхность

Месяцы	Энергосработка (Вт·ч/м ²)
январь	4572
февраль	5219,2
март	8760,6
апрель	13719,0
май	16966,3
июнь	19299,0
июль	21039,7
август	17970,7
сентябрь	13587,0
октябрь	9811,5
ноябрь	4939,0
декабрь	3134,1

Проанализировав полученные данные, [3] можно заключить, что объём электроэнергии можно использовать для автономного питания небольшого частного дома.

Следует заметить, что установку можно использовать для обеззараживания сточных вод, как для частного хозяйства, так и для нужд силовых структур связанных с обеззараживанием вод таких, как МЧС или армия, поскольку не требует для развертывания под себя больших площадей, высококвалифицированного персонала, быстро монтируется.

Установка прямого электролиза воды представляет собой модульную систему для обеззараживания питьевых и сточных вод, а также окисления примесей воды в системах водоподготовки. Установки прямого электролиза воды работают только в проточном режиме. Электролизная установка состоит из двух основных элементов:



Рис. 1. Внешний и внутренний вид установки

Электролизёр содержит титановые пластины (электроды) с покрытием из оксидов благородных металлов. В электролизёре из присутствующих в воде хлоридов производится активный хлор, а также при электролизе воды образуются другие окислители (кислород, озон, радикалы). Производство активного хлора и других окислителей электролизом воды обеспечивает более эффективное обеззараживание и окисление примесей, чем дозирование в воду хлор-газа или гипохлорита натрия [6].

В случае увеличения мощности установки поможет использоваться для утилизации минерализованных промышленных вод в виде растворов гипохлорита, используемых для обеззараживания водных систем.

Основываясь на материалы [5] указанная цель по утилизации достигается получением растворов гипохлорита с концентрацией активного хлора от 80 до 600 мг/л из минерализованной промышленной воды, которые впоследствии используются в качестве реагента для обеззараживания сточных вод. Электрохимическая обработка минерализованных вод проводится в условиях, обеспечивающих минимальный расход электроэнергии на обработку 1 м³ оборотной воды ($1 \div 4,8$ кВт·ч) и получение 1 кг активного хлора ($8 \div 16$ кВт·ч): время обработки воды в электролизере – 10 - 30 с, плотность тока на электродах – 500 - 750 А/м².

Одним из перспективных направлений в развитии энергетики в целом является водородная энергетика. А использование практически ВИЭ для выработки водорода является привлекательным вариантом. Поскольку установки по производству водорода представляют собой надежные, полностью автоматизированные экологически безопасные водородные генераторы, основанные на технологии неорганического мембранного (IMET) электролиза водных растворов щелочей [7]. Полученный водород подвергается дополнительной очистке от паров воды и кислорода, степень которой зависит от требований клиента чистота до 99,9998 %. (В атмосферу выделяется чистый кислород 99,7 %). Генераторы имеют следующие преимущества: низкий удельный расход электроэнергии - 4,2 кВт·ч/нм³, отсутствие обслуживающего персонала, отсутствие узла подготовки электролита (расход щелочи минимален), отсутствие применения токсичных материалов, применение только нержавеющей стали для трубопроводов и оборудования, компактное размещение, быстрый пуск и регулирование производительности от 25 до 100 % в течение 5 - 10 с.

Оборудование по производству водорода размещается в шкафах или в специальном контейнере. Шкафы в помещении устанавливаются прямо на пол и подсоединяются к энергоносителям. Кроме того в пользу водородной энергетики ОИВТ РАН разработан не имеющий аналогов газопоршневой двигатель, использующий водород в виде топлива и предложены способы эксплуатации этого двигателя в бездетонационном режиме, не снижающем расчетные сроки жизни агрегата [4].

Выводы

Данная станция наиболее применима для частных хозяйств для питания как бытовых потребителей так и специализированного оборудования. Увеличение мощности установки позволит применять ее в сферах обеззараживания промышленных вод, а также в водородной энергетике.

Список использованных источников

1. Лукутин Б.В., Муравлев И.О., Плотников И.А. Системы электроснабжения с ветровыми и солнечными электростанциями / Б.В. Лукутин, И.О. Муравлев, И.А. Плотников.- Томск.: Томский политехнический университет, 2015 .
2. Бледных А.А. Перспективы ветро-солнечной энергетики Оренбургской области//Молодежная наука как фактор и ресурс опережающего развития,2021.Сборник статей V Международной научно-практической конференции. С.168-173.
3. Кувшинов В.В., Какушина Е.Г., Нашев Р.А. Использование ветровых и солнечных установок для обеспечения автономного жилого дома// Энергетические установки и технологии. 2021. Т. 7. № 2. С. 97-105.
4. Алхасов А.Б., Зайченко В.М. , Сулейманов М.Ж. Солнечно- ветровая электростанция на полигоне института проблем геотермии и возобновляемой энергетики филиала ОИВТ РАН// Материалы VI Международной конференции «Возобновляемая энергетика: проблемы и перспективы» , 2020. С. 25-31.
5. Чантурия В. А., Козлов А. П., Двойченкова Г. П. Способ обеззараживания водных систем минеральными промышленными водами в виде растворов гипохлорида //патент R U 2540616 C 2
6. <https://prp-servis.ru/news/Ustanovki-prjamogo-elektroliza-vody>
7. https://intech-gmbh.ru/h2_production

УДК 620.92

ТЕПЛОФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ГЕЛИОПРОФИЛЬ ДЛЯ АВТОНОМНЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

В.В. Кувшинов, О.Н. Деев, И.С. Парфенцев

Описывается теплофотоэлектрический гелиопрофиль встраиваемый в кровлю жилых домов и используемый для обеспечения потребителей тепловой и электрической энергией. При преобразовании гелиопрофилем солнечной энергии, значительно повышается эффективность всей солнечной установки.

Введение

Использование солнечных установок для обеспечения тепловой и электрической энергией автономного потребителя является одним из перспективных направлений ресурсо- и энергосбережения не только для территории Крыма, но и для большинства регионов Украины. Для более эффективного использования солнечной энергии можно использовать комбинированные установки, вырабатывающие одновременно тепловую и электрическую энергию. Сами же установки для экономии материалов, площадей и времени сборки можно совмещать с крышей зданий и сооружений. В результате получается, что при разработке проектов и строительстве автономных энергосберегающих домов в кровлю здания целесообразно встраивать гелиосистему для нагрева теплоносителя с возможностью установки фотоэлементов для выработки электрической энергии.

Цели и задачи исследования

В ближайшее годы системы, использующие лишь фотоэлектрическое, или только тепловое преобразование солнечной энергии достигнут своих предельных характеристик. Именно поэтому новые системы, использующие одновременно оба типа преобразования, как альтернатива традиционных установок, представляют все больший интерес для разработчиков новых технологий [1]. Переход на комбинированные системы означает переход на новую ступень развития технологии гелиотехники с более высокими характеристиками системы.

Несмотря на многообразие различных видов солнечных установок для комбинированной выработки тепловой и электрической энергии [1-3], всё таки большая часть современных разработок состоит из абсорбера на приёмной панели которого находятся солнечные элементы (рис 1). Такие конструкции позволяют комбинировать тепловые и фотоэлектрические установки и использовать для производства теплофотоэлектрических устройств серийные солнечные коллекторы и фотоэлектрические элементы, уже выпускаемые промышленностью.

Все эти разработки представляют собой фактически плоские гелиоколлектора с встроенными на их приемной поверхности фотоэлементами. Эти установки пригодны

не только для установки на крышах зданий и сооружений, но и для монтажа непосредственно в их кровлю.

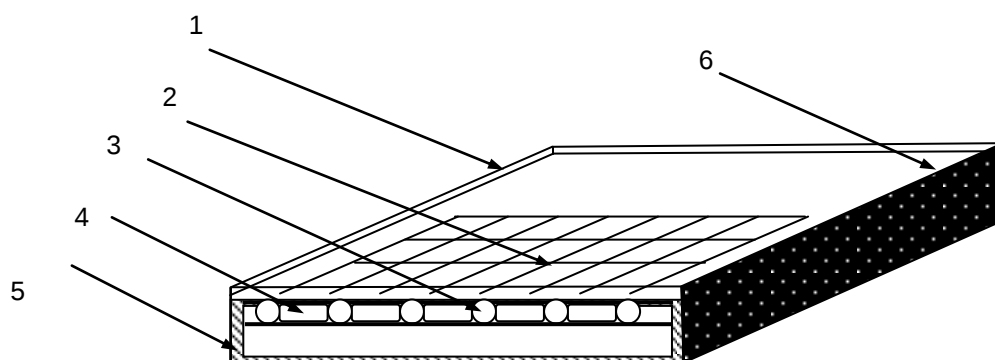


Рис. 1. Устройство комбинированного коллектора с воздушно-жидкостным теплоносителем: 1 – верхнее остекление; 2 – панель с солнечными элементами; 3 – трубки для жидкого теплоносителя; 4 – каналы для воздуха; 5 – теплоизоляция; 6 – корпус

Проводя анализ комбинированных фототеплоэлектрических установок плоской конструкции их можно свести к трём типам. Это установки с воздушным, жидкостным и воздушно-жидкостным теплоносителем. Плоский воздушный комбинированный теплоэлектрический гелиоколлектор имеет вид изображенный на рис. 2. Как видно из рисунка в этой установке теплопоглощающая пластина с фотоэлектрическими элементами размещена посередине металлического корпуса с тепловой изоляцией, сверху находится стекло, а снизу пластины находятся каналы для воздуха, который является в этой конструкции тепловым носителем. Циркулирующий теплоноситель охлаждает фотоэлементы, за счет чего растёт эффективность их работы и увеличивается суммарная выработка электроэнергии, а нагретый теплоноситель используется потребителем (рис. 2).

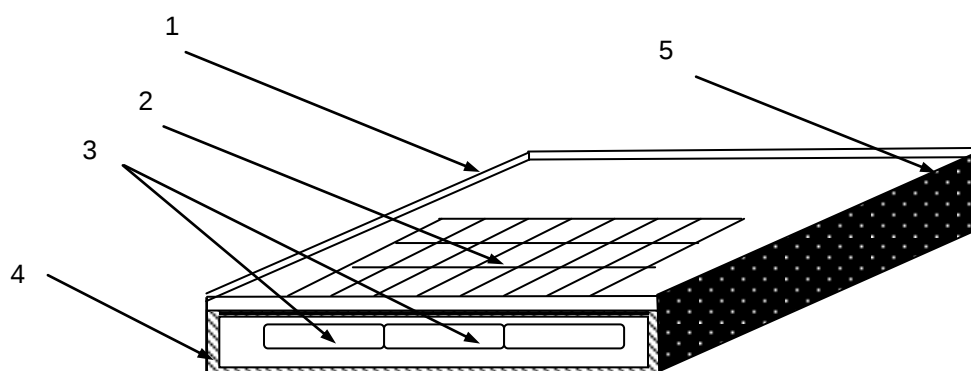


Рис. 2. Устройство комбинированного гелиоколлектора с воздушным теплоносителем: 1 – верхнее остекление; 2 – панель с солнечными элементами; 3 – каналы для воздуха; 4 – теплоизоляция; 5 – корпус

Устройство комбинированного коллектора с жидким теплоносителем показано на рис.3, здесь теплопоглощающая пластина с фотоэлементами является типичным абсорбером плоского солнечного коллектора. Снизу пластины находятся трубки, по которым циркулирует жидкий теплоноситель. Теплоносителем может являться вода или антифриз. Аналогично установке изображенной на рис.2, жидкий теплоноситель, циркулируя по трубкам, охлаждает фотоэлементы и используется потребителем.

Третий тип плоского комбинированного коллектора изображен на рис.1. Он отличается от первых двух тем, тем, что имеет кроме трубок с жидким теплоносителем ещё и каналы для воздуха. В результате потребитель, кроме электроэнергии может ещё использовать для систем теплообеспечения горячую воду и нагретый воздух.

Как видно из рассмотренных типов плоских комбинированных установок наиболее выгодным является третий тип устройств. Однако при проектировании солнечных систем тепловодоснабжения для автономного потребителя более приемлемым может оказаться второй или первый тип. Использование того или иного типа установок выбирается из задач, которые должна выполнять система солнечного обеспечения. Например, если потребитель рассчитывает получать электрическую энергию и обеспечивать только нагрев и вентиляцию помещений, то приемлем первый тип, если необходимо получать только электроэнергию и горячую воду, то второй. При проектировании полной системы водообеспечения, отопления и вентиляции зданий можно использовать третий тип.

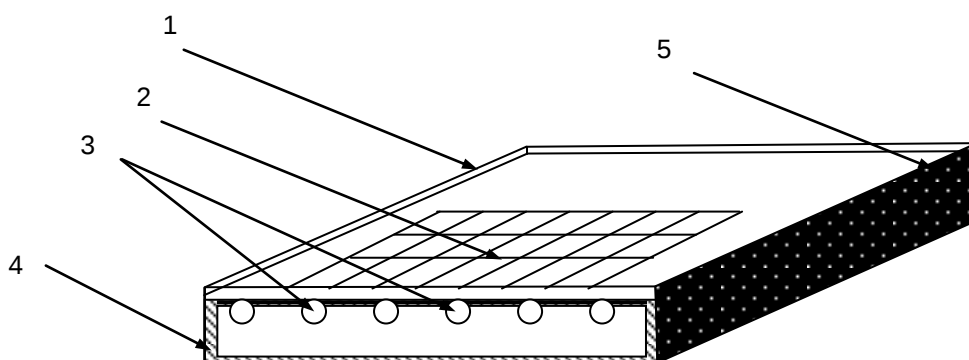


Рис. 3. Устройство комбинированного коллектора с жидкостным теплоносителем:
1 – верхнее остекление; 2 – панель с солнечными элементами; 3 – трубки для жидкого теплоносителя; 4 – теплоизоляция; 5 – корпус

Задачей авторов являлась разработка солнечной установки, сочетающий в себе гелиоколлектор для обеспечения теплом и горячей водой, фотоэлектрическую батарею для выработки электричества и готовую металлическую конструкцию для покрытия кровли здания, для автономного энергосберегающего дома.

В ходе работы был проведен анализ гелиотепловых, фотоэлектрических и комбинированных термофотоэлектрических установок, разработанных в различных конструкторских организациях и научных учреждениях России. В институте ВИМ (г. Москва) был разработан комбинированный фототермический модуль [2], предназначенный для одновременного получения тепловой и электрической энергии за

счет использования и превращения широкого диапазона электромагнитного излучения Солнца. В фототермическом модуле применено охлаждение рабочей поверхности за счет принудительного течения теплоносителя в гидравлических трактах. В научном центре при Киевском национальном политехническом университете была разработана экспериментальная модель модуля PVT[3], результаты испытаний показали, что с помощью модуля можно увеличить эффективность получения электрической энергии солнечными элементами более чем в 2 раза.

Днепропетровской фирмой «Инсорал ЮСВ» был разработан универсальный гелиопрофиль, который монтируется на кровле зданий и сооружений и заменяет металлические кровельные материалы [4]. Внутри гелиопрофиля находятся каналы для жидкого и воздушного теплоносителя, таким образом, профиль представляет собой водо-воздушный гелиоколлектор для обеспечения потребителей горячей водой и электроэнергией. Именно эта установка и была взята за основу для дальнейшей разработки и усовершенствования. На кафедре «Энергосбережение и нетрадиционные источники энергии» Севастопольского национального университета ядерной энергии и промышленности авторами было проведено исследование комбинированной солнечной установки с использованием в качестве приёмной поверхности комбинированного промышленного полноразмерного гелиопрофиля, предоставленного фирмой «Инсолар ЮСВ» [5]. Сам гелиопрофиль состоит из отдельных элементов (полос) шириной 0,15 м и длиной до 7 м. Исследуемая солнечная установка состоит из теплового абсорбера гелиопрофиля и кремниевых фотоэлектрических элементов (см. фото на рис. 4).

Именно такие солнечные системы целесообразно встраивать непосредственно в кровлю автономных энергоэффективных домов для обеспечения тепловой и электрической энергией потребителя, при их производстве сокращается количество материалов, а при монтаже время и соответственно себестоимость строительных работ.



Рис. 4. Комбинированная теплофотоэлектрическая солнечная установка

Авторами были проведены сравнительные исследования комбинированной и тепловой солнечной установки с использованием плоского концентратора (фото на рис. 5).

Для проведения экспериментов использовались две солнечные установки равных размеров, с одинаковыми тепловыми абсорберами, при этом на абсорбере одной установки (рис. 4) находились солнечные элементы. длина установок составляла 3 м, а ширина 1 м. Фотоэлектрическая батарея установки состояла из трёх фотоэлектрических модулей с одинаковой мощностью. Эта установка относится к типу, показанному на рис. 1. При проведении экспериментов была получена сравнительная тепловая выработка двух солнечных установок (рис. 5).

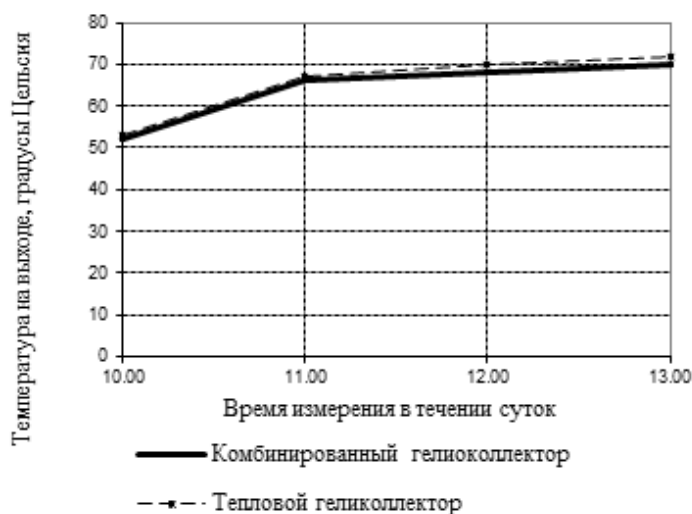


Рис. 5. Сравнительная тепловая выработка солнечных установок в °C

Как видно из данных при одновременной выработке тепловой и электрической энергии, температуры теплоносителя на выходе различались всего на 1-2 градуса, т.е. по выработке тепла установки почти не отличаются. Фотоэлектрические элементы находятся в нижней части приемной поверхности (рис.1-3), где температура теплоносителя наименьшая, при циркуляции теплоносителя элементы охлаждаются. Комбинированный солнечный коллектор имеет более высокую эффективность, а также при охлаждении солнечных элементов, сохраняется их максимальный КПД [6].

При совместной работе фотоэлементов и теплового абсорбера, было получено увеличение общего КПД установки до 85 % при тепловом КПД 70 % и фотоэлектрическом 15 %. Существенное увеличение КПД всей системы связано с использованием комбинированной установкой значительной части солнечного спектра излучения. Если тепловой коллектор использует в основном инфракрасную и длинноволновую видимую часть спектра, то кремниевые элементы используют ультрафиолетовую и коротковолновую видимую часть спектра.

В результате проведения эксперимента были получены данные по работе комбинированного гелиопрофиля, представляющего собой сборную конструкцию,

состоящую из отдельных элементов шириной 0,15 м и длиной до 7 м, готовых для сборки кровли зданий и сооружений.



Рис. 6. Сравнительная мощностная тепловая выработка солнечных установок

Выводы

Таким образом, по результатам экспериментов можно сделать заключение об эффективности работы солнечных установок с комбинированной выработкой тепловой и электрической энергии. При использовании комбинированного абсорбера для выработки тепла и электроэнергии можно значительно увеличить общий КПД гелиоустановки, охлаждение солнечных элементов циркулирующим теплоносителем на промышленных элементах гелиопрофиля позволяет значительно увеличить выработку электроэнергии комбинированной установкой.

При использовании предложенных установок для обеспечения тепловой и электрической энергией автономного энергосберегающего дома можно сделать следующие выводы:

- использование солнечных установок для обеспечения автономного потребителя позволяет при комбинированной выработке тепловой и электрической энергии значительно повысить общую эффективность всей системы;
- использование встроенных в кровлю зданий комбинированных гелиопрофилей позволяет значительно экономить материалы, площади и себестоимость работ по монтажу и установке систем солнечного теплоэлектрообеспечения;

Список литературы

1. Кузнецов К.В., Тюхов И.И., Сергиевский Э.Д. Исследование характеристик солнечного воздушного гибридного коллектора // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве, Труды 6-й Международной научно-технической конференции, 13-14 мая 2008 г., Москва, ГНУ ВИЭСХ – ч.4 – С. 227-231.

2. Кучинский В.П., Синицын Н.П., Суржик А.Н., Шевчук В.И. Методика определения тепловых характеристик фототермических модулей // Відновлювана енергетика, № 4, 2006, С. 44-47.

3. Рассамакин Б.П. и др. Отечественные солнечные коллекторы на основе алюминиевых тепловых труб // Материалы X международной конференции, АР Крым, п.г.т. Николаевка 14-18 сентября 2009 г., С. 175-178.

4. Использование термофотоэлектрических установок для обеспечения тепловой и электрической энергией Севастополя / Е.Г. Какушина, А.Д. Васильев, А.А. Горецкий // Энергетические установки и технологии – 2016. Т. 2. № 3. С. 51-57.

5. Потенциал развития тепловой солнечной энергетики для нужд коммунального хозяйства /Кувшинов В.В., Какушина Е.Г., Олейников А.М., Гхашим М.// Энергетические установки и технологии. 2021 - Т. 7. № 1. С. 46-52.

6. Возможности повышения мощностных характеристик солнечных установок при выработке тепловой и электрической энергии с одной приемной поверхности / В.В. Кувшинов, Е.Г. Какушина // Энергетические установки и технологии – 2016. Т. 2. № 3. С. 45-50.

УДК 620.92

ПРИМЕНЕНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С ЦЕЛЬЮ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕСПЕРЕБОЙНОЙ РАБОТЫ МЕДИЦИНСКОЙ ТЕХНИКИ

В.В. Кувшинов, В.А. Березняк

Проведены экспериментальные исследования и получены характеристики фотоэлектрической панели, используемой для обеспечения бесперебойной работы ESM-аппарата электромышечной стимуляции. В качестве солнечной батареи использовались фотоэлектрические преобразователи с наномодифицированной поверхностью.

Введение

Солнечный свет – возобновляемый и неисчерпаемый источник, который используется для получения как тепловой, так и электрической энергии. Кроме того, солнечная энергетика является наиболее экологически чистой, практически не имеющей вредных выбросов. Полное количество солнечной энергии, поступающей на поверхность Земли за неделю, превышает энергию всех мировых запасов нефти, газа, угля и урана [1],

В настоящее время преобразование солнечной энергии в электрическую является одним из самых перспективных направлений [2], Генерация электрической энергии осуществляется с помощью фотоэлектрических преобразователей (ФЭП), которые широко используются для энергообеспечения населения, объектов производства, космических станций. Работа ФЭП основана на фотовольтстатическом эффекте, который возникает в неоднородных полупроводниковых структурах при воздействии на них солнечного излучения [3]. Однако главной проблемой для их широкомасштабного использования является низкий коэффициент КПД, невысокая плотность и непостоянство потока естественной солнечной радиации, преобразовываемой в электрическую энергию, и, как следствие, – сравнительно высокая себестоимость на единицу мощности [4],

Наибольшее распространение получили полупроводниковые ФЭП на основе монокристаллического либо поликристаллического кремния. При этом коэффициент преобразования солнечной радиации в электрическую энергию современными серийными кремниевыми фотоэлектрическими модулями не превышает 15–20%. Фотоэлементы на основе поликристаллического кремния имеют самый дешёвый ватт электроэнергии, но их выработка ещё ниже. Всё это стимулирует поиски повышения эффективности ФЭП [5]. Таким образом, недостаточная эффективность существующих гелиотехнических материалов является одной из главных причин, препятствующих развитию солнечной энергетике. В этом смысле задача повышения характеристик промышленно выпускаемых фотоэлементов безусловно является актуальной.

Цель работы

Для работы современной медицинской техники используется большое множество различных систем электропитания. Одна часть этих установок работает исключительно от сети переменного тока, другая использует встроенные элементы питания. Однако наиболее эффективно использовать комбинированные системы электроснабжения, в которых предусмотрены аккумуляторные блоки бесперебойного питания с возможностью подзарядки от общей энергосистемы. Но что делать при длительном отсутствии централизованного электропитания в течении длительного времени. Наиболее логично использовать какие-либо подручные средства, которые могут генерировать электричество малой мощности и обеспечивать бесперебойную работу. Такие системы должны удовлетворять определенным требованиям и при их работе качество и срок службы вспомогательного и основного электрооборудования не должен уменьшаться.

Для курортно-рекреационной системы (бальнеология, курортология, лечебная физкультура, массаж и др.) используется различное оборудование, которое имеет определенные технические характеристики. В частности, существует так-называемые EMS-технологии (EMS-аппараты), используемые в медицинских (реабилитационных) целях. Цель работы является обеспечение качественной работы медицинского оборудования с использованием энергосберегающих технологий и солнечных элементов для бесперебойной работы EMS аппарата. Для достижения поставленной цели в качестве зарядной батареи для бесперебойного источника питания были использованы солнечные преобразователи. Однако постоянное использование для работы в не стационарных условиях и перемещение вне студий и медицинских салонов может привести к поломкам оборудования. Поэтому для решения этой проблемы были выбраны фотопреобразователи с повышенными энергетическими характеристиками. Одной из целей работы являлось создание зарядной энергоэффективной солнечной панели на основе фотоэлектрического преобразователя с нано модифицированной приёмной поверхностью [5-7], которую можно было использовать для обеспечения бесперебойной работы EMS аппарата. Внедрение EMS-технологий с источниками резервного питания (БИРП) для курортно-рекреационных объектов является перспективным направлением.

Результаты исследований

При разработке электроэнергетической установки для обеспечения бесперебойной работы EMS-аппарата были использованы кремниевые фотопреобразователи с рабочей поверхностью, нано модифицированной ионами серебра. Работы были выполнены методом ионного резонанса в лаборатории искрового плазменного спекания, находящийся в МГТУ «Станкин» в г. Москва [6]. Полученные солнечные элементы обладают высоким коэффициентом преобразования, повышенной твердостью и эффективностью работы. Их мощностные характеристики приведены на рис. 1.

Как видно из графиков (рис. 1), имеет место увеличение на 20 % мощностных характеристик фотоэлектрических преобразователей при нанесении на их рабочую поверхность нано покрытий. В натуральных условиях изменения угла падения лучей на приемную поверхность фотоэлектрического модуля на определенную величину приводят к соответствующему изменению освещенности рабочей поверхности модуля ЕО, что, в свою очередь, влияет на работу фотоэлектрического модуля [8-10].

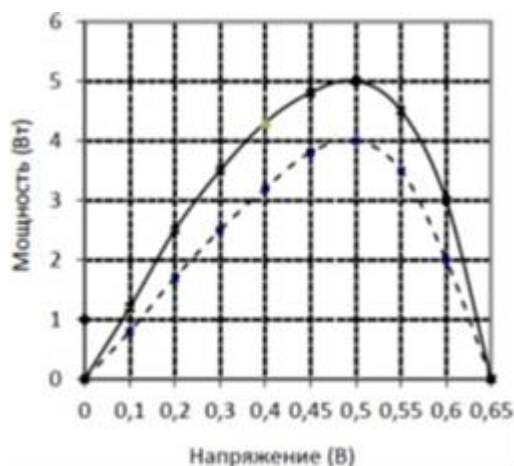


Рис. 1. Мощностные характеристики кремниевых элементов (сплошная линия — с модифицированной поверхностью, пунктирная линия — заводские характеристики)

Смоделировать ситуацию изменения освещенности рабочей поверхности при движении солнца по горизонту можно, изменяя в течение короткого времени положение угла установки фотоэлектрического модуля к горизонту и проводя при этом прямые измерения тока и напряжения модуля при изменении нагрузочного сопротивления [7]. На рис. 2 показаны теоретические и экспериментальные характеристики

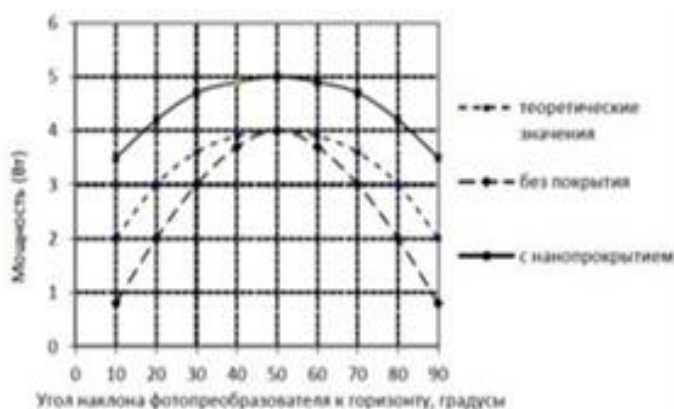


Рис. 2. Мощностные характеристики фотопреобразователей при изменении угла падения солнечных лучей на рабочую поверхность

Как видно из графиков солнечные элементы с наномодифицированной

поверхностью более эффективно преобразовывают поток солнечной радиации при критических углах падения [1].

Увеличение преобразования фотоэлементов при малых углах падения солнечных лучей способно значительно поднять выработку электроэнергии солнечными модулями. На графиках (рис. 1 и 2) видно существенное увеличение мощностных характеристик фотоэлементов, используемых в заводских модулях, при нанесении на них покрытий из наночастиц серебра и сохранение их мощностных характеристик при малых углах падения солнечной радиации [4],

Использование фотоэлементов с нанопокрывтиями позволяет увеличить выработку электроэнергии фотоэлектрическими установками за счет более полного преобразования потока падающей солнечной радиации даже при малых углах падения солнечных лучей на приёмную поверхность [5],

Полученные данные будут способствовать росту мощностных характеристик различных типов солнечных элементов, увеличению их коэффициента преобразования, повышению эффективности фотоэнергетических установок и устройств различного назначения, не увеличивая при этом площадь их приемной поверхности, что существенно расширит сферу использования солнечных энергетических установок [1].

Использование поликремневых фотоэлементов с нано-модифицированной поверхностью для заряда систем аккумулирования, используемых для EMS-аппарата. Использование БИРП систем с фотоэлементами для работы EMS-аппаратов вне центров в "полевых условиях", при отсутствии доступа к общей энергосети.

Результаты проведенной работы расширяют представления о процессах формирования функциональных поверхностей, функционирования фотоэлектрических преобразователей энергии, влияния микропримесей на эффективность работы фотоэлектрических преобразователей. Установленные закономерности позволяют оценивать эффективность модифицирования фотоэлектрических преобразователей.

Практическая значимость

Использование EMS-технологий для курортнорекреационного комплекса санаторных учреждений республики Крым и города Севастополь способствует увеличению эффективности работы реабилитационных центров и выздоровлению людей, страдающих такими заболеваниями, как мышечная атрофия заболевания опорно-двигательного аппарата и т. д. Расширение использования предложенных EMS-аппаратов с источниками бесперебойного питания и зарядными блоками из солнечных панелей способствует более качественному лечению.

Выводы

В ходе выполнения работы было выявлено, что модифицирование поверхности фотоэлементов наночастицами серебра приводит к повышению мощностных характеристик на 20 % за счёт инициирования эффекта поверхностного плазменного резонанса.

Использование фотоэлементов с повышенными характеристиками способствует увеличению срока их эксплуатации и увеличению коэффициента преобразования.

Внедрение солнечных установок в EMS- технологии способствует более высокой эффективности использования медицинского оборудования за счет работы в натуральных условиях в местах отдыха в различные периоды времени года.

Список литературы

1. Сибикин, Ю.Д., Сибикин, М.Ю., Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии, М.: КНОРУС, 2010. 232 с.
2. Кувшинов, В.В., Морозова, Н.В. / Возможности повышения мощностных характеристик солнечных установок для использования в энергетике Крыма // М.: Спутник+, 2017. 175 с.
3. Фотоэлектрические приборы из кристаллического кремния. Методика коррекции результатов измерения вольтамперной характеристики (МЭК 891-87): ГОСТ 28976-91. – [Введ. 19.04.91]. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. – 42 с. – (Национальный стандарт России).
4. Колтун М.М. Оптика и метрология солнечных элементов. М.: Наука, 1985. – 300 с.
5. Васильев А.М., Кукушкин Д.Ю., Трофимов В.В. Осаждение нанокластеров металлов из коллоидных растворов на поверхность пористых рулонных материалов методом электрофореза // Известия РАН. серия физическая, 2019 том, № 12(83), С. 1670–1674. DOI: 10.1134/S0367676519120305/
6. The application of nanocluster coatings for modification of image receiving surface of thermophotovoltaic energy converters / Krit B.L., Kukushkin D.Y., Sleptsov V.V., Kuvshinov V.V., Omel'chuk Y.A., Morozova N.B., Revenok T.V. // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. 2020. T. 56. № 1. С. 100-104.
7. Слепцов В.В., Тянгинский А.Ю., Остроухов Н.Н., Церулев М.В. Электроимпульсная технология получения, диагностика и биологическое применение гидрогелей металлов. Физика и химия обработки материалов. 2013 г., №1, с. 77-82.
8. Раушенбах Г. Справочник по проектированию солнечных батарей. М.: Энергоатомиздат, 1983. 397 с.
9. Андреев В.М., Грилихес В.А., Румянцев В.Д. Фотоэлектрическое преобразование концентрированного солнечного излучения. Л.: Наука, 1989. 405 с.
10. Возможности повышения мощности фотоэлектрических преобразователей модификацией их поверхностей нанокластерами серебра / Кувшинов В.В., Крит Б.Л., Морозова Н.В., Кукушкин Д.Ю., Савкин А.В. // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. 2018. № 1 (43). С. 36-42.

УДК 621.311.243

ПРИМЕНЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ ДЛЯ НУЖД ПОТРЕБИТЕЛЕЙ В ГОРОДЕ СЕВАСТОПОЛЬ

С.В. Колесникова, И.С. Кабанцова

На сегодняшний день наблюдается тенденция увеличения спроса на потребляемую электроэнергию, однако необходимое количество требуемой мощности не всегда можно доставить потребителю вследствие ограниченной пропускной способности электрических сетей. В результате этого возникает проблема энергетического дефицита при электроснабжении целых районов. Энергоснабжающие компании и сетевые организации не могут обеспечить достаточной мощностью каждого потребителя, и поэтому устанавливают ограничения. В связи с этим ответственность за решение данной проблемы ложится на самих потребителей.

Введение

В результате строительства и ввода в эксплуатацию ПГУ ТЭС в городах Севастополь, Симферополь и Саки был ликвидирован дефицит электрических мощностей в Крыму, при этом профицит мощности составил порядка 800 мВт. Однако при таком значительном избытке установленной мощности, в отдельных районах частной застройки со значительным приростом населения в Крыму и в городе Севастополе вводятся новые ограничения на потребление электрических мощностей. Проблема заключается в превышении величин подключаемых нагрузок индивидуальными потребителями над пропускными способностями отдельных электрических сетей, требующих реконструкции, что приводит к перебоям в электроснабжении этих потребителей.

Цель работы

Целью исследования является анализ наиболее перспективных решений по применению и разработке эффективных индивидуальных энергоустановок для получения недостающих электрических мощностей и покрытия индивидуальных и коллективных нужд в энергетически дефицитных районах частной застройки потребителями города Севастополя.

Анализ аналогов и преимущества предлагаемого решения

Проблема нормального электроснабжения энергодефицитных районов города Севастополя осложняется еще и тем, что повышение пропускных способностей электрических сетей в районах с активным строительством частных домов и коттеджей требует длительной модернизации сетей при значительных финансовых затратах. Вместе с тем необходимы быстрые решения по вводу необходимых мощностей с

минимальными финансовыми затратами индивидуальных владельцев и возможностью быстрой окупаемости затрат [1].

В ходе исследования были рассмотрены возможные технические решения и аналоги индивидуальных энергоустановок, а так же проведен анализ их преимуществ и недостатков. Рассмотрены такие генерирующие источники выработки электроэнергии как ветрогенераторы, бензиновые и дизельные генераторы, солнечные электростанции (СЭС), гидрогенераторы [2].

Наиболее приемлемым вариантом для решения проблемы энергодефицита оказалось применение индивидуальной солнечной электрической станции на крышах строящихся домов ввиду ряда их серьезных преимуществ. Так, в сравнении с ветрогенераторами, которые требуют для установки высоких мачт и опор, солнечные панели можно устанавливать на крышах домов, не занимая дополнительную площадь. С учётом особенностей климатических условий в городе Севастополе, солнечные панели будут вырабатывать большое количество электроэнергии, при этом ее поставки в дневное время более стабильны [3-4].

Гидрогенераторы не приемлемы вследствие отсутствия полноводных рек в районах с энергетическим дефицитом. Недостатками бензинового и дизельного генераторов является большое потребление дорогостоящего топлива с выбросом угарного газа. Эти генераторы негативно влияют на экологию, в то время, как солнечные панели являются источниками чистой возобновляемой энергетики. Помимо этого, солнечные электростанции, в отличие от аналогов, не создают дополнительных шумов. С экономической точки зрения установка и обслуживание солнечных панелей и солнечных электростанций мощностью 4 - 5 кВт является наиболее выгодным по сравнению с аналогами. Недостатком солнечной электростанции является отсутствие энергосыработки в ночное время [4], однако этот недостаток можно устранить за счет установки накопителей электрической энергии, рис. 1.



Рис. 1. Схема работы солнечной электростанции

Таким образом, предложенное решение о применении индивидуальных солнечных электрических станций, позволит обеспечить достаточное количество электрической энергии не только индивидуальных владельцев, но и общих потребителей, такие как освещение общей территории и работу насосной электрической станции. Кроме того, избыток полученной электрической энергии будет направлен в электрические сети снабжающей сетевой организации для обеспечения электрической энергией соседних энергетически дефицитных районов. При этом

частные владельцы солнечных станций смогут окупить затраты на их установку при продаже электрической энергии за 2-3 года, а после этого получать прибыль. В ночное время, вследствие отсутствия пика электропотребления, поставляемой сетевой организацией электроэнергией может быть достаточно для потребителей. Вместе с тем, возможно применение аккумуляторов в составе солнечной электростанции для зарядки их днем и разрядки на потребители в вечернее и ночное время. Это на 30 % удорожает стоимость станции, и почти в два раза увеличивает срок окупаемости, но является оправданным. Решение о применении СЭС и накопителей энергии остаётся за индивидуальным домовладельцем и сетевой организацией, с которой заключается договор на потребление энергии из сети и на продажу в сеть излишков собственной генерации.

Для проектируемой электростанции был выбран фотоэлектрический модуль SilaSolar PERC 5BB, номинальной мощностью 350 Вт. При проектировании СЭС в расчетном разделе был выбран инвертор сетевого типа: ТВЕ-5-12-PS мощностью 5 кВт, который преобразует электроэнергию, полученную от солнечных батарей, и передает энергию напрямую в сеть. Отличительной особенностью сетевых инверторов является характер их работы по отношению к внешней электрической сети. Устройства данного типа устанавливаются в электрическую цепь между солнечной панелью и электрической сетью 220/380 В. Установка сетевого инвертора предполагает работу солнечной электростанции без наличия накопителей энергии (аккумуляторов), когда выработанный солнечными батареями ток идет на питание отдельных потребителей, подключаемых непосредственно к инвертору, а излишки – во внешнюю сеть. Работа такого устройства осуществляется только в дневное время, когда есть солнечный свет [5].

Для измерения и учета активной и реактивной энергии (в том числе и с учетом потерь), ведения массивов профиля мощности нагрузки с программируемым временем интегрирования (в том числе и с учетом потерь), фиксации максимумов мощности, измерения параметров сети и параметров качества электрической энергии в трехфазных сетях переменного тока выбран двунаправленный счетчик. Счетчик ведет многотарифный учет активной и реактивной энергии прямого и обратного направления (в зависимости от варианта исполнения и конфигурирования).

Выводы

Таким образом, применение индивидуальной солнечной электрической станции на крышах домов является удачным решением проблемы получения недостающих мощностей из сети для покрытия энергетических нужд индивидуальных потребителей города Севастополя. Данное решение позволит направлять избыток полученной электрической энергии в электрические сети снабжающей сетевой организации для обеспечения электрической энергией соседние районы, что значительно сокращает сроки окупаемости, а также способствует получению дополнительной экономической выгоды для других потребителей. При этом будут снижены нагрузочные потери в электрических сетях энергоснабжающей организации, а индивидуальные владельцы смогут окупить свои затраты на установку СЭС и получать прибыль. Кроме того, применение данного решения является наиболее экологичным, что достаточно актуально на сегодняшний день.

Список использованных источников

1. Ивантеев И.С., Шайтор Н.М., Кувшинов В.В., Олейников А.М., Нашев Р.А. Использование возобновляемых источников для обеспечения энергетических систем припортовых сооружений г. Севастополя // Энергетические установки и технологии. 2021. Т. 7. № 2. С. 73-79.
2. Гурьев В.В. Развитие возобновляемых источников электроэнергии в энергосистеме республики Крым и г. Севастополя / Какушина Е.Г., Якимович Б.А., Кувшинов В.В. // Энергетические установки и технологии - 2019. Т. 5. № 2. С. 90-93. 6. Зайченко В.М.
3. Рясков Ю.И., Шайтор Н.М., Горпинченко А.В. Применение концентраторов ветровых потоков в ветроэнергетических установках // Энергетические установки и технологии. 2019. Т. 5. № 1. С. 94-99.
4. Тиман Д.И., Кувшинов В.В., Какушина Е.Г., Олейников А.М., Гхашиим М. Возможности использования фотоэлектрических панелей малой мощности для нужд индивидуальных потребителей в Республике Крым и городе Севастополь // Энергетические установки и технологии: науч. журнал. – Севастополь: ФГАОУ ВО СевГУ, 2021. – Т. 7. - № 1. – 164 с.: ил.
5. Охоткин Григорий Петрович Методика расчета мощности солнечных электростанций // Вестник ЧГУ. 2013. №3.

УДК 620.92

ПРИМЕНЕНИЕ ПОМТЭ И ТОТЭ В МОРСКОМ ТРАНСПОРТЕ

А.К. Сухенко, Б.А. Якимович

ИМО и другие организации принимают меры по сокращению выбросов парниковых газов и повышению общей энергоэффективности судна. Существует множество технических и эксплуатационных усовершенствований, которые могут помочь в достижении этих целей, но водород и топливные элементы остаются одними из лучших кандидатов для существенного сокращения выбросов и расхода топлива. В этом документе дается обзор возможных применений топливных элементов в морском секторе и анализируется потенциал топливных элементов с протонообменной мембраной (ПОМТЭ) и твердооксидных топливных элементов (ТОТЭ) для бортовой установки. Анализ показывает преимущества, которые топливные элементы могут дать с точки зрения сокращения выбросов и экономии топлива, но также подчеркивает некоторые проблемы. В то время как ПОМТЭ готовы к применению на морских судах, ТОТЭ все еще находится на стадии изучения для внедрения.

Введение

Корабли являются одним из старейших средств передвижения для грузов и пассажиров, поскольку на протяжении истории они вносили свой вклад в миграцию, торговлю, исследования, оборону и гуманитарные цели. До 19 века основными средствами движения на море были весла и ветер. Затем двигатели и турбины, использующие невозобновляемые виды топлива. По этой причине судовой транспорт стал одним из секторов, ответственных за загрязнение воздуха. Морские перевозки, между прочим, являются одним из наиболее экологически чистых способов доставки. На весь транспортный сектор приходится 14 % глобальных выбросов CO₂ [1], но морская торговля составляла в 2016 году 90 % общемирового объема [2], а по данным Международной морской организации (ИМО) в 2012 году приходилось примерно 2,1 % глобальных выбросов CO₂, почти 961 миллион тонн CO₂. Также на суда в среднем за год приходится 15 % глобальных выбросов NO_x (20,9 млн тонн) и 13 % глобальных выбросов SO_x (11,3 млн тонн) [3]. Если учесть тонны дедвейта, которые измеряют грузоподъемность судна, мировой флот в 2017 году в основном состоял из судов трех типов: нефтеналивных танкеров, балкеров и контейнеровозов.

Чтобы предотвратить увеличение выбросов с судов и их воздействия на окружающую среду в будущем, с 1973 года ИМО ввела обязательные правила, такие как ограничения выбросов SO_x и NO_x в Приложении VI к Конвенции МАРПОЛ. С годами эти ограничения становились все более строгими, что привело к введению обязательного предела 0,5 % (по массе) содержания SO_x в судовом топливе с 1 января 2020 года. Задача состоит в том, чтобы сократить выбросы парниковых газов как минимум на 50 % к 2050 году по сравнению с 2008 годом, а также сократить выбросы CO₂ от транспортных работ как минимум на 40 % к 2030 году, стремясь к достижению 70 % к 2050 году по сравнению с 2008 годом [5].

В настоящее время подавляющее большинство судовых двигателей работает на

тяжелом топливе (HFO), которое является остаточной частью процесса перегонки и крекинга сырой нефти: оно содержит большое количество серы и металлических соединений, ароматических углеводородов и остатков углерода, но является экономически эффективным. Для удовлетворения текущих требований судну необходимо использовать больше очищенного топлива с меньшим содержанием серы, например судовое дизельное топливо (MDO), судовый газойль (MGO), HFO с низким содержанием серы (LSHFO), сжиженный природный газ (LNG) или внедрить системы для уменьшить выбросы, как скрубберы. Все эти методы уменьшают грузоподъемность и усложняют проектирование и обслуживание судна. По этим причинам судовладельцы рассматривают альтернативные способы производства электроэнергии на своих судах. В этой статье углеродное топливо рассматривается как «стандартный» рыночный продукт, а не как биотопливо, поступающее из возобновляемых источников энергии.

Среди этих альтернатив топливные элементы вызывают все больший интерес, поскольку они потенциально могут работать с широким спектром видов топлива, в частности с водородом, что позволяет снизить выбросы выхлопных газов, шум и вибрацию с эффективностью, сравнимой или выше, чем у традиционных электростанций [7] [8]. К настоящему времени топливные элементы уже несколько лет используются. В период 2015-2019 гг. ежегодно продается почти 200 МВт топливных элементов, особенно в США, Японии и Южной Корее. В тот же период значительно увеличилось количество применений топливных элементов на транспорте, в основном в автомобилях, автобусах и поездах, при этом в 2019 году было продано более 900 МВт топливных элементов [9]. В морском секторе топливные элементы в основном применялись в некоторых демонстрациях или на концептуальном уровне [8]. Одна система топливных элементов, уже действующая и проработавшая много лет - это система воздушно-независимой силовой установки (AIP) с протонообменной мембраной (ПОМ), установленная на борту подводных лодок типа U212, спроектированных Германией и Италией в 90-х годах.

Топливные элементы могут помочь снизить выбросы и повысить эффективность судна, но они также дороги и страдают от отсутствия правил и положений, которые необходимо применять для их установки на борту. В этом документе описываются перспективы будущего внедрения топливных элементов с протонообменной мембраной (ПОМТЭ) и твердооксидных топливных элементов (ТОТЭ) на борту судов, обсуждаются как преимущества, так и возможные проблемы, с которыми проектировщики и операторы столкнутся при работе с этой технологией.

Судовая энергетическая установка

Круизные лайнеры были одними из первых судов, на борту которых была установлена электрическая тяга. В соответствии с этой философией конфигурация системы основана на силовой установке, где электрические генераторы, приводимые в движение двигателями внутреннего сгорания, работают параллельно на главных распределительных щитах, питая два больших класса пользователей. Первый связан с двигательной установкой, рулевым управлением и всем оборудованием, связанным с безопасностью судна, например:

1. Электродвигатели;
2. Вспомогательное оборудование для двигателей;
3. Устройства для маневрирования и вспомогательное оборудование;
4. Системы навигации и безопасности.

Вторая цель производства электроэнергии - обеспечение жизнедеятельности экипажа и пассажиров (системы повышения комфорта).

Судовая энергетическая установка обычно размещается на самых нижних палубах, чтобы минимизировать воздействие на объем полезной нагрузки и снизить центр тяжести судна. Такое расположение увеличивает остойчивость судна в неповрежденном состоянии, особенно когда судно еще не наклонено (начальная остойчивость) [17]. Машинные отделения обычно занимают по крайней мере две палубы по высоте, потому что средний двигатель, установленный на судне, имеет высоту, превышающую расстояние по вертикали между двумя палубами. При использовании электродвигателя машинные отделения не нужно размещать возле кормы судна, где размещаются гребные винты, но их можно перемещать вперед, около продольного центра судна. Сегодня большинство заправляются дизельным топливом, но это решение не приветствуется строгими правилами, касающимися выбросов и конкурентоспособной цены природного газа, хранящегося в его сжиженном виде (СПГ). В последние годы это топливо стало популярным в морском секторе, поскольку оно снижает выбросы парниковых газов, SO_x и NO_x без установки какой-либо дожигающей очистки (скрубберы) и имеет конкурентоспособную стоимость по сравнению с традиционными решениями [18]. СПГ хранится в независимых криогенных резервуарах под давлением внутри судна при температуре около -160 °C. Этот интерес к альтернативным решениям по сокращению выбросов и доказанная возможность установки и эксплуатации судов на газообразном топливе являются ключевыми факторами, которые привели к возможности использования топливных элементов в морской промышленности.

Система топливных элементов для судов

В этом контексте неопределенности относительно того, как соблюдать нынешние и будущие строгие ограничения на вредные выбросы в морском секторе, топливные элементы появляются как возможное решение для выработки части энергии, необходимой на борту.

Существует несколько технологий топливных элементов, которые различаются в основном типом электролита. Далее рассматриваются возможности применения ПОМТЭ и ТОТЭ на борту судов. ПОМТЭ выбраны, поскольку на сегодняшний день они являются наиболее зрелой технологией, особенно когда они применяются в автомобильном секторе. Даже если технологическая зрелость ТОТЭ ниже, они могут представлять большой интерес, поскольку предлагают большую гибкость с точки зрения выбора топлива.

3.1 ПОМТЭ

ПОМТЭ - одна из наиболее часто используемых технологий топливных элементов, и их продажи значительно выросли в последние годы из-за их применения в транспортном секторе, особенно в автомобилях, автобусах и поездах. ПОМТЭ нуждаются в чистом водороде в качестве топлива на аноде и кислороде из воздуха на катоде, а их рабочая температура составляет 50 - 100 °C. Их электрический КПД составляет от 50 до 60%, а удельная мощность батареи составляет от 400 до 2000 кВт/м³ [19] [20]. Ожидается, что стоимость ПОМТЭ будет относительно высокой, от 1700 до 2800 \$/кВт [21].

Учитывая низкую растворимость водорода в воде (0,00016 г водорода в 100 г

воды при 20 °С и 1 атм [22]), есть возможность использовать воду как побочный продукт для судовых служб, например, техническую воду или производство пара. С помощью простых стехиометрических расчетов можно получить приблизительное представление о том, сколько воды производится при заданной выходной мощности [23]. Предполагая, что напряжение одной ячейки составляет 0,65 В, на каждый МВтч электроэнергии производится более 500 кг воды. Отрицательным аспектом этой технологии является тот факт, что низкая рабочая температура затрудняет рекуперацию отработанного тепла, что может иметь решающее значение для создания корабля с высокой энергоэффективностью. Сегодня главные дизельные двигатели вырабатывают не только электроэнергию, но и тепло за счет системы рекуперации тепла котлов на выхлопном газе (EGB). Если этого источника тепла недостаточно, котлы на жидком топливе (OFB) производят количество пара, необходимое для различных услуг, таких как поддержание прокачиваемого НФО путем его нагрева. Очевидно, что котлы, работающие на жидком топливе, являются источником выбросов парниковых газов, и представить себе рабочий режим с нулевым выбросом в судоходстве или порту невозможно без выработки тепла на борту, что трудно обеспечить ПОМТЭ. Чтобы решить эту проблему, можно было бы рассмотреть возможность использования высокотемпературных топливных элементов, таких как ТОТЭ.

3.2 ТОТЭ

ТОТЭ также называют высокотемпературными топливными элементами, потому что они обычно работают при температуре от 500 °С до 1000 °С, благодаря электролиту, изготовленному из пористого керамического материала. ТОТЭ обычно устанавливают на электростанциях мощностью сотни киловатт. Одним из основных преимуществ этой технологии является гибкость топлива, обусловленная высокой рабочей температурой: ТОТЭ может использовать СПГ, метанол, а также водород. Очевидно, что используемое топливо влияет на выбросы, которые даже при использовании СПГ снижаются по сравнению с двухтопливными двигателями. Риформинг топлива происходит внутри модулей топливных элементов, и необходимо только проверить состав на входе и очистить его в соответствии с требованиями производителя ТОТЭ. Фактически, суда не всегда заправляются в одних и тех же портовых сооружениях, поэтому состав продукта может измениться, и его необходимо проверять, чтобы избежать деградации ТОТЭ. Этот вопрос менее важен для ТОТЭ, чем для ПОМТЭ, для которых в качестве топлива требуется только водород высокой чистоты. Электрический КПД системы ТОТЭ составляет от 50% до 60%, но высокая температура позволяет внедрить систему рекуперации тепла, так что в некоторых режимах эксплуатации судна может отпадать необходимость в котлах-утилизаторах. ТОТЭ имеют более низкую удельную мощность по сравнению с ПОМТЭ, почти половину от нее (от 8 до 10 кВт/м³ с такими же вспомогательными устройствами) без учета системы рекуперации тепла. Стоимость приобретения может варьироваться от 800 до 1900 \$/кВт [19]. ТОТЭ имеют удельную мощность системы от 8 до 10 кВт/м³ с учетом баланса установки [24].

Сокращение выбросов

Как уже говорилось, установка топливных элементов будет способствовать сокращению выбросов. Расчеты показывают, что эталонное судно в текущей конфигурации, если НФО используется в качестве топлива, выбрасывает около 1800

тонн CO₂, 1,5 тонны SO_x (со скрубберами, без него было бы в 20 раз больше), 40 тонн NO_x и 3 тонны твердых частиц (ТЧ) в типичном 14-дневном круизе с использованием данных, доступных для типичных выбросов с судов [27]. В частности, установка ПОМТЭ приводит к сокращению вдвое общих выбросов CO₂, NO_x, SO_x и ТЧ: сокращение одинаково для каждого загрязняющего газа, поскольку сокращается только количество энергии, преобразованной ДВС, работающим на HFO.

Двигатель ТОТЭ и DF по-разному улучшает различные выбросы. Во-первых, это решение снижает выбросы CO₂, но не так сильно, как установка ПОМТЭ, и не позволяет использовать режим навигации с нулевыми выбросами. Использование СПГ в качестве топлива имеет большие преимущества с точки зрения других выбросов, рассмотренных в данной работе, и, в частности, он устраняет SO_x и значительно снижает выбросы NO_x и ТЧ без использования специальных устройств для снижения выбросов [28].

Заключение

В эти годы внимание к применению топливных элементов в морском секторе стремительно растет, в основном из-за более строгих правил, касающихся выбросов. Большим препятствием на пути внедрения топливных элементов на борту в будущем является отсутствие международно признанных стандартов и правил, касающихся этих технологий, в результате чего у проектировщиков остается мало указаний на меры безопасности, которые должны быть установлены для того, чтобы судно было по крайней мере таким же безопасным, как и другое, использующее традиционные источники энергии. В этой статье были рассмотрены два различных типа топливных элементов. ПОМТЭ, питаемые чистым водородом и с хорошей удельной мощностью, позволяют эксплуатировать судно без выбросов, если установлена достаточная мощность, но эта технология ограничивает возможность рекуперации тепла. ТОТЭ может питаться также сжиженным природным газом и работать при высоких температурах, что способствует рекуперации тепла и, следовательно, можно ожидать более высокой общей эффективности. С другой стороны, ТОТЭ имеют более низкую удельную мощность, и их выбросы зависят от используемого топлива. Было замечено, что если ПОМТЭ или ТОТЭ установлены на борту, они увеличивают пространство, занимаемое машинными помещениями, топливными баками и соответствующими вспомогательными устройствами, за счет уменьшения пространства для складских помещений и кают экипажа, что влияет на общую грузоподъемность корабля.

Задачей исследования является обзор возможности использования водным транспортом энергетических установок, работающих на водороде.

Список использованных источников

1. O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona et al., Climate Change 2014 – Mitigation of Climate Change, 9 (2014)
2. United Nations Conference on Trade And Development (UNCTAD), Review of maritime transport 2017, Ch. 2, 23-40 (2018)
3. International Maritime Organization, Third IMO GHG Study 2014, 6-17 (2015)
4. C. Deniz, B. Zincir, Environmental and economical assessment of alternative marine fuels in Journal of Clean Production, 113, 438- 449 (2016)
5. International Maritime Organization, Resolution MEPC.304(72), Annex 11 (2018)

6. M. Launes, Norwegian parliament adopts zero-emission regulations in the fjords, maritimecleantech.co (2018)
7. L. van Biert, M. Godjevac, K. Visser, P.V. Aravind, A review of fuel cell systems for maritime applications, *Journal of Power Sources* 327, 345-364 (2016)
8. T. Tronstad, H. Hogmoen Astrand, G. P. Haugom, L. Langfeldt, Study on the use of fuel cells in shipping (2017)
9. E4Tech, The Fuel cell Industry Review 2019 (2019)
10. IMO, Resolution MSC.391(95) (2015)
11. Nippon Kaiji Kyokai (Class NK), Guidance for Liquefied Hydrogen Carriers (2017)
12. American Bureau of Shipping, Guide for Fuel cell power systems for marine and offshore applications (2019)
13. Bureau Veritas, Guidelines for Fuel Cell Systems On-board Commercial Ships (2009)
14. DNV GL, Rules for classification of ships: Part 6 Ch. 2 Sec. 3 (2018)
15. Korean Register of Shipping, Guidance for Fuel Cell Systems on Board of Ships (2015)
16. Registro Italiano Navale (RINA), Rules for Fuel Cells Installation in Ships (FC-SHIPS) (2018)
17. H. Schneekluth, V. Bertram, Ship Design for Efficiency and Economy, Ch. 1, 5-12 (1998)
18. Web journal article: "Why More LNG Powered Cruise Ships Are Being Built"
19. Battelle Memorial Institute, Manufacturing Cost Analysis of 100 and 250 kW Fuel Cell System for Primary Power and Combined Heat and Power Application, Ch. 7, 87-97 (2016)
20. G.W.C. Kaye and T.H. Laby, "Tables of Physical and Chemical Constants", 124 (1986)
21. J. Larminie, A. Dicks, Fuel Cell Systems Explained, Appendix 2.2, 396-400 (2003)
22. A. Molland, The maritime engineering reference book: a guide to ship design, construction and operation, Ch. 6, 427 (2008)
23. R. Taccani, F. Ustolin, N. Zuliani, P. Pinamonti, A. Pietra, Fuel Cells and Shipping Emissions Mitigation, Technology and Science for the Ships of the Future, 885-892 (2018)
24. Datasheet: "Bloom Energy Server ES5- 200kW" by Bloom Energy
25. International Maritime Organization, Resolution MSC.216(82), Regulation 21 (2006)
26. European Commission, Quantification of emissions from ships associated with ship movements between ports in the European Community, Ch. 2 (2002)

УДК 620.92

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ ТЯГИ В ВЕТРОЭНЕРГЕТИКЕ

И.С. Ивантеев, Л.Ю. Юферев

Расширение климатической повестки ведет к постепенному повышению роли возобновляемых источников энергии в мире: ведущие страны увеличивают их долю в энергобалансе с целью снижения антропогенного влияния на окружающую среду. В статье предложены направления использования естественной тяги в ветроэнергетике [1].

Введение

В настоящее время общеизвестно, что ветер, является одним из перспективнейших возобновляемых источников природной энергии. Не зря во многих странах год за годом сооружается все больше ветропарков, ветряных ферм, в частности — на прибрежных частях морей, океанов, и на равнинах. Естественной реакцией атмосферы на неравный прогрев разных ее слоев является ветер. Возникающие перепады давления в атмосфере заставляют ветер дуть из областей высокого давления в области низкого давления, и чем больше разница давлений, тем сильнее ветер - тем выше его скорость. Теоретически считается, что до 2 % солнечной радиации преобразуются в механическую энергию ветра, благодаря естественному движению воздуха в атмосфере [5]. Известно, что рельеф той или иной местности может либо усилить ветер, либо ограничить воздушный поток. Так, в районах горных хребтов, перевалов, вблизи речных каньонов, - условия для установки ветряных турбин поистине идеальны. И если вспомнить, что мощность, которую можно получить от ветра, пропорциональна массе проходящего через турбину воздуха и кубу его скорости, то легко понять перспективы, которые стремительно открываются на данном направлении [6].

Энергетический кризис 2021 года показал, что не все страны в краткосрочной перспективе в полной мере готовы следовать целям по сокращению потребления ископаемого топлива в ущерб текущей устойчивости энергоснабжения и стабильности цен, что, с одной стороны, замедляет темпы энергоперехода, а с другой – утверждает необходимость формирования технологической устойчивости ВИЭ в долгосрочном периоде. Основные виды ветрогенераторов: вертикальный тип — турбина расположена вертикально по отношению к плоскости земли., горизонтальный тип— ось ротора вращается параллельно земной поверхности.

Разновидности вертикальных генераторов [4]:

- генераторы с ротором Савоуниса
- генераторы с ротором Дарье
- геликоидный ротор
- многолопастный ротор
- ортогональный ротор

Разновидности горизонтальные ветрогенераторы

- крыльчатые)

- ветрогенератор, устроенный по типу парусника
- летающий ветрогенератор-крыло
- конструкция Третьякова
- устройство на водяных каплях

	дек 2021	% к дек 2020	янв – дек 2021	% к янв – дек 2020
Потребление	107,6	4,2	1090,4	5,5
Производство, в том числе	110,0	4,9	1114,5	6,4
ТЭС (тепловые)	65,5	8,2	609,2	9,9
ГЭС (гидравлические)	16,7	-2,6	209,5	1,0
АЭС (атомные)	21,0	1,2	222,2	3,1
ЭПП (промпредприятия)	6,3	1,2	67,7	1,9
ВИЭ (возобновляемые)	0,5	150,0	5,9	73,5

Рис. 1. Баланс электроэнергии ЕЭС России (млрд кВт·ч)

Цель работы

Целью данной работы является анализ решений по созданию ветроустановок, работающих на энергии поднимающегося воздуха.

Ветроустановки на естественной тяге

Существует большое количество видов ветрогенераторов. Все они используют в преобразования энергии горизонтальных воздушных потоков.

Но в природе встречаются, и восходящие потоки воздушных масс благодаря которым существует такой вид спорта как пара планеризм. Воздух является очень плохим проводником тепла. Поэтому достаточно большой объем воздуха, обладающий одной температурой и перемещающийся в атмосфере с другой температурой, практически не отдает тепло и не получает его от окружающей среды. Если частица воздуха поднимается, давление в ней уменьшается. Это приводит к уменьшению ее температуры. И наоборот, если частица воздуха опускается, давление и ее температура увеличиваются. В приземных слоях атмосферы поднятие частицы воздуха на 100 м приводит к уменьшению ее температуры примерно на 1 °С.

Под действием Солнечного тепла поверхность Земли нагревается и прогревает находящийся над ней воздух. Нагретый воздух поднимается вверх, образуя термические потоки или термики. Наиболее мощные термические потоки наблюдаются во второй половине весны после полудня при хорошем прогреве земли. По мере удаления потока от земли он охлаждается. Поток прекращает свое существование, когда температура воздуха в нем сравнивается с температурой окружающей среды. Благодаря освоению ТВП для пилотов безмоторных СЛА (сверхлегких летательных аппаратов) стали возможны длительные маршрутные полеты протяженностью в сотни километров [2].

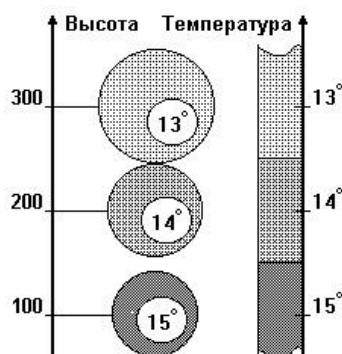


Рис. 2. Изменение температуры воздуха с высотой

Особенно ярко проявляется восходящие потоки у склонов гор, у высоких отвесных берегов водоемов. Конечно, данные потоки наблюдаются в основном весной и летом. Восходящие потоки можно характеризовать как не стабильные, хоть и поднимают человека в воздух.

Однако, мысль использовать энергию восходящего потока интересна и существуют места с искусственно созданным вертикальным движением масс — это дымоходы. Установка на выходе или входе из дымохода турбинного вида ветрогенератора требует, но сразу оговорок, использование домашней печи для выработки электроэнергии малоэффективный вариант. Более предпочтительный вариант это промышленные печи, например хлебопекарные, мусоросжигательных заводов и т.д, где имеет место быть высокие и постоянные температуры, высокие дымоходы, кроме того горячие выхлопные газы удаляются как отработанные продукты горения. Несомненно установка в дымоход ветрогенератора несомненно ухудшит дымоходную тягу и поэтому необходимо либо это учитывать при проектировки новых сооружений или производить ее компенсацию в уже существующих установках. Наиболее простым вариантом, является увеличение длины дымохода, установка ротационных турбин (это устройство, устанавливаемое на оголовки дымохода, состоит из одного или нескольких винтов). Под воздействия ветра турбины вращаются и создают разрежение воздуха, для достижения большей разницы между внутренним и наружным давлением. Однако, применение турбин эффективно лишь в ветреную погоду или на больших высотах [3].

Очевидно, что величина полученной энергии в это варианте не будет составлять мегаватты, ввиду этого она может быть направлена на собственные нужды, с целью уменьшения количества потребляемой энергии хозяйством из сети.

Установка в дымоход ветроустановки также усложняет обслуживание, как самого генератора так и дымохода.

Возможным решением могло быть использования высоких труб в местах с жарким климатом. Например в пустыне где само солнце разогревало поверхность земли - нагревая воздух тем самым создавая подъемную тягу. А для усиления нагрева целесообразно окрасить нагреваемую поверхность в черный цвет или концентрировать солнечный свет с помощью концентраторов или с помощью конусообразных конструктивных решений. Другим перспективным вариантом применения могло быть использование рельефа, в частности гор как суппорта трубы (воздуховода) (электрификация горных местностей традиционно сопряжено с трудностями), поэтому применения подобных установок актуально. И чем выше высота горы тем выше может быть установлена труба (причем она может быть не идеально вертикальной), а поскольку тяга прямо пропорционально зависит от высоты трубы (воздуховода-

дымохода), теоретически в этом случае, возможно, добиться больших мощностей. Ключевым моментом является наличие разности плотности воздуха (температур воздуха) в начале и конце трубы (воздуховода-дымохода).

Выводы

Предложенные направления требуют натуральных установок и испытаний. Поэтому режимы работы ветроустановки, ее конструктивные особенности и параметры целесообразно выбрать после проведения натуральных экспериментов.

Список использованных источников

1. Голяшев А.В., Курдин А.А., Коломиец А.Р. Развитие возобновляемой энергетики на фоне энергетических кризисов // Энергетические тренды/ 2022. № 104, январь С. 2-17
2. <http://www.firststep.ru/kulp/theory/lection-04-10.php>
3. <https://krovlyakrishi.ru/elementy-kryshi/dymoxod/kak-uvlichit-tyagu-v-dymoxode.html>
4. <https://tcip.ru/blog/wind/osnovnye-vidy-vetrogeneratorov-vertikalnye-gorizontálne.html>
5. <https://energo.house/veter/vidy-vetrogeneratorov.html>
6. <http://electricalschool.info/energy/1833-kak-ustroeny-moshhnye-promyshlennye.html>

УДК 620.92

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННЫХ СОЛНЕЧНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ КРЫШ ЗДАНИЙ

В. В. Кувшинов, А. Р. Шабанов, Д. А. Глемязный

С современным развитием науки и техники все больше стало появляться комбинированных установок, при которых с одной и той же рабочей поверхности одновременно вырабатывается тепловая и электрическая энергия. Производство термофотоэлектрических панелей на основе серийных установок позволит сократить затраты на выпуск абсорберов с дорогими селективными покрытиями и на материалы для производства конструкций фотоэлектрических модулей, объединив их в одну установку.

Введение

Главной проблемой применения солнечных установок является невысокая плотность потока солнечной радиации, преобразовываемой в тепловую и электрическую энергию, их низкий КПД и эффективность использования, и, как следствие, высокая себестоимость за единицу мощности. Невысокий термический потенциал солнечной энергетики определяет более высокие требования к эффективности использования солнечных установок для электрообеспечения и теплоснабжения, к методам определения основных характеристик, как фотоэлектрических модулей, так и гелиоколлекторов

Цель работы

Целью работы является проведение теоретических и экспериментальных исследований термофотоэлектрической установки, разработанной на основе комбинированного гелиопрофиля, для использования её в качестве дополнительной энергогенерирующей единицы [1].

Для выполнения поставленной цели были сформулированы следующие основные задачи:

- анализ существующих серийных тепловых и фотоэлектрических солнечных установок, с целью выявления возможных использования их для работы солнечно-тепловых электростанций в энергокомплексе г. Севастополя;
- разработка и исследование комбинированной солнечной установки, созданной на основе промышленного теплового гелиопрофиля с использованием серийных фотопреобразователей;
- экспериментальное исследование электрических и тепловых характеристик комбинированной термофотоэлектрической солнечной установки;
- экспериментальные исследования комбинированной солнечной установки, проведенные при сравнении характеристик двух гелиоустановок с рабочими поверхностями одинаковой площади;

– технико-экономическое обоснование применения термофотоэлектрических солнечных установок для энергообеспечения города Севастополя.

Устройство и принцип действия термофотоэлектрической установки

При разработке комбинированных солнечных установок плоской конструкции можно использовать несколько типов комбинации их приёмной поверхности – комбинированного абсорбера. Первый – солнечные элементы плотно покрывают весь абсорбер. Для экономии материалов, площадей и времени сборки солнечные установки предлагается совмещать с крышей зданий и сооружений, при этом использовать комбинированную конструкцию абсорбера, с нанесенными на него фотоэлементами [2]. Тепловые солнечные установки, совмещенные с крышей, или стенами, зданий, дают возможность экономить площади и материалы (рис.1).

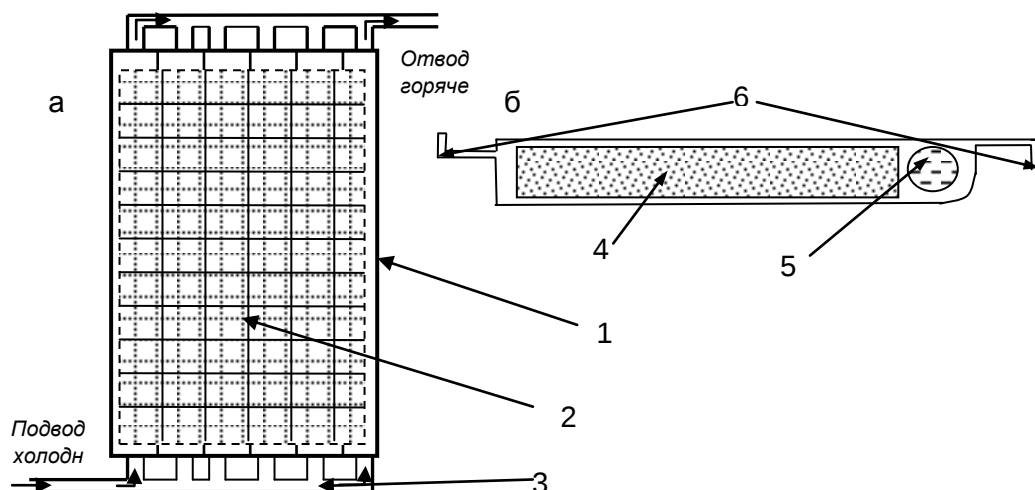


Рис. 1. Термофотоэлектрический гелиопрофиль: а – приемная поверхность, б – разрез отдельного элемента профиля): 1 – приемная металлическая пластина абсорбера; 2 – кремниевые фотопреобразователи; 3 – трубки для подвода и отвода теплоносителя; 4 – канал для воздуха (или теплоаккумулирующего) материала; 5 – канал для жидкого теплоносителя; 6 – крепежные элементы профиля (технологические ребра)

В такой конфигурации приёмная поверхность фотоэлектрического модуля одновременно является и абсорбером теплового коллектора. При этом для абсорбера не требуется дорогого селективного покрытия, необходим лишь эффективный теплообмен между солнечными элементами и металлической пластиной, к которой с нижней стороны приварены трубки с теплоносителем. Во втором случае солнечные элементы могут быть наклеены на уже готовый абсорбер гелиоколлектора, в этом случае солнечные элементы покрывают какой-то процент площади абсорбера. Количество элементов определяется из необходимой электрической мощности установки [3]. Для более эффективной работы солнечные элементы можно располагать в нижней части пластины абсорбера. При такой конфигурации, при выборе оптимального теплового режима циркуляции теплоносителя, все солнечные элементы будут работать при определенной температуре. Температура воды на входе в гелиоколлектор ниже, чем на

выходе, поэтому металлическая пластина с пониженной температурой будет охлаждать элементы. Кремниевые солнечные элементы, более эффективно работают при пониженных температурах [4].

Термофотоэлектрические установки для крыш зданий

Установки имеют длину до 7 м и состоят из отдельных секций шириной 15 см, что дает возможность покрывать ими площади различных размеров и конфигурации. Комбинированный термофотоэлектрический гелиопрофиль заменяет кровельную конструкцию. При условии средней площади кровли для одного частного жилого дома 100 м^2 , максимальная удельная тепловая мощность комбинированной установки составит 70 кВт, а электрическая 15 кВт.

На рис. 2 приведены мощностные характеристики термофотоэлектрического гелиопрофиля

Технически возможные мощностные характеристики для солнечных установок, расположенных на всех кровлях зданий (г. Севастополь):

- при комбинированной выработки термофотоэлектрическими установками (ТФУ),
- при выработки электрической энергии фотоэлектрическими блоками (ФЭ),
- при выработки тепловой энергии тепловыми абсорберами солнечных установок (ТУ).

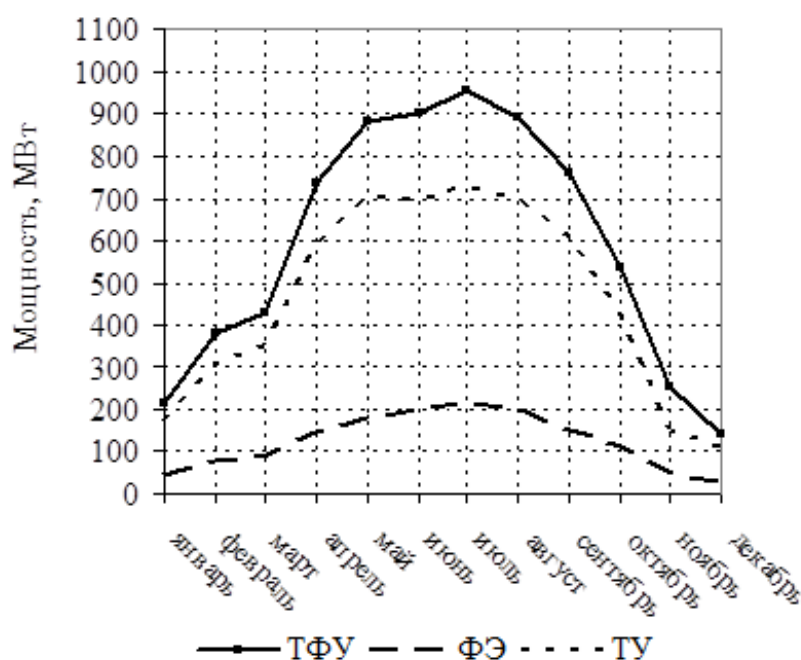


Рис. 2. Мощностные характеристики термофотоэлектрического гелиопрофиля

Выводы

В работе были проведены теоретические и экспериментальные исследования термофотоэлектрического гелиопрофиля, предназначенного для работы в составе солнечной электростанции, для оценки возможностей использования его в качестве энергогенерирующей единицы энергокомплекса города Севастополя.

Список литературы

1. Зайченко В.М. Направления развития энергетики / Чернявский А.А., Кувшинов В.В., Какушина Е.Г., Абейдулин С.А. // Энергетические установки и технологии. 2019 - Т. 5. - № 3. - С. 53-61.
2. Потенциал развития тепловой солнечной энергетики для нужд коммунального хозяйства / Кувшинов В.В., Какушина Е.Г., Олейников А.М., Гхашим М. // Энергетические установки и технологии. 2021 - Т. 7. № 1. С. 46-52.
3. Возможности повышения мощностных характеристик солнечных установок при выработке тепловой и электрической энергии с одной приемной поверхности / В.В. Кувшинов, Е.Г. Какушина // Энергетические установки и технологии – 2016. Т. 2. № 3. С. 45-50.
4. Использование термо-фотоэлектрических установок для обеспечения тепловой и электрической энергией Севастополя / Е.Г. Какушина, А.Д. Васильев, А.А. Горецкий // Энергетические установки и технологии – 2016. Т. 2. № 3. С. 51-57.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

УДК 621.899

ПЕРСПЕКТИВЫ ПЕРЕРАБОТКИ ОТРАБОТАННЫХ МАСЕЛ

П.В. Макарова

Статья посвящена актуальной на сегодняшний день проблеме обращения с отработанными смазочными материалами на территории России. Авторами рассмотрены и изучены химические свойства отработанных масел, их влияние на компоненты природной среды, способы утилизации. Предложены наиболее перспективные способы переработки.

Введение

В современном мире отмечается устойчивая тенденция роста численности автотранспортных средств, как в индустриальной сфере, так и для личного пользования. Помимо увеличения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух для большинства регионов России актуальна проблема возрастания отходов нефтепродуктов автомобильного транспорта и отработанного моторного масла, в том числе организация мест их временного накопления и утилизации.

Цель работы

Цель исследования данной работы заключается в оценке перспектив переработки отработанных масел для чего были поставлены следующие задачи:

- определить роль смазочных материалов в современной индустрии, перспективы их использования
- изучить химический состав отработанных масел, оценить негативное воздействие на окружающую среду и здоровье человека
- рассмотреть варианты обращения с отработанными смазочными материалами, оценить способы и эффективность их утилизации.

Переработки отработанных масел

Смазочные масла используются во многих типах машины для минимизации трения, нагрева и износа движущихся частей. Масла защищают двигатели при эксплуатации и уменьшают необходимость ремонта и технического обслуживания и предотвращают коррозию. Моторные и трансмиссионные масла представляют собой очень сложную смесь минерального или синтетического базового масла и разнообразных добавок (диспергаторы золы, моющие средства, антиоксиданты, дезактиваторы металлов, индекаторы вязкости, депрессорные присадки). Эти химические вещества растворяются в базовых маслах и улучшают их стабильную производительность. Смазочные материалы обычно содержат до 30 % добавок в готовом продукте, что обеспечивает максимальную защиту при экстремальных температурах и разных условиях эксплуатации. Ежегодно современный мировой спрос на смазочные материалы составляет около 40 млн куботонн и спрос возрастает.

Во время службы автомобильные масла теряют смазывающую способность и загрязняются водой, металлическими частицами, кислотами и мусором. Отработанные масла должны быть заменены и сняты с транспортных средств в установленном производителем интервале. Когда масло не заменяется, загрязнения образуют шлам или масляные гели, которые обеспечивают меньшую защиту от тяжелых повреждений по сравнению со свежими смазками. Несколько факторов, такие как оборудование, тип нагрузки, механическое состояние и другие переменные, например, суровые условия окружающей среды приводят к разрушению смазочных материалов в процессе эксплуатации и определяют уровень потери масла.

Количество отработанных масел, которое обрабатывается ежегодно в России, очень высоко и оставляют примерно 4 млн тонн [1]. Эти отходы относятся к опасным отходам, которые запрещено захоранивать на полигонах, поэтому отработанные масла необходимо собирать отдельно, чтобы предотвратить загрязнение и обеспечить возможность повторного использования и восстановление материалов. Неправильное обращение с отходами масел могут создавать не только экологические проблемы, но и также опасность для здоровья. Наличие отработанных масел в окружающей среде требует постоянного внимания и управления отходами. Отработанные масла имеют большую тенденцию к связыванию с органическими веществами, частицами почвогрунта и могут накапливаться в организмах, вызывая загрязнение экосистем. Также протечки масел на дорогах являются потенциальными источниками загрязнения тяжелыми металлами городской среды. Эти загрязняющие вещества могут перемещаться на большие расстояния с помощью поверхностных вод и загрязняют питьевую воду. Отходы масел способны находиться в неизменном виде в окружающей среде от 50 до 150 лет.

Наилучшие экологические варианты обращения с отработанными маслами: переработка, восстановление и последующая утилизация. Отработанные масла могут быть использованы в качестве альтернативного топлива в различных конфигурациях двигателей внутреннего сгорания. Теплотворная способность масел превышает 43 МДж/кг [2]. Однако этот метод не является экологичным и вызывает непропорциональное количество выбросов, может загрязнять воздух. Несмотря на это, переработка в топливо отработанных масел в финансовом плане выгодна и является одним из вариантов утилизации таких отходов. Многочисленные научные исследования отмечают, что из 4 литров отработанных моторных после обработки и очистки можно получить более 2 кг вторичного материала для последующего использования. Этот факт является выгодным показателем для сферы утилизации масел, поскольку в одном барреле (150 кг) сырой нефти содержится лишь около 2 кг материала для создания смазочных масел.

Увеличение объемов отходов отработанных масел становятся серьезной проблемой для окружающей среды. Эти масла содержат смазочные фракции и могут быть переработаны для вторичных смазочных материалов. Все виды утилизации отработанных масел регулируются Европейской директивой 75/439/ ЕЭК по утилизации отработанных нефтепродуктов [3]. Регламент требует ответственного управления отработанными маслами на всех этапах процесса переработки и запрещает незаконную утилизацию. Наиболее перспективна переработка путем регенерации для повторного использования, рекуперация в качестве дополнительного топлива на заводах по производству цемента или извести и утилизации на объектах по обращению с опасными отходами для минимизирования воздействия на окружающую среду.

Многие утилизирующие компании отмечают, что наиболее пригодными для повторного использования являются светлые масла от легковых транспортных средств.

Однако, возраст автомобилей и частота замены масел значительно влияют на состав отработанных масел, пропорционально увеличивая содержание тяжелых металлов и механических примесей при увеличении интервалов эксплуатации двигателей. Химические анализы состава тяжелых металлов в отработанных маслах показывают наличия свинца, мышьяка и кадмия в больших количествах, что не позволяет использовать отработанные моторные масла в качестве вторичного печного топлива, поскольку при сжигании тяжелые металлы попадут в атмосферный воздух [4].

Отработанные трансмиссионные масла имеют специальный химический состав, предотвращающий загустение масел и снижающий степень горения и перегрева жидкостей. В них найдено большое количество свинца и хрома. Такие масла необходимо утилизировать, преобразуя их во вторичные смазочные растворы. При бесконтрольном захоронении таких отходов, трансмиссионные масла могут проникать в поверхностные воды и растекаться на большие расстояния, загрязняя тяжелыми металлами почтогрунты и воды.

С экологической точки зрения, при утилизации отработанных масел наиболее перспективна глубокая очистка и регенерация масел для повторного использования. При этом, используемые мембранные фильтры для глубокой очистки после применения должны быть подвергнуты высокотемпературному крекингу и пиролизу с аэрофильтрами для устранения попадания тяжелых металлов в окружающую среду.

Выводы

Для определения стратегии обращения отходами смазочных нефтепродуктов необходимо провести комплексное исследование по химическому составу вредных компонентов в отработанных маслах. Анализ должны быть подвергнуты компоненты, содержащие мышьяк, кадмий, хром, свинец, хлор, количественное содержание галогенов и полихлорированные бифенилы. Также необходимо определять температуру вспышки в каждом образце для последующего определения метода утилизации. Только после крупномасштабных исследований Министерство природных ресурсов и экологии сможет разработать обязательный регламент для России по обращению с отходами отработанных масел и определить степень их пригодности для переработки, восстановления или окончательной утилизации в соответствии с правилами.

Список использованных источников

1. Захаров С. В., Кожевников В. А. Анализ потенциала использования отработанных масел для нужд теплоснабжения, с примерами// Интернет-доклад [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.energosovet.ru/stat423.html>
2. Нагорнов С.А., Дворецкий Д.С., Романцова С.В., Таров В.П. Техника и технология производства и переработки растительных масел: учебное пособие / С.А. Нагорнов, Д.С. Дворецкий, С.В. Романцова, В.П. Таров. – Тамбов : Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. – 96 с.
3. Уланова О.В. Комплексное устойчивое управление отходами. Жилищно-коммунальное хозяйство: учебное пособие / О.В. Уланова и др.; под общ. ред. О.В. Улановой. – М.: Издательский дом Академии Естествознания, 2016. – 520 с.
4. Каменчук Я. А. Отработанные нефтяные масла и их регенерация (на примере трансформаторных и промышленных масел) : дис. ... канд. хим. наук : 02.00.13 Томск, 2007 131 с. РГБ ОД, 61:07-2/266.

УДК 551.521.9

ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОБЪЕКТОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ

А.А. Якушина, М.А. Фролова

В виду наличия в структуре ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет» (далее – Университет) объектов использования атомной энергии проведение радиационного контроля – обязательный аспект организации радиационной безопасности. В статье проведен анализ радиационной обстановки территории мест расположения ядерных установок.

Введение

С открытием ядерной энергии возникла необходимость решения такой проблемы, как защита от ионизирующего излучения (далее – ИИ). Появление источников ИИ и установок, использующих радиоактивные вещества, привело к необходимости организации определенной системы управления состоянием радиационной безопасности – радиозоологическому мониторингу. Важной составляющей радиозоологического мониторинга является контроль радиационной обстановки на объектах использования атомной энергии. Главная задача радиационного контроля (далее – РК) заключается в получении информации об индивидуальных и коллективных дозах облучения людей, а также показателях, характеризующих радиационную обстановку.

Цель работы

Целью данной работы является оценка радиационной обстановки местности расположения объектов использования атомной энергии СевГУ.

Ядерные установки Университета

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Севастопольский государственный университет» включает следующие подразделения:

- Центр экспериментальных стендов;
- Исследовательский реактор ИР-100.

Центр экспериментальных стендов включает в себя две исследовательские ядерные установки – критический ядерный стенд «Стенд физический» и подкритический ядерный стенд. Приоритетным направлением деятельности Центра является безусловное обеспечение ядерной и радиационной безопасности, которое заключается в поддержании технических параметров исследовательских ядерных

установок и систем в пределах, определяемых нормами, правилами и стандартами по ядерной и радиационной безопасности.

Исследовательский реактор ИР-100 – это ядерный реактор, изначально предназначенный для научных разработок и исследований, подготовки высококвалифицированных кадров, для получения и использования ионизирующего излучения и нейтронов в исследовательских и других научных целях, для чего на нем могут применяться различного рода экспериментальные устройства.

Экспериментальные стенды и исследовательский реактор являются объектами использования атомной энергии, и, как любой радиационно-опасный объект, требуют к себе особого внимания.

Радиационный контроль на данных исследовательских ядерных установках является неотъемлемой частью системы радиационной безопасности. Программа радиационного контроля отображает его объем, характер, периодичность, а также учет и порядок регистрации результатов контроля по двум направлениям:

- контроль за радиационной обстановкой;
- контроль за облучением персонала.

Контроль радиационной обстановки места расположения объектов использования атомной энергии

Контроль радиационной обстановки является неотъемлемой частью эксплуатации радиационных объектов и регламентируется федеральным законодательством [1,2,3], ведомственными, методическими [4,5,6,7] и инструктивными [8] документами. Его основные аспекты отражены в программе радиационного контроля, которая разрабатывается на основании упомянутой нормативно-правовой базы.

Программа радиационного контроля исследовательского ядерного реактора ИР-100 (далее – Программа) устанавливает порядок проведения радиационного контроля на объектах, входящих в комплекс ИР-100. РК осуществляется за всеми источниками ИИ и проводится персоналом службы радиационной безопасности ИР-100. Программа определяет виды, объем, характер, периодичность, а также учет и порядок регистрации результатов измерений по различным направлениям.

Так как Университет является эксплуатирующей организацией трех объектов использования атомной энергии, два из которых объединены структурным подразделением, а два находятся на одной площадке, то при проведении радиационного контроля стоит руководствоваться программой радиационного контроля для ИР-100 [9] и программой радиационного контроля для подкритического ядерного стенда [10].

При проведении исследования измерялась мощность амбиентного эквивалента дозы (далее – МЭД) гамма-излучения, которое представляет собой электромагнитное излучение высокой энергии, обладающее наибольшей проникающей способностью. Замеры выполнялись на высоте 1 метра от поверхности земли и 3-10 сантиметров от поверхности исследуемого объекта. Измерение МЭД гамма-излучения на территории объекта проводились по сетке, с соответствующим шагом в зависимости от площади объекта. При замерах шаг должен быть равномерным, не менее 1 метра и не более 200 метров. При любых условиях, количество измерений должно охватить не менее трех точек по каждой стороне объекта и его диагоналям. В каждой из точек было снято 3 показания и посчитано среднее значение. Данные условия соблюдались для всех исследуемых объектов.

Для регистрации исследуемых значений использовался дозиметр-радиометр

ДРБП-03. Данный прибор предназначен для измерения мощности амбиентного эквивалента дозы и амбиентного эквивалента дозы фотонного ионизирующего (рентгеновского и гамма) излучения, плотности потока α - и β -частиц.

Учитывая нахождение в непосредственной близости с радиационно-опасными объектами объектов инфраструктуры, таких как главный учебный корпус Института ядерной энергии и промышленности, химический корпус, студенческих общежитий, и ввиду отсутствия на данных территориях регулярного радиационного контроля, было принято решение провести замеры уровня гамма-излучения в местах расположения данных административных зданий. При этом замеры внутри самих объектов не проводились.

В целом в течение трех месяцев было снято 549 замера МЭД гамма-излучения на территориях Института ядерной энергии и промышленности, химического корпуса, ИР-100 и студенческих общежитий, размещенных вблизи института.

Замеры на территории ИР-100 производились в соответствии с действующей программой радиационного контроля для ИР-100, которая содержит описание местонахождения контрольных точек. В результате проведения исследования, преобладающими оказались фоновые значения МЭД, то есть во всех точках, где производились замеры, значения выше фоновых не детектировались. По результатам проведенного радиационного контроля усредненным значением МЭД было принято 0,12 мкЗв/ч, что не выходит за пределы допустимого уровня.

Аналогично снятие замеров производилось на территориях учебных корпусов и студенческих общежитий. Полученные усредненные значения МЭД за весь период измерений нанесены на карты-схемы и представлены на рисунках 1-4.

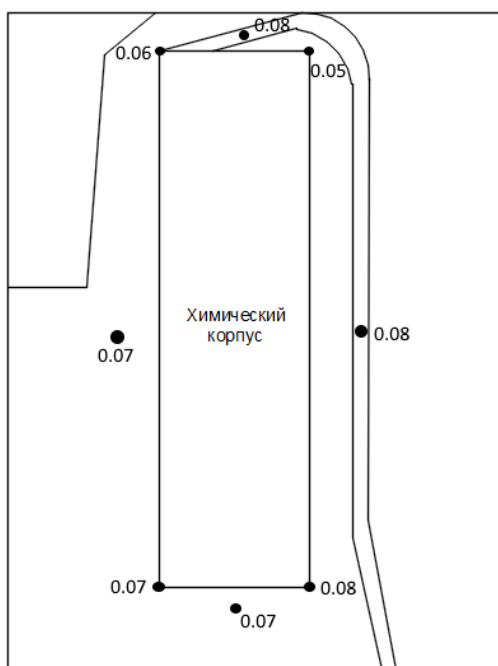


Рис.1. Карта-схема радиационной обстановки на территории химического корпуса (в мкЗв/ч)

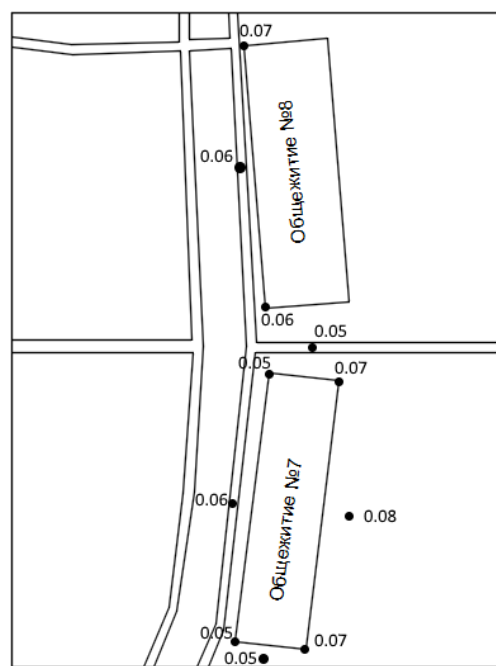


Рис. 2. Карта-схема радиационной обстановки на территории общежитий (7,8) (в мкЗв/ч)

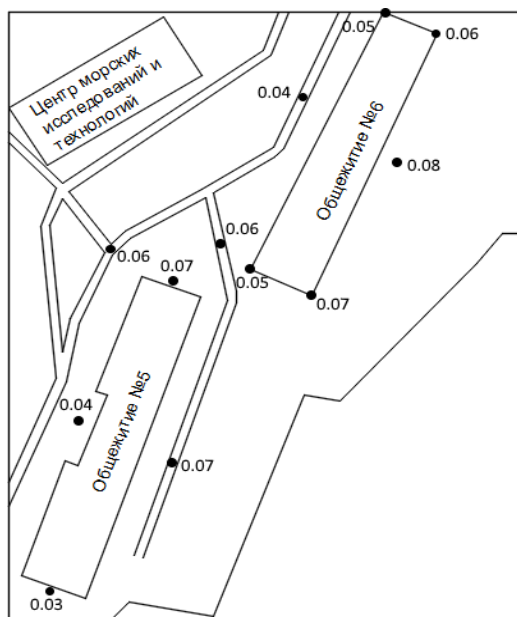


Рис. 3. Карта-схема радиационной обстановки на территории общежитий (5,6) (в мкЗв/ч)

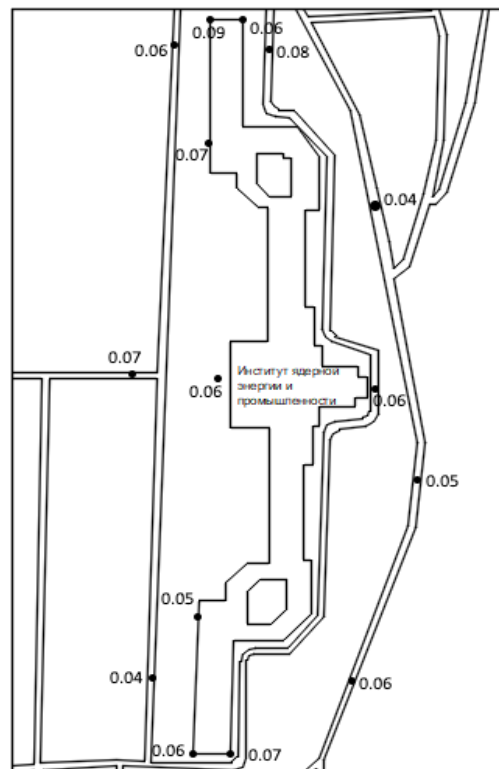


Рис. 4. Карта-схема радиационной обстановки на территории ИЯЭиП (в мкЗв/ч)

На основании проведенных исследований составлена база данных по радиационной обстановке местности (таблица 1). Как видно из таблицы, значения МЭД не превышают контрольных уровней, установленных в эксплуатирующей организации. Усредненные значения указаны с учетом погрешности, которая в среднем составила 10,3 % (при допустимом значении до 15 % согласно паспорта прибора). Среди мест замеров наибольшее значение наблюдается на территории исследовательского ядерного реактора ИР-100, что естественно, так как это наиболее опасный, с точки зрения радиационной безопасности, объект.

Таблица 1 – Усредненные значения мощности дозы гамма-излучения на территории поселка Голландия

Территория проведения радиационного контроля	Усредненные значения мощности эквивалента дозы, мкЗв/ч	Контрольные уровни, мкЗв/ч
Институт ядерной энергии и промышленности	0,06	0,2
Химический корпус	0,07	0,2
Общежития 7и 8	0,06	0,2
Общежития 5 и 6	0,06	0,2
Исследовательский реактор ИР-100	0,12	0,2

Для сравнения, значение МЭД гамма-излучения на территории города Севастополь в среднем составляет от 0,09 мкЗв/ч до 0,13 мкЗв/ч, данные значения говорят о стабильной и благополучной радиационной обстановке.

При проведении радиационного контроля были получены усредненные значения МЭД, которые обуславливаются природным радиационным фоном. Это говорит о том, что указанные в данной статье объекты использования атомной энергии не оказывают нагрузки на радиационное состояние исследуемых территорий.

Выводы

Как любые другие объекты использования атомной энергии, ядерные объекты ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет» требуют к себе особого контроля, включая контроль радиационной обстановки. Существующая нормативно-правовая база, а также наличие локальной нормативной документации позволяют выполнять работы по ведению радиационного контроля на ОИАЭ СевГУ

Количество измерений за весь период проведения исследования составляет 549 замеров. Для наглядности были составлены карты-схемы и база данных. Таким образом, анализ полученных результатов показал, что радиационная обстановка на всех исследуемых объектах благоприятна и обусловлена природным радиационным фоном.

Список использованных источников

1. О радиационной безопасности: Федер. закон [принят Гос.Думой 5.12.1995]. // Собрание законодательства РФ 09.01.1996. № 3. ст. 141. С. 8-11.
2. О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения: Федер. Закон [принят Гос.Думой 12.03.1999]. // Собрание законодательства РФ 30.03.1999. № 52.
3. Об использовании атомной энергии: Федер.закон [принят Гос.Думой 20.10.1995]. // Собрание законодательства РФ 21.11.1995. № 170.
4. МУ 2.6.5.008-2016. Методические указания. «Контроль радиационной обстановки. Общие требования»;
5. МУ 2.6.5.026-2016 Методические указания. «Дозиметрический контроль внешнего профессионального облучения. Общие требования»;
6. МУ 2.6.5.028-2016 Методические указания. «Определение индивидуальных эффективных и эквивалентных доз и организация контроля профессионального облучения в условиях планируемого облучения. Общие требования»;
7. МУ 2.6.5.032-2017 Методические указания. «Контроль радиоактивного загрязнения поверхностей»;
8. Инструкция по измерению гамма-фона в городах и населенных пунктах (пешеходным методом): утв. заместителем Главного гос. сан. Врача СССР от 09.04.1985 №3255;
9. Программа радиационного контроля исследовательского ядерного реактора ИР-100 : утвержденная заместителем ректора по радиационной безопасности, физической защите, учету и контролю ядерных материалов от 28.09.2020 № 56-11/61-20;
10. Программа радиационного контроля подкритического ядерного стенда: утвержденная заместителем ректора по радиационной безопасности, физической защите, учету и контролю ядерных материалов от 20.12.2019 № 55-32/21-19.

УДК 543.55.054.1

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ НА УГЛЕСИТАЛЛОВОМ ЭЛЕКТРОДЕ В МЕТОДЕ ИНВЕРСИОННОЙ ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИИ

С.В. Русяев, Э.В. Ткаченко

Одним из современных, высокочувствительных электрохимических методов анализа является инверсионная вольтамперометрия. Наибольшее распространение в вольтамперометрической практике получили ртутные пленочные электроды, нуждающиеся в стабилизации рабочей поверхности для увеличения воспроизводимости аналитического сигнала. В статье представлены результаты исследований формирования рабочей поверхности индикаторного электрода непосредственно при анализе (*in situ*) на основе модельных растворов.

Введение

Метод инверсионной вольтамперометрии пригоден для определения многих неорганических и органических веществ, вплоть до 10^{-9} - 10^{-10} М, что дает возможность проведения анализа природных и сточных вод, почв, воздуха, пищевых продуктов, лекарственных препаратов и других объектов [1,2]. В настоящее время довольно часто применяют ртутно-графитовые [3], в частности, углеситалловые электроды. Для проведения электрохимического анализа данные электроды нуждаются в специальной подготовке, включающей формирование ртутной пленки в процессе электролиза.

Цель работы

Целью данной работы являлось выявление оптимальных условий подготовки и формирования рабочей поверхности индикаторного электрода непосредственно при анализе (*in situ*).

Материалы и методы

Работа выполнена на компьютеризированном комплексе, включающем вольтамперометрический анализатор «Экотест-ВА». Измерение токов проводили, используя трехэлектродную ячейку, в качестве методов измерения применяли переменного-токовый режим. Вспомогательным электродом являлся платиновый электрод ЭПЛ-02, электродом сравнения - хлоридсеребряный электрод ЭВЛ-1М4, заполненный насыщенным раствором КСl. Индикаторным электродом служил вращающийся дисковый электрод (ВДЭ), изготовленный из углеситалла (рис.1).



Рис.1. Вращающийся дисковый электрод

Углеситалл – это углеродный материал, легированный бором. По свойствам и структуре он близок к стеклоуглероду, однако углеситалл более прост в механической и электрохимической обработке. Вращающийся дисковый углеситалловый электрод [4], представляет из себя цилиндр, на одном торце которого расположена тонкая ртутная плёнка, выступающая в качестве подложки – рабочей поверхности, на которой производится окислительно-восстановительный процесс. На другом торце находится резьба, с помощью которой электрод подключается к установке и осуществляет вращение.

Формирование поверхности ВДЭ

Электрохимическое выделение ртути на механически полированном графите требует определенного перенапряжения для зародышеобразования. Это перенапряжение тем больше, чем меньше шероховатость графита, поскольку дефекты поверхности стимулируют процессы зародышеобразования [5]. Для получения равномерной рабочей поверхности ВДЭ необходимо проводить механическую подготовку, включающую полирование поверхности. Механическая полировка необходима для более полного очищения электрода, в отличие от очистки, проводимой электрохимическим путём. Полирование можно проводить несколькими способами: в первом случае рабочую поверхность электрода полируют на бумажном фильтре, смоченном этиловым спиртом (рис. 2, а); во втором – полируют абразивными материалами (Al_2O_3) на органических волокнах [5].

В случае углеситаллового электрода на рабочей поверхности будет образовываться не плёнка, а псевдоплёнка – множество вкраплений – микроансамблей капелек ртути на активных участках электрода, согласно теории, разработанной Х.З. Брайниной [6]. Для образования псевдоплёнки использовали анализируемый раствор ртути с концентрацией $1 \cdot 10^{-5}$ моль/л.

После проведения однократного процесса электролиза раствора, содержащего ионы ртути (II) в течение 15 секунд, наблюдения в микроскоп показали, что на графитовой поверхности образуются мелкие капли. Осажденная ртуть образует не гладкую поверхность, а многочисленные отдельные капельки (рис. 2, б), которые при однократном проведении электролиза покрывают электрод не полностью. Это приводит к уменьшению перенапряжения и сужению рабочей области потенциала.

Экспериментально установлено, что достаточно двух последовательных измерений для образования равномерной амальгамной псевдоплёнки и дальнейшего определения анализируемого металла (рис. 2, в). Большая равномерность достигается путём повтора инверсионных измерений.

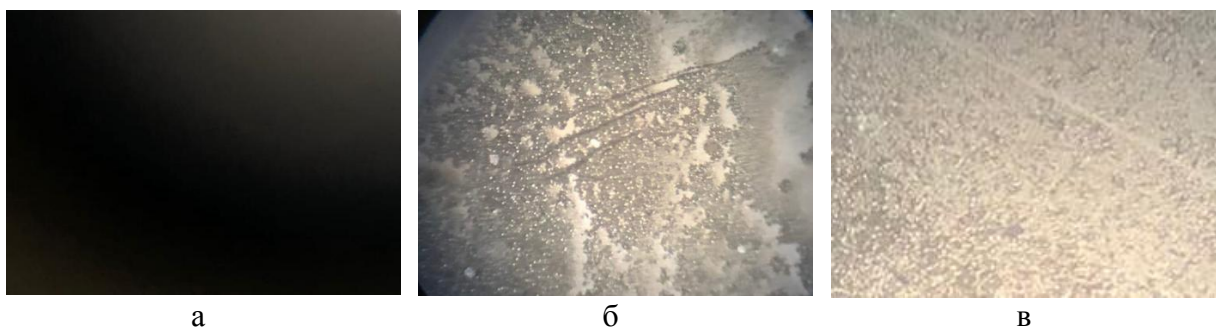


Рис. 2. Снимок рабочей поверхности электрода до формирования ртутной пленки (а), после одного измерения (б), после двух последовательных (в) при 10-кратном увеличении

Известно, что электродный потенциал анодного растворения ртути в кислой среде на графитовом электроде находится в диапазоне 0,2 – 0,4 В. После проведения трёхкратного процесса электролиза были получены вольтамперные кривые с пиком при значениях потенциала, немного больших 200 мВ (Рис. 3), что означает окисление уже накопившейся на электроде ртути, восстановленной из анализируемого раствора.

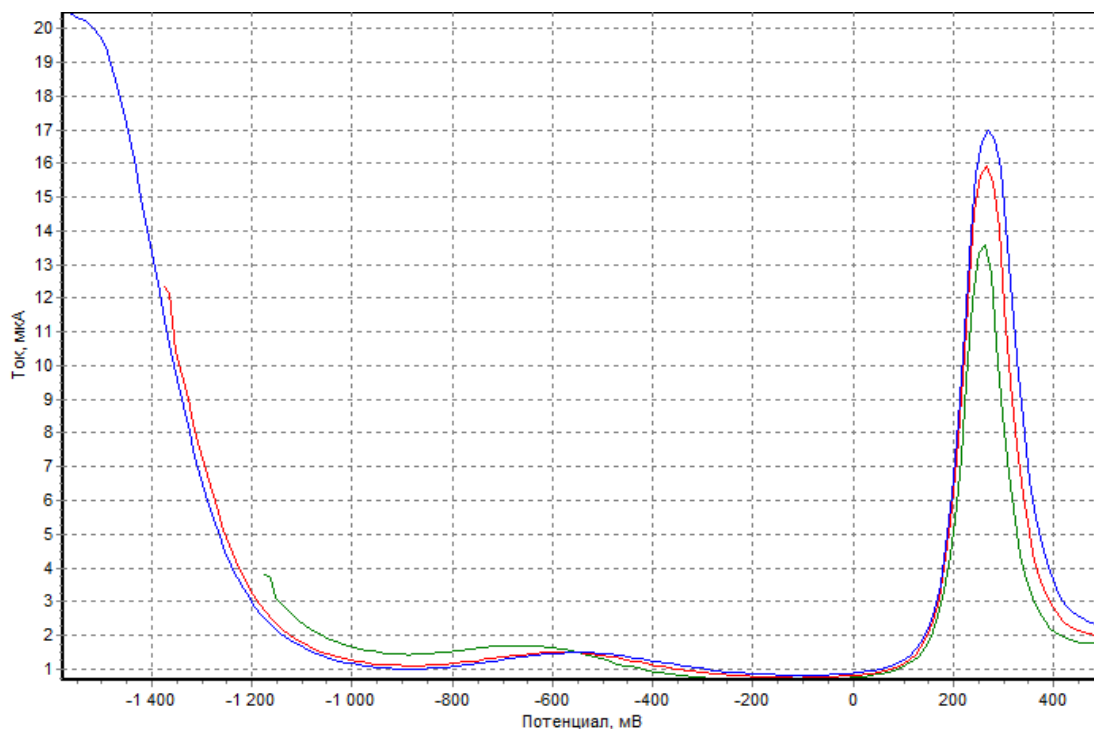


Рис. 3. Вольтамперные кривые, полученные при окислении Hg из раствора Hg (II) в процессе формирования поверхности электрода

Выводы

Для увеличения воспроизводимости и стабилизации поверхности ВДЭ необходимо предварительно проводить механическую полировку, обеспечивающую равномерное образование микроансамблей капелек ртути на активных участках электрода. Подтверждено кривыми вольтамперограмм, что механическая полировка способствует улучшению качества отклика аналитического сигнала.

Список использованных источников

1. Хенце Г. Полярография и вольтамперометрия. Теоретические основы и аналитическая практика / Г. Хенце. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. – 284 с.
2. Шольц Ф. Электроаналитические методы: Теория и практика / Ф. Шольц. □ М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 326 с.
3. Будников Г.К. Модифицированные электроды для вольтамперометрии в химии, биологии, медицине Г.К. Будников, Г.А. Евтюгин, В.Н. Майстренко – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. – 419 с.
4. Паспорт КТЖГ. 414628.01. Вращающийся дисковый электрод. – НПП ООО «Эконикс-Эксперт», 2018. – 10 с.

5. Лебедев А.М. Инверсионно-вольтамперометрические измерения аналитических сигналов Cd (II) и Pb (II) на ртутно-графитовых электродах / А.М. Лебедев, А.И. Каменев, А.А. Ищенко// Вестник МИТХТ. – 2011. – Т. 6, № 1. – С.82 – 86.

6. Брайнина Х.З. Инверсионные электроаналитические методы/ Х.З. Брайнина, Е.Я. Нейман, В.В. Слепушкин. – М.: Химия, 1988. – 240 с.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ И СИСТЕМЫ

УДК 621.318.4

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЙ ЭЛЕМЕНТ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ – УПРАВЛЯЕМЫЙ ПОДМАГНИЧИВАНИЕМ ШУНТИРУЮЩИЙ РЕАКТОР

О.Р. Ивченко, И.К. Смирнов, В.В. Смирнов

В настоящее время развитие электроэнергетики характеризуется внедрением управляемых (гибких) электрических сетей с переменной нагрузкой, а также ветровых и солнечных электростанций с переменными режимами генерации. Это требует разработки и внедрения нового управляемого силового оборудования, позволяющего изменять свои характеристики в процессе работы, внедрения информационных технологий и микропроцессорных систем для управления, мониторинга и защиты этого оборудования. К такому оборудованию относятся специальные компенсаторы реактивной мощности: управляемые шунтирующие реакторы (УШР), статические тиристорные компенсаторы (СТК) и тиристорно-реакторные группы (ТРГ).

Введение

Управляемые шунтирующие реакторы (УШР) – электромагнитные реакторы, индуктивность которых может плавно регулироваться с помощью системы автоматического управления, что позволяет осуществлять стабилизацию напряжения на воздушных линиях с большой зарядовой мощностью. В комбинации с батареями конденсаторов, включаемых параллельно, УШР являются аналогами статических тиристорных компенсаторов (СТК), позволяя поддерживать напряжение на линиях как в режиме малых, так и больших нагрузок.

Во многих случаях, при быстрых переменных нагрузках и переменных потоках реактивной мощности, применение обыкновенных управляемых шунтирующих реакторов (УШР), использующих механическую дискретную коммутацию выключателей или встроенных переключателей, не обеспечивает необходимую оперативность регулирования и снижает надежность управления. Диапазон регулирования напряжения в таких реакторах не превышает обычно 30 %, а время переключения с одного положения ступени на другое составляет 5-6 секунд.

Плавное и более быстрое регулирование обеспечивают управляемые подмагничиванием шунтирующие реакторы (УПШР). Созданы реакторы с кольцевым, поперечным, продольно-поперечным и продольным подмагничиванием различных участков магнитной системы.

Цель работы

Целью данной работы является анализ перспектив применения, управляемого подмагничиванием шунтирующего реактора в энергосистеме, эффективности современных конструктивных решений в сфере разработки ШР и преимуществ УПШР перед другими устройствами, обеспечивающими повышение эффективности работы и энергосбережения ЕЭС.

Особенности функционирования и эксплуатации шунтирующих реакторов

Шунтирующие реакторы (ШР), как элемент электроэнергетической системы, обычно появляются на подстанциях или линиях электропередачи классов напряжения 330 кВ и выше. В случаях особо длинных линий они могут применяться и при более низких напряжениях: 110 и 220 кВ. Основное назначение ШР снизить до допустимого уровня напряжение на открытом конце воздушной (ВЛ) или кабельной линии (КЛ) при их одностороннем включении на шины питающей сети (это может быть электрическая станция или же подстанция). Такой реактор устанавливают на линии и называют линейным. Вторая цель установки ШР — ограничить так называемый «сток» избыточной реактивной мощности с ВЛ или КЛ (при малых нагрузках по линии) в примыкающую к линии сеть. Такой реактор устанавливают на шинах подстанции (станции) и называют подстанционным (станционным).

Следует отметить, что сток реактивной мощности опасен именно для генераторов электрической станции. Однако и сток реактивной мощности в обычную сеть, в частности в сеть более низкого напряжения, также может представлять опасность из-за недопустимого повышения напряжения. Третье назначение ШР — снизить величину временных перенапряжений и энергию коммутационных перенапряжений до уровней, допустимых для работы установленных на линии ограничителей перенапряжений (ОПН), которые не всегда имеют достаточный запас по выдерживаемому напряжению и поглощаемой энергии. Линейные и подстанционные (станционные) реакторы необходимы, прежде всего, в режимах малой передаваемой по линиям мощности или на холостом ходу этих линий. По мере увеличения передаваемой по линии активной мощности реактивная мощность, вырабатываемая емкостью линии, все больше потребляется в ее же продольной индуктивности, и, следовательно, снижается необходимость в шунтирующих реакторах, как дополнительных потребителей реактивной мощности, установленных по концам линии или на шинах примыкающих к линии подстанций.

Особенно заметным негативное влияние шунтирующих реакторов на пропускную способность оказывается для протяженных линий, поскольку суммарная реактивная мощность ШР для таких линий, как правило, значительна. Для исключения упомянутого негативного влияния шунтирующие реакторы приходится оснащать собственными выключателями и многократно коммутировать ими реактор в течение суточного графика изменения передаваемой по линиям мощности. Вместе с тем известно, что коммутации реакторов являются нежелательными, так как приводят к скачкам напряжения в местах установки ШР, к быстрому расходованию ресурса выключателей, к созданию коммутационных перенапряжений, воздействующих на изоляцию обмоток реактора.

Кроме того, отключенное состояние реакторов просто недопустимо, если оно совпадает с аварийными коммутационными операциями на электропередаче, так как требуемое в этом случае для ограничения перенапряжений быстродействующее подключение ШР будет невозможно. Помимо снижения предела передаваемой по линии мощности, о котором сказано выше, шунтирующие реакторы, не имея плавного регулирования своей реактивной мощности, снижают предел статической устойчивости электропередачи. Так, например, на первой электропередаче 1150 кВ «Экибастуз–Кокчетав–Кустанай» пропускная способность линии реально составила лишь около 40 % ее натуральной мощности из-за использования в качестве устройств компенсации реактивной мощности нерегулируемых шунтирующих реакторов.

Особенности применения УШР

Все перечисленные недостатки ШР преодолеваются путем их замены на управляемые шунтирующие реакторы (УПШР). Создание УШР расширило область традиционного применения шунтирующих реакторов. Например, в сетях 35–220 кВ в России и за рубежом уже нашли широкое применение так называемые устройства компенсации реактивной мощности (УКРМ), представляющие собой параллельное соединение УШР и конденсаторной батареи, при котором обеспечивается плавное регулирование реактивной мощности от режима ее потребления до режима ее выработки. Применение управляемых шунтирующих реакторов позволяет повысить предел передаваемой мощности по условию статической устойчивости практически до значения ее натуральной мощности, что особенно актуально для протяженных линий. С использованием УШР стало возможным создание транснациональных электропередач переменного тока протяженностью до 2000–2500 км без использования дорогостоящей технологии передачи постоянным током. Потребность в управляемых средствах компенсации реактивной мощности имеется в сетях всех классов напряжения. Однако именно в сетях 500 кВ и выше число и важность решаемых с помощью УПШР задач оказываются наиболее значительными. Во-первых, линии 500–750 кВ имеют большую длину, а их фазы выполнены с расщеплением проводов на несколько составляющих (для ограничения потерь на корону). Следовательно, такие линии являются источниками повышенной реактивной мощности, которая в зависимости от режима электропередачи изменяется в широком диапазоне значений, приводя к недопустимым колебаниям напряжения в сети, к росту потерь (при понижении напряжения), к риску повреждения оборудования (при его повышении). Во-вторых, электропередачи 500–750 кВ, как правило, выполняют ответственную роль магистральных, системообразующих, межгосударственных, и поэтому по ним, в случае необходимости, надо иметь возможность передать значительную мощность с должным запасом устойчивости

Конструкция современных УПШР

Основным назначением управляемого подмагничиванием шунтирующего реактора является регулирование напряжения и реактивной мощности, для повышения надежности эксплуатации электрических сетей, оптимизации режимов работы и снижения потерь электроэнергии в линиях электропередач.

В УШР с подмагничиванием для плавного регулирования потребляемой реактивной мощности, а, следовательно, и напряжения в точке подключения, используется насыщение стали магнитопровода постоянным потоком, создаваемым выпрямленным током в специальной обмотке управления (ОУ). Фактически используется принцип магнитного усилителя (электромагнитное устройство, работа которого основана на использовании нелинейных магнитных свойств ферромагнитных материалов и предназначенное для усиления или преобразования электрических сигналов), когда по мере насыщения стержней магнитопровода снижается индуктивное сопротивление сетевой обмотки реактора (СО) и потребляемая реактивная мощность реактора УПШР.

В реальных конструкциях УПШР при изменении состояния стали его магнитопровода от ненасыщенного состояния до глубокого насыщения, близкого к предельному, когда магнитная проницаемость приближается к магнитной

проницаемости воздуха, удастся получить диапазон плавного регулирования реактивной мощности с кратностью более 100.

Конструктивно УПШР представляет собой устройство, состоящее из:

- электромагнитной части (магнитопровод, обмотки);
- полупроводникового преобразователя;
- системы автоматического управления

Наибольшее практическое применение получила конструкция, приведенная на рис. 1. Это принципиальная схема одной фазы такого реактора с бронестержневым магнитопроводом и двумя «полустержнями», на которых расположены обмотки СО, подключенные к сетевому напряжению E_c , и встречно включенные секции обмотки ОУ, к которым подключен источник постоянного напряжения E_{OY} . Постоянный поток подмагничивания, создаваемый током ОУ, замыкается между центральными полустержнями, а переменный поток — через верхние и боковые ярма магнитопровода, складываясь в полустержнях с постоянным.

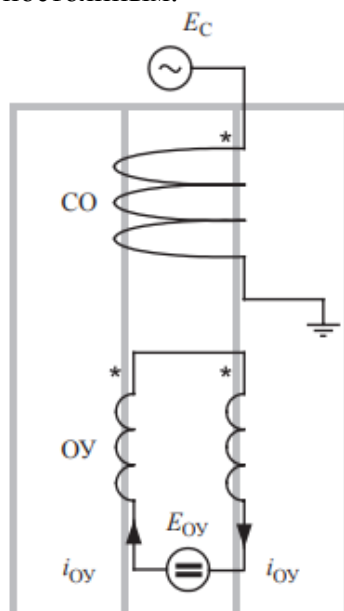


Рис. 1. Принципиальная схема одной фазы УПШР

В большинстве конструкций мощных УПШР на напряжение 220 кВ и выше предусмотрена отдельная специальная обмотка — компенсационная, которая разбита на две секции, каждая из которых охватывает полустержень и обе соединены согласно. Выводы трех фаз соединяются в треугольник. Порядок расположения обмоток относительно магнитопровода УПШР, следующий: КО—ОУ—СО.

Расположение обмоток на магнитной системе одной фазы УПШР, состоящей из двух полустержней, верхнего и нижнего горизонтальных ярм и двух боковых ярм. Две секции обмотки управления ОУ размещены на полустержнях, соединены встречно и подключены к регулируемому источнику постоянного напряжения. Сетевая обмотка СО охватывает два соседних полустержня с обмотками управления. Создание отдельных путей для переменного и постоянного потоков, которое обеспечивается бронестержневой конструкцией магнитопровода с расщепленными стержнями фаз, а также встречное включение секций СО и ОУ позволяют обеспечить независимость

электромагнитных процессов в обмотках СО и ОУ, расположенных на одном магнитопроводе.

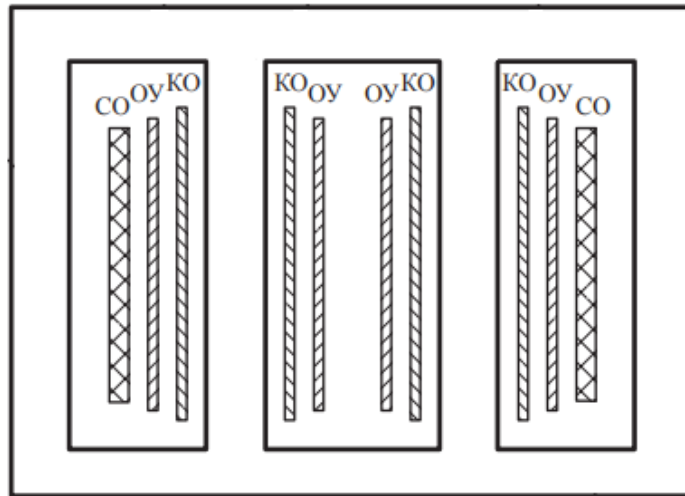


Рис. 2. Разрез магнитной системы фазы УШР

Для объединения отдельных однофазных устройств в одно трехфазное сетевые обмотки соединяются по схеме «звезда с заземленной нейтралью» и каждая фаза сетевой обмотки выполняется параллельными ветвями с вводом в середину. Секции обмоток ОУ в каждой фазе соединяются последовательно-встречно, а выводы всех фаз соединяются параллельно и подключаются к выводам преобразователя.

Преимущества использования УПШР

Управляемые реакторы наиболее перспективны как средства поперечной компенсации в протяженных линиях высокого и сверхвысокого напряжения. Их использование позволяет:

- автоматизировать процесс стабилизации напряжения или одного из заданных параметров режима с одновременной разгрузкой коммутационного оборудования в схемах регулирования напряжения;
- повысить до 30 % пропускную способность линий электропередач по допустимому уровню напряжений;
- снизить потери мощности в электрических сетях и повысить надежность их эксплуатации, в том числе и за счет резкого снижения числа срабатывания устройств РПН трансформаторов;
- повысить предел передаваемой мощности по условию статической и динамической устойчивости системы.

Выводы

1. На основании анализа отечественного и зарубежного опыта в области современных средств регулирования в энергосистемах показана техническая и экономическая эффективность применения управляемых шунтирующих реакторов.

2. Показано, что применение УПШР в комплексе с использованием высоковольтных линий электропередач повышенной пропускной способности, а также других устройств типа FACTS, позволяет создавать электропередачи переменного тока с заданной пропускной способностью и без ограничения дальности передачи электроэнергии при соблюдении всех необходимых технических и экологических требований.

3. Применение УПШР позволяет успешно решать технические аспекты дальнейшего функционирования объединенной электроэнергетической системы стран СНГ и осуществления соединений на параллельную работу энергосистем регионов, в частности, решить проблему объединения на параллельную работу ОЭС Сибири и ОЭС Востока. Для решения данной задачи потребуются УПШР 220, 500 кВ общей установленной мощностью не менее 7000 МВАр.

4. Применение управляемых шунтирующих реакторов позволяет повысить предел передаваемой мощности по условию статической устойчивости практически до значения ее натуральной мощности, что особенно актуально для протяженных линий. С использованием УШР стало возможным создание транснациональных электропередач переменного тока протяженностью до 2000–2500 км.

5. Применение управляемых подмагничиванием шунтирующих реакторов позволяет управлять режимами работы сетей таким образом, чтобы снизить потери, повысить пропускную способность линий электропередачи. За счет этого повышается надежность работы системы, значительно экономится электроэнергия при ее передаче.

Список использованных источников

1. Бударгин О.М., Макаревич Л.В., Матрюков Л.А. Управляемый насыщающийся реактор мощностью 180 МВА напряжением 500 кВ ОАО «Электрозавод» // Электро. 2012. № 6.
2. Дмитриев М.В., Долгополов А.Г., Карпов А.С., Кондратенко Д.В. Шескин Е. Б. Управляемые подмагничиванием шунтирующие реакторы // Под ред. проф. Евдокунина Г.А. СПб.: Изд. дом «Родная Ладога», 2013 г. – 280 с.
3. Кондратенко Д.В., Долгополов А.Г., Шибанова Т.А., Виштинев А.В. Статический компенсатор реактивной мощности на базе УШР как необходимое средство повышения энергоэффективности в электроэнергетике // ЭЛЕКТРО. 2010. № 2.
4. Долгополов А.Г., Соколов С.Е. Управляемые реакторы. Обзор технологий // Новости ЭлектроТехники. 2012. № 3 (75).

УДК 621.318.4

ТЕХНИЧЕСКАЯ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УПРАВЛЯЕМЫХ ШУНТИРУЮЩИХ РЕАКТОРОВ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ

И.К. Смирнов, О.Р. Ивченко, В.В. Смирнов

В статье обоснована целесообразность установки управляемых шунтирующих реакторов большой мощности для нормализации уровней напряжения в сетях 330 - 500 кВ в режимах минимальной нагрузки. Указаны основные источники получения экономического эффекта от установки управляемых шунтирующих реакторов. Описана специальная методика оптимального размещения ограниченного числа реакторов в сети энергосистемы для поглощения избыточной РМ.

Введение

Шунтирующий реактор представляет собой устройство компенсации реактивной мощности, которое повышает эффективность энергосистемы, а именно для поглощения избыточной реактивной мощности с целью нормализации уровней напряжения. Это компактное устройство широко используется для компенсации реактивной мощности в протяженных высоковольтных линиях электропередачи и в кабельных системах. Применение управляемых шунтирующих реакторов (УШР), разработка которых успешно завершена в последние годы и доведена до стадии промышленного внедрения, открывает принципиально новые возможности. Посредством УШР можно не просто вводить напряжение в питающих сетях энергосистемы в допустимые пределы, а управлять его уровнем по любому заданному закону. В Российской энергосистеме в последние несколько лет выполнен комплекс научно-исследовательских и проектно-изыскательских работ, позволивший определить условия эффективного применения ШР и УШР. В результате их выполнения в энергосистеме намечена установка четырех ШР (два из них неуправляемых и два управляемых) напряжением 330 кВ мощностью по 180 Мвар каждый, два из которых (оба неуправляемых) уже изготовлены и находятся в стадии монтажа. Решение о необходимости применения столь дорогостоящего оборудования, каким являются шунтирующие реакторы, в особенности управляемые, было принято на основе тщательных технико-экономических обоснований. В настоящее время при отсутствии ШР в целях нормализации уровней напряжения в минимальных нагрузочных режимах энергосистема вынуждена применять ряд неэкономичных эксплуатационных мероприятий, приводящих к большим дополнительным потерям энергии. Это отключение части линий 330 кВ для уменьшения зарядной мощности, массовое отключение конденсаторных батарей у потребителей, использование синхронных компенсаторов и генераторов в режиме потребления избыточной реактивной мощности и некоторые другие.

Цель работы

Целью данной работы является анализ полученного технико-экономического эффекта установки управляемых шунтирующих реакторов большой мощности для нормализации уровней напряжения в сетях 330— 500 кВ в режимах минимальной нагрузки.

Способы устранения избытков реактивной мощности

Существует два принципиально разных способа устранения избытков РМ: отключение оборудования, генерирующего реактивную мощность (РМ) в режимах минимальной нагрузки, и поглощение избыточной РМ синхронными машинами (СМ) или шунтирующими реакторами. Как известно, нерегулируемыми источниками РМ являются линии электропередачи (ЛЭП) и неотключаемые шунтовые конденсаторные батареи (ШКБ), причем эти источники обладают отрицательным регулирующим эффектом, выражающимся в увеличении их мощности при повышении напряжения. В свою очередь, поскольку в энергосистеме на сегодняшний день установлено только два ШР мощностью по 330 М вар, напряжением 750 кВ, то поглощение избытков РМ осуществляется в значительной мере СМ, в частности синхронными генераторами (СГ) и синхронными компенсаторами (СК). Отключение линий и ШКБ приводит к большим дополнительным потерям электроэнергии. В свою очередь поглощение избыточной реактивной мощности СГ и особенно СК также связано со значительными дополнительными потерями. Кроме того, использование СГ в режиме потребления РМ (недовозбуждения) приводит к снижению устойчивости их работы и ускоренному износу машин из-за перегрева крайних пакетов активной стали или конструктивных элементов генераторов, вызванного значительным возрастанием результирующих магнитных полей в зонах лобовых частей обмотки статора в режиме недовозбуждения. Это означает, что применяемые в настоящее время способы и средства устранения избыточной РМ или ее поглощения недостаточно эффективны и должны быть в ближайшем будущем заменены более современными и эффективными средствами, которыми, в частности, являются шунтирующие реакторы 330 кВ, особенно управляемые.

В ряде российских энергосистем для поглощения избыточной РМ начинают применяться, так называемые асинхронизированные турбогенераторы (АТГ) производства АО "Электросила", которые отдельными специалистами рассматриваются в качестве альтернативы ШР, в том числе и управляемых. Вопрос об области эффективного применения АТГ очень важен и заслуживает внимательного рассмотрения. Дело в том, что при переводе обычных синхронных генераторов в режимы потребления РМ запасы их устойчивости резко снижаются. При больших возмущениях, имеющих место в аварийных ситуациях, в принципе, возможно выпадение СГ из синхронизма, хотя за долгие годы массового использования СГ в режимах недовозбуждения в Российской энергосистеме таких случаев не было. Возможность выпадения СГ из синхронизма объясняется недостаточным быстродействием системы возбуждения обычных генераторов для обеспечения динамической устойчивости, так как инерция ротора препятствует быстрому регулированию. Из-за опасности нарушения устойчивости работы СГ соответствующие службы энергосистем и электростанций, отвечающие за режимы эксплуатации турбогенераторов, резко сужают область допустимых режимов с потреблением реактивной мощности, иногда даже исключая их полностью.

В свою очередь асинхронизированные турбогенераторы лишены этого недостатка. Высокая интенсивность водяного охлаждения позволила разместить на роторе две обмотки возбуждения, питаемые от индивидуальных источников и управляемые общим автоматическим регулятором. Это дает возможность с высокой скоростью управлять поворотом и даже вращением результирующего вектора магнитного поля относительно ротора. В результате, необходимый запас статической и динамической устойчивости таких генераторов обеспечивается практически во всех режимах, допустимых по условиям нагрева. Их установка позволяет существенно повысить статическую и динамическую устойчивость энергосистемы в целом, улучшить качество вырабатываемой электроэнергии, исключить или резко ограничить режимы работы с недо возбуждением синхронных генераторов, работающих параллельно с АТГ.

АТГ обладают повышенным уровнем надежности и коэффициента готовности к приему реактивной мощности ввиду возможности работы с питанием только одной из обмоток возбуждения ротора, а также в неуправляемом асинхронном режиме при замыкании обмоток возбуждения накоротко. При этом без останова генератора могут выполняться профилактические или ремонтные работы в системе возбуждения. Очень важно, что различие в стоимостях синхронных и асинхронизированных генераторов одинаковой номинальной мощности сравнительно невелико.

Не смотря на все достоинства АТГ ШР имеют перед ними одно принципиальное преимущество. В отличие от АТГ они могут быть установлены не только на электростанциях (вновь строящихся, расширяемых или реконструируемых), но и в том месте электрической сети, где их установка оказывается наиболее эффективной по двум критериям: нормализации уровней напряжения в контрольных точках сети и снижения потерь энергии. Это очень важный аспект проблемы, поскольку при установке "поглотителя" РМ в различных местах потери активной мощности и энергии могут значительно отличаться. При этом разница в денежном выражении может быть соизмерима со стоимостями и генераторов, и реакторов. Из этого следует, что установка АТГ на отдельных электростанциях отнюдь не исключает установки ШР, особенно управляемых, в электрических сетях, т.е. непосредственно в местах образования избыточной РМ с возможностью ее поглощения без промежуточной трансформации, что очень важно. Исходя из этого, применение мощных шунтирующих реакторов напряжением 330 кВ для поглощения избыточной РМ в сетях указанного напряжения для Российской энергосистемы оказалось безальтернативным. Принятое к установке количество ШР, равное 4, является минимально возможным, и определено исключительно из соображений экономии денежных средств. Проблема заключалась в том, какие именно реакторы принять к установке и как их оптимально разместить.

В зависимости от сезона года и времени суток меняется соотношение между потерями РМ в линиях и их зарядной. Естественно, что при этом доля избыточной РМ, подлежащая поглощению, не остается постоянной, а также меняется. Если при таких условиях мощность реактора остается постоянной, то происходит неоправданное снижение уровня напряжения и увеличение потерь мощности в сетях. Следовательно, неуправляемый реактор подлежит отключению. Заметим, что выбор наиболее подходящего момента его отключения задача далеко не простая. Каждое отключение ШР сопровождается тяжелыми коммутационными процессами, опасными как для выключателя, так и для самого реактора. Установка ограничителей перенапряжений (ОПН) не решает всех проблем, поскольку частотный спектр коммутационных перенапряжений весьма широк, а ОПН не является абсолютно безынерционным элементом. Для обеспечения текущего баланса РМ и отказа от режимных коммутаций

реактора, последний должен быть управляемым, т.е. должна быть предусмотрена возможность регулирования его мощности, причем в достаточно широком диапазоне.

Проанализировав ведущие западноевропейские фирмы можно сказать: ABB, "Alstom", "Siemens" могут изготовить управляемые шунтирующие реакторы только со ступенчатым регулированием мощности в диапазоне от номинальной до 55-45% за счет применения встроенных устройств РПН. Такое управление нельзя признать оптимальным, во-первых, потому, что устройства РПН приходится использовать в очень интенсивном режиме, что приводит к их ускоренному износу и чревато аварийными повреждениями, а во-вторых, потому, что регулирование мощности реактора в диапазоне 55-45% в большинстве случаев оказывается недостаточным. Вместе с тем, выполнить ступенчатое регулирование мощности в более широком диапазоне (посредством РПН) не представляется возможным, поскольку ответвления приходится делать практически от всей обмотки. Поэтому разработка и освоение производства управляемых подмагничиванием (плавно регулируемых) шунтирующих реакторов открыли принципиально новые возможности для управления режимами энергосистем по напряжению и РМ.

Для выбора мест установки реакторов в энергосистеме потребовалась разработка специальной методики. Суть ее сводится к следующему. Установка ШР считается принципиально возможной на всех без исключения подстанциях 330 кВ, число которых в энергосистеме, включая станционные ОРУ-330 кВ, в ближайшие годы достигнет 30 единиц. Очевидно, что даже если априори ограничить число устанавливаемых реакторов четырьмя единицами мощностью по 180 Мвар каждый, число возможных сочетаний по 4 из 30 потенциальных узлов установки будет огромно. Следовательно, о простом, неупорядоченном переборе вариантов не может быть и речи. Для того, чтобы синтезировать критерий выбора наиболее эффективных точек установки реакторов, было проанализировано их влияние на два важнейших режимных показателя работы энергосистемы. Такими показателями, как известно, являются уровни напряжения в разных точках сети до и после установки реакторов, а также абсолютные и относительные снижения потерь в сети. Расчеты проводятся для наиболее тяжелого минимального режима, в котором уровни напряжения в контрольных точках сети достигают наибольших возможных значений. Очевидно, что в указанном режиме мощность реакторов должна быть максимальной. Исходя из этого, при выполнении сопоставительных расчетов мощность ШР для всех узлов сети принималась одинаковой, равной номинальному значению мощности реактора.

Установка по одному ШР мощностью 180 Мвар на разных подстанциях оказывает разное влияние на средний уровень напряжения в узлах 330 кВ энергосистемы и уровень суммарных потерь в сетях. Очевидно, что при установке ШР указанной мощности на любой подстанции уровень напряжения снижается как на ней (в наибольшей мере), так и на остальных ПС. Поэтому среднее снижение уровня напряжения можно считать главным показателем технической эффективности установки реакторов. Другим не менее важным показателем является снижение потерь мощности в сетях. Заметим, что в отличие от напряжения потери мощности при установке единичного ШР могут как снижаться, так и возрастать.

Экономическое обоснование установки УШР

Исходя из результатов проведенного экономического анализа, дополнительные потери энергии столь велики, что установка ШР, несмотря на их высокую стоимость, окупается менее чем за 5 лет. К большим убыткам для энергосистемы приводят

повышенные уровни напряжения в распределительных сетях, поскольку повышение напряжения на зажимах электроприемников сверх номинального значения приводит к бесполезному потреблению электроэнергии. В Российской энергосистеме проблема устранения избытков РМ, возникающих в режимах минимальной нагрузки, существует давно. Основной причиной их возникновения является превышение зарядной мощности линий 330 кВ над потерями реактивной мощности в них. Наличие избыточной реактивной мощности в сети 330 кВ приводит к недопустимым повышениям уровней напряжения, опасным для изоляции линий.

Так же остается немаловажный вопрос выбора оптимального закона регулирования мощности реактора. Простейшим для реализации и наиболее естественным законом регулирования мощности реактора является стабилизация напряжения в точке его подключения. При переходе от минимальных режимов к максимальным избытки реактивной мощности резко уменьшаются. При этом напряжение на шинах подстанции будет понижаться, оставаясь в допустимых пределах. В таких режимах мощность, потребляемую ШР, целесообразно уменьшать, чтобы снизить потери от передачи РМ по сети и в самом реакторе. В режиме, когда потери на корону относительно малы (при хорошей погоде), напряжение в точке подключения ШР целесообразно поддерживать на максимальном допустимом уровне. При этом мощность, потребляемая ШР, будет минимально возможной и, соответственно, потери от передачи РМ к реактору будут минимальными. Т.е. требуется не просто стабилизировать напряжение, а стабилизировать его на максимально допустимом уровне (без учета потерь на корону). С учетом потерь на корону оптимальный уровень напряжения может оказаться несколько ниже, чем максимально допустимый.

Выводы

В современных экономических условиях ограниченные финансовые возможности характерны для всех энергосистем постсоветского пространства, постановка задачи о выборе оптимального варианта размещения ограниченного числа ШР является вполне правомерной и, по-видимому, представляет интерес для любой энергосистемы, где имеются избытки РМ в режимах минимальной нагрузки. В перспективе за счет совершенствования конструкции и технологии изготовления УШР можно ожидать значительного улучшения их массогабаритных показателей и, соответственно, снижения стоимости. Это позволит значительно расширить область эффективного применения УШР большой мощности, в частности, устанавливать их на отдельных ЛЭП 330-500 кВ, по которым протекают большие потоки РМ, добиваясь за счет этого значительного снижения потерь от передачи РМ. Как показывают расчеты, в ряде случаев это само по себе может окупить установку УШР в приемлемые сроки, особенно с учетом предстоящего увеличения цен на топливо и соответствующего повышения стоимости потерь электроэнергии.

Список использованных источников

1. Дмитриев М.В., Долгополов А.Г., Карпов А.С., Кондратенко Д.В. Шескин Е. Б. Управляемые подмагничиванием шунтирующие реакторы // Под ред. проф. Евдокунина Г.А. СПб.: Изд. дом «Родная Ладога», 2013 г. – 280 с.
2. Долгополов А.Г., Соколов С.Е. Управляемые реакторы. Обзор технологий // Новости ЭлектроТехники. 2012. № 3 (75).

3. Бударгин О.М., Макаревич Л.В., Мاستрюков Л.А. Управляемый насыщающийся реактор мощностью 180 МВА напряжением 500 кВ ОАО «Электрозавод» // Электро. 2012. № 6.

4. С. BENGTSSON, Z. GAJIC, M. KHORAMI. Dynamic Compensation of Reactive Power by Variable Shunt Reactors: Control Strategies and Algorithms. Paper C1-303, CIGRE 2012.

УДК 621.31

ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ КАТУШКИ РОГОВСКОГО В СИСТЕМАХ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

В.М. Завьялов, В.К. Олифиренко

В статье подробно рассказывается о достигнутых преимуществах датчиков на основе катушек Роговского, которые по комплексу параметров могут успешно конкурировать с лучшими токовыми трансформаторными датчиками в секторе измерения электрической энергии. Также рассматривается подробный расчёт основных параметров.

Введение

В энергосистемах по-прежнему широко распространены традиционные трансформаторы тока (ТТ) с металлическим сердечником. Причина этого – хорошо зарекомендовавшие себя методики и стандарты, определяющие рабочие характеристики этих трансформаторов тока. Другой же причиной является тот факт, что технический персонал хорошо знаком с «традиционными» технологиями [1].

Вместе с тем, появились новые типы измерительных трансформаторов, в частности катушки Роговского. Основное различие между катушками Роговского и трансформаторами тока заключается в том, что обмотки катушек Роговского намотаны на (немагнитный) воздушный сердечник, а не на ферромагнитный сердечник (рис. 1).

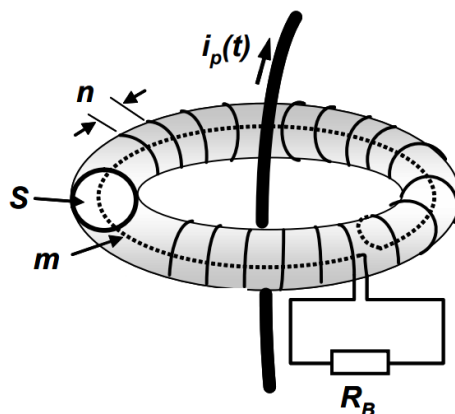


Рис. 1. Катушка Роговского

Постановки задачи

Эксплуатация данных датчиков тока является более «продвинутой», поскольку они: обладают необходимой точностью измерений во всех режимах работы; имеют линейные рабочие характеристики; обладают компактными размерами и весят во много раз меньше «традиционных» ТТ. Такие датчики тока имеют низкое напряжение выходного сигнала в нормальном режиме работы, а при повреждениях это напряжение не превышает допустимых безопасных пределов [1].

Катушка Роговского является лучшим выбором при создании измерительных систем в электрических сетях, поскольку обеспечивает простоту применения для большинства базовых измерительных схем и отвечает всем требованиям как по диапазону измерения, так и по точности. Известные до недавнего времени конструкции датчиков на базе катушек Роговского имели недостаточную точность ввиду чувствительности к положению токовой петли относительно оси проводника. Поскольку катушки Роговского используют немагнитный сердечник для поддержки вторичных обмоток, взаимная связь между первичной и вторичной обмотками слабая. Из-за слабой связи, чтобы получить качественные датчики тока, катушки Роговского должны соответствовать двум основным критериям:

- относительное положение первичного проводника внутри контура катушки не должно влиять на выходной сигнал катушки
- влияние близлежащих проводников, по которым текут большие токи, на выходной сигнал катушки должно быть минимальным

Для удовлетворения первому критерию обмотки:

- 1) находятся на сердечнике, имеющем постоянное сечение S ,
- 2) перпендикулярно средней линии m (пунктирная линия на рисунке 1, которая также представляет обратный провод через обмотку) и
- 3) построены с постоянной плотностью витков n .

Расчёт основных параметров катушки Роговского

Магнитное поле прямолинейного проводника с током [2]:

Часть замкнутой электрической цепи – прямолинейный проводник MN – лежит в плоскости чертежа (Рис. 2). Согласно закону Био-Савара-Лапласа, вектор магнитной индукции $\vec{dB}$ поля, создаваемого в точке A элементом $d\vec{l}$ с током I , численно равен:

$$|\vec{dB}| = \frac{\mu\mu_0 I d\vec{l} \sin(\vec{dl}, \vec{r})}{4\pi r^2},$$

где $\vec{r}$ – радиус-вектор, проведённый из элемента проводника $d\vec{l}$ в точку A ;

$\vec{dl}, \vec{r}$ – угол между вектора $\vec{dl}$ и $\vec{r}$.

Векторы $\vec{dl}$ и $\vec{r}$ для всех участков прямолинейного проводника лежат в плоскости чертежа. Поэтому в точке A все векторы $\vec{dB}$, характеризующие магнитные поля, создаваемые отдельными участками нашего проводника, направлены перпендикулярно плоскости чертежа («к нам»). Это сильно упрощает определение индукции $\vec{B}$ результирующего магнитного поля. Вектор $\vec{B}$ также перпендикулярен плоскости чертежа и численно равен алгебраической сумме векторов $\vec{dB}$.

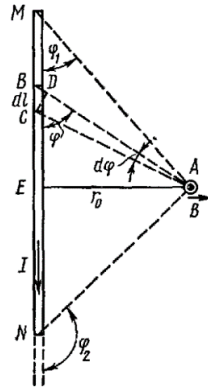


Рис. 2. Магнитное поле прямолинейного проводника с током

$$B = \int_l |\vec{dB}| = \int_l \frac{\mu\mu_0 I \sin(\vec{dl}, \vec{r})}{4\pi r^2} dl = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi} \int_l \frac{\sin(\vec{dl}, \vec{r})}{r^2} dl.$$

Чтобы произвести интегрирование, выразим dl и r через одну независимую переменную $\varphi = \vec{dl}, \vec{r}$. Проведём из точки A дугу CD окружности, радиус которой вследствие малости длины dl участка BC проводника можно считать равным r . По этой же причине угол при вершине D треугольника BCD можно считать прямым. Обозначим r_0 длину перпендикуляра AE , опущенного из точки A на проводник. Как видно из рисунка 2:

$$r = \frac{r_0}{\sin\varphi};$$

$$dl = \frac{CD}{\sin\varphi} = \frac{r d\varphi}{\sin\varphi} = \frac{r_0 d\varphi}{\sin^2\varphi}.$$

Тогда:

$$B = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \frac{\sin\varphi \cdot \sin^2\varphi}{r_0^2} \frac{r_0 d\varphi}{\sin^2\varphi} = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \frac{\sin\varphi}{r_0} d\varphi,$$

где φ_1 и φ_2 – значение угла φ для крайних точек проводника MN .

Проинтегрировав это выражение, получим:

$$B = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi r_0} (\cos\varphi_1 - \cos\varphi_2).$$

Если проводник MN бесконечно длинный, то $\varphi_1 = 0^\circ$, а $\varphi_2 = 180^\circ$. Тогда магнитная индукция в любой точке поля проводника с током равна:

$$B = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi r_0}.$$

Точно такая же магнитная индукция будет и для прямого проводника с током.

Вторым шагом будет определение магнитного потока сквозь один виток нашей катушки Роговского:

В нашем случае считаем, что вектор магнитной индукции $\vec{B}$ направлен по нормали $\vec{n}$ к площади dS . Тогда

$$d\Phi = B dS;$$

$$\Phi = \int_s B dS = \int_s \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi r_0} dS = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi} \int_s \frac{1}{r_0} dS.$$

Для уменьшения сторонней наводки необходимо изменить форму сечения катушки и перейти к прямоугольной форме [3].

Рассмотрим тогда магнитный поток Φ одного витка тороидальной катушки прямоугольного сечения (рис. 3):

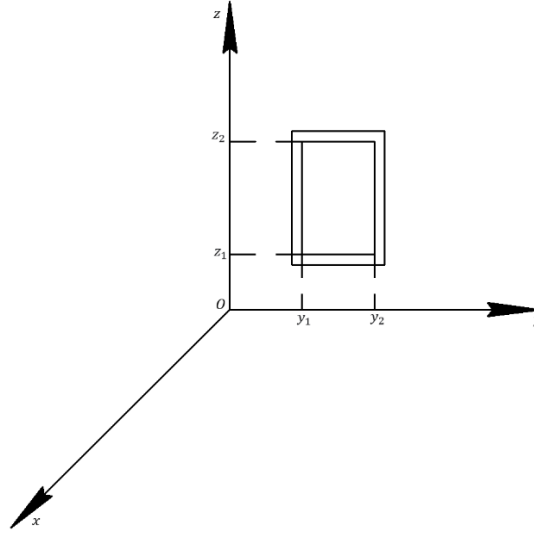


Рис. 3. Виток тороидальной катушки в плоскости zOy

Направим наш прямой проводник с током по оси z , а виток расположим в плоскости zOy . Тогда магнитный поток через этот виток:

$$\begin{aligned}\Phi &= \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi} \int \int \frac{1}{r_0} dz dy = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi} \int_{y_1}^{y_2} dy \int_{z_1}^{z_2} \frac{1}{y} dz = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi} \int_{y_1}^{y_2} \frac{1}{y} dy \int_{z_1}^{z_2} dz = \\ &= \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi} (\ln(y_2) - \ln(y_1)) \cdot (z_2 - z_1).\end{aligned}$$

Определим ЭДС электромагнитной индукции в контуре витка катушки:

$$e_i = - \frac{d\Phi}{dt} = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} (\ln(y_2) - \ln(y_1)) \cdot (z_2 - z_1) \frac{dI}{dt}.$$

При $I = I_m \sin(wt + \varphi_0)$:

$$\begin{aligned}e_i &= \frac{\mu\mu_0 I_m}{4\pi} (\ln(y_2) - \ln(y_1)) \cdot (z_2 - z_1) \frac{d(\sin(wt + \varphi_0))}{dt} = \\ &= \frac{\mu\mu_0 I_m}{4\pi} w \cdot \cos(wt + \varphi_0) (\ln(y_2) - \ln(y_1)) \cdot (z_2 - z_1).\end{aligned}$$

Максимальное значение ЭДС электромагнитной индукции в контуре витка катушки будет при $\cos(wt + \varphi_0) = 1$:

$$e_m = \frac{\mu\mu_0 I_m}{4\pi} w (\ln(y_2) - \ln(y_1)) \cdot (z_2 - z_1)$$

Действующее значение ЭДС электромагнитной индукции в контуре витка катушки:

$$E_i = \frac{e_m}{\sqrt{2}} = \frac{\mu\mu_0 I_m}{\sqrt{2} \cdot 4\pi} w (\ln(y_2) - \ln(y_1)) \cdot (z_2 - z_1)$$

Из тригонометрии известно, что

$$\cos a = \sin(90^\circ + a).$$

Таким образом:

$$\cos(wt + \varphi_0) = \sin(90^\circ + wt + \varphi_0).$$

Это означает, что ЭДС электромагнитной индукции в контуре витка катушки опережает на 90° ток прямого проводника.

Мы уже знаем, что действующее значение ЭДС электромагнитной индукции в контуре витка катушки:

$$E_i = \frac{e_m}{\sqrt{2}} = \frac{\mu\mu_0 I_m}{\sqrt{2} \cdot 4\pi} w(\ln(y_2) - \ln(y_1) \cdot (z_2 - z_1)).$$

Действующее значение тока прямого проводника:

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}.$$

Действующее значение магнитного потока, создаваемого прямым проводником с током:

$$\Phi = \frac{\mu\mu_0 I_m}{4\pi\sqrt{2}} (\ln(y_2) - \ln(y_1) \cdot (z_2 - z_1)).$$

Примем для простоты построения векторной диаграммы $\varphi_0 = 0^\circ$ (Рис. 4). Тогда комплексные величины ЭДС электромагнитной индукции в контуре витка катушки, тока в прямом проводнике, магнитного потока этого проводника:

$$\underline{e}_i = \frac{\mu\mu_0 I_m}{\sqrt{2} \cdot 4\pi} w(\ln(y_2) - \ln(y_1) \cdot (z_2 - z_1)) e^{j(90^\circ)};$$

$$\underline{I} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} e^{j(0^\circ)};$$

$$\underline{\Phi} = \frac{\mu\mu_0 I_m}{4\pi\sqrt{2}} (\ln(y_2) - \ln(y_1) \cdot (z_2 - z_1)) e^{j(0^\circ)}.$$

Легко перейти от ЭДС электромагнитной индукции в контуре витка катушки к ЭДС электромагнитной индукции всей катушки:

$$\underline{e} = N \cdot \underline{e}_i = N \cdot \frac{\mu\mu_0 I_m}{\sqrt{2} \cdot 4\pi} w(\ln(y_2) - \ln(y_1) \cdot (z_2 - z_1)) e^{j(90^\circ)},$$

где N – количество витков катушки.

Выходная мощность катушки Роговского невелика, поэтому она не может управлять током через низкоомную нагрузку, как ТТ. Катушки Роговского могут обеспечивать входные сигналы для микропроцессорных устройств с высоким входным сопротивлением. Таким образом, будем считать нормальным режимом для катушки Роговского – режим холостого хода, т.е.:

$$\underline{e} = \underline{u},$$

где $\underline{u}$ – напряжение на выводах катушки.

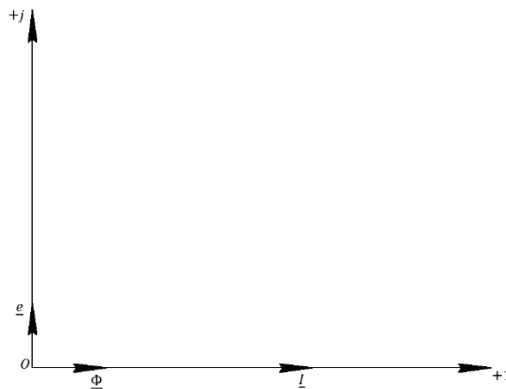


Рис. 4. Векторная диаграмма катушки Роговского

Площадь поперечного сечения одного витка:

$$S_{\text{вит}} = (y_2 - y_1)(z_2 - z_1).$$

Количество витков обмотки из известной необходимой ЭДС всей катушки и ЭДС одного витка:

$$E = N \cdot E_i;$$

$$N = \frac{E}{E_i}.$$

Длина ближней линии катушки:

$$l_1 = 2 \cdot \pi \cdot r_1 = 2 \cdot \pi \cdot y_1.$$

Расстояние между двумя витками для постоянной плотности намотки:

$$n = \frac{l_1 - N \cdot d_{\text{вит}}}{N}.$$

Выводы

В ходе статьи были рассмотрены основные задачи проектирования катушки Роговского, составлены базовые критерии для получения качественных датчиков тока. На составленных ранее критериях, был разработан алгоритм расчёта данных датчиков с возможностью проектирования в дальнейшем опытного образца.

Список использованных источников

1. Катушки Роговского – реальная альтернатива традиционным ТТ [Электронный ресурс]. – <http://digitalsubstation.com/blog/2017/05/24/katushki-rogovskogo-realnaya-alternativa-traditsionnym-tt/>.
2. А.А. Детлаф, Б.М. Яворский, М.Б. Милковская. Курс физики. Том II Электричество и магнетизм М.: Высшая школа, 1977. - 375 с.
3. О. А. Глухов, Д. О. Глухов Поволжский государственный технологический университет. Влияние сторонних магнитных полей на результаты измерений тока катушкой Роговского

УДК 006.032:621.3.08: 621.311

СТАНДАРТЫ И ПРОТОКОЛЫ ЦИФРОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ

А.С. Велиляев, И.Ф. Косыч

На сегодняшний день активно ведется внедрение новых, реконструкция и переоборудование старых подстанций на цифровые. В статье рассматриваются принятые на данный момент протоколы передачи информации и стандарты проектирования цифровых подстанций. Рассмотрены различные архитектуры подстанций.

Введение

В современных реалиях где основной уклон идет на автоматизацию и внедрение цифровых технологий, на этапе проектирования подстанций просто необходимо согласовывать работу всех отдельных элементов таких как: устройства релейной защиты, противоаварийной автоматики, автоматизированные системы управления технологическим процессом (АСУ ТП), системы коммерческого учета и контроля качества электроэнергии (АИИСКУЭ). Так как взаимодействие устройств происходит в цифровом виде, для них необходимы требования к системам передачи данных.

Цель работы

Целью данной работы является рассмотрение и анализ современных стандартов и протоколов при проектировании цифровых подстанций. Рассмотрение преимуществ их использования. Анализ структуры подстанций и глубины внедрения протоколов цифровых устройств.

Предпосылки создания

Внедрение на подстанциях систем автоматизации и управления началось с созданием и вводом в эксплуатацию энергосистем. Еще в 30-х годах прошлого века появились первые устройства дистанционного управления осуществлялись посредством телефонных линий. К 1960-м годам, уже полным ходом применялась ряд протоколов для цифровой связи, которые устанавливали способы общения и правила передачи данных между оборудованием. Достаточно долго пропускная способность каналов связи была мала для передачи всей необходимой информации, поэтому разработка и оптимизация протоколов связи системы сбора осуществлялась, исходя из этих ограничений.

С увеличением пропускной способности каналов связи и ростом вычислительных возможностей микропроцессорных устройств появилось множество протоколов передачи данных. Одним из главных требований к системам сбора данных на подстанциях является способность устройств к обмену технологическими и сервисными данными. Большое количество на рынке разработчиков устройств для нужд станций приводит к большому разнообразию протоколов передачи для каждого отдельно взятого производителя и как следствие отсутствию взаимозаменяемости и

совместимости оборудования на подстанции, а также усложнения процесса системной интеграции. Наибольшее распространение, на оборудовании подстанций, получили протоколы передачи такие как Modbus [1], МЭК 60870-5-101/103/104 [2], DNP3 (Distributed Network Protocol) [3] и другие.

Для решения задач стандартизации при проектировании цифровых подстанций (ЦПС) международная электротехническая комиссия (МЭК) с 1994 года начала работу над серией документов, которую принято обозначать как стандарт МЭК 61850, а в 2003 появилась первая редакция стандарта МЭК 61850 [4] «Сети и системы связи на подстанциях» (далее – МЭК 61850), в которой регламентируются схемные решения для подстанции, защиты, автоматики и измерений, а также конфигурация устройств и вопросы передачи информации между отдельными устройствами (Рис. 1).. Стандарт МЭК 61850 создавался как универсальное общее решение, которое позволяет унифицировать разрозненные устройства различных производителей и протоколы передачи данных, применяемых на подстанциях, а также описывает ряд требований по организации сети на всех этапах проектирования и разработки.

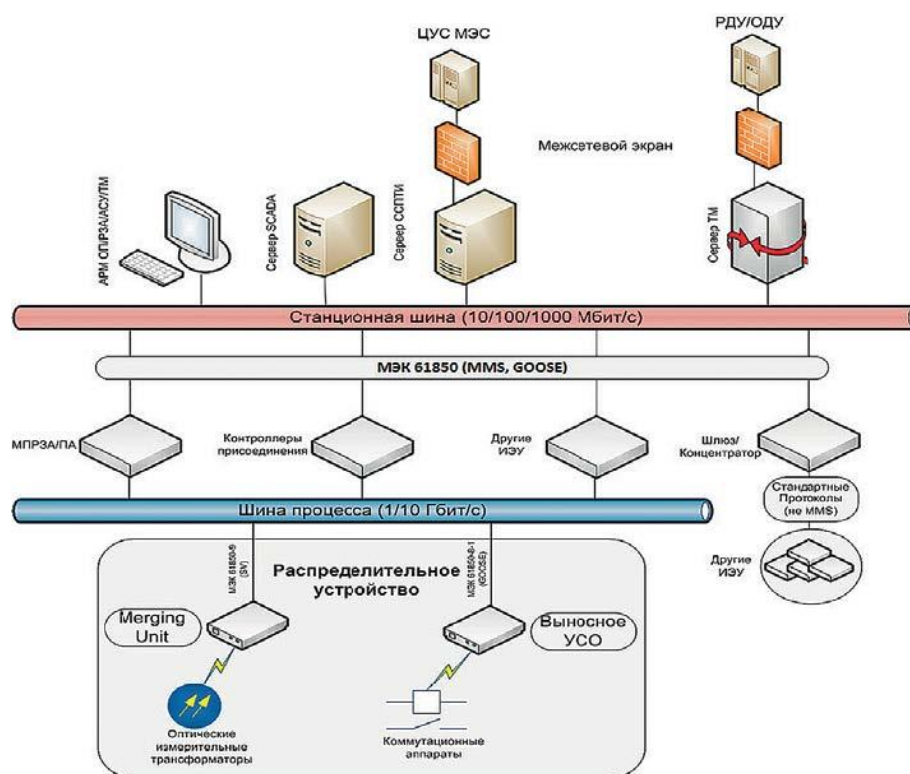


Рис. 1. Обобщенная схема цифровой подстанции по МЭК 61850

Структура ЦПС

Согласно определению термина «Цифровая подстанция», приведенному в положении ПАО «Россети» О единой технической политике в электросетевом комплексе[5], ЦПС — это высокоавтоматизированная подстанция, функционирующая, как правило, без присутствия постоянного дежурного оперативного персонала, и оснащенная взаимодействующими в режиме единого времени цифровыми информационными и управляющими системами: автоматизации, контроля, мониторинга и диагностики состояния, учета, местного и удаленного управления

технологическими процессами, связи, обеспечивающими единое информационное пространство и выполненными на основе единых протоколов передачи данных (SV-потоков, GOOSE-сообщений, MMS).

При проектировании ЦПС должна соответствовать критериям:

- дистанционная наблюдаемость параметров и режимов работы оборудования и систем;
- обеспечение дистанционного управления оборудованием и системами для эксплуатации ПС;
- высокий уровень автоматизации управления оборудованием и системами с применением автоматизированных систем управления;
- дистанционная управляемость всеми технологическими процессами в режиме единого времени;
- цифровой обмен данными между всеми технологическими системами в едином формате;
- интегрированность в систему управления электрической сетью и предприятием, а также обеспечение цифрового взаимодействия с соответствующими инфраструктурными организациями (со смежными объектами);
- функциональная и информационная безопасность при цифровизации технологических процессов;
- непрерывный контроль с применением АСМД основного технологического оборудования и систем в режиме онлайн с передачей необходимого объема цифровых данных, контролируемых параметров и сигналов.

Стандарт МЭК 61850 определяет три основных протокола передачи данных:

1. Протокол МЭК 61850-8-1 MMS (Manufacturing Message Specification – стандарт ISO/IEC 9506) – протокол передачи данных реального времени и команд диспетчерского управления по технологии «клиент–сервер». Служит для передачи данных телесигнализации и телеизмерений, команд телеуправления.

2. Протокол МЭК 61850-8-1 GOOSE (Generic Object Oriented Substation Event) – протокол передачи данных о событиях на ПС. Протокол служит для замены дискретных сигналов на цифровые.

3. Протокол МЭК 61850-9-2 SV (Sampled Values) определяет правила передачи оцифрованных значений (отсчетов) токов и напряжений от измерительных трансформаторов. Протокол дает возможность исключить цепи переменного тока, соединяющие устройства РЗА с ТТ и ТН и получать измерения по цифровому каналу связи.

В зависимости от задач, поставленных при проектировании ЦПС, а также решаемых задач по управлению, при рассмотрении глубины внедрения цифровых протоколов определяют три основные архитектуры (Рис. 2), разработанные на основе стандарта МЭК 61850:

Первая архитектура подразумевает обмен информацией между устройствами в форме дискретных и аналоговых электрических сигналов. Информационный обмен с верхним уровнем осуществляется по протоколу МЭК 61850-8-1 MMS.

Вторая архитектура обладает более расширенным применением цифровых протоколов. Взаимодействие между устройствами выполняется объектно-ориентированными GOOSE-сообщениями; информационный обмен с верхним уровнем осуществляется по протоколу МЭК 61850-8-1 MMS; измерения тока и напряжения передаются в виде аналоговых сигналов по обычным электрическим цепям.

Третья архитектура подразумевает глубокую интеграцию информационных процессов на всех уровнях ЦПС. Взаимодействие между ИЭУ РЗА выполняется

посредством GOOSE сообщений; информация от измерительных устройств передается в цифровом виде с применением протокола передачи мгновенных значений (SV-поток); информационный обмен с верхним уровнем осуществляется по протоколу МЭК 61850-8-1 MMS.



Рис. 2. Архитектуры ЦПС

Критерии для применения различных архитектур при построении или переоборудовании подстанций:

Архитектура I применяется при некомплексной или частичной реконструкции ПС с большим объемом оборудования, отработавшего до 15-20 лет.

Архитектура II применяется при новом строительстве и комплексной реконструкции ПС.

Архитектура III применяется только для отработки новых технологий, подтверждения или выявления новых технико-экономических эффектов.

Стандарт МЭК 61850 определяет трехуровневую структуру информационного обмена, которая включает уровни: процесса, присоединения и уровень первичного оборудования (рис. 3).

Типичная схема цифровой подстанции представлена на рисунке 3, топология которой в наибольшей степени удовлетворяет всем возможным уровням взаимодействия оборудования и организации связи между ними на основе протокола цифровых подстанций МЭК61850.

Отдельное внимание стоит обратить на информационную безопасность цифровых подстанций. По стандарту МЭК 61850 передача данных осуществляется с помощью привычных Ethernet каналов. На уровне первичного оборудования уязвимы, с точки зрения кибератак, устройства при передаче данных (SMV, GOOSE). На втором уровне уязвимы все микропроцессорное оборудование (терминалы РЗА, регистраторы, контроллеры и т.д.), а также каналы передачи данных (MMS, GOOSE). Верхний уровень наиболее ответственный и наиболее подвержен угрозам со стороны злоумышленников. Под удар могут попасть и АРМ диспетчера, в котором данные всей системы, и сервер, и синхронизаторы времени, и те же самые каналы связи. Все уровни объединяют каналы связи, по которым осуществляется передача информации, сигналов управления и др. Одним из недостатков можно считать риск при возможном внедрении вредоносного кода в какое-либо подключаемое интеллектуальное оборудование на станции хоть это и маловероятно.

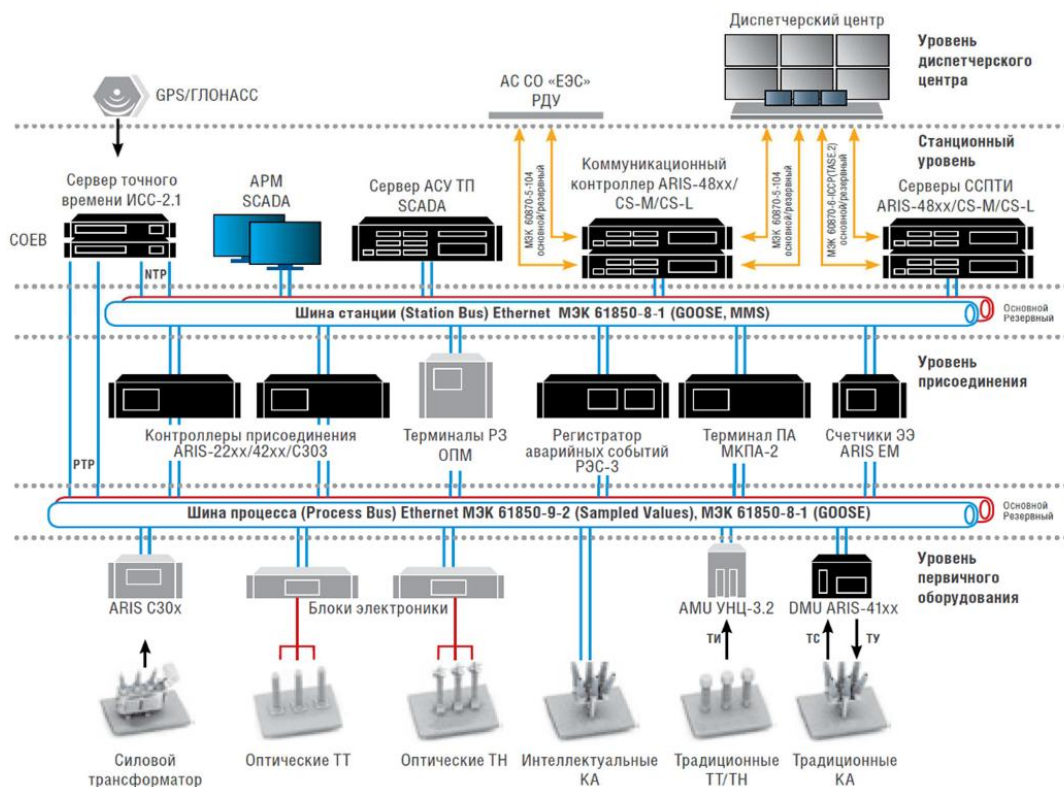


Рис. 3. Схема ЦПС

Преимущества использования МЭК 61850

Унификация типов данных используемых от различного оборудования упрощает их взаимодействие. Различные подсистемы защиты, управления, измерения, учета, мониторинга состояния при выполнении своих функций используют общую коммуникационную сеть, по которой получают данные о значениях напряжений, токов, состоянии коммутационных аппаратов, передают и принимают управляющие команды. Нет необходимости в наличии индивидуальных устройств коммуникации, измерения, обработки информации для каждой из перечисленных подсистем. Использование общих шин обмена данными позволяет заменить традиционное кабельное подключение к первичному оборудованию на Ethernet, а также преобразовать первичные электрические величины в цифровые значения для реле защиты и других электронных устройств получаемые через оптоволокно. Способность глубокой самодиагностики цифровых устройств обеспечивает высокую надежность подстанции. Любое ухудшение работоспособности можно сразу зафиксировать и проанализировать, этому способствует избыточность данных в системе, которые могут быть использованы для исправления неполадок, что и позволяет выполнять поиск неисправностей без необходимости каких-либо отключений системы в первичной сети. Так же интеллектуальные системы позволяют значительно снизить затраты на обслуживание различных устройств. Обмен данными между интеллектуальными устройствами, как на самой подстанции, так и между межрегиональными подстанциями, может быть организован через Ethernet. Прямая взаимосвязь между подстанциями, без необходимости транзита данных через центр управления, уменьшают время реагирования [6].

Выводы

В результате изучения различных источников мы пришли к выводу, что на сегодняшний день активно ведется внедрение новых технологий дистанционного управления оборудования и создания для них новых стандартов и протоколов. С каждым годом появляются новые технологии, благодаря которым увеличивается вычислительные возможности передачи данных что приводит к появлению новых протоколов передачи. Унификация протоколов передачи и введение международного стандарта позволило решить проблему совместимости между интеллектуальными электронными устройствами. При проектировании и создании подстанций пользуются международным стандартом МЭК 61850 и протоколами: МЭК 61850-8-1 MMS, МЭК 61850-8-1 GOOSE и МЭК 61850-8-1 SV. Использование этих протоколов позволяет дает множество преимуществ при масштабировании и эксплуатации устройств подстанций.

Список использованных источников

1. MODBUS APPLICATION PROTOCOL SPECIFICATION URL : https://modbus.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1b.pdf (дата обращения: 15.05.2022).
2. Устройства и системы телемеханики «Протоколы передачи» URL : <https://docs.cntd.ru/document/1200044527> (дата обращения: 15.05.2022).
3. Ken Curtis. DNP3 Primer, Revision A. [https://www.dnp.org/Portals/0/AboutUs/DNP3 Primer Rev A.pdf](https://www.dnp.org/Portals/0/AboutUs/DNP3_Primer_Rev_A.pdf) (дата обращения: 15.05.2022).
4. Аношин А. О. Протоколы связи в электроэнергетике и предпосылки для разработки МЭК 61850 / А.О. Аношин, А.В. Головин – Новости ЭлектроТехники. – 2012. – №3 (75). – 112 с.
5. Положение ПАО «Россети» «О единой технической политике в электросетевом комплексе» URL : <http://www.rosseti.ru/investment/science/tech/doc/tehpolitika.pdf> (дата обращения: 15.05.2022).
6. Елифанов А.М. В цифровых подстанция мы видим огромный потенциал / А.М. Елифанов // Электроэнергия. Передача и распределение, 2016. №1 (34).
7. Промышленные сети учеб. пособие / А.А. Титаев Мин-во науки и высшего образования РФ.— Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2020.— 124 с.
8. Цифровизация энергообъектов: задачи и их решения / Е. С. Воробьев, В. А. Наумов, В. И. Антонов [и др.] // Проблемы и перспективы развития энергетики, электротехники и энергоэффективности : Материалы III Международной научно-технической конференции, Чебоксары, 14–16 ноября 2019 года. – Чебоксары: Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, 2019. – С. 267-272.

УДК 621.31

ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ РЕШЕНИЙ И ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ ДАТЧИКОВ НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ ЭНЕРГЕТИКИ

В.М. Завьялов, Н.Н. Смокталь, В.А. Кирченков, В.В. Гаврилец

На сегодняшний день развитие распределительных сетей, включающее в себя цифровизацию оборудования электрических станций и подстанций, внедрение новых технических требований к измерительным устройствам требует создания новых типов измерительных устройств.

Существующие решения в части измерительных устройств высокого напряжения не всегда обеспечивают необходимый уровень интеграции в системы измерения и управления.

В статье приводится обзор существующих технических решений измерительных устройств, рассмотрены их преимущества и недостатки, а также показана необходимость создания новых типов измерительных устройств высокого напряжения.

Введение

В настоящее время в электроэнергетике для измерения первичных напряжений применяются преимущественно электромагнитные трансформаторы напряжения (ТН), а также емкостные трансформаторы напряжения.

Помимо них находят свое применение оптические трансформаторы напряжения, устраняющие ряд недостатков электромагнитных ТН.

С ростом цифровизации электроэнергетических сетей возникает задача усовершенствования существующих типов измерительных устройств, а также создания новых типов датчиков напряжения.

Цель работы

В последние годы появляются различные средства измерения напряжения в электроэнергетических системах, основанные на принципах, отличающихся от классического трансформатора напряжения.

В связи с этим, целесообразным становится вопрос изучения и анализа технических решений и физических принципов, лежащих в основе измерений напряжения, сравнение их технико-экономических характеристик и определение направлений наиболее перспективных решений в этой области, что и является целью исследований, производимых в данной работе.

Достоинства и недостатки существующих решений в области датчиков напряжения

К достоинствам электромагнитных ТН относится простота принципа действия и конструкции. Они содержат на магнитопроводе первичную обмотку с главной изоляцией и вторичную обмотку.

Емкостные трансформаторы напряжения имеют схожую конструкцию с электромагнитными. Особенностью емкостных ТН является наличие емкостного делителя напряжения и того же электромагнитного ТН, но с меньшим первичным напряжением, сниженного на коэффициент делителя (Рис.1).

Существует два главных требования, которые предъявляются к высоковольтным трансформаторам напряжения:

- электробезопасность эксплуатирующего персонала и вторичных цепей измерения, что обеспечивается наличием высоковольтной изоляции между первичными и вторичными измерительными цепями ТН;
- точность измеренной величины первичного напряжения.

Недостатками электромагнитных ТН являются феррорезонансные явления, обусловленные индуктивностью ТН, вызывающие значительное повышение напряжения на ТН, что может привести к пробоем главной изоляции. Анализ технологических нарушений в работе электромагнитных ТН 110-750 кВ показывает, что на внутренние перенапряжения приходится около 80 % случаев [1].

Применение делителей напряжения, таких как емкостные и резистивно-емкостные имеет ряд недостатков. К недостаткам резистивных делителей относятся проблемы с температурным коэффициентом сопротивления, что увеличивает погрешность измерений. Также сфера применения резистивных делителей ограничена малыми значениями измеряемого напряжения.

Промышленно применяемые емкостные делители напряжения имеют низкую точность измерений. Погрешность по напряжению достигает 5 %.

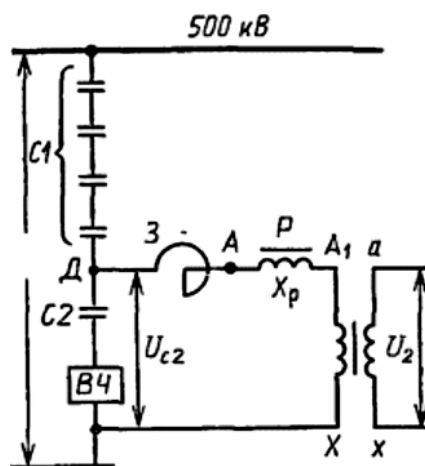


Рис. 1. Схема емкостного делителя напряжения

Подходы к построению измерительных систем изменяются. Не ослабевает интерес к датчикам напряжения, основанным на использовании эффекта Поккельса [2]. Работа таких датчиков основана на возникновении двойного лучепреломления в оптических средах при наложении постоянного или переменного электрического поля (рис. 2), данный эффект можно наблюдать у пьезоэлектриков.

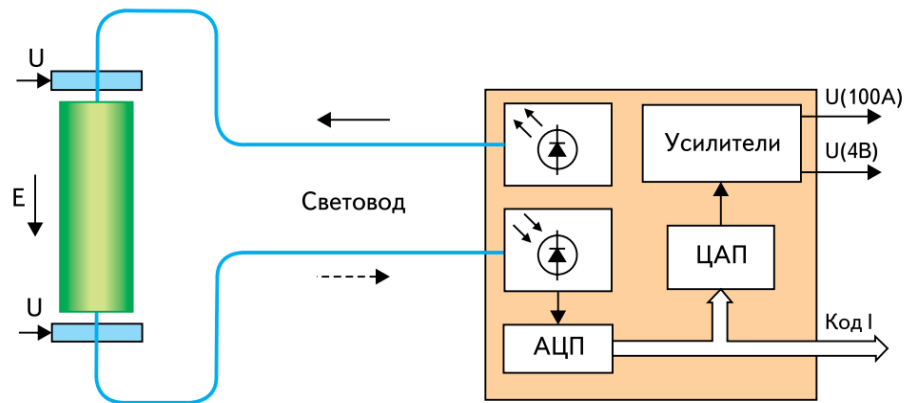


Рис. 2. Упрощенная структурная схема оптического датчика напряжения с электронно-оптическим блоком

Этот эффект прямо пропорционален величине приложенного электрического поля. Измеренное напряжение рассчитывается датчиками напряженности электрического поля в нескольких точках колонны.

К достоинствам оптических датчиков напряжения относятся:

- широкий динамический диапазон измерений, до сотен кВ;
- высокая линейность, в отличие от электромагнитных ТН;
- высокий класс точности;
- отсутствие влияния нагрузки вторичных цепей, в отличие от электромагнитных ТН;
- меньшие массогабаритные показатели.

Данные решения также не лишены недостатков. Недостатками оптических датчиков напряжения является температурная зависимость точности измерений. Изменения температуры могут привести к расширению и увеличению концентрации электрооптических кристаллов из-за свойств материала, что влияет на точность измерений [3,4], также данные датчики чувствительны к электромагнитным полям от внешних источников.

Кроме того, оптические датчики напряжения являются высокоточным прибором и их применение в промышленных масштабах ограничивается их высокой стоимостью производства и легкостью повреждения при транспортировке.

Перспективы развития датчиков напряжения

Перспективным решением является бесконтактный способ измерения напряжения, основанный на расчете потенциала измеряемой линии исходя из измеренных значений электрического поля бесконтактным способом. Примером таких измерительных устройств являются D-dot датчики электрического поля (рис. 3) [5].

D-dot датчик – это электронный датчик, работающий по принципу связи электрического поля. Данный тип датчика может собирать информацию об электрическом поле непосредственно в области установки датчика, избегая тем самым электрического контакта с проводником. Кроме того, выходной сигнал датчика пропорционален величине напряженности электрического поля в пространстве. Полученное значение напряженности электрического поля в месте расположения датчика, а затем и значение трехфазного напряжения может быть рассчитано с использованием интегрального алгоритма Гаусса.

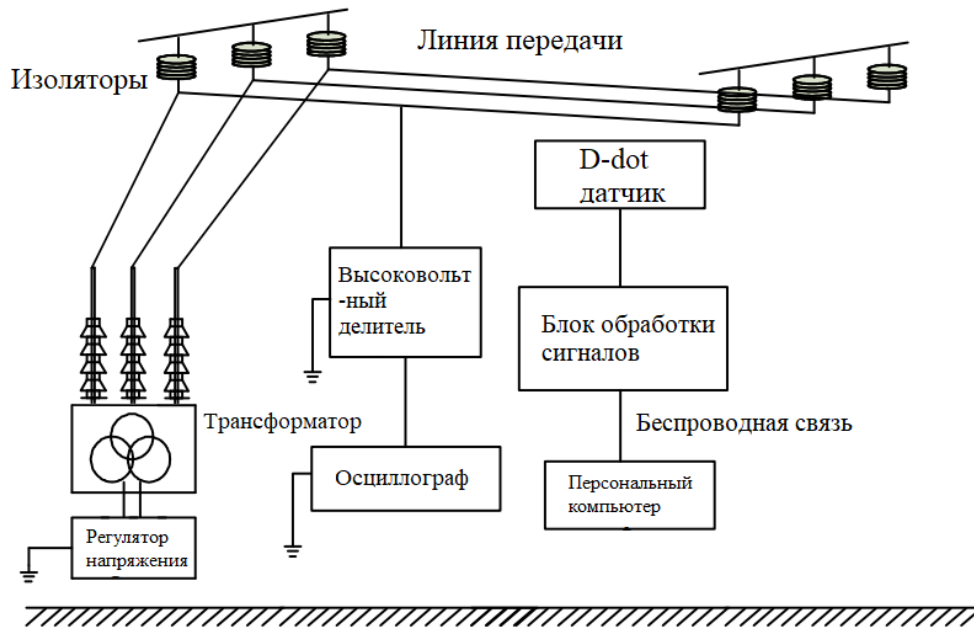


Рис. 3. Принципиальная схема системы измерения напряжения линии электропередачи

На рис. 3 показана схема верификации измеренных датчиком поля значений напряжения.

В ходе эксперимента производится сравнения эталонных значений измеренного напряжения, полученных при помощи высоковольтного делителя и осциллографа со значениями напряжения, измеренными при помощи D-dot датчика.

Полученные данные свидетельствуют о погрешности измерений порядка 1 %, что свидетельствует о достоверности применяемого метода измерений.

Достоинствами D-dot датчиков являются:

- отсутствие гальванической связи между датчиком и измеряемой цепью;
- широкий диапазон измеряемых значений напряжения и частот;
- не требуется внешний источник питания для работы датчика.

Ещё одним направлением совершенствования измерительных устройств является оснащение их цифровыми каналами связи с поддержанием протоколов передачи информации в соответствии с МЭК 61850-9-2.

На текущий момент совершенствование измерительных устройств ведётся в области поиска новых решений для первичных измерительных цепей.

Выводы

В ходе анализа существующих типов измерительных устройств высокого напряжения определены их достоинства и недостатки. Стремительный рост цифровизации электроэнергетических систем, внедрение новых протоколов обмена информацией ставит задачу создания новых, более совершенных систем измерения напряжения в электроэнергетических системах.

Список использованных источников

1. Гречухин В.Н. Электронные трансформаторы тока и напряжения. Состояние, перспективы развития и внедрения на ОРУ 110-750 кВ станций и подстанций энергосистем: «Вестник ИГЭУ», Вып. 4, 2006.
2. Santos, J.C.; Taplamacioglu, M.C.; Hidaka, K. Pockels high-voltage measurement system. IEEE Trans. Power Deliv. 2000, 15, 8–13.
3. Wang, H.; Li, K.; Ding, H.; Ma, K.; Feng, S. Research on Improvement of Temperature Stability of Optical Voltage Transducer. In Proceedings of the International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation, Changsha, China, 25–26 October 2014; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2015; pp. 534–538.
4. Luo, S.N.; Ye, M.Y.; Xu, Y. Stability research on optical fiber voltage transformer. Proc. CSEE 2000, 20, 15–19.
5. Wetula, A.; Bien, A.; Parekh, M. New Sensor for Medium and High-Voltage Measurement: Energies, 14, 4654, 2021.

УДК 629.064

СВЕРХПРОВОДЯЩИЙ ИНДУКТИВНЫЙ НАКОПИТЕЛЬ КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

В.Н. Третьяченко, В.В. Смирнов

Введение

В соответствии с данными Института Электроэнергетических исследований, 80 - 90 % проблем качества энергоснабжения являются результатом отключений или перерывов электроснабжения. Это обусловило развитие накопителей электроэнергии, разработка которых становится ключевой задачей электроэнергетики. Сверхпроводящие индуктивные накопители энергии, имеют широкие перспективы использования. Подобное устройство может хранить энергию сколь угодно в виде энергии магнитного поля. Эта технология нацелена особенно на промышленные производства, где она может обеспечить защиту устройств, таких как технологическое оборудование и приводы, от кратковременных нарушений в энергоснабжении.

Цель работы

Цель данной работы – оценить возможность технического применения в электроэнергетике сверхпроводящих индуктивных накопителей энергии, в сравнении с традиционно используемыми.

Сверхпроводящие индуктивные накопители энергии

Сверхпроводящий индуктивный накопитель энергии (СПИН) - это система хранения энергии. В катушке, охлажденной до критической температуры, при которой потери на сопротивление незначительны, энергия накапливается в виде магнитного поля, которое создается при протекании в ней тока.

Этот вид накопителей отличается от других тем, что в накопителе непрерывно циркулирующий ток протекает в сверхпроводящей катушке, что создает магнитное поле для накопления энергии. Следовательно, процесс преобразования энергии происходит только от переменного тока к постоянному, и нет присущих другим накопителям потерь, связанных с преобразованием одного вида энергии в другую.

Накопленная энергия может подаваться обратно на подключенную нагрузку или в электрическую сеть путем преобразования электроэнергии из магнитной энергии путем разрядки сверхпроводящей катушки.

Альтернативой этой системе являются гидроаккумулирующие электростанции. Но трудности с ними заключаются в низкой эффективности, медленном отклике, потерях энергии при установке вдали от центров нагрузки.

Структура СПИН

Основными компонентами СПИН являются: сверхпроводящая катушка, ферромагнитный сердечник и охлаждающая жидкость.

Накопление и хранение энергии в обычном индукторе или в катушке трудно выполнимо из-за высокого омического сопротивления катушки. Его можно уменьшить путем снижения температуры проводника, и для этой цели используется охлаждающая жидкость в системе.

По основным характеристикам сверхпроводники делятся на две группы. Высокотемпературные и низкотемпературные сверхпроводники. Высокотемпературные охлаждаются при 77 К с использованием жидкого азота (LN2), а низкотемпературные обычно охлаждаются с использованием жидкого гелия (LHe) при 4,4 К. Наиболее эффективными и коммерчески доступными сверхпроводящими (СП) материалами для СПИН являются сплавы ниобия и титана (NbTi). При температуре 4,4 К они могут пропускать ток до 2000 А/мм² при магнитном поле 5 Тл.

Ферромагнитный сердечник внутри сверхпроводящей катушки увеличивает способность СПИН к хранению энергии магнитного поля. Для небольших СПИН обычно используются соленоиды, потому, что они имеют простую конструкцию и легче справляются с электромагнитными силами. По мере увеличения размера применяется тороидальная катушка. Её основным преимуществом является естественное низкое рассеянное поле, поскольку оно содержится только внутри отверстия магнита. В свою очередь, недостатком является то, что проводник в тороидальной катушке накапливает только половину энергии, которую может запасти в соленоиде.

Электрическая схема СПИН

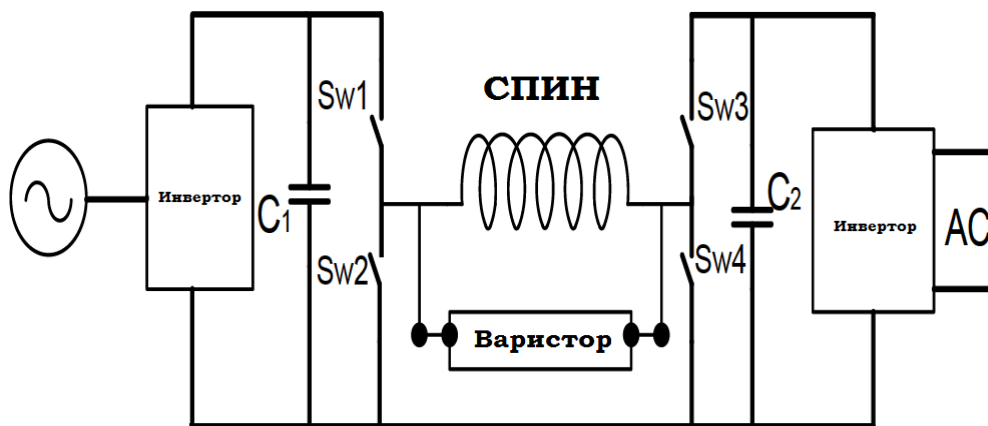


Рис.1. Электрическая схема СПИН

Возможная конфигурация электрической схемы СПИН показана на рис. 1. Её основными частями являются два инвертора, два конденсатора, четыре переключателя и варистор.

Преобразователь выдает питание постоянного тока для зарядки аккумулятора, переключает условия зарядки и разрядки. СПИН заряжается, когда переключатели Sw1 и Sw4 закрыты, а Sw2 и Sw3 открыты, и разряжается, когда переключатели Sw2 и Sw3 закрыты, а Sw1 и Sw4 открыты. Конденсаторы предназначены для выпрямления на входной и выходной стороне. Варистор используется для защиты от перенапряжения. Инвертор используется для подачи питания на нагрузку переменного тока.

Перспективы применения СПИН:

Коммерциализация СПИН и его применение в энергетических объектах – это направление, которое стало усиливаться после запуска в эксплуатацию в энергосистему ВРА в г. Такома в 1985 г. СПИН энергоемкостью 30 МДж [1]. Это определяется тем, что обобщение опыта разработки и эксплуатации первого в мировой истории СПИН позволило уточнить и улучшить конструктивные и эксплуатационные параметры, обеспечив самокупаемость таких систем в отдельных энергетических объектах. Системы различного конструктивного исполнения обеспечивают в настоящее время защиту чувствительного оборудования заказчика в химической, пластмассовой и бумажной промышленности, научных установок и военных центров обработки данных.

Первая СПИН система, сконструированная как защита от падения напряжения была разработана и установлена на современной бумажной фабрике в Стейнджере штата Эском в Южноафриканской национальной системе электроснабжения в апреле 1997 г.

Промышленный СПИН был использован для защиты от кратковременных падений напряжения, действующих на производственное оборудование по изготовлению автозапчастей, в Австрии. Он управлял электрической системой Стеваг-Стег и предоставлял возможность проскакивать падения напряжения длительностью до 0.8 с, имея управляющую мощность 1.4 МВт [2].

Внедрение высокотемпературных СП проводов с высокой критической температурой позволяют работать при более высоких температурах, что может снизить эксплуатационные расходы на криогенные установки, а также значительно снизить стоимость самой установки, сделать СПИН более стабильным и менее чувствительным к внешним возмущениям. Кроме того, при работе при более высоких температурах электрическая изоляция может быть толще, что позволит увеличить мощность за счет более высокого рабочего напряжения. Однако в больших системах криогенные затраты составляют лишь ограниченную долю от общей стоимости. Также стоит учесть, что стоимость существующих высокотемпературных проводников на два порядка выше чем применяемых. Областью применения СПИН, которые используют высокотемпературную сверхпроводимость, станут проблемы энергоснабжения, такие как кратковременное падение напряжения и перенапряжение.

Можно вывести следующие достоинства применения СПИН:

- Способность накапливать и разряжать большое количество энергии;
- Высокая эффективность (более 90%);
- Быстрое время отклика (менее 100 мс);
- Отсутствие движущихся частей.;
- Низкие эксплуатационные расходы;
- Уникальные характеристики выходной мощности системы и удельной мощности (кВт / кг);
- Широкий диапазон режимов работы.

Наряду с достоинствами СПИН имеет недостатки:

- Требуется большое количество энергии, чтобы поддерживать катушку при низкой температуре;
- Высокая первоначальная стоимость;
- Проблема механической стабильности.

Перспективы применения СПИН в энергосистемах:

Возможность установки в системе с «распределенной генерацией» (ветропарк, солнечные батареи и пр.) для регулировки колебаний мощности, подавления высоко- и низкочастотных колебаний, и стабилизации напряжения

Возможность установки на станциях зарядки электротранспорта, в сетях, работающих с электротранспортом, и на мощных транспортных средствах.

В комбинации с другими видами накопителей или самостоятельно для регулирования суточных колебаний мощности крупной энергосистемы или станции (АЭС) [2].

Выводы

1. СПИН представляет собой перспективную разработку, применение которой может повысить эффективность и надёжность электроснабжения. Особенно она подходит для источников питания короткого действия. Таким образом, это отличное решение для таких применений, как импульсные источники питания, источники бесперебойного питания или источники питания для электросетей. Препятствием для широкой коммерциализации СПИН остаются высокие капитальные затраты.

2. Разработки по созданию сверхпроводящих индуктивных накопителей энергии с однослойной СП обмоткой обеспечивают как снижение расхода СП провода, себестоимости обмотки СПИН, так и улучшение условий охлаждения, позволяющее снизить удельный вес стабилизирующей медной или алюминиевой матрицы и, соответственно, дополнительно массу и габариты СП катушки.

3. Снижению стоимости катушки СПИН и криогенной техники могут способствовать исследования по предотвращению преобразования энергии магнитного поля в тепловую, выделяющуюся в СП проводнике. Подобные разработки позволили бы дополнительно уменьшить массу и объем стабилизирующей матрицы СП провода и улучшить условия работы криогенного оборудования.

4. В роли проводника для СПИН целесообразно применять сплав NbTi, который является низкотемпературным СП материалом. Для его охлаждения используют установки с жидким гелием. Постепенное усовершенствование больших криоохлаждающих может продлить цикл технического обслуживания и снизить электрическую нагрузку на холодильную установку. Однако эта система всё равно остаётся дорогостоящей с точки зрения капитальных вложений и эксплуатационных расходов.

5. Возможным улучшением может стать внедрение высокотемпературных СП проводов с высокой критической температурой.

Список использованных источников

1. В.В. Бушуев и др. «Динамические свойства энергообъединений». М.: Энергоатомиздат, 1995.
2. Ш.И. Лутидзе, Э.А. Джафаров, Ф.Ф. Юлдашев ОАО «Энергетический институт им. Г.М. Кржижановского», 119991, Москва, Россия

УДК 629.064.5

ИССЛЕДОВАНИЕМ ВЛИЯНИЯ ПРОВАЛОВ НАПРЯЖЕНИЯ НА РАБОТУ СТАТИЧЕСКОЙ И ВРАЩАЮЩЕЙСЯ НАГРУЗКИ

И.И. Зеленский, Ю.А. Майорова

Во многих случаях изменение качества входного напряжения в электросети обуславливается провалами напряжения. Так в соответствии с ГОСТ 32144-2013 называют кратковременное снижение напряжения в конкретной точке электрической системы, когда оно опускается ниже порогового значения. В производственных условиях провалы напряжения приводят к таким негативным последствиям, как: снижение мощности и более быстрый износ электродвигателей, снижение интенсивности светового потока осветительной нагрузки, сбои в работе приборов учета электроэнергии и устройств управления электрическими преобразователями, нарушение работы сварочных аппаратов. В совокупности последствия провалов напряжения на предприятии приводят к ухудшению качества выпускаемой продукции. В данной статье рассмотрены существующие и перспективные способы предотвращения провалов.

Введение

Для промышленного предприятия провалы напряжения чреваты ухудшением качества продукции (например, из-за плохой проварки шва), дополнительными затратами на ремонт оборудования, недоотпуском продукции. Это приводит к ухудшению репутации компании, что является причиной потери прибыли. Следовательно, очень важно при проектировании электроснабжения предприятия особое внимание уделить выбору мер по защите электроприемников от провалов напряжения. А для этого необходимо иметь четкое представление о тех физических процессах, которые происходят в приемниках при снижении питающего напряжения.

Цель работы

Целью данной работы является исследование влияния провалов напряжения на работу статической и вращающейся нагрузки.

Влияние провалов напряжения на работу статической нагрузки

Провал напряжения оказывает негативное влияние на все виды приемников электрической энергии. При понижении подводимого напряжения больше, чем на 10% процесс плавки стали удлиняется 1,7-1,8 раз. Следовательно, возрастает и количество потребляемой энергии. Провалы напряжения сказываются на работе сварочных аппаратов и приводят к некачественному провару шва. Отдельное внимание стоит уделить осветительной нагрузке. Лампы накаливания при снижении напряжения на 10% от номинального снижают световой поток приблизительно на 40 %. При пониженном напряжении ухудшаются условия зажигания люминесцентных ламп,

следовательно, срок службы, определяемый распылением оксидного покрытия электродов, сокращается.

Влияние провалов напряжения на работу вращающейся нагрузки

При снижении напряжения подводимого к зажимам асинхронного двигателя увеличивается его скольжение, то есть уменьшается скорость вращения ротора. Снижение частоты вращения приводит к увеличению длительности технологического процесса. Увеличивается удельный расход электрической энергии на единицу выпускаемой продукции (приблизительно 0,3% на 1% уменьшения напряжения). Также при провале напряжения наблюдается увеличение потребляемого активного тока. Также увеличивается реактивная мощность рассеяния, а реактивная мощность намагничивания уменьшается. Все это приводит к дополнительному нагреву двигателя. Поэтому необходимо помнить, что работа двигателя при пониженном напряжении сопровождается снижением его срока службы.

Электромагнитный момент асинхронного электродвигателя прямо пропорционален квадрату приложенного напряжения к зажимам.

$$M_1 = \frac{m_1 p U_1^2 (r_2' / s)}{9,81 \cdot 2\pi \cdot f [(r_1 + r_2' / s)]^2 + (x_1 + x_2')^2} \quad (1)$$

где p – число пар полюсов

U – приложенное напряжение, В.

r_2 – активное сопротивление ротора, Ом.

r_1 – активное сопротивление обмотки статора, Ом.

x_1 – индуктивное сопротивление обмотки статора, Ом.

x_2 – индуктивное сопротивление ротора, Ом.

s – скольжение

f – частота питающей сети, Гц.

Выводы

В общем случае влияние провалов напряжения оказывает негативное влияние на работу приемников и потребителей электрической энергии. Общим неприятным эффектом для всех видов нагрузки является снижение срока службы. Следовательно, на предприятии необходимо осуществлять контроль качества электрической энергии с помощью стационарных и переносных комплексов. По полученным данным принимать решение о бесперебойности питания приемников электрической энергии путем резервирования питания, применения автономных источников питания, а также повышения быстродействия средств автоматики.

Список использованных источников

1. Б. И. Кудрин, Б. В. Жилин, Ю. В. Электроснабжение потребителей и режимы // учебное пособие для вузов. М – 411с.
2. Карташев И.И. Провалы напряжения. Реальность прогнозов и схемные решения защиты // Новости ЭлектроТехники. 2004. № 5(29).

3. Бородин Д.В. Автоматизированный контроль качества электроэнергии на промышленных предприятиях // Вестник НТУУ «ХПИ». 2011. № 3.
4. Гуров А.А., Сергунов Ю.А. Обоснование методики статистического исследования провалов напряжения в системах электроснабжения общего назначения // Энергобезопасность и энергосбережение. М.: изд. Московского института энергобезопасности и энергосбережения, 2009. № 1.
5. Гулага М.А. Средства для повышения надежности электроснабжения промышленных потребителей // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. - 2010. - № 2.

УДК 621.316.925

ОБЗОР ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ДЛЯ СИСТЕМ ДУГОВОЙ ЗАЩИТЫ КОМПЛЕКТНЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

К.К. Санников, К.Н. Малиновский

Проведен анализ современных оптических датчиков для систем дуговой защиты комплектных распределительных устройств, определены преимущества, а также перспективы ее применения.

Введение

Своевременное обнаружение коротких замыканий (КЗ), сопровождающихся открытой электрической дугой, является одной из важнейших задач при разработке систем релейной защиты комплектных распределительных устройств (КРУ) электрических подстанций 6 - 35 кВ. Для этой цели применяются разные подходы, из которых наиболее перспективным считается обнаружение оптического излучения вспышки электрической дуги.

Цель работы

В работе рассматривается то, какой вред электрическая дуга может нанести оборудованию КРУ и здоровью обслуживающего персонала, а также обсуждаются основные методы ее обнаружения, применяемые на практике. В частности, описывается волоконно-оптический датчик на основе компонентов компании Avago Technologies (сейчас Broadcom Limited), как одно из наиболее эффективных решений.

Электрическая дуга

Электрический пробой между токоведущими частями обычно связан с наличием электрического поля большой напряженности, под влиянием которого с поверхности проводника вырываются электроны. Электроны ускоряются полем и сталкиваются с нейтральными атомами, что приводит к их ионизации. Образовавшиеся свободные электроны и ионы находятся в состоянии плазмы, имеющей проводимость, близкую к проводимости металла. Это явление называется дуговой электрический разряд [1, 7].

В створе электрической дуги создается очень высокая температура (несколько тысяч градусов по Цельсию). В окружающее пространство выделяется большое количество тепловой энергии, резко повышается давление. Также в результате столкновения электронов и атомов происходит испускание фотонов, поэтому электрическая дуга сопровождается яркой вспышкой света. Под влиянием мощного электромагнитного поля столб электрической дуги может перемещаться по силовым линиям, вызывая разрушения прилегающих отсеков КРУ. Скорость распространения может достигать 200 м/с [2, 3].

Важным моментом является то, что процессы происходят за доли секунды. В табл. 1 показано, к каким последствиям может привести горение электрической дуги [1].

Таблица 1 - Ущерб, причиняемый в результате длительного горения электрической дуги

Время, мс	Процесс	Влияние
0	Возникновение электрической дуги	
5	Амплитуда мощности оптического излучения достигает первого максимума	Воздействие на зрение
10	Ударная волна достигает максимума	Разрушение оборудования Травмы от разбрасываемых осколков Воздействие на слух
100	Плавление концевой заделки кабелей	Разрушение материалов Выделение токсичных газов Возгорание Ожоги
150	Плавление меди	
200	Плавление стали	

Электрическая дуга в КРУ

Электрический пробой между токоведущими частями обычно связан с наличием электрического поля большой напряженности, под влиянием которого с поверхности проводника вырываются электроны. Электроны ускоряются полем и сталкиваются с нейтральными атомами, что приводит к их ионизации. Образовавшиеся свободные электроны и ионы находятся в состоянии плазмы, имеющей проводимость, близкую к проводимости металла. Это явление называется дуговой электрический разряд [1, 7].

В створе электрической дуги создается очень высокая температура (несколько тысяч градусов по Цельсию). В окружающее пространство выделяется большое количество тепловой энергии, резко повышается давление. Также в результате столкновения электронов и атомов происходит испускание фотонов, поэтому электрическая дуга сопровождается яркой вспышкой света. Под влиянием мощного электромагнитного поля столб электрической дуги может перемещаться по силовым линиям, вызывая разрушения прилегающих отсеков КРУ. Скорость распространения может достигать 200 м/с [2, 3].

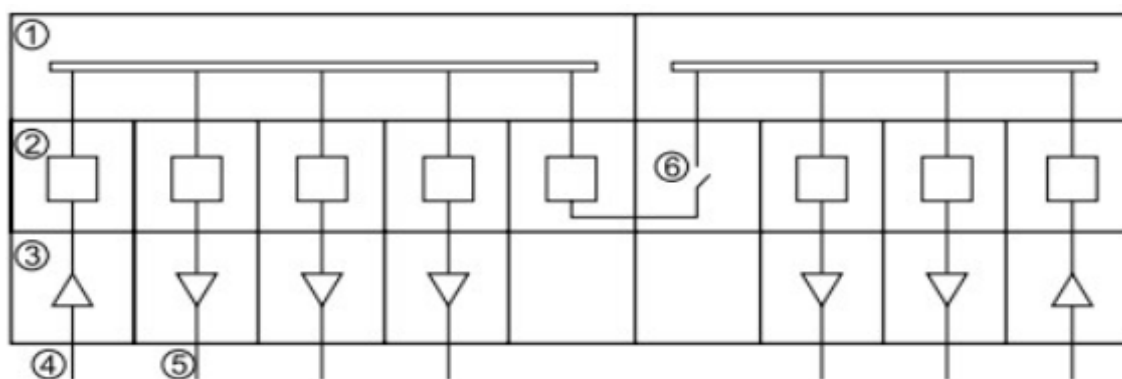


Рис 1. Схема КРУ (двухтрансформаторной подстанции): 1 - отсек сборных шин; 2 - отсек выключателя; 3 - отсек кабельной сборки; 4 - линия ввода; 5 - отходящие линии; 6 - секционный разъединитель

Дуговое КЗ в отсеках КРУ возникает в результате электрического пробоя изоляции между двумя проводниками или между проводником и землей. Повреждения изоляции могут происходить из-за попадания грязи и влаги, проникновения в шкафы КРУ животных (в частности, грызунов), ошибок персонала или износа оборудования [1, 2]. Какова бы ни была причина появления дугового КЗ, оно может иметь катастрофические последствия для КРУ.

Электрическая дуга сопровождается возникновением ударной волны и выделением огромного количества тепловой энергии, что в силу замкнутости КРУ может привести к повреждению или даже полному уничтожению значительной части оборудования.

Подача электроэнергии на поврежденные участки приостанавливается, а восстановление секции может занять продолжительное время и потребовать больших затрат. Но гораздо важнее то, что электрическая дуга представляет серьезную угрозу здоровью и даже жизни персонала, оказавшегося рядом с местом аварии. Нахождение человека вблизи возникновения электрической дуги грозит ему тяжелыми ожогами, травмами от разбрасываемых осколков, а также ослеплением из-за мощной вспышки света, сопровождающей горение электрической дуги.

Сегодня вопросу построения эффективных систем защиты от дуговых замыканий (ЗДЗ) уделяется большое внимание. Современные отраслевые нормативно-технические документы [4-6] предписывают оснащать такими системами все КРУ с напряжением 6-35 кВ.

Существует несколько подходов к созданию систем ЗДЗ. Однако прежде чем перейти к их обсуждению, необходимо рассмотреть механизм возникновения электрической дуги, ее основные свойства и воздействие на материалы.

Системы ЗДЗ

Один из способов борьбы с последствиями дугового КЗ – модернизация конструкций КРУ, в частности использование дугостойких перегородок между отсеками. Такая защита называется пассивной. Однако важную роль, особенно в КРУ, введенных в эксплуатацию много лет назад, играет также активная ЗДЗ, под которой подразумевается комплекс устройств, позволяющих зафиксировать возникновение электрической дуги на ранних стадиях ее развития и своевременно отключить поврежденные участки сети [3].

К системам ЗДЗ предъявляется ряд требований, среди которых следует отметить следующие [2]:

- Быстродействие. Как было показано выше, ключевым фактором в борьбе с электрической дугой является время. Согласно нормативам суммарное время от момента возникновения дуги до срабатывания выключателя не должно превышать 200 мс [4]. Однако даже за столь короткое время дуга может нанести значительный ущерб. Поэтому время срабатывания ЗДЗ необходимо сократить насколько возможно.

- Селективность (избирательность). Под селективностью подразумевается способность системы защиты отключить только поврежденный сегмент энергосистемы для того, чтобы свести к минимуму перебои в подаче электроэнергии. Для этого необходимо как можно точнее определить место возникновения электрической дуги.

- Чувствительность. Защита должна срабатывать даже при минимальных значениях аварийных параметров.

- Надежность. Важным свойством системы дуговой защиты также является отсутствие отказов работоспособности и ложных срабатываний.

Работа системы ЗДЗ основана на анализе процессов, сопровождающих дуговое замыкание, и контроле соответствующих параметров. Способы идентификации электрической дуги можно разделить на две группы [2, 8]:

1. Контроль основных параметров и характеристик электрической цепи при дуговом КЗ:

- амплитуды тока/напряжения;
- спектрального состава тока/напряжения;
- вольт-амперной характеристики;
- сопротивления.

2. Контроль основных параметров физических процессов, сопровождающих электрическую дугу:

- температуры;
- давления;
- электрической проводимости (степени ионизации газов);

Среди методов контроля из первой группы наибольшее распространение получил контроль амплитуды тока или напряжения. В простейшем случае эту функцию выполняют устройства РЗА, такие как максимальная токовая защита (МТЗ), токовая дифференциальная защита и "логическая защита шин" (ЛЗШ). Дифференциальная защита и ЛЗШ не нашли широкого применения в системах ЗДЗ, главным образом потому, что имеют "мертвую зону" – отсеки измерительных трансформаторов тока и кабельной сборки, являющиеся одними из наиболее вероятных мест повреждения. МТЗ всегда имеет некоторую выдержку времени, устанавливаемую, чтобы дать возможность сработать раньше другим аналогичным защитам, находящимся ближе к месту повреждения [9]. К недостаткам всех систем РЗА относится то, что признаки, по которым определяется наличие дугового КЗ, могут наблюдаться не только при внутренних, но и при внешних КЗ, а также при некоторых режимах работы [8].

Тем не менее, МТЗ нашла широкое применение в системах ЗДЗ благодаря своей простоте, надежности и низкой стоимости. Кроме того, подавляющее большинство КРУ уже оснащено системами МТЗ. Однако одной МТЗ для борьбы с дуговыми КЗ недостаточно, поскольку она не обладает достаточной селективностью и быстродействием.

Основным принципом создания эффективной системы ЗДЗ, широко применяемым на практике, является ускорение действия МТЗ при помощи систем обнаружения, основанных на контроле параметров явлений, сопутствующих электрической дуге (то есть параметров второй группы). В таблице 2 представлена краткая характеристика некоторых систем, реагирующих на различные признаки возникновения дугового КЗ.

Анализ существующих технологий обнаружения электрической дуги, а также опыт их практического применения показал, что наиболее перспективным является проектирование систем ЗДЗ, реагирующих на амплитуду тока (МТЗ) и оптическое излучение (оптический датчик) [1, 3].

В общем случае принцип работы такой защиты состоит в следующем. В отсеках КРУ располагаются элементы, захватывающие оптическое излучение. Фотоприемник преобразует оптический сигнал в электрический и передает его на управляющее устройство. Время срабатывания современных оптических датчиков составляет от одной до нескольких десятков миллисекунд. Управляющее устройство также обрабатывает сигнал, пришедший с измерительных трансформаторов тока МТЗ. Типичное время формирования сигнала МТЗ составляет 30-50 мс. Если оба значения превышают пороговые, управляющее устройство определяет место возникновения

дугового КЗ и формирует сигнал на срабатывание соответствующих выключателей, предотвращающих дальнейшее распространение электрической дуги [1]. Блок-схема такой ЗДЗ изображена на рис. 2. Кроме того, при наличии сигнала с оптического датчика система запрещает автоматическое повторное включение (АПВ) и автоматическое включение резерва (АВР) в поврежденном сегменте сети.

Таблица 2 - Сравнение датчиков электрической дуги

Название датчика	Температурный	Антенный	Оптический
Контролируемый параметр	Температура	Проводимость (степень ионизации)	Мощность оптического излучения
Принцип работы	Термодатчик реагирует на повышение температуры	Плазма дуги притягивается стальным прутком (дугоулавливающим электродом), к которому подключен трансформатор тока	Регистрируется оптическое излучение вспышки электрической дуги
Преимущества	Подавляющая часть энергии дуги превращается в тепло	Один антенный датчик можно проложить в нескольких отсеках	Высокое быстродействие
Недостатки	Сложность аппаратуры. Уязвимость. Датчик должен располагаться вблизи места КЗ	Датчик должен располагаться вблизи места КЗ	Риск ложных срабатываний (для части датчиков)

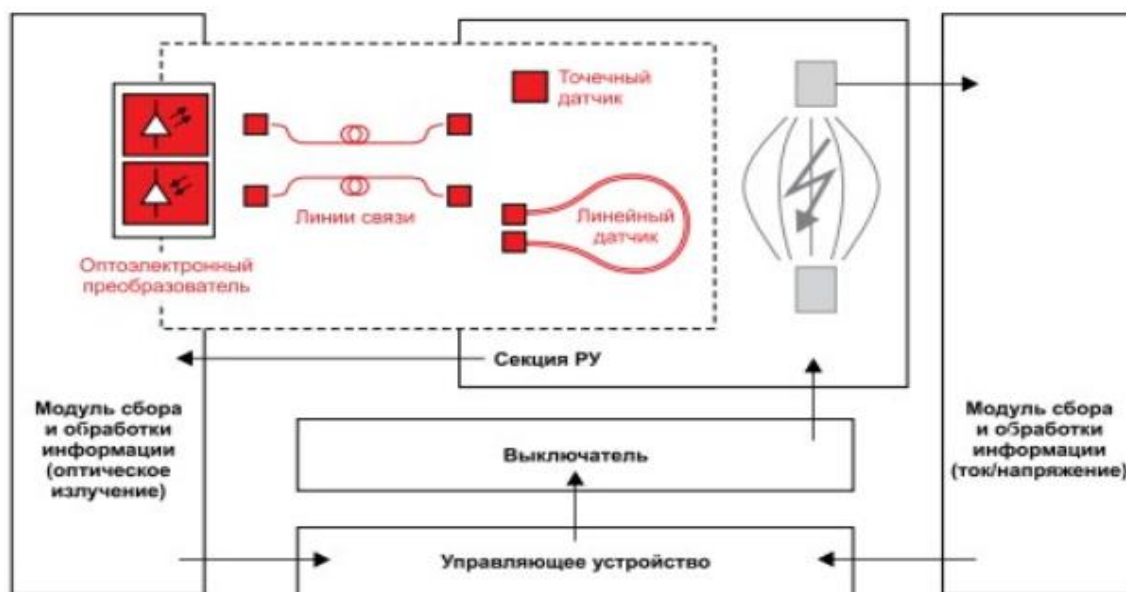


Рис 2. Блок-схема системы ЗДЗ на основе МТЗ и оптического датчика

Оптический датчик электрической дуги

В современных системах ЗДЗ используются оптические датчики двух видов, различающиеся по способу установки [1, 8].

В первом случае полупроводниковый фотодатчик (фотодиод, фоторезистор, фототранзистор, фототиристор) устанавливается непосредственно в отсек КРУ. Недостаток такой конструкции заключается в том, что электронные компоненты и линии связи располагаются в рабочей зоне, а значит, подвержены воздействиям сильных электромагнитных помех.

Для устранения этих нежелательных воздействий существует другой способ реализации оптического датчика, при котором в отсек КРУ устанавливается некий пассивный элемент, осуществляющий захват оптического излучения, а вся оптоэлектронная часть выводится за пределы шкафа РУ (рис. 2). Передача сигнала от собирающего элемента к фотоприемнику происходит по оптическому волокну, которое не подвержено влиянию электромагнитных помех. Такие устройства получили название волоконно-оптических датчиков (ВОД). Захват оптического излучения выполняется при помощи устройства на основе линзы или же отрезка оптического волокна в прозрачной оболочке.

Фотодатчики и линзовые ВОД называют также точечными датчиками, поскольку они регистрируют оптическое излучение в ограниченном телесном угле. ВОД на основе собирающего волокна реализуют захват излучения поверхностью волокна по всей его длине, поэтому называются линейными датчиками [1, 9]. Один линейный датчик может быть установлен сразу в нескольких отсеках или шкафах КРУ.

Точечные фотодатчики нашли свое применение в ряде систем ЗДЗ, таких как ЗДЗ-01 (ИЦ "Бреслер"), "Фотон" (НПЦ "Мирономика"), БССДЗ-01 и БССДЗ-03 (ЗАО "Промэлектроника"). Большинство же отечественных и иностранных предприятий, разрабатывающих оптические системы ЗДЗ, используют точечные и линейные ВОД, в некоторых случаях сочетая оба подхода.

Среди оптических систем ЗДЗ иностранного производства можно выделить:

REA (ABB, Германия),
 DEHNShort (Dehn, Германия),
 PGR-8800 (Littelfuse, США),
 VAMP (Schneider Electric, Франция).

В России ассортимент оптических ЗДЗ представлен следующими устройствами:

"ОВОД" (ООО НПП "ПРОЭЛ"),
 "Орион-ДЗ" (ЗАО "РАДИУС Автоматика"),
 ДУГА-МТ (ООО "НТЦ "Механотроника"),
 "ЭТЮД" (ООО "МПП "Энерготехника"),
 РС40-АРК, ПД-01 (ООО "РЗА СИСТЕМЗ") и др.

При разработке ВОД необходимо учитывать несколько моментов:

- Выбор типа ВОД. Как точечный, так и линейный датчик имеют свои преимущества и недостатки и могут быть использованы в системах дуговой защиты. Зачастую целесообразно использование обоих типов датчиков.

- Выбор собирающего элемента. Линзовый ВОД должен захватывать излучение в достаточно широком телесном угле. Эффективность линейного ВОД во многом определяется свойствами собирающего волокна. Обычно используется волокно с большим диаметром сердцевины, например пластиковое (POF) или HCS-волокно.

- Расположение собирающих элементов. Необходимо обеспечить контроль всех частей КРУ, в которых возможно возникновение дугового КЗ.

- Выбор фотоприемника. Спектральная характеристика используемого фотоприемника должна перекрывать спектр излучения вспышки. Фотоприемник также должен иметь достаточную пороговую чувствительность.
- Диагностика работоспособности. Постоянная проверка работоспособности позволяет вовремя обнаружить неработающие датчики. Это можно сделать при помощи тестового сигнала, периодически посылаемого к фотоприемнику от передатчика, специально устанавливаемого в датчик для этой цели [1].
- Настройка пороговых значений. Устройство должно уметь отличать сигнал, вызываемый электрической дугой, от тестового сигнала и излучения других источников света.
- Быстродействие. Время срабатывания ЗДЗ складывается из времени срабатывания устройств обнаружения (МТЗ и оптического датчика) и времени срабатывания выключателя. Важную роль играет собственное время срабатывания оптического датчика.

Линейный волоконно-оптический датчик компании Avago Technologies

Совершенствование систем ЗДЗ постоянно продолжается, ведутся работы по созданию новых оптических датчиков. Одна из последних разработок в этой сфере – линейный ВОД на основе компонентов компании Avago Technologies (рис. 3).

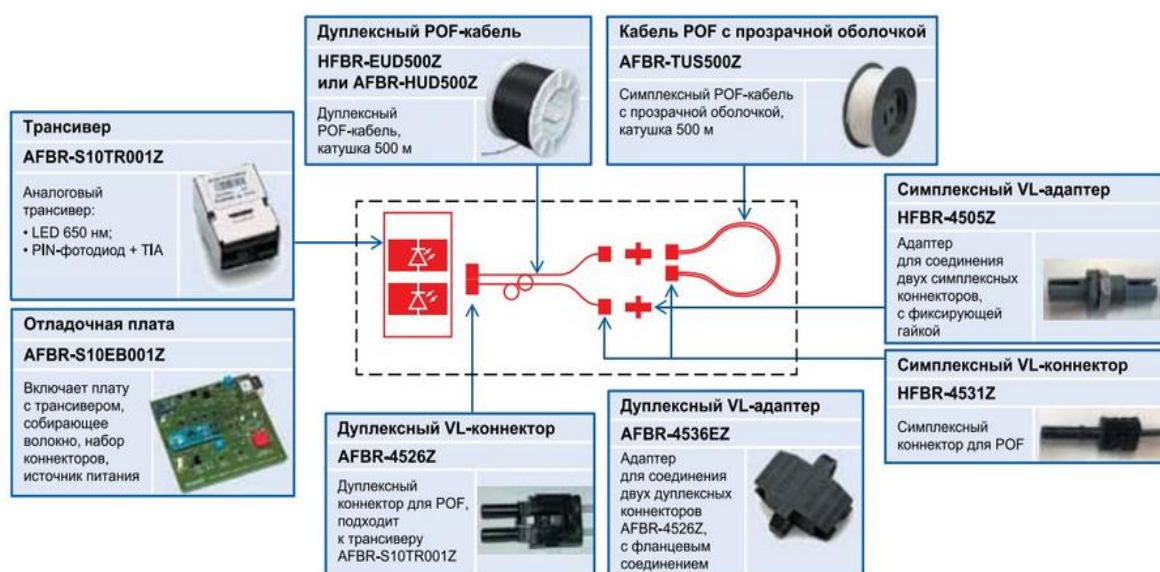


Рис.ж 3. Блок-схема системы ЗДЗ на основе МТЗ и оптического датчика

Типовой комплект системы включает в себя основным компонентом системы является, пластиковое оптическое волокно (POF) с прозрачной огнестойкой оболочкой AFBR-TUS500Z. Большая числовая апертура волокна ($NA = 0,48$) способствует захвату значительной части света, попадающего на его поверхность.

Оптоэлектронное преобразование излучения дуги и проверка целостности волокна осуществляются при помощи аналогового оптического трансивера (приемопередатчика) AFBR-S10TR001Z. Передающая часть трансивера содержит светодиод (LED), служащий для передачи тестового сигнала (Heartbeat-сигнала в терминологии Avago). Heartbeat-сигнал проходит по оптическому волокну и попадает

на фотоприемник. Длина волны излучения LED (650 нм) соответствует минимуму затухания POF.

Приемная часть трансивера представляет собой микросхему, состоящую из PIN-фотодиода и трансимпедансного усилителя (TIA). Спектральная чувствительность фотодиода полностью перекрывает спектр излучения электрической дуги, гарантируя безошибочную работу. Микросхема формирует аналоговый электрический сигнал, линейно зависящий от мощности оптического излучения вплоть до -10 дБм (рис. 5б). При мощности выше -10 дБм происходит насыщение фотоприемника. Однако поскольку для обнаружения электрической дуги значение имеет лишь амплитуда сигнала, а не его форма, рассматриваемый датчик безошибочно работает и при уровнях оптической мощности выше -10 дБм. Время нарастания выходного сигнала составляет 40 нс.

Отрезок собирающего волокна соединяется с трансивером при помощи POF-кабеля с непрозрачной огнестойкой оболочкой. Компоненты Versatile Link давно пользуются популярностью у разработчиков промышленных линий связи на основе POF, прежде всего благодаря привлекательной стоимости, высокой надежности и простоте монтажа.

Линейный ВОД на основе компонентов компании Avago отлично подходит для создания новых систем ЗДЗ, поскольку отличается высоким быстродействием, простотой работы, надежностью и невысокой стоимостью компонентов.

Заключение

Из обзора и анализа материалов, посвященных обзору оптических датчиков для систем дуговой защиты комплектных распределительных устройств, с учетом опыта разработок и исследований, вытекают следующие выводы: несмотря на большие успехи в разработке систем ЗДЗ, дуговые КЗ все еще остаются серьезной проблемой при эксплуатации электрических подстанций. Поэтому вопрос проектирования новых систем ЗДЗ и модернизации существующих остается актуальным и по сей день. Создание систем защиты КРУ от электрической дуги, включающих волоконно-оптические датчики на основе компонентов Avago, на данный момент представляется одним из наиболее эффективных решений.

На основании проведенного анализа можно подытожить, что при модернизации действующих систем ЗДЗ на распределительных сетях города Севастополя, с точки зрения экономической целесообразности, а также эксплуатационных характеристик необходимо принять вектор модернизации при использовании новейших разработок в сфере линейных ВОД, в том числе на компонентах Avago Technologies.

Список использованных источников

1. Fiber Optic Sensor Systems for Arc Flash Detection. <http://docs.avagotech.com/docs/AV02-4503EN>
2. <http://www.docs.avagotech.com/docs/AV02-4503EN>Нагай В. И. Релейная защита ответственных подстанций электрических сетей. М.: Энергоатомиздат, 2002.
3. Батурлин С. Электробезопасность промышленных предприятий. Система защиты от дуги // Автоматизация и ИТ в энергетике. 2013. № 1.

4. ГОСТ 14693-90 Устройства комплектные распределительные негерметизированные в металлической оболочке на напряжение до 10 кВ. Общие технические условия.
5. РД 34.20.501-95 Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации.
6. Рожкова Л. Д., Козулин В. С. Электрооборудование станций и подстанций: Учебник для техникумов / 3-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1987.
7. Нагай В. И. Быстродействующие дуговые защиты КРУ. Современное состояние и пути совершенствования // Новости электротехники. 2003. № 5.
8. Гуревич В. И. Принцип построения дуговой защиты распределительных устройств 6-10 кВ // Энергетика и электрификация. 1992. № 3.
9. Indra A. Using Fiber Optics in Arc Flash Detection Applications. www.electronicdesign.com/circuit-protection/using-fiber-optics-arc-flash-detection-applications

УДК 629.064.5

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

А.Е. Пахольчук, Ю.А. Майорова

Устройства накопления энергии — это системы, которые хранят энергию в различных формах, таких как электрохимическая, кинетическая, потенциальная, электромагнитная, химическая и тепловая, с использованием, например, топливных элементов, аккумуляторов, конденсаторов, маховиков, сжатого воздуха, гидроаккумуляторов, супермагнитов, водорода и т. д.

Устройства накопления энергии — это важный ресурс, который часто используется для обеспечения бесперебойного электроснабжения либо в качестве поддержки энергосистемы в периоды очень краткосрочной нестабильности.

Введение

Коммунальный сектор и транспорт стремятся полностью перейти на электрическую энергию, и, в связи с этим быстро растет потребность в надежном, эффективном и экономичном аккумулировании энергии и ее отдаче во время пиковых нагрузок.

Цель работы

Целью данной работы является анализ применения современных накопителей электрической энергии в электроэнергетических системах, в частности, применение современных накопителей в различных сферах электроснабжения для повышения качества и надежности.

Общие сведения о накопителях электрической энергии

Россия обладает рядом характеристик, способствующих широкому внедрению технологий эффективного использования и перераспределения накопленной энергии, в частности:

1. Энергетическая система России характеризуется неравномерность производства/потребления электроэнергии — ярко выражены энергодефицитные районы (европейская часть России);
2. Населенные пункты и отдельные потребители значительно удалены от источников генерации. Строительство дополнительных высоковольтных линий до них нерентабельна или сопряжена со значительным объемом инвестиций со стороны сетевых компаний;
3. Качество электроэнергии в регионах не соответствует установленным стандартам;
4. Подавляющее большинство стратегических промышленных предприятий и

жизненно важных объектов социальной инфраструктуры лишены источников резервного питания;

5. Слабо развито использование возобновляемых источников энергии (ветрогенераторов и солнечных батарей);

6. Энергоэффективность большинства промышленных предприятий крайне низкая, расходы на э.э. превышают порой 30% производственной себестоимости.

Активное внедрение систем накопления энергии (СНЭ) в энергосистемах в -какой-то мере позволит преодолеть указанные выше проблемы. Предлагаемые накопители могут ранжироваться по мощности от нескольких кВт до тысяч МВт. Время разряда может также меняться от сотых долей секунды до нескольких суток. Системы накопления могут управляться локально и с удаленных центров управления. Они могут быть спроектированы таким образом, чтобы очень быстро реагировать на управляющие команды. Накопители могут потреблять и выдавать активную мощность, а в соединении с устройствами силовой электроники — реактивную мощность. В зависимости от потребностей энергосистемы они могут обеспечить регулирование частоты и напряжения, сдвиг во времени потребления и генерации, регулировку мощности на выходе системы ВИЭ+СНЭ, расширить возможности диспетчерского управления. Они могут быть спроектированы для потребностей распределительной и/или передающей сети, для одноцелевого или многоцелевого использования, или для целей управления на стороне потребителя.

К основным видам накопителей электрической энергии, выпускаемых промышленностью, относятся: маховики; суперконденсаторы; сверхпроводниковые индуктивные накопители (СПИНЭ) и аккумуляторные батареи большой мощности.

Маховиковые накопители энергии

Принцип действия маховикового накопителя основан на преобразовании кинетической энергии в электрическую и обратно. Конструкция маховикового накопителя состоит из следующих элементов: привод (асинхронные машины, реактивные электрические машины или машины с постоянными магнитами на роторе); маховик (изготавливается из стали либо композитных материалов (стекловолокно, карбон), помещённый в вакуумированный кожух; опорные подшипники (механические, магнитные или смешанные). Различают два типа маховиковых накопителей: высокоскоростные и низкоскоростные.

К основным преимуществам маховиковых накопителей относятся:

1. Высокая надежность и эффективность;
2. Большой срок эксплуатации (15 - 20 лет);
3. Высокий КПД (90 - 95 %);
4. Быстрота и большое количество циклов “заряд-разряд” (от 10 000 до 100 000);
5. Относительно низкая стоимость;
6. Экологичность.

К недостаткам можно отнести относительно высокие постоянные потери.

Суперконденсаторы

Суперконденсаторы — это усовершенствованные конденсаторы, которые работают на постоянном напряжении, имеющие высокую плотность заряда, благодаря двойному электрическому слою на границе раздела электрода и электролита. Суперконденсаторы производят накопление энергии электростатическим способом,

поляризуя раствор электролита. Большая емкость суперконденсаторов, достигающая до нескольких фарад, позволяет накапливать значительную энергию, которая отдаётся в нужный момент в виде больших токов. Суперконденсаторы относятся к накопителям короткого времени, они компактны, просты и имеют намного больший срок службы, чем у обычных конденсаторов.

К основным преимуществам суперконденсаторов относятся:

1. Очень высокая плотность ёмкости;
2. Большой срок эксплуатации;
3. Высокий КПД (95 % и выше);
4. Высокая удельная энергия и удельная мощность;
5. Бесперебойная эксплуатация;
6. Высокая скорость заряда и разряда
7. Низкая токсичность материалов.

К недостаткам можно отнести относительно низкую удельную энергоёмкость, высокий саморазряд, низкое напряжение ячейки, высокую стоимость.

Аккумуляторные батареи большой мощности

Аккумуляторная батарея (АБ) – это два или более аккумуляторов (элементов), соединенных между собой и используемых в качестве источника электрической энергии. В процессе заряда АБ электроэнергия электрохимическим путем преобразуется в химическую. При разряде накопленная энергия высвобождается в процессе обратной реакции. Наиболее распространёнными являются следующие виды батарей: свинцово-кислотные, никель-кадмиевые, литий-ионные.

Общие сведения об используемых АБ:

1. Свинцово-кислотные аккумуляторы: свинцово-кислотные аккумуляторы занимают самую большую долю рынка аккумуляторов. В заряженном состоянии отрицательный электрод из металлического свинца и положительный электрод из сульфата свинца погружают в электролит с разбавленной серной кислотой (H_2SO_4). В процессе разряда электроны выталкиваются из ячейки, так как на отрицательном электроде образуется сульфат свинца, а электролит восстанавливается до воды.

2. Технология свинцово-кислотных аккумуляторов получила широкое развитие. Эксплуатация требует минимального труда, его стоимость низкая. Доступная энергетическая ёмкость батареи подвержена быстрой разрядке, что приводит к малому сроку службы и низкой плотности энергии.

3. Никель-кадмиевый батарея (NiCd): в качестве электродов используются гидроксид оксида никеля и металлический кадмий. Кадмий является токсичным элементом и был запрещен Европейским союзом в 2004 году для большинства видов использования. Никель-кадмиевые батареи были почти полностью заменены никель-металлогидридными (NiMH).

4. Никель-металлогидридная батарея (NiMH): первые коммерческие образцы появились в 1989 году. Сейчас это обычный потребительский и промышленный товар. Батарея имеет для отрицательного электрода вместо кадмия водородопоглощающий сплав.

5. Литий-ионная аккумуляторная батарея: выбор многих потребителей в сфере электронных устройств. Имеет одно из лучших соотношений энергии к массе и очень медленный саморазряд, когда он не используется.

6. Литий-ионный полимерный аккумулятор: эти аккумуляторы имеют малый вес и могут быть изготовлены в любой форме.

К основным преимуществам АБ относятся:

1. Низкая стоимость свинцово-кислотных аккумуляторов;
2. Высокая энергоемкость никель-кадмиевых и литий-ионных аккумуляторов;
3. Быстрый ввод в работу;
4. Высокая надежность.

К недостаткам относятся:

1. Малая энергоемкость, низкое количество циклов заряда/разряда у свинцово-кислотных аккумуляторов;
2. «Эффект памяти» – их энергоемкость резко падает при неполном разряде или заряде у никель-кадмиевых аккумуляторов;
3. Низкий по сравнению с другими типами накопителей энергии КПД (65–70 %);
4. Ограниченное число зарядно-разрядных циклов (не более 500);
5. Малое время хранения энергии;

Список использованных источников

1. Артоблевский И.И. Теория механизмов. - М., Издательство "Наука".
2. Астахов Ю.Н. Накопители энергии в электрических системах: учеб. пособие для электроэнергетических ВУЗов / Ю.Н. Астахов, В.А. Веников, А.Г. Тер-Газарян. – М.: Высшая школа; 1989. – 159 с.
3. Жданов П.С. Вопросы устойчивости электрических систем / П.С. Жданов; под ред. Л.А. Жукова. – М.: Энергия, 1979. – 456 с.

УДК 62-1/-9

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Д.А. Гринченко, Ю.А. Майорова

На сегодняшний день потребность рационального расходования энергоресурсов сложно назвать новой идеей как для России, так и для мирового сообщества. Во многих государствах мира к этой в проблеме относятся как к неотъемлемой (в отдельных случаях даже как к ключевой) части каждого технического проекта.

Введение

В настоящее время многие отечественные компании вообще не имеют представления о структуре энергопотребления. Они не знают, какие объекты потребляют больше электроэнергии, а какие меньше, не могут представить свою модель расхода энергии.

Цель работы

Целью данной работы является анализ методов повышения энергоэффективности промышленных предприятий. В частности, ставится задача разобрать мероприятия по энергосбережению промышленных предприятий.

Компенсация реактивной мощности

Одним из методов повышения энергоэффективности является снижение реактивной мощности (увеличение $\cos \varphi$), поскольку она приводит к увеличению потерь электроэнергии. В случае если на предприятии отсутствуют устройства компенсации реактивной мощности, потери могут достигать 10-50 % от среднего энергопотребления.

Специалисты провели ряд измерений для того, чтобы выяснить, какой вклад в объем реактивной мощности вносят те или иные устройства. Им удалось выяснить, что:

1. асинхронные электродвигатели – 40 %;
2. трансформаторные установки – 35 %;
3. преобразователи – 10 %;
4. электрические печи – 8 %;
5. ЛЭП – 7 %.

Компенсация реактивной мощности может быть индивидуальная и централизованная.

Индивидуальная компенсация (когда УКРМ устанавливается близко к каждой нагрузке, нуждающейся в коррекции) и централизованной, при которой монтируется единая установка компенсации реактивной мощности на линии подключения всех нагрузок, где следует обеспечить коррекцию коэффициента мощности сразу же после точки замеров показателя $\cos \varphi$.

Если оценить ситуацию с технической точки зрения, предпочтительнее корректировать коэффициент мощности индивидуально. В таком случае УКРМ и потребитель соединяются вместе и работают синхронно, поэтому регулировка тесно связана с нагрузкой, для которой, собственно, и производится эта корректировка коэффициента мощности.

Наряду с этим при использовании индивидуальной коррекции повышается показатель $\cos \varphi$ во внутренней сети и в сети компании, поставляющей электроэнергию. Так при эксплуатации производственного электрооборудования этот тип коррекции позволяет более рационально использовать энергоресурс за счет оптимизации всех внутренних ЛЭП предприятия, питающих устройства-потребители от трансформаторной подстанции. Помимо этого производственное предприятие дополнительно экономит средства, поскольку ему удастся избежать штрафов за низкий $\cos \varphi$.

Установку индивидуальной коррекции можно назвать грамотным решением только в том случае, если в сети большая часть реактивной мощности вырабатывается несколькими мощными энергогенерирующими объектами, которые используются большую часть рабочего дня, смены или производственного цикла.

Централизованная коррекция коэффициента мощности, как правило, используется в тех случаях, когда предприятие использует большое количество устройств с разными нагрузками, которые не работают в постоянном режиме, а включаются только периодически. Следовательно, мощность УКРМ гораздо ниже общей мощности, которую необходимо обеспечить в случае применения индивидуальной коррекции. Когда уровень реактивной мощности сильно варьируется во время работы установки, применяется автоматическое регулирование в несколько ступеней.

Инструментальное обеспечение

Переход к рыночной экономике и активное развитие российской промышленности ознаменовались необходимостью повышения эффективности управления потреблением энергоресурсов. Постепенно это стало задачей первостепенной важности как для поставщиков, так и для потребителей электроэнергии.

Одним из ключевых элементов решения стал объективный контроль и учет использования электричества и принятие эффективных мер по предупреждению их нерационального или несанкционированного отбора. Развитие этого направления

призвано обеспечивать значительную часть общего энергосбережения, обладающего колоссальным потенциалом.

Неотъемлемым компонентом рынка электроэнергии является инструментальное обеспечение. По сути это комплекс систем, приборов, устройств, каналов связи, алгоритмов и др. инструментов, с помощью которых обеспечивается мониторинг, отслеживание и управление параметрами энергосбережения.

Одной из основных системы контроля и учета потребления электроэнергии является АСТУЭ.

АСТУЭ – автоматизированная информационно-измерительная система технического учета электрической энергии. Предназначена для эксплуатации на территории промышленного предприятия. Создается по техническому заданию (ТЗ) заказчика. Как правило, к АСТУЭ подключено множество приборов учета. Нередко они установлены на местах, территориально удаленных друг от друга.

Основными функциями автоматизированной системы являются:

1. Учет электрической энергии, которая расходуется на разные нужды (в разрезе по производственным площадкам, участкам, цехам, структурным подразделениям и т. д.).
2. Обеспечение сбора и анализа данных, которые используются в планировании энергопотребления.
3. Резервирование данных коммерческого учета электроэнергии.
4. Выявление случаев нерационального расходования энергоресурсов.
5. Снижение потерь электроэнергии, которого удастся достичь благодаря анализу учетных данных.
6. Хранение информации на центральном сервере и обеспечение санкционированного доступа в систему.
7. Обеспечение данных об объемах энергопотребления, которые в дальнейшем могут быть использованы для проведения анализа и определения финансовых результатов деятельности компании.

На этапе проектирования АСТУЭ необходимо уделить дополнительное внимание процессу прокладки кабельных систем (линий коммуникации) между отдельными объектами в условиях действующего производства. В некоторых случаях может понадобиться модернизация существующих КЛ и сооружений – кабельных каналов, лотков и эстакад.

Выводы

Рассмотренные методы, в данной статье, являются основными механизмами повышения энергоэффективности промышленных предприятий. Компенсация реактивной мощности очень важна, т.к. реактивная мощность становится причиной снижения качества электроэнергии и тепловых потерь, способствует перекосу фаз, провоцирует возникновение высокочастотных помех, приводит к перегрузкам генераторного оборудования, броскам по частоте и амплитуде. АСТУЭ помогает оперативно выявить нерациональный расход энергоресурсов. Собирает и хранит

информацию, помогающую специалистам определить комплекс мероприятий по энергосбережению.

Список использованных источников

1. Кабышев А.В. Компенсация реактивной мощности в энергоустановках промышленных предприятий. С.146.
2. Е.В. Лебедев. Разработка системы технического учета электроэнергии ЗАО «Завод строительных материалов». С. 5-8.
3. Analysis-IEA «EnergyEfficiency»

УДК 620.92

АНАЛИЗ ДИСТАНЦИОННЫХ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Т.А. Геня, Ю.А. Майорова

Оценка технического состояния электрооборудования является важнейшим элементом всех основных аспектов эксплуатации электрооборудования (ЭО), одной из основных задач которой является выявление факта исправности или неисправности оборудования. Принято считать исправным оборудование, состояние которого соответствует всем установленным нормативными документами требованиям, в противном случае — неисправным. Переход изделия из исправного состояния в неисправное происходит вследствие дефектов.

Введение

На сегодняшний день существует множество современных методов диагностики, позволяющих с высокой степенью вероятности определить реальное состояние оборудования и спрогнозировать его изменение в ближайшее время. Все дистанционные методы являются методами косвенной оценки состояния электрооборудования. Эти методы основаны на регистрации излучения от объектов диагностики. Очевидны преимущества дистанционной диагностики — снижение трудоемкости и безопасности работ. Наибольшее распространение получили приборы, регистрирующие собственное электромагнитное излучение изолирующих конструкций в диапазоне от радиоволн до ультрафиолетового диапазона, а также акустические, работающие в ультразвуковом диапазоне. За исключением приборов, регистрирующих тепловое излучение изоляторов, остальные основаны на регистрации излучения частичных разрядов (ЧР).

Цель работы

Целью данной работы является исследование методов дистанционной диагностики ЭО на примере теплового и оптического методов контроля, как одних из основополагающих методов контроля, и выявление их достоинств.

Тепловой метод контроля

Тепловые методы контроля (ТМК) основаны на измерении, оценке и анализе температуры контролируемых объектов. Главным условием применения диагностики с помощью тепловых МНК (метод неразрушающего контроля) является наличие в диагностируемом объекте тепловых потоков. Для контроля контактных соединений при условии, если ток в контролируемых проводах близок к номинальному, тепловизоры и пирометры являются на сегодняшний день основными средствами диагностики.

Применение ТМК основано на том, что наличие практически всех видов дефектов оборудования вызывает изменение температуры дефектных элементов и, как следствие,

изменение интенсивности инфракрасного излучения, которое может быть зарегистрировано тепловизионными приборами.

Наличие дефекта выявляется сравнением температуры аналогичных участков поверхности аппаратов, работающих в одинаковых условиях нагрева и охлаждения. Обнаружение дефектов в электроустановках с помощью тепловизора производится косвенным методом, путем измерения температуры наружной поверхности соответствующих узлов (дефектного и бездефектного), а также температуры окружающего воздуха с последующим пересчетом значения температуры перегрева (температурного перепада) и отнесением контролируемого объекта к тому или иному классу неисправности. При этом измерения температуры объектов контроля производят дистанционным методом оптической пирометрии с помощью длинноволнового тепловизора (рабочий диапазон длин волн $8\div 12$ мкм). После обнаружения дефектных узлов производится их фиксация во встроенной памяти инфракрасной камеры с абсолютными температурами узлов, окружающей температуры, расстояния до объекта и т.д. Результаты тепловизионной съемки обрабатывается либо по отдельным точкам, в которых температуру измеряют с помощью соответствующих опций тепловизора, либо как тепловые изображения, применяя специализированные программы обработки термограмм.

ТМК обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционными методами испытаний, а именно [1]:

1. достоверность, объективность и точность получаемых сведений;
2. безопасность персонала при проведении обследования оборудования;
3. отсутствие необходимости отключения оборудования;
4. отсутствие необходимости подготовки рабочего места;
5. большой объем выполняемых работ за единицу времени;
6. возможность определения дефектов на ранней стадии развития;
7. диагностика большинства типов подстанционного электрооборудования;
8. малые трудозатраты на производство измерений на единицу оборудования.

Трудности с тепловизионной диагностикой изолирующих конструкций обусловлены двумя факторами:

1) Градиент температуры между исправными и дефектными изоляторами, а также между изоляторами и окружающим воздухом составляет максимально несколько градусов, что близко к пределу чувствительности тепловизоров и пирометров.

2) Существует неоднозначность определения состояния гирлянд изоляторов. Дефектные изоляторы в гирляндах могут быть как «холоднее», так и «теплее» исправных изоляторов.

Интерпретация результатов ИК-диагностики может быть усложнена главным образом из-за двух факторов: сильных ветров и нагрева от излучения солнца. Нагрев от излучения солнца может, например, маскировать теплоту, излученную дефектами. Облака, роса, дождь, ветер изменяют температуру окружающей среды, поэтому также должны быть приняты во внимание.

Выявляемые неисправности:

- Генераторы- межлистовые замыкания статора, ухудшение паяк обмоток, оценка теплового состояния щеточного аппарата, нарушение работы систем охлаждения статоров, проверка элементов системы возбуждения
- Трансформаторы - очаги возникновения магнитных полей рассеивания, образование застойных зон в баках трансформаторов за счет шламообразования, разбухания или смещения изоляции обмоток,

неисправности маслосистемы, дефекты вводов, оценка эффективности работы систем охлаждения

- Коммутационная аппаратура - перегрев контактов токоведущих шин, рабочих и дугогасительных камер, состояние внутрибаковой изоляции, дефекты вводов, делительных конденсаторов, трещины опорностержневых изоляторов.
- ЛЭП - оценка состояния изоляции (изоляторов и гирлянд изоляторов)

Техника регистрации и обработки тепловых изображений в последние годы достигла впечатляющих высот. Безусловными лидерами являются зарубежные компании FLIR (США) и NEC (Япония), выпустившие самые компактные модели с прямым переносом изображения на матричный фотоприемник – микроболлометр. Одним из типичных тепловизоров, используемых в настоящее время энергосистемами России, является инфракрасная камера ТН7102 фирмы NEC (рис. 1), в которой в качестве детектора использован матричный неохлаждаемый микроболлометр, содержащий 320х240 элементов. Питание камеры осуществляется либо от аккумуляторной батареи напряжением 12 В, выдерживающая до 2 часов без подзаряда, либо от сети 220 или 110 В.



Рис. 1. Вид тепловизионной камеры ТН7102 сбоку и сзади

В камере ТН7102) предусмотрены полная автоматическая установка фокуса, чувствительности, температурного диапазона, автоматическая коррекция на внешнюю оптику и пропускание атмосферы. Герметичный титановый корпус позволяет использовать камеру в тяжелых климатических условиях, обеспечивает высокую стойкость к ударам (30g) и вибрациям (3g). Благодаря длинноволновому диапазону спектра система устойчиво работает в сложных погодных условиях.[2]

Оптический метод контроля

Оптический метод относится к методам измерения частичных разрядов и основан на регистрации параметров электрического поля, взаимодействующего с контрольным объектом, или поля, возникающего в контрольном объекте в результате внешнего воздействия.

Принципиальными достоинствами оптического метода регистрации частичных разрядов являются наиболее высокая, по сравнению с другими способами регистрации ЧР, пространственно-временная разрешающая способность и чувствительность. Чувствительность оптического метода при регистрации одиночных электронных лавин

в воздухе может на два порядка превышать чувствительность электрического метода регистрации. Современные фотоприемники в соответствующих условиях и с применением специальных методов обработки сигнала способны регистрировать однофотонные излучения. Пространственная разрешающая способность оптических методов принципиально ограничена только явлениями дифракции, т.е. сопоставима с длиной волны регистрируемого излучения. С учетом реальных условий, в которых происходит диагностика изоляторов, пространственное разрешение, естественно, падает, но остается на уровне, недостижимом для других способов. Временная разрешающая способность оптического способа может достигать наносекунд. Наиболее подходящими для оптической локации ЧР являются два типа фотоприемников: фотоэлектронные умножители (ФЭУ) и электронно-оптические преобразователи (ЭОП). Появившиеся в последние годы приемники на основе матричных полупроводниковых приборов с зарядовой связью (ПЗС) в значительной мере приблизились, но все еще уступают в чувствительности приборам, в которых используется внешний фотоэффект светочувствительного элемента. ФЭУ – это электровакуумный прибор, преобразующий оптическое излучение в электрический сигнал с последующим усилением и состоящий из фотокатода, диодной умножительной системы и анода. ЭОП – это электровакуумный прибор, предназначенный для усиления яркости оптического изображения, создаваемого входной оптической системой, и преобразования спектрального состава принимаемого оптического излучения.

По техническим и эксплуатационным характеристикам УФ-камера является наиболее современной и чувствительной к УФ-излучениям короны при дневном свете. За рубежом ее успешно используют для диагностики изоляторов ЛЭП с вертолета, при осмотрах трансформаторов, обмоток электромашин на напряжение от 6 кВ и выше; она находит применение и в других отраслях промышленности. УФ-камера позволяет производить диагностирование как при полном дневном, так и при ночном освещении, а также в условиях плохой погоды: туман, слабый дождь. С помощью оптической инспекции на ВЛ и подстанциях решаются следующие задачи:

- обнаружение источников короны и определение возможных причин ее возникновения;
- обнаружение пробитых (нулевых) подвесных фарфоровых изоляторов;
- определение степени загрязнения поверхности изоляторов любого типа;
- обнаружение полимерных изоляторов с развитыми дефектами.

В настоящее время в России серийно освоенными отечественными приборами регистрации ЧР являются электронно-оптические дефектоскопы (ЭОД) «Филин-3» (1984–1988), «Филин-5» (1991–1993) и «Филин-6» (с 1999) (Рис.2). Принцип работы дефектоскопа состоит в следующем. Изображение, например, поверхностных частичных разрядов (ПЧР) и/или коронных разрядов контролируемой изоляции (КИ), формируется входным объективом (О1) на фотокатоде (ФК) электронно-оптического преобразователя (ЭОП). Усиленные по яркости более чем в 20 тыс. раз, оптические сигналы можно рассматривать на экране усилителя через окуляр (О2) либо регистрировать их с помощью цифровой камеры (ЦК). Перед входным объективом устанавливается светофильтр (СФ) с полосой пропускания в коротковолновой части оптического спектра ($\lambda < 0,4$ мкм), характерной для энергетического максимума излучения разрядных процессов. Благодаря использованию светофильтров снижается интенсивность фоновых бликов на наблюдаемых объектах, а также повышается контраст изображения ПЧР на экране усилителя яркости. Дополнительное ослабление

бликов, обусловленных действием посторонних источников света (луна, осветительные лампы), достигается за счет импульсного режима питания микроканальной пластины.



Рис. 2. Внешний вид дефектоскопа «Филин-6»

Оценка интенсивности свечения разрядов производится сравнением с интенсивностью свечения опорного источника света (ОИС), изображение которого находится в верхней части экрана усилителя яркости. По значениям яркости ПЧР, используя нормы дистанционного профилактического контроля ВЛ и ОРУ и соответствующее программное обеспечение, определяют дефекты изоляции.

Аналогичные приборы разработаны и за рубежом. Это приборы CoronaScope (Forsyth Electro-Optics, Inc., США) и Coro Caim II (ЮАР). Наиболее совершенными являются ультрафиолетовые камеры дневного функционирования DayCor II™ (Израиль, OFIL, Ltd) и Coro Cam IV+ (ЮАР) [2].

Вывод

Обладая рядом преимуществ по сравнению с традиционными методами испытаний - достоверность, безопасность персонала, отсутствие необходимости отключения оборудования; большой объем выполняемых работ за единицу времени; возможность определения дефектов на ранней стадии развития; диагностика большинства типов подстанционного электрооборудования- дистанционные имеют ряд недостатков: такими методами контроля невозможно вести постоянный мониторинг, что, в свою очередь, не позволяет оперативно определять место повреждения, основные деструктивные процессы в происходят в неблагоприятное для обследования время: гроза, дождь, роса, после которых результаты обследования в ИК и УФ диапазоне могут быть вполне приемлемыми, постоянные изменения температуры, влажности, скорости ветра, грозовые и коммутационные перенапряжения в сети вызывают необходимость учета изменений при настройке дефектоскопического оборудования, что влияет на продолжительность поиска дефекта, результаты считываемых параметров и несет некоторую вероятность ошибок при обработке, тепловое излучение деструктивных процессов иногда достаточно сложно установить большого расстояния от ЭО до прибора, небольшими размерами разогретой поверхности, обычными

сильными ветрами на высоте эксплуатации изоляторов, низкой теплопроводностью силиконовой защитной оболочки. Поэтому возможно комплексное использование методов теплового контроля и поиска излучения частичных разрядов, что может повысить достоверность и чувствительность контроля.

Список использованных источников

1. А. И. Хальясмаа [и др.]. Диагностика электрооборудования электрических станций и подстанций : учебное пособие — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015. — 64 с
2. Валеев И. М. Концепция управления цифровыми подстанциями будущего : учебное пособие / И. М. Валеев, В. Г. Макаров; Минобрнауки России, Казан. нац. исслед. технол. ун-т. — Казань : Изд-во КНИТУ, 2019. — 152 с.

УДК 629.064.5

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ С ИССЛЕДОВАНИЕМ РЕЖИМОВ ПУСКА И РЕГУЛИРОВАНИЯ СИНХРОННЫХ КОМПЕНСАТОРОВ

А.А. Колтырин, Ю.А. Майорова

На сегодняшний день пусковые токи и падения напряжения сказываются на работе всей электрической сети предприятия. Если цепи и кабельное хозяйство рассчитаны только на номинальные значения тока, пусковые токи вызывают снижение напряжения, как в питающей сети, так и на стороне нагрузки.

Введение

В настоящее время общеизвестно, что синхронным компенсатором называют синхронную машину, работающую в двигательном режиме без нагрузки на валу при изменяющемся токе возбуждения. Синхронный компенсатор в зависимости от тока возбуждения может выдавать реактивную мощность в сеть или потреблять ее из сети.

Цель работы

Целью данной работы является исследование режимов пуска при различных параметрах источника питания и моментах сопротивления на валу двигателя, а также анализ регулирования работы синхронных компенсаторов с целью совершенствования электроснабжения промышленных предприятий.

Пуск синхронного компенсатора

Распространенным способом пуска синхронного компенсатора является так называемый реакторный пуск, при котором компенсатор подключается к сети с выключателем Q2 через реактор, обладающий значительным индуктивным сопротивлением. С помощью этого напряжение на выводах компенсатора в начале пуска снижается до 40-50 % номинального, а пусковой ток не превышает 2-2,8 от номинального.

Тем самым разворот компенсатора обеспечивается за счет асинхронного момента, для увеличения которого предусматривается специальная пусковая обмотка, расположенная на полюсных наконечниках ротора. В то время как, в компенсаторах большой мощности массивные полюсы обеспечивают создание достаточно большого асинхронного момента, вследствие чего специальной пусковой обмотки не требуется.

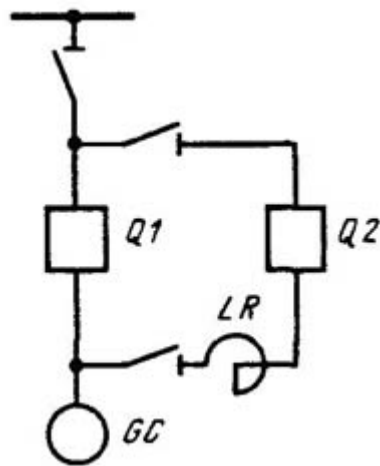


Рис. 1. Схема пуска синхронного компенсатора

Когда частота вращения компенсатора при развороте приблизится к синхронной, подается возбуждение и компенсатор втягивается в синхронизм. Воздействуя на АРВ, устанавливают минимальный ток статора, а затем выключателем Q1 шунтируют реактор, включая компенсатор в сеть.

Анализ регулирования синхронных компенсаторов

Работа синхронных компенсаторов автоматизируется, в связи с чем создается возможность плавного автоматического регулирования величины вырабатываемой реактивной мощности и напряжения. В недовозбужденном режиме работа, напротив, неэкономична, если ведет к увеличению реактивных нагрузок системы и, следовательно, к увеличению потерь энергии.

Работа с АРВ дает большой эффект в повышении предела электропередачи по условиям статической устойчивости в связи с поддержанием напряжения на приемном конце линии электропередачи. Тем самым возникновение реактивной мощности сопровождается значительной перегрузкой синхронных компенсаторов.

При работе синхронных компенсаторов уменьшается результирующий ток, нагружающий электрическую сеть. Потребление энергии синхронными компенсаторами невелико, так как потери мощности в синхронных компенсаторах не превышают 2 - 3 % их номинальной мощности. Номинальная мощность синхронных компенсаторов определяется значением полной мощности в киловольт-амперах. По сравнению с конденсаторами, которые также вызывают в сети опережающий ток и используются для повышения $\cos \varphi$ сети, синхронные компенсаторы дешевле, имеют меньшие габариты при той же мощности, но потери мощности в них больше потерь в конденсаторах.

Выводы

В ходе проведения исследования и выполнения аналитической работы выяснено, что использование синхронных компенсаторов гарантирует плавное и автоматическое регулирование реактивной мощности и напряжения в большем диапазоне, что обеспечивает увеличение статической и динамической устойчивости в энергетической системе, а также высокой надежность ее работы.

Список использованных источников

1. Иванов-Смоленский, А.В. Электрические машины: учебник для вузов / А.В. Иванов-Смоленский. М.:МЭИ, 2006.
2. Гольдберг О.Д. Электромеханика/ О.Д. Гольдберг, С.П. Хелемска. - М.: Академия, 2007.
3. Конюхова Е. А. Электроснабжение объектов: учеб.пособие для студ. учреждений сред. проф. образования. - М.: Мастерство, 2002.
4. Рекус Г. Г. Электрооборудование производств. - М.: Высшая школа, 2005.
5. Электротехнический справочник: В 4 т. Т. 3. Под общ.ред. проф. МЭИ В. Г. Герасимова. - М.: МЭИ, 2004.

УДК 621.316.1

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ УСТРОЙСТВ КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ИЗОЛЯЦИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1000В

Е.В. Самков, Б.А. Якимович, О.М. Крастелев

В последние годы отмечается неуклонное увеличение доли протяженности электрических сетей напряжением до 1000В с глухозаземлённой нейтралью по отношению к сетям других классов напряжений. В первую очередь это связано с ростом объёмов строительства в сфере малого и среднего бизнеса, а также жилья. Вместе с тем отмечается и рост уровня электротравматизма в низковольтных сетях.

Введение

Если в промышленности основная доля всех случаев электротравматизма происходит по организационным причинам, то для жилищно-коммунального хозяйства и малых частных предприятий основная причина поражений электрическим током - неудовлетворительное состояние изоляции электрических сетей. В старых зданиях сопротивление изоляции, как правило, снижается вследствие её естественного старения и механических повреждений. Во вновь строящихся - вследствие перегрева изоляции из-за несоответствия сечения проводов мощности подключаемой нагрузки. Основной причиной износа изоляции для всех сетей до 1000 В является большое число эксплуатирующих их организаций и частных лиц и, как следствие, низкое качество обслуживания электрических сетей.

Цель работы

Целью данной работы является анализ повышения уровня эффективности устройств контроля электрической изоляции в электрических сетях напряжением до 1000 В в районе города.

Контроль изоляции в электроустановках

Возможность поражения электрическим током – один из наиболее часто встречающихся опасных производственных факторов. Анализ смертельных несчастных случаев на производстве показывает, что на долю поражения электрическим током приходится до 40 %. Поэтому задача обеспечения электробезопасности занимает ведущее место в курсах «Безопасность жизнедеятельности» и «Производственная безопасность». Одним из способов обеспечения электробезопасности является применение надлежащей изоляции (ПУЭ).

Изоляция – это технический диэлектрик, в котором под действием электрического напряжения свободные электроны создают ток утечки. Следовательно, с ростом напряжения, приложенного к изоляции, его сопротивление уменьшается. При этом ток утечки возрастает. Снижение сопротивления изоляции может быть обратимым

(при увлажнении) и необратимым (старение изоляции). На снижение сопротивления изоляции влияют также: запыление, химическое воздействие и естественное старение изоляции (изменение физической и химической структуры материала с течением времени). При этом изменение свойств изоляции протекает медленно и носит характер неравномерно-распределенного дефекта по всему объему диэлектрика. В месте дефекта появляются частичные разряды тока и выгорание изоляции, что может привести к возникновению короткого замыкания (пробой изоляции), электротравме и пожару. Состояние изоляции в значительной мере определяет степень безопасности эксплуатации электроустановок. Сопротивление изоляции в сетях с изолированной нейтралью определяет ток через человека (рис. 1). При глухозаземленной нейтрали ток через человека не зависит от сопротивления изоляции (рис. 2). Но при плохом сопротивлении изоляции часто происходят ее повреждения, что приводит к замыканию на землю (корпус) и к коротким замыканиям. При замыкании на корпус возникает опасность поражения людей электрическим током, так как нетоковедущие части (корпус), с которыми человек нормально имеет контакт, оказываются под напряжением. Чтобы предотвратить замыкание на землю и другие повреждения изоляции, при которых возникает опасность поражения людей электрическим током, а также выходит из строя оборудование, необходимо проводить контроль изоляции.

Контроль изоляции – это измерение сопротивления изоляции токоведущих частей электроустановок с целью поддержания ее на уровне, обеспечивающем электробезопасность и предупреждение замыканий на землю и на корпус. С целью проверки соответствия сопротивления изоляции установленным нормам, проводится периодический и постоянный контроль изоляции.

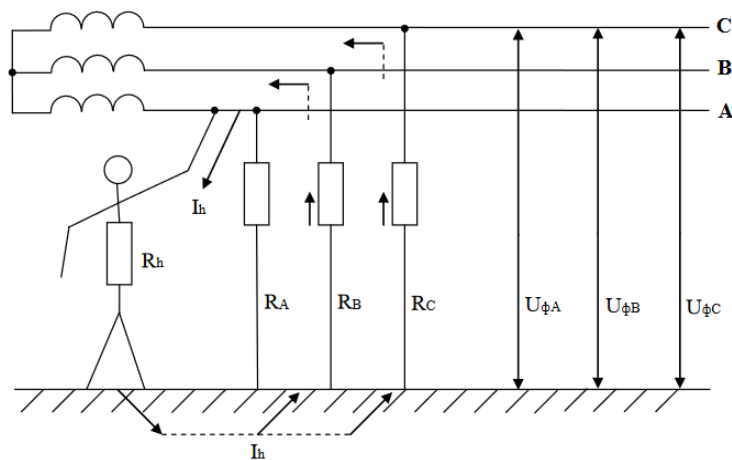


Рис. 1. Электрический ток через человека в сети с изолированной нейтралью

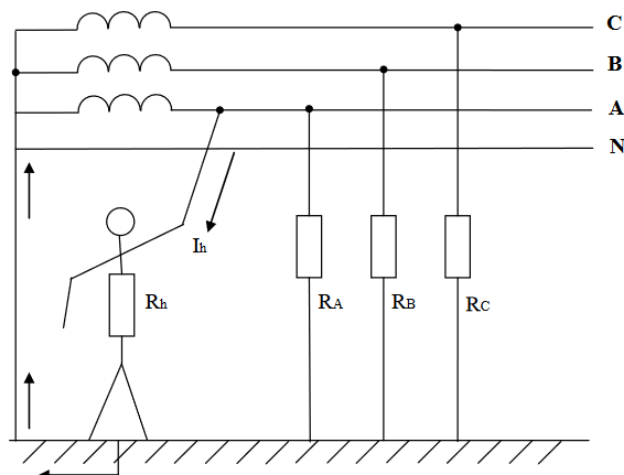


Рис. 2. Электрический ток через человека в сети с глухозаземлённой нейтралью:
N – нулевой провод.

Периодический контроль изоляции – измерение ее сопротивления при приемке электроустановки после монтажа, периодически в сроки, устанавливаемые правилами (для сетей с напряжением до 1000В – не реже одного раза в год) или в случае обнаружения дефектов. Измерение согласно правилам должно производиться на отключенной установке. При таком измерении можно определить сопротивление изоляции отдельных участков сети, электрических аппаратов, трансформаторов, электродвигателей и тому подобное. Измеряется сопротивление изоляции каждой фазы относительно земли и между каждой пары фаз на каждом участке между двумя последовательно установленными аппаратами защиты или за последним защитным аппаратом (автоматическим выключателем, плавным предохранителем). Сопротивление изоляции каждого участка в сетях напряжением до 1000 В должно быть не ниже указанных величин (таблица 1).

Таблица 1 - Минимально допустимые сопротивления изоляции электропроводок

№	Наименование испытываемой изоляции	$R_{из}$ МОм
1	Электроустановки на напряжении выше 12 В переменного тока	0,5
2	Ручной инструмент и переносные светильники	0,5
3	Силовые и осветительные электропроводки	0,5
4	Электродвигатели переменного тока	0,5
5	Электроустановки $U > 1000$ В в помещениях II – III класса	1,0

Периодический контроль изоляции осуществляется мегомметром. Измеренное таким образом сопротивление изоляции отдельных участков сети не может служить критерием безопасности, так как ток замыкания на землю определяется сопротивлением изоляции всей сети, относительно земли. В результате таких измерений выявляются участки с дефектной изоляцией, требующие профилактических мероприятий, для предупреждения замыкания на землю и коротких замыканий. Достоинства периодического контроля: – возможность измерения конкретных величин сопротивления изоляции фаз и между фазами;

– после сравнения измеренной величины сопротивления изоляции с минимально допустимым (таблица 1) делается вывод о возможности эксплуатации электроустановки.

Недостатки периодического контроля:

- возможность эксплуатации электроустановок в течение некоторого времени с пониженным сопротивлением изоляции;
- измеренное сопротивление изоляции только отдельных участков сети. А это не может служить критерием безопасности всей сети.

Постоянный контроль изоляции нашел широкое применение в электросетях и изолированной нейтралью и представляет собой контроль сопротивления изоляции под рабочим напряжением в течение всего времени работы электроустановок без отключения от сети. Постоянный контроль позволяет:

- выявить повреждения, дефекты, не обнаруженные во время периодических испытаний;
- предотвратить искрообразование в местах плохих контактов, которое может привести к пожару, взрыву или электротравме;
- в сетях с изолированной нейтралью предотвращается возможность опасных замыканий на землю.

Устройство постоянного контроля изоляции предусматривается лишь в сети с изолированной нейтралью до 1000В. Наиболее широкое применение для постоянного контроля нашли схемы:

- 3-х вентиляй;
- 3-х вольтметров.

Дефекты изоляции и механизмы их возникновения

В процессе эксплуатации на изоляцию воздействуют электрические, механические и тепловые нагрузки, вызывающие постепенное ухудшение ее свойств, связанное с уменьшением сопротивления изоляции, ростом диэлектрических потерь, снижением электрической прочности. Процесс ухудшения свойств называют старением изоляции. Эти изменения носят, как правило, необратимый характер и завершаются пробоем изоляции, что ограничивает сроки службы изоляционных конструкций.

Возникающие в изоляции дефекты подразделяются на сосредоточенные (трещины, газовые включения, эрозия, увлажнение небольшого объема изоляции) и распределенные, охватывающие значительный объем или поверхность изоляции. Электрическое старение твердой изоляции происходит из-за возникновения разрядных процессов в толще изоляции. Электрическое старение может иметь место при средней напряженности электрического поля на промежутке, много меньшей (в 5 - 20 раз) кратковременной электрической прочности изоляции. С увеличением напряжения темпы электрического старения возрастают.

Тепловое старение внутренней изоляции возникает за счет ускорения различных химических реакций при рабочих температурах изоляции, обычно лежащих в пределах от 600 °С до 1300 °С. Химические реакции приводят к постепенному изменению структуры и свойств материалов и к ухудшению изоляции в целом. Для твердой изоляции наиболее характерным является постепенное снижение механической прочности в процессе теплового старения, что приводит к повреждению изоляции под действием механических нагрузок и затем к ее пробоем. В жидких диэлектриках продукты разложения загрязняют изоляцию и снижают ее электрическую прочность.

Для органической изоляции повышение температуры на 10°C снижает срок службы изоляции вдвое; в сложной изоляции силовых трансформаторов процесс теплового старения протекает быстрее, чем по десятиградусному правилу. Старение изоляции возникает и при механических нагрузках на твердую изоляцию. Сущность этого вида старения заключается в том, что в напряженном материале возникает упорядоченное движение локальных микродефектов, и за счет этого образуются и постепенно увеличиваются в размерах микротрещины. При действии сильных электрических полей в микротрещинах возникают частичные разряды, ускоряющие разрушение изоляции.

Увлажнение изоляции может рассматриваться как одна из форм старения изоляции. Влага проникает в изоляцию главным образом из окружающего воздуха. При этом происходит уменьшение сопротивления изоляции, рост диэлектрических потерь, связанный с дополнительным нагревом изоляции и ускоряющий тепловое старение изоляции. Неравномерное увлажнение, кроме того, приводит к искажению электрического поля и снижает пробивное напряжение изоляции.

Увлажнение – процесс в принципе обратимый, влага может быть удалена из изоляции сушкой. Однако сушка крупногабаритных конструкций требует вывода оборудования из строя на длительное время, а в ряде случаев извлечение влаги из изоляции затруднено или невозможно, например, практически не поддается сушке бумажно-масляная изоляция кабелей, вводов и другого оборудования. Для снижения увлажнения применяют герметизацию конструкций, воздухоосушители, гибкие диафрагмы и другие методы.

Принцип измерения сопротивления изоляции и влияющие на него факторы

Для надежной работы электроустановок необходимо обеспечивать определенный уровень изоляции эксплуатируемой электроустановки. Для этого в электрических сетях систематически производят профилактические испытания изоляции при отключенном оборудовании; сопротивление изоляции при этом должно быть не ниже $0,5\text{ МОм}$ в электроустановках напряжением до 1000 В и 1 МОм — для электроинструмента с изолированными ручками.

Кроме того, производится непрерывный контроль изоляции при нормально работающем оборудовании. В сетях трехфазного тока с изолированной нейтралью и в сетях постоянного тока широко применяется способ контроля изоляции с помощью вольтметров.

При нормальном состоянии изоляции показания вольтметров во всех фазах одинаковы. Снижение уровня изоляции одной из фаз проявляется уменьшением напряжения в этой фазе и увеличением в двух исправных фазах. В установках трехфазного тока с изолированной нейтралью напряжением выше 1000 В вольтметры включают через трансформаторы напряжения с обязательным заземлением нейтрали вторичных обмоток. Если требуется сигнализировать о ненормальной работе электроустановки или отключении участка сети при уменьшении сопротивления изоляции ниже заданного уровня, применяют схемы с реле, включенным в нейтральный провод.

Измерение сопротивления изоляции базируется на законе Ома. Подав известное напряжение постоянного тока с уровнем ниже, чем напряжение испытания электрической прочности, а затем, измерив значение тока, очень просто замерить значение сопротивления. В принципе, значение сопротивления изоляции очень велико, но не бесконечно, поэтому измеряя малый протекающий ток, мегомметр указывает

значение сопротивления изоляции в кОм, МОм, ГОм и даже в ТОм (на некоторых моделях). Это сопротивление характеризует качество изоляции между двумя проводниками и способно указать на риск возникновения тока утечки.

На значение сопротивления изоляции и, следовательно, на значение тока, протекающего, когда к тестируемой цепи приложено напряжение постоянного тока, влияет ряд факторов. К таким факторам относятся, например, температура или влажность, которые способны существенно повлиять на результаты измерений. Для начала давайте проанализируем характер токов, протекающих во время измерения изоляции, используя гипотезу о том, что эти факторы не влияют на проводимое измерение.

Общий ток, протекающий в изоляционном материале, представляет собой сумму трех компонентов:

1) Емкость. Для зарядки емкости тестируемой изоляции необходим ток зарядки емкости. Это переходный ток, который начинается с относительно высокого значения и падает экспоненциально к значению, близкому к нулю, когда тестируемая цепь электрически заряжается. Через несколько секунд или десятых долей секунды этот ток становится незначительным по сравнению с измеряемым током.

2) Поглощение. Ток поглощения, соответствующий дополнительной энергии, которая необходима для переориентации молекул изоляционного материала под воздействием прикладываемого электрического поля. Этот ток падает намного медленнее, чем ток зарядки емкости; иногда необходимо несколько минут, чтобы достичь значения, близкого к нулю.

3) Ток утечки или ток проводимости. Этот ток характеризует качество изоляции и не изменяется со временем.

На приведенном ниже графике (рис. 3) эти три тока показаны в зависимости от времени. Шкала времени является условной и может различаться в зависимости от тестируемой изоляции.

Для обеспечения надлежащих результатов тестирования очень больших электродвигателей или очень длинных кабелей сведение к минимуму емкостных токов и токов поглощения может занимать от 30 до 40 минут.

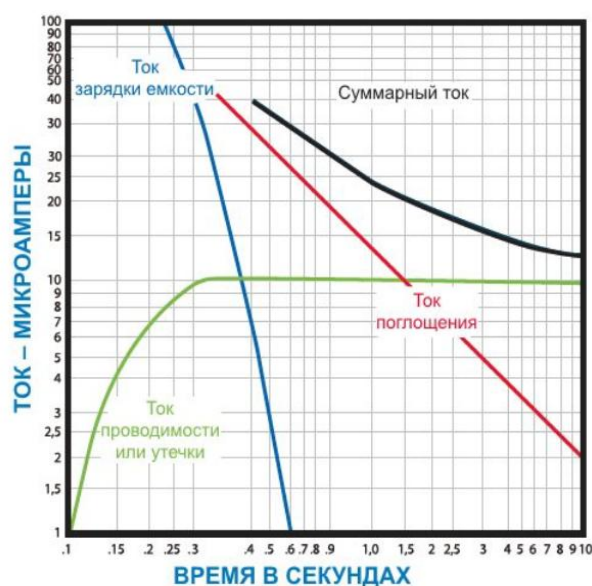


Рис. 3. Зависимость от времени составляющих общего тока

Когда в цепь подается постоянное напряжение, суммарный ток, протекающий в тестируемом изоляторе, изменяется в зависимости от времени. Это предполагает значительное изменение сопротивления изоляции.

Перед подробным рассмотрением различных методов измерения было бы полезно снова взглянуть на факторы, которые влияют на измерение сопротивления изоляции.

Влияние температуры

Температура вызывает квазиэкспоненциальное изменение значения сопротивления изоляции. В контексте программы профилактического технического обслуживания измерения должны выполняться в одинаковых температурных условиях или, если это невозможно, должны корректироваться относительно эталонной температуры. Например, увеличение температуры на 10 °C уменьшает сопротивление изоляции ориентировочно наполовину, в то время как уменьшение температуры на 10 °C удваивает значение сопротивления изоляции.

Уровень влажности влияет на изоляцию в соответствии со степенью загрязнения ее поверхности. Никогда не следует измерять сопротивление изоляции, если температура ниже точки росы.

Методы тестирования и интерпретация результатов

Кратковременное или точечное измерение. Это наиболее простой метод. Он подразумевает подачу испытательного напряжения на короткое время (30 или 60 секунд) и фиксацию значения сопротивления изоляции на этот момент. Как уже указывалось выше, на такое прямое измерение сопротивления изоляции значительное влияние оказывает температура и влажность, поэтому измерение следует стандартизировать при контрольной температуре и для сравнения с предыдущими измерениями следует фиксировать уровень влажности. С помощью данного метода можно проанализировать качество изоляции, сравнивая текущее измеренное значение с результатами нескольких предыдущих тестов. Со временем это позволит получить более достоверную информацию о характеристиках изоляции тестируемой установки или оборудования по сравнению с одиночным испытанием.

Если условия измерения остаются идентичными (то же самое испытательное напряжение, то же время измерения и т.д.), то при периодических измерениях путем мониторинга и интерпретации любых изменений можно получить четкую оценку состояния изоляции. После записи абсолютного значения, необходимо проанализировать изменение во времени. Таким образом, измерение, показывающее относительно низкое значение изоляции, которое, тем не менее, стабильно во времени, теоретически должно доставлять меньше беспокойства, чем значительное снижение сопротивления изоляции со временем, даже если сопротивление изоляции выше, чем рекомендованное минимальное значение. В общем, любое внезапное падение сопротивления изоляции свидетельствует о проблеме, требующей изучения.

Методы тестирования, основанные на влиянии времени приложения испытательного напряжения (PI и DAR)

Эти методы включают последовательное измерение значений сопротивления изоляции в указанное время. Их преимуществом является неподверженность особому

влиянию температуры, поэтому их можно применять без коррекции результатов, если только испытательное оборудование не подвергается во время теста значительным колебаниям температуры.

Данные методы идеально подходят для профилактического обслуживания вращающихся машин и для мониторинга изоляции.

Если изоляционный материал находится в хорошем состоянии, ток утечки или ток проводимости будет низким, а на начальный замер сильно влияют токи зарядки емкости и диэлектрического поглощения. При приложении испытательного напряжения со временем измеренное значение сопротивления изоляции повышается, так как уменьшаются эти токи помех. Необходимое для измерения изоляции в хорошем состоянии время стабилизации зависит от типа изоляционного материала.

Если изоляционный материал находится в плохом состоянии (поврежден, грязный и влажный), ток утечки будет постоянным и очень высоким, часто превышающим токи зарядки емкости и диэлектрического поглощения. В таких случаях измерение сопротивления изоляции очень быстро становится постоянным и стабилизируется на высоком значении напряжения.

Изучение изменения значения сопротивления изоляции в зависимости от времени приложения испытательного напряжения дает возможность оценить качество изоляции. Этот метод позволяет сделать выводы, даже если не ведется журнал измерения изоляции. Тем не менее, рекомендуется записывать результаты периодических измерений, проводимых в контексте программы профилактического обслуживания.

Показатель поляризации (PI)

При использовании этого метода два показания снимаются через 1 минуту и 10 минут, соответственно. Отношение (без размерностей) 10-минутного значения сопротивления изоляции к 1-минутному значению называется показателем поляризации (PI). Этот показатель можно использовать для оценки качества изоляции.

Метод измерения с использованием показателя поляризации идеально подходит для тестирования цепей с твердой изоляцией. Данный метод не рекомендуется использовать на таком оборудовании, как масляные трансформаторы, поскольку он дает низкие результаты, даже если изоляция находится в хорошем состоянии.

Рекомендация IEEE 43-2000 «Рекомендуемые методы тестирования сопротивления изоляции вращающихся машин» определяет минимальное значение показателя поляризации (PI) для вращающихся машин переменного и постоянного тока в температурных классах В, F и H равным 2.0. В общем случае значение PI, превышающее 4, является признаком превосходной изоляции, а значение ниже 2 указывает на потенциальную проблему.

$$PI = R \text{ (10-минутное измерение изоляции)} / R \text{ (1-минутное измерение изоляции)}$$

Результаты интерпретируются следующим образом:

Таблица 2 - Зависимость показателя PI от состояния изоляции

Значение PI нормы	Состояние изоляции
< 2	Проблемное
От 2 до 4	Хорошее
> 4	Отличное

Коэффициент диэлектрической абсорбции (DAR)

Для установок или оборудования, содержащих изоляционные материалы, в которых ток поглощения уменьшается быстро, для оценки состояния изоляции, возможно, будет достаточно провести измерение через 30 секунд и 60 секунд. Коэффициент DAR определяется следующим образом:

$$\text{DAR} = R \text{ (60-секундное измерение изоляции)} / R \text{ (30-секундное измерение изоляции)}$$

Результаты интерпретируются следующим образом:

Таблица 3 - Зависимость показателя DAR от состояния изоляции

Значение DAR (нормы)	Состояние изоляции
< 1,25	Неудовлетворительное
< 1,6	Нормальное
> 1,6	Отличное

Выводы

1. Надежность и безопасность эксплуатации распределительных электрических сетей во многом определяются состоянием изоляции этих сетей. Одним из способов поддержания изоляции на должном уровне является ее непрерывный контроль, обеспечивающий предотвращение электроопасных ситуаций путем исключения появления напряжения на металлических нетоковедущих частях.

2. Анализ аварийных ситуаций показывает, что около 60 % всех отключений и связанных с этим перерывов в электроснабжении, вызывается снижением уровня сопротивления изоляции, приводящим, в конечном счете, к ее пробое.

3. Чтобы предотвратить замыкание на землю и другие повреждения изоляции, при которых возникает опасность поражения людей электрическим током, а также выходит из строя оборудование, необходимо проводить контроль изоляции.

4. При испытаниях повышенным напряжением дефекты изоляции обнаруживаются в результате пробоя и последующего прожигания изоляции. Выявленные дефекты устраняются, и затем проводятся повторные испытания исправленного оборудования.

Список использованных источников

1. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках: Учебное пособие для вузов /П.А. Долин – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 448 с., ил.

2. Ломоносов В.Ю., Поливанов К.М., Михайлов О.П. Электротехника – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 400с.: ил.

3. ГОСТ 2.710–81 Правила выполнения схем. Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах. Измененная редакция, Изм. No 1 Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 31 марта 1981 г. No 1675 срок введения установлен с 01.07.1987

4. Шидловский А.К., Кузнецов В.Г. Повышение качества энергии в электрических сетях. - Киев: Наукова думка, 1985.

5. Железко Ю.С. Влияние потребителя на качество электроэнергии в сети и технические условия на его присоединение // Промышленная энергетика. 1991. № 8.
6. Электрические системы. Электрические сети: учеб. для электроэнергет. специальностей вузов / В. А. Веников [и др.]; под ред. В. А. Веникова, В. А. Строева. – М.: Высш. шк., 1998.
7. Справочник по проектированию электроснабжения/под ред. Ю. Г. Барыбина и др. – М.: Энергоатомиздат, 2009.

УДК 621.316.1

АНАЛИЗ СПОСОБОВ БОРЬБЫ С ХИЩЕНИЯМИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ДО 1000 В

А.А. Киселёв, Б.А. Якимович, О.М. Крастелёв

Одним из видов так называемых коммерческих потерь электроэнергии являются ее хищения; масштабы этого явления приобретают в последние годы катастрофический характер. В условиях рыночной экономики электроэнергия представляет собой товар, который можно не только продать или купить, но также украсть, скрыть излишек мощности, растратить или присвоить, и даже незаконно продать (например, абонент субабоненту). Такие противоправные действия определяются обобщённым понятием хищение.

С точки зрения закона хищение представляет собой умышленное противоправное изъятие чужого имущества с целью обращения его в свою пользу или распоряжения им как своим собственным.

Вследствие постоянного удорожания электроэнергии, с одной стороны, и снижения платежеспособности потребителей, с другой стороны, а также из-за своей доступности и безнаказанности хищения электроэнергии неизбежно и традиционно были, есть и будут.

Введение

В условиях рыночной экономики электроэнергия представляет собой товар, который можно не только продать или купить, но также украсть, скрыть излишек мощности, растратить или присвоить, и даже незаконно продать (например, абонент субабоненту). Такие противоправные действия определяются обобщённым понятием хищение. Уместны также термины «кража» - тайное хищение чужого имущества, «мошенничество» - хищение чужого имущества путем обмана и т. д.

Хищению электроэнергии способствует известная специфическая особенность данного товара, заключающаяся в том, что его производство, передача, распределение и приобретение (потребление) происходят одновременно. На всех указанных этапах данный товар нет возможности складировать (аккумулировать) и хранить.

Цель работы

Целью данной работы является анализ способов борьбы с хищениями электроэнергии в электрических сетях до 1000В.

Многочисленные хищения со стороны абонентов и субабонентов приводят к возрастанию коммерческих потерь электроэнергии и значительным убыткам ее поставщиков - энергоснабжающих организаций, которые в настоящее время не имеют действенных рычагов для выявления и устранения фактов хищений, а также для привлечения расхитителей электроэнергии к ответственности

Для обнаружения, предотвращения и устранения хищения электроэнергии требуется продолжительная целенаправленная работа.

Способы учёта электроэнергии

Учет электрической энергии является неотъемлемой составляющей процесса ее производства, передачи, распределения и потребления, особенно на последней стадии этого процесса стадии продажи-покупки. Основной целью учета электроэнергии является получение достоверной информации о количестве произведенной, отпущенной и потребленной электроэнергии и мощности для решения следующих технико-экономических задач [2].

Понятие «хищение электроэнергии» стало ассоциироваться с понятием ее учета; эти понятия стали неотделимы друг от друга (даже при отсутствии приборов учета), что подтверждается получившими уже широкое распространение определениями:

1) потребление электроэнергии (самовольное подключение) помимо приборов учета; 2) хищение электроэнергии при наличии приборов ее учета; 3) хищение электроэнергии за счет несовершенства конструкции счетчиков;

Средства учета электрической энергии не ограничиваются только счетчиками активной и реактивной энергии, а представляют собой сложную совокупность устройств, соединенных между собой по установленной схеме и обеспечивающих измерение и учет электрической энергии, включая: -измерительные ТТ и ТН; -счетчики электрической энергии; -телеметрические датчики; -информационно-измерительные системы и их линии связи. [4].

Практически каждое из перечисленных устройств представляет собой объект для возможного осуществления хищения электроэнергии.

В качестве расчетных приборов учета активной энергии используются однофазные и (или) трехфазные счетчики двух типов: индукционные и статические счетчики ватт-часов (электронные).

Счетный механизм представляет собой электромеханическое или электронное устройство, содержащее как запоминающее устройство, так и дисплей. Одним из основных достоинств электронных счетчиков является возможность учета электроэнергии по дифференцированным тарифам (одно, двух и более тарифный), которая обеспечивается с помощью внешнего устройства переключения тарифов.

Все электросчетчики включаются по типовым схемам, в которых для правильной работы счетного механизма, в частности, во избежание хищения электроэнергии, необходимо соблюдать полярность выводов.

Расчетные счетчики электрической энергии в соответствии с требованиями ПУЭ должны устанавливаться на границе раздела сети в точках балансового разграничения потребителей с энергоснабжающей организацией [4].

Способы хищения электроэнергии

Огромное количество разнообразных способов и видов хищения электроэнергии можно дифференцировать по отдельным группам, например:

- *по группам потребителей электрической энергии:* 1) промышленные потребители электроэнергии; 2) потребители в обобществленном секторе (мелкомоторные потребители); 3) потребители в бытовом секторе (население в городах и сельской местности) и т. д.;

- *по способам хищения:* 1) расчетные способы; 2) за счет нарушения схемы измерительного комплекса; 3) за счет несанкционированного подключения к питающим магистралям и вводам в здания и т. д.; 4) за счет технического несовершенства существующих приборов учета и измерительных ТТ и ТН; 5) путем использования

безучётных скрытых проводок; 6) путем механического воздействия на счетный механизм приборов учета;

Представляется целесообразным на данном этапе просто разделить способы хищения электроэнергии на расчетные и технологические (технические): эти группы включают все существующее на данный момент многообразие способов и видов хищения электроэнергии. К технологическим способам относятся хищение электроэнергии в питающих электросетях, хищение путем изменения схем первичной и вторичной коммутации к приборам учета и измерительным ТТ и ТН, а также хищение путем внешнего воздействия на счетный механизм приборов учета электроэнергии [2].

Расчётные способы хищения

1) Занижение фактического расхода электроэнергии.

В общем случае фактический расход электроэнергии W равен произведению разницы показаний счетчика активной энергии (П1-П2) на расчетный коэффициент счетчика $K_{р.сч}$ и на коэффициенты трансформации измерительных ТТ K_I и ТН K_U :

$$W = K_{р.сч} \cdot K_I \cdot K_U \cdot (П1-П2), (\text{кВт}\cdot\text{ч}) \quad (1)$$

2) Занижение расчетных потерь активной мощности в абонентских трансформаторах и в линии.

К расчетным способам хищения электроэнергии следует отнести заведомо заниженные расчетным путем потери активной энергии в питающем абонентском трансформаторе в случае, если расчетные счетчики установлены на стороне низшего напряжения этих трансформаторов. Расчет потерь электроэнергии оформляется в виде приложения к договору энергоснабжения. В некоторых энергоснабжающих организациях такой расчет не производится; с абонентов взимается 5,1 % за потери в трансформаторах (в соответствии с действовавшими ранее тарифными документами). В настоящее время такой подход является некорректным, поскольку не отражает действительного значения потерь[1].

3) Использование ступенчатых тарифов на электроэнергию. С целью стимулирования бытовых потребителей к экономии электроэнергии в некоторых энергоснабжающих организациях вводятся ступенчатые тарифы, возрастающие с увеличением уровня потребления. Потребитель имеет возможность снизить оплату по повышенному тарифу, ограничивая потребление электроэнергии в период ее высокого расхода.

Технологические способы хищения

1) Подключение нагрузки к безучётным питающим электросетям. Питающие (магистральные) и потребительские (распределительные) электросети разделены границей балансовой принадлежности, представляющей собой линию раздела объектов электросетевого хозяйства между владельцами по принципу собственности или владения на ином законном основании.

2) Изменение схем первичной и вторичной коммутации приборов учета. Вращающий момент индукционного счетчика $M_{сч}$, определяющий частоту вращения его диска, прямо пропорционален магнитным потокам, пронизывающим алюминиевый диск счетчика и создающим в нем вихревые токи. Взаимодействие магнитного потока

Φ в катушке напряжения счетчика с током нагрузки I в его токовой катушке создает вращающий момент $M_{сч}$, что можно выразить следующей формулой:

$$M_{сч} = k \cdot \Phi \cdot I, \quad (2)$$

где Φ - магнитный поток, пропорциональный приложенному напряжению U ;

K - коэффициент пропорциональности, зависящий от конструкции и параметров счетчика [3].

Хищение электроэнергии в распределительных сетях может быть осуществлено с нарушением схемы учета электроэнергии и (или) даже не касаясь схемы учета и самого счетчика.

Из схемы рисунка 1 видно, что изменение полярности в токовой цепи счетчика (если поменять местами входящий в счетчик конец 1 с отходящим от счетчика концом 2 приведет к изменению направления магнитного потока и обратному вращению диска счетчика, если в конструкции счетчика не предусмотрено стопорное устройство.

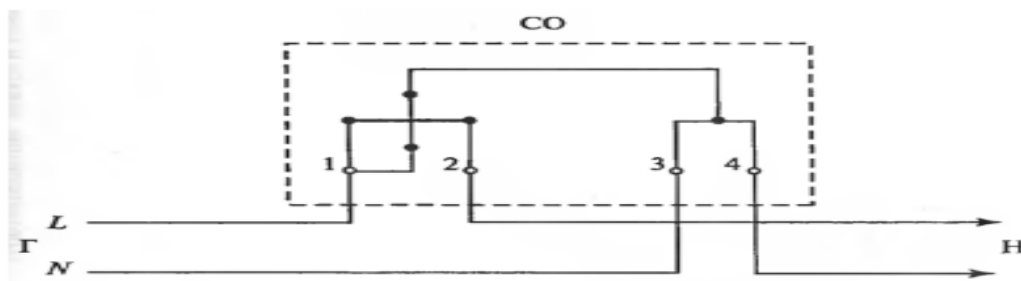


Рис. 1. Схема включения индукционного однофазного счетчика.

При этом следует учитывать, что одновременное изменение мест концов 1 и 2 в токовой цепи и концов 3 и 4 в цепи напряжения счетчика не сможет изменить направление вращения его диска.

Если поменять местами два входящих в счетчик конца 1 и 3 по схеме рисунка 1.2, то для уменьшения вращающего момента (уменьшения скорости вращения диска) счетчика достаточно конец 1, приходящий на зажим электроприемника, заземлить (занулить). В результате электроприемники окажутся включенными помимо счетчика, как показано на рисунке 2.

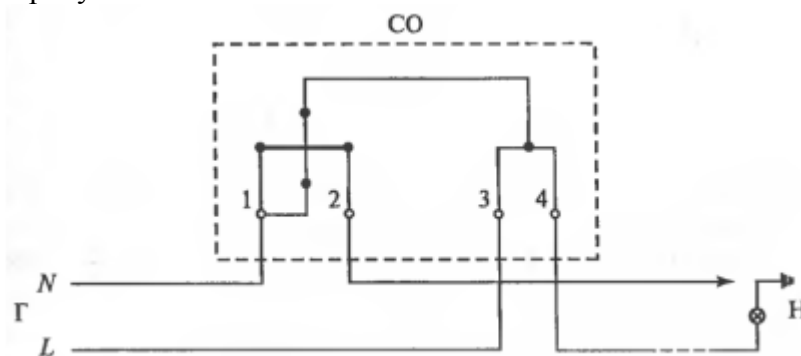


Рис. 2. Схема хищения электроэнергии при подаче в токовую обмотку счетчика нулевого провода

Многие способы хищения реализуются за счет несовершенства конструкции индукционных счетчиков, таких как относительная простота воздействия на диск счетчика и возможность шунтирования токовых цепей, изменения схемы коммутации

вторичных цепей, отсутствие стопорных или реверсивных устройств в счетном механизме, узкий нормируемый диапазон счетчика по току нагрузки, неучет однополупериодной или несбалансированной по полуволнам нагрузки, влияние на достоверность учета инвертирования фазы тока нагрузки и т. д. [3].

3) Внешнее воздействие на счетный механизм электросчетчика. Существует ряд способов хищения электроэнергии, не связанный с изменением схем коммутации счетчиков электрической энергии. Такое хищение может иметь место из-за внешнего механического воздействия на прибор учета или из-за воздействия электромагнитных полей на его счетный механизм. Наиболее простым и достаточно эффективным способом хищения электроэнергии путем механического воздействия (особенно для однофазных счетчиков) является наклон самого счетчика до полной остановки вращения его диска.

Предотвращение хищений электроэнергии

Ни одно отдельно взятое организационное и (или) техническое мероприятие по обнаружению, предотвращению и устранению случаев хищения электроэнергии не сможет дать ощутимого эффекта. Их применение должно быть комплексным, одно мероприятие должно дополнять другое. [5].

Комплексный подход позволит одновременно решать общую задачу снижения коммерческих потерь электроэнергии в электрических сетях. К организационным мероприятиям по обнаружению, предотвращению, устранению и недопущению впредь фактов хищения электроэнергии можно отнести следующие:

1) полномасштабное использование правовых административно-уголовных мер для неотвратимого воздействия на расхитителей электрической энергии; 2) внедрение согласованного расчетного учета электроэнергии между энергоснабжающими организациями и энергоемкими потребителями; 3) переход энергосбытовых организаций на контроль работы расчетных приборов учета с выпиской счетов потребителям в бытовом и мелкомоторном секторе; 4) организация рейдов по выявлению фактов хищения электроэнергии; 5) создание телефонов доверия; 6) разработка системы стимулирования и материального поощрения инспекторов и контролеров энергосбытовых организаций за выявление фактов хищения электроэнергии; 7) проведение ревизий и маркирование средств учета специальными знаками; организация массового внедрения АСКУЭ в качестве расчетной системы учета электроэнергии и установка приборов учета со встроенным модемом передачи данных; 8) использование систем учета с дистанционной передачей информации от расчетных приборов учета по силовой цепи электроснабжения потребителей; 9) установка расчетных приборов учета на стороне высшего напряжения абонентских трансформаторов; 10) перенос расчетных приборов учета за границы балансовой принадлежности потребителей электроэнергии частных владений (коттеджей, садоводческих товариществ и т.п.); 11) согласование однолинейных схем электроснабжения вновь вводимых и реконструированных электроустановок не только с энергоснабжающей организацией в части учета электроэнергии, но и с органами Ростехнадзора в полном объеме [7].

К техническим мероприятиям по выявлению, предупреждению и устранению фактов хищения электроэнергии относятся следующие: 1) совершенствование конструкции индукционных и электронных счетчиков; 2) применение индукционных счетчиков со стопорами обратного хода; 3) применение индукционных счетчиков с реверсивным счетным механизмом; 4) замена индукционных счетчиков на статические

(электронные) счетчики ватт-часов; 5) разработка и серийный выпуск защитных экранов или других подобных устройств для защиты электронных счетчиков от воздействия влияния электромагнитных полей; 6) применение приборов-индикаторов, позволяющих сравнивать значения токов нагрузки в фазном и нулевом проводах; 7) применение электронных сканеров, позволяющих выявлять скрытую электропроводку, выполненную в обход схемы учета электроэнергии; 8) проверка правильности схем включения приборов учета, порядка чередования фаз и правильности работы счетного механизма. Приведенный перечень организационных и технических мероприятий не является исчерпывающим. Подобные меры разрабатываются и применяются в настоящее время, постоянно развиваются и совершенствуются [4].

Перспективные способы учёта электроэнергии для предотвращения хищений электроэнергии

Измерения электроэнергии электронными счётчиками основаны на преобразовании аналоговых входных сигналов переменного тока и напряжения в счётный импульс или код.

На рисунке 3 представлена структурная схема электронного счётчика, основанного на амплитудной и широтно-импульсной модуляции.

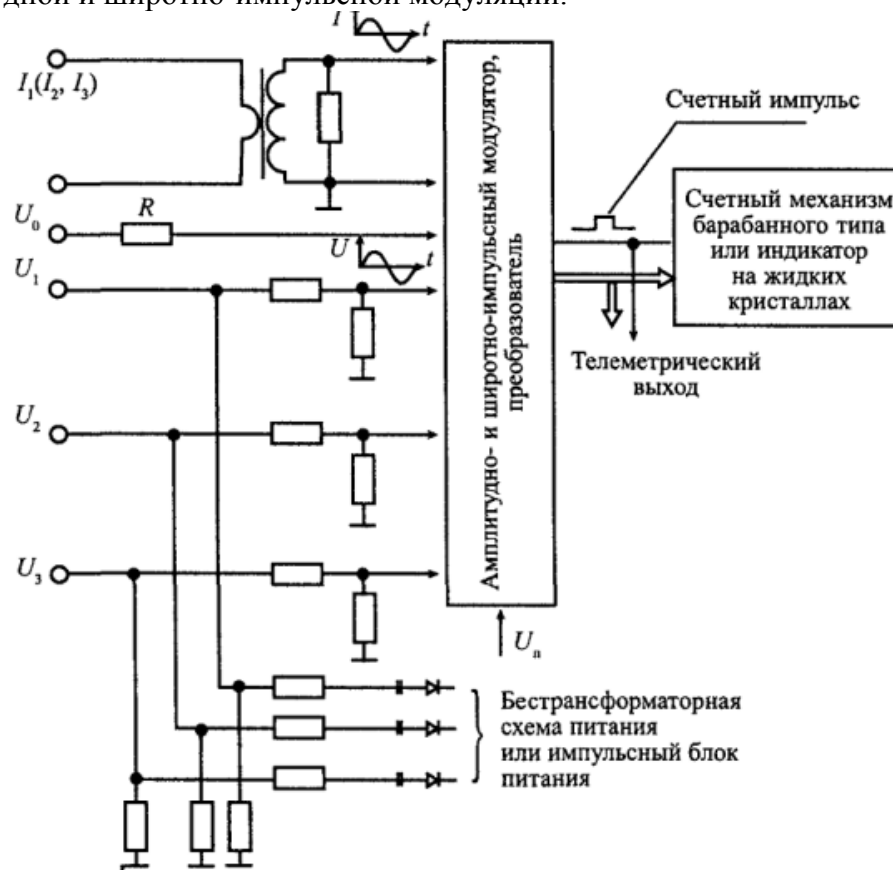


Рис. 3. Структурная схема электронного счётчика

В этом счётчике отсутствуют механические вращающиеся части, тем самым исключается трение. В результате удаётся добиться лучших метрологических характеристик: погрешности измерений, порога чувствительности, самохода счётчика.

В ряде электронных счётчиков вместо счётного механизма барабанного типа применяют индикатор на жидких кристаллах [3].

Развитие микроэлектроники наметило переворот в области создания промышленных и бытовых систем учета, который, в первую очередь, связан с использованием систем управления на базе микроконтроллеров. В цифровых системах учета достигим практически любой класс точности, при выборе соответствующей элементной базы и алгоритмов обработки информации. Отсутствие механических частей значительно повышает надёжность. Обработка информации в цифровом виде позволяет одновременно подсчитывать как активную, так и реактивную составляющие мощности, это является важным, например, при учёте энергии в трёхфазных сетях. Появляется возможность создания многотарифных электросчётчиков. При работе такой системы учета значение накопленной энергии записывается в буфер текущего тарифа.

В электросчётчике может быть установлен режим ограничения по количеству израсходованной за месяц энергии и по мощности [6].

Выводы

Из-за больших объемов передаваемой электроэнергии, значительного числа потребителей с различным характером нагрузок, наличия технических и коммерческих потерь электроэнергии и т. д. имеют место существенные различия в результатах ее измерения расчетными и контрольными приборами учета.

Указанные особенности процесса производства, передачи и сбыта электроэнергии, а также наличие протяженных разветвленных магистральных и распределительных электросетей сложной конфигурации создают благоприятные предпосылки для хищения электроэнергии.

Если раньше, до возникновения и развития коммерческих взаимоотношений между потребителями электрической энергии и энергоснабжающими организациями, хищения электроэнергии карались конкретными наказаниями, регламентированными ведомственными нормативными документами, вплоть до немедленного отключения абонента от сети, то в настоящее время в действующих законодательных, правовых и подзаконных актах подобные меры воздействия не предусмотрены.

При этом обнаружить причины неправильной работы систем учета электроэнергии при внешнем осмотре часто невозможно. Таким образом, многочисленные хищения со стороны абонентов и субабонентов приводят к возрастанию коммерческих потерь электроэнергии и значительным убыткам ее поставщиков - энергоснабжающих организаций, которые в настоящее время не имеют действенных рычагов для выявления и устранения фактов хищений, а также для привлечения расхитителей электроэнергии к ответственности.

Поэтому для обнаружения, предотвращения и устранения хищения электроэнергии требуется продолжительная целенаправленная работа. Она требует постоянного внимания и бдительности со стороны инспекторов и контролеров энергосбытовых и электросетевых компаний, а также значительных материальных затрат на совершенствование средств учета электроэнергии, создание информационного обеспечения и эффективных технических средств для выявления фактов хищений.

Список использованных источников

1. Инструкция по расчету и анализу технологического расхода электроэнергии на передачу по электрическим сетям энергосистем и энергообъединений. - М: Союзтехэнерго, 1987
2. Потребич А.А., Одинцов В.П. Планирование потерь электроэнергии в электрических сетях энергосистем. «Электрические станции». - № 2. – 1998.
3. Типовая инструкция по учету электроэнергии при ее производстве, передаче и распределении. – М.: ОРГРЭС, 1995.
4. Подзенин А.В. Повышение достоверности показаний счетчиков электроэнергии расчетным способом. «Электричество». - №12. – 1997.
5. Головкин П.И. Энергосистема и потребители электрической энергии. - 2-е изд., перераб. И доп. - М.: Энергоатомиздат, 1984
6. Железко Ю.С. Влияние потребителя на качество электроэнергии в сети и технические условия на его присоединение // Промышленная энергетика. - 1991.
7. ГОСТ 13109—97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. - М.: Изд-во стандартов, 1998.

УДК 621.316.1

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ УСТРОЙСТВ ЭКОНОМИЧНОГО ОСВЕЩЕНИЯ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1000 В

А.А. Востриков, Б.А. Якимович, Крастелев О.М.

Из-за увеличения числа приемников, чувствительных к кратковременным нарушениям электроснабжения, искажению формы кривой как питающего напряжения, так и тока, в последние годы проблема качества электроснабжения становится все более актуальной. Если в индустриальной экономике качество электрической энергии измерялось прерываниями электрической энергии (типичное значение которого 2-3 в год), то в новой цифровой экономике такие нарушения недопустимы для современного оборудования и чувствительных процессов.

Введение

Экономия электроэнергии и применение технологий для снижения потерь электрической энергии в эпоху глобального развития мировой экономики, увеличение нагрузок на сети ввиду роста потребителей и т.д. является одной из ключевых задач.

Цель работы

Целью данной работы является анализ применения устройств экономического освещения для снижения потерь электроэнергии в электрических сетях напряжением до 1000 В.

Питание установок наружного освещения

Наружное освещение промышленных объектов разделяется по своему применению на освещение дорог и проездов, площадок для производства работ, складов различных материалов и готовой продукции, площадок для разгрузки и погрузки грузов. По границам охраняемых площадок устраивается обязательное охранное освещение. Электропитание прожекторов и светильников производится от сети общего электроснабжения освещаемого объекта.

Отдельные части осветительной установки могут питаться от различных ТП или РП. Число пунктов питания, таким образом, может быть достаточно большим, но управление всей осветительной установкой наружного освещения должно быть, согласно действующим правилам и нормам, централизованным - из одного или возможно минимального количества мест. Ручное и автоматическое виды управления должны использоваться только как дополнительные, для обеспечения более удобных условий эксплуатации.

Условия режимов работы на отдельных участках территории объектов различаются, и это требует и разного режима работы осветительных установок для этих участков. Например, при отсутствии работ на складских площадках их освещение выключается, а освещение дорог по территории объекта в это время должно оставаться включенным. Для системы управления наружным освещением необходимо обеспечить возможность раздельного управления отдельными частями осветительной установки.

Проблема качества электроэнергии в современных электросетях

В последние десятилетия растет количество электрических нагрузок, ухудшающих качество электроэнергии в промышленных сетях и системах общего назначения. Внедренные руководящие документы по качеству электроэнергии не создали требуемый механизм решения задачи обеспечения надежности и качества электроснабжения потребителей, так как эти материалы сначала приводят к штрафным санкциям по отношению к производителям и даже к потребителям, в то время как организации, занятые распределением энергии, как правило, не несут никакой ответственности в отношении мощности короткого замыкания и полного сопротивления сети, от которых напрямую зависят уровни провалов напряжения.

Снижение потерь энергии в электрических сетях – важная составляющая всего комплекса энергосберегающих мероприятий. Электроэнергия является единственным видом продукции, транспортировка которой осуществляется за счет расхода определенной части самой продукции. Поэтому потери энергии при ее передаче неизбежны, задача состоит в определении их оптимального уровня и поддержании фактических потерь на оптимальном уровне.

Исходя из их физической природы и специфики методов определения количественных значений потерь их делят на четыре составляющие:

- 1) технические потери электроэнергии;
- 2) расход электроэнергии на собственные нужды подстанций;
- 3) потери электроэнергии, обусловленные инструментальными погрешностями ее измерения;
- 4) коммерческие потери;

Влияние коэффициента мощности на потери электроэнергии

Сбыт электроэнергии потребителям производится без учета реактивной мощности и коэффициента мощности нагрузки, несмотря на наличие у ряда потребителей счетчиков активной и реактивной энергии. Такой порядок не стимулирует потребителей электроэнергии увеличивать коэффициент мощности нагрузки. Между тем положительный опыт сбыта энергии с учетом коэффициента мощности нагрузки потребителей существует.

Как известно, коэффициент мощности нагрузки представляет собой отношение активной мощности к полной мощности. Для получения средневзвешенного значения коэффициента мощности за период времени принимается отношение активной энергии к полной энергии. Значение активной энергии принимается по показанию счетчика активной энергии. Значение полной энергии вычисляется как корень квадратный из суммы квадратов показаний счетчиков активной и реактивной энергии.

Коэффициент мощности электрики обозначают как косинус угла сдвига фаз между векторами тока и напряжения ($\cos\varphi$). На практике вначале вычисляют тангенс угла сдвига фаз ($\operatorname{tg}\varphi$) по показаниям счетчиков активной и реактивной энергии, а затем пересчитывают $\operatorname{tg}\varphi$ на $\cos\varphi$. Для продолжения анализа напомним известное отношение потерь мощности при разных значениях коэффициента мощности нагрузки:

$$K_p = \frac{\Delta P_2}{\Delta P_1} = \frac{\cos^2\varphi_1}{\cos^2\varphi_2}. \quad (1)$$

Из формулы (1) видно, что потери активной мощности обратно пропорциональны квадрату коэффициента мощности нагрузки.

Потери активной мощности обратно пропорциональны квадрату коэффициента мощности нагрузки. Такая же закономерность будет характерна не только для линий электропередачи, но и для всех элементов энергосистемы. Из-за отсутствия учета потребления реактивной энергии (мощности) у потребителей величина $\cos\varphi$ точно не известна. Наиболее вероятно, что она не превышает 0,7.

Если считать, что все потери мощности происходят только в проводах, а коэффициент мощности в энергосистеме равен единице, можно теоретически определить экономию электроэнергии при увеличении коэффициента мощности нагрузки у потребителей за счет снижения потерь электроэнергии при ее передаче по сетям с помощью формулы

$$\Delta W_{\Sigma} = \frac{\Delta W\%}{100} W(1 - K_p) , \quad (2)$$

где ΔW_{Σ} – экономия электроэнергии; $\Delta W\%$ – технологические потери электроэнергии, %; W – потребление электроэнергии. Зная экономию электроэнергии, можно определить экономию топлива.

Но надо иметь в виду, что реальная экономия электроэнергии будет несколько меньше, чем вычисленная по формуле (2). Дело в том, что при увеличении коэффициента мощности нагрузки напряжение в линии имеет некоторое увеличение за счет снижения тока и падения напряжения.

Существующие технические средства на электростанциях и подстанциях не всегда могут точно поддерживать постоянное напряжение в линии электропередачи.

Влияние несинусоидальности напряжения на потери электроэнергии

Синусоидальность напряжения является важным показателем качества электрической энергии. На практике может возникать несинусоидальность напряжения, которую создают сами потребители электроэнергии. Дело в том, что первичные источники электроэнергии (синхронные генераторы) вырабатывают напряжение практически синусоидальной формы. Если у потребителя нет нелинейной нагрузки, то напряжение у него сохранит синусоидальность.

Однако у ряда потребителей электроэнергии есть нелинейная нагрузка. Нелинейную нагрузку могут давать выпрямительные устройства (выпрямляющие переменный ток в постоянный), газоразрядные лампы высокого давления для наружного освещения; лампы дневного света для внутреннего освещения.

Мероприятия по снижению потерь электроэнергии

Известно, что при передаче электрической энергии потери в линии с неизолированными проводами с учетом износа достигают 30 %. В настоящее время актуально стоит вопрос замены голых проводов на самонесущие изолированные провода системы (СИП). Причиной таких замен являются положительные свойства как экономические, так и технологические.

В сравнении с неизолированными проводами применение СИП существенно повышают бесперебойность энергоснабжения. Также они увеличивают сроки службы линий электропередач, уменьшают затраты на эксплуатацию и ремонт, уменьшают потери электроэнергии при передаче на дальние расстояния. Благодаря положительным

свойствам изоляции и механической прочности проводов СИП (по сравнению с неизолированными проводами) обеспечивается большая эффективность в зимних условиях.

Известно, что большая часть потерь активной мощности падает на распределительные сети 0,22 – 10 кВ.

Возможности экономии электроэнергии на освещении

В настоящее время для освещения все еще широко применяются лампы накаливания, у которых только 5–10 % электроэнергии расходуется на формирование светового потока, а остальная уходит на тепло. Для ликвидации этого недостатка стали применять энергосберегающие лампы, у которых потребление электроэнергии примерно в 5 раз меньше, чем у ламп накаливания притом же световом потоке.

Недостатком энергосберегающих ламп является большая стоимость и сравнительно небольшой срок службы. В последнее время стали применять для освещения светодиоды с большим сроком службы (50–100 тыс. часов) и большой светоотдачей, но многие страны мира, в том числе наша республика, пока не освоили их производство. Тем не менее надо признать, что за светодиодами будущее.

Основные предложения по уменьшению потерь электроэнергии

1. Решить вопрос о переходе на сбыт электроэнергии с учетом коэффициента мощности нагрузки у потребителей;
2. Продолжить работу по замене старых электросчетчиков индукционного типа на новые электронные счетчики;
3. Полностью решить задачу по обеспечению компенсации реактивной емкостной мощности в высоковольтных ЛЭП и при необходимости увеличить количество управляемых реакторов.

Вопросы энергосбережения важны и актуальны во всех отраслях народного хозяйства страны. Светотехническая отрасль не является исключением. Ведь свет необходим абсолютно всем: частным лицам, промышленным предприятиям, различным социальным и культурным организациям.

Огромное значение приобрела в последние годы задача снижения затрат электроэнергии за счёт использования новых энергосберегающих технологий и устройств. Естественно, это существенно скажется на экономии топлива, снижении загрязнения атмосферы и финансово-экономических показателях.

Основными направлениями экономии электроэнергии в осветительных установках и сетях являются следующие:

1. применение наиболее экономичных типов источников света, светильников, систем комбинированного освещения, пускорегулирующей аппаратуры;
2. рациональное размещение светильников;
3. рациональное построение осветительных сетей;
4. нормализация режимов напряжения в осветительных сетях;
5. переход на питание светильников напряжением 0,38 В вместо 0,22 В;
6. повышение коэффициента использования осветительных установок;
7. применение рациональных режимов работы осветительных установок;
8. рациональная эксплуатация осветительных сетей (периодическая чистка светильников, замена ламп, где это необходимо и т.д.);
9. совместное использование систем естественного и искусственного освещения.

Во всех промышленных осветительных установках целесообразнее применять люминесцентные, ртутные, металлогалогенные, натриевые и другие лампы. Возможная экономия электроэнергии за счет перехода на более эффективные источники света приведена в таблице 1.

Таблица 1 - Экономия электроэнергии за счет перехода на более эффективные источники света

Заменяемые источники света	Среднее значение экономии электроэнергии, %
Люминесцентные: галогенные лампы	24
Ртутные лампы: металлогалогенные	42
люминесцентные	22
натриевые	45
Лампы накаливания: металлогалогенные	66
люминесцентные	55
ртутные	42
натриевые	68

Также очевидна необходимость при решении проблемы энергосбережения рассмотреть технические характеристики, эффективность применения, масштабы использования и структуру производства различных групп:

- источников света;
- осветительных приборов;
- пускорегулирующей аппаратуры;
- систем, сокращающих время использования искусственного освещения (в том числе, естественного освещения; автоматического управления временем и интенсивностью работы ОУ, а также систем, позволяющих использовать в ОУ электроэнергию, вырабатываемую путем преобразования солнечной энергии).

Энергосберегающая светотехническая продукция

Что такое энергосберегающие лампы? Это обычные неоновые лампы, известные еще с прошлого века. Раньше они применялись на всех заводах и фабриках в подвесных светильниках. Современные лампы отличаются формой и встроенным пускорегулирующим устройством. Лампы стали более компактными, подходят для любых типов светильников, включаются мгновенно, не моргают и не гудят как старые. Цвет ламп определяется цветовой температурой, измеряемой в градусах Кельвина. Мягкий белый – для домашних условий 2700 К. Дневной – 4200К. Холодный белый - для складских помещений 6400 К.

Пути экономии электроэнергии в электроосветительных установках, повышение энергоэффективности осветительных установок (ОУ) неразрывно связано с задачей комплексного снижения затрат в ОУ, так как для любого потребителя важно не только снижение энергоемкости, но и срок окупаемости затрат на новую или переоборудованную ОУ. В конечном итоге эффективность ОУ определяется стоимостью световой энергии, генерируемой за срок службы ОУ и в значительной степени зависящей от затрат на электроэнергию.

Понятно, что экономия электроэнергии на освещение не должна достигаться за счет снижения норм освещенности, отключения части световых приборов или отказа от использования искусственного освещения при недостаточном уровне естественного света, поскольку потери от ухудшения условий освещения могут значительно превосходить стоимость сэкономленной электроэнергии (аварии, снижение качества продукции, ухудшение зрения и т.д.).

Эффективной следует считать такую ОУ, которая создает высококачественное освещение и сохраняет свои характеристики на протяжении длительной работы при наименьших капитальных и эксплуатационных затратах, в том числе при минимальном энергопотреблении.

Для экономии электроэнергии при освещении проводятся следующие мероприятия:

- замена ламп накаливания (ЛН) на люминесцентные (ЛЛ) и другие газоразрядные, с увеличением эффективности в несколько раз.
- сокращение непроизводительной продолжительности горения ламп, за счет максимального использования естественного освещения, правильного устройства управления освещением, применения автоматического и программного управления освещением.
- экономия за счет рациональной световой окраски стен и потолков производственных помещений.
- оптимальные схемы замены изношенных ламп в процессе эксплуатации, с определением полезного срока службы ламп путем экономического расчета выбора варианта замены, при котором приведенные годовые затраты на освещение будут минимальными.

- замена ламп после их перегорания не является наилучшим решением.

Большинство типов ламп (ЛЛ, ДРЛ) перегорают, когда их световой поток снижается до 50 % и более. Это означает, что уровень освещенности бывает недостаточным для выполнения задач по организации комфортных и безопасных условий работы, но при этом расход электроэнергии на освещение составляет 100 % (т.е. вы платите за 100 %, а потребляете – 50 %).

-поддержание светильников в надлежащей чистоте с обеспечением их высокого светового КПД и необходимой формы кривой силы света.

-правильный выбор светильников и ламп, удовлетворяющих строительным нормам и правилам. Правильная эксплуатация электроосветительных установок и их планово - предупредительный ремонт.

-выбор более экономичных для конкретных осветительных установок источников света и светильников. Например, замена традиционных ламп накаливания на более экономичные криптоновые ЛН (например типа НБК с биспиральным телом накала, заполненных криптоном). Эти лампы дороже ламп типа НБ, заполненных аргоном, но значительно экономичнее по расходу электроэнергии. Лампы НБК - 220 рассчитанные на 220 В имеют на 11 – 16 % больший световой поток, чем лампы НБ - 220 (например, для 100 Вт ламп световой поток составляет: для НБ - 200 – 1240 лм, а для НБК - 220 – 1380 лм). Известно также, что для ламп с напряжением 127 В (НБ - 127 и НБК - 127) световой поток выше, чем при напряжении 220 в, на 5,5 – 19%.

-замена светильников с низким или ухудшенным за время эксплуатации КПД, на более эффективные, например с корпусами из алюминия с отражением, близким к зеркальному.

- разработка и применение рациональных схем осветительных сетей, уменьшение потерь электроэнергии, повышение коэффициента мощности ($\cos \varphi$) в электроосветительных установках.

Наравне со светодиодными лампами, важную роль играют и светодиодные светильники. Мощности светильников как правило больше и по сравнению с энергосберегающей лампой, светодиодный светильник намного больше экономит электроэнергию. Во всем мире это направление светотехники сейчас развивается особенно стремительно. Мягкий рассеянный свет, длительный срок службы и высокая экономия – главные причины, по которым энергосберегающая лампа выигрывает по сравнению с другими вариантами.

Именно светодиодные светильники и лампы сейчас пользуются популярностью, отодвинув на второй план все остальные технологии энергосбережения. Преимущества энергосберегающих ламп освещения настолько очевидны, что вопрос перехода на них ведется в России уже на государственном уровне. Экологичность и колоссальная экономия при таком освещении делает такой переход перспективным и выгодным.

Светодиодное освещение - одно из перспективных направлений технологий освещения. Развитие светодиодного освещения связано с его весомыми преимуществами, такими как: экономия электроэнергии до 90 %; срок службы в 30-60 раз больше, чем у ламп накаливания, и в 5-8 раз больше, чем люминесцентных ламп; безопасность использования; малые размеры; высокая прочность; отсутствие ртутных паров, УФ и ИК излучений; малое тепловыделение.

А так же применимы с целью экономии электро энергии датчики движения. Датчик движения работает в паре с прожектором или путем внедрения в схему освещения. Такая конструкция позволяет уменьшить продолжительность работы электроприбора, что приводит к экономии электроэнергии. Датчик движения оснащен тремя регуляторами: регулятор расстояния срабатывания (SENS), регулятор времени включения (TIME) и регулятор порога внешней освещенности, при котором происходит срабатывание датчика (DAY LIGHT). Можно подобрать необходимые условия срабатывания датчика.

Значительную экономию электроэнергии можно получить от внедрения автоматизированных систем управления (АСУ) на базе компьютерной техники. Экономия достигается за счет точности и скорости отработки отклонений от рациональных режимов, расширения функциональных возможностей, динамического прогнозирования с определением направления и темпа изменения процессов.

Интеллектуальная энергосберегающая система освещения

Проект внедрения интеллектуальной энергосберегающей системы освещения здания и сооружения на основе энергосберегающих светильников.

Основная цель - **энергосбережение** достигается за счет нескольких факторов:

- применение энергосберегающих светодиодных светильников,
- автоматическое управление потреблением светильников с учетом освещенности,
- управление светильниками по критерию присутствия,
- управление светильниками «по расписанию» от сервера.

Система может быть использована для сбора данных со счетчиков энергоресурсов и управления электрооборудованием зданий.

Результат: снижение потребления электроэнергии и экономический эффект

На объекте внедрения опытного образца системы (ремонтный цех) до начала проекта были установлены светильники с лампами накаливания общей потребляемой мощностью 7,5 кВт. Среднесуточное потребление – 90 кВт. В результате выполнения проекта потребляемая мощность в режиме максимальной яркости составила 1,2 кВт, а среднесуточное потребление – 3,5 кВт. Таким образом, потребление электроэнергии на освещение мест общего пользования уменьшается в 26 раз.

За год энергопотребление снизится с 32 850 кВт до 1 278 кВт.

Общая стоимость компонентов системы объекта (без устройств сбора данных по потреблению электроэнергии) составила 344 000 руб.

При цене электроэнергии 3,01 рубля за киловатт затраты на освещение составят в год 3 847 руб.

До выполнения проекта затраты на общее освещение составляли 98880 рублей в год.

Срок окупаемости системы - менее 2,5 лет, и снижается с ростом тарифов на электроэнергию.

Экономический эффект в течение 10 лет составит для объекта внедрения 606330 руб.

Дополнительно предусмотрено включение в состав системы функций сбора данных с устройств учета энергоресурсов и управление энергопотреблением электрооборудования зданий.

Проблемы, препятствующие энергосбережению в сфере освещения

Проблемы в сфере освещения связаны как с технологическим отставанием осветительной продукции на российском рынке, так и с вопросами финансирования и организации процессов. Потенциал энергосбережения не реализуется. Отсутствие достаточного финансирования программ по энергосбережению, новых стандартов на светодиоды и светильники со светодиодами, норм освещения улиц, а также систем автоматического освещения не дает возможности реализовать потенциал энергосбережения, в то время как такие меры позволили бы сократить выбросы двуокиси углерода в атмосферу в размере 15,5 мегатонн в год.

Нехватка энергосберегающих ламп. В России не производится достаточного количества ламп нужного качества. Хотя освоено производство люминесцентных ламп 1-го и 2-го поколения, люминесцентные лампы 3-го поколения не производятся. Через Дальний Восток на территорию РФ импортируются лампы низкого качества с большим содержанием ртути, что, во-первых, накладывает обязательства на таможенные органы не пропускать товары ненадлежащего качества, а во-вторых — из-за этого население начинает с опаской относиться ко всем люминесцентным лампам, включая компактные.

Проблема со сбором отработанных энергосберегающих ламп. Количество точек сбора недостаточно, и население не имеет информации о пунктах сбора компактных люминесцентных ламп. Лампы выбрасываются на обычные свалки, что создает угрозу жизнедеятельности. Нет программы по утилизации энергосберегающих ламп. Отдельная программа по утилизации энергосберегающих ламп не разработана. Существует подпрограмма по утилизации ламп в программе об охране окружающей

среды на 2012-2020 гг., но эта подпрограмма не предполагает финансирования из бюджетных средств.

Выводы

Подводя итоги, необходимо отметить, что разработка и внедрение новых стандартов и технических регламентов, в том числе и в сфере энергоэффективности, является серьезным шагом на пути к улучшению энергосбережения. Очень сложно преодолеваются разногласия и расхождения интересов между поставщиком и потребителем электроэнергии. Но с точки зрения экономики в целом применение таких стандартов приносит дивиденды в виде экономии за счет энергосбережения.

Список использованных источников

1. Портал по энергосбережению «Энергосовет» (energosovet.ru).
2. Домашний советник (advicehome.ru).
3. Elektrik Info (elektrik.info).
4. Библиотекарь.Ру (bibliotekar.ru).
5. Инструкция по проектированию городских электрических сетей. РД 34.20.185-94 З.
6. Козлов В .А . Электроснабжение городов. Л .: Энергоатомиздат, 1988. - 264 с.
7. Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий. СП 31 -110—2003.

УДК 621.316.1

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ВНУТРЕННЕГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1000 В

А.В. Полищук, Б.А.Якимович, О.М. Крастелев

В последние годы проблема качества электроснабжения становится все более актуальной из-за увеличения числа приемников. Современные жилые здания насыщены большим количеством различных электроприемников. К ним относятся осветительные и бытовые приборы и силовое электрооборудование. Идет постоянный процесс повышения комфортности жилья, а это в свою очередь увеличивает количество бытовых электро-приемников и увеличивает бытовое электропотребление. Повышение этажности домов ужесточает требования к надежности и бесперебойности питающих их электрических сетей.

Введение

За последние годы темпы роста городского населения России существенно возросли. Крупнейшие и крупные города характеризуются высокой плотностью электрических нагрузок — до 20 - 30 МВА/км² в центральных районах города и большим количеством разнотипных потребителей, расположенных на ограниченной территории. Многие электроприемники относятся к первой категории, причем число таких приемников постоянно растет.

К традиционным потребителям первой категории теперь добавились также вычислительные комплексы крупных банков, федеральные организации, крупнейшие магазины и др. Крупные города и мегаполисы, как места массового пребывания людей, концентрации промышленности, центров управления всеми видами жизнедеятельности и коммуникациями, имеют развитую и энергоемкую систему жизнеобеспечения, которая включает централизованное электро- и теплоснабжение, котельные, инженерные газовые сети, сети водопровода и канализации, городского автодорожного и рельсового транспорта, вокзалы и железные дороги, аэропорты, связь, телевидение и радио, больницы, детские учреждения, школы и другие учебные заведения, магазины, учреждения культуры и общепита, а в мегаполисах — метро, высотные здания с лифтами и другими системами жизнеобеспечения.

Цель работы

Целью данной работы является анализ повышения уровня надежности внутреннего электроснабжения жилых зданий напряжением до 1000В в районе города.

Современные проблемы надежности электроснабжения

На современном этапе требуется существенное повышение надежности электроснабжения крупных городов в связи с массовой многоэтажной застройкой как административных, так и жилых районов города, возрастающей электрификацией

бытовой и коммунальной сфер, ростом категоричности электроприемников. Анализируя современные тенденции развития коммунально-бытовых и производственных процессов в городах, следует обратить внимание на то, что надежность их электроснабжения должна рассматриваться как комплексное свойство, состоящее из таких актуальных для городов свойств, как безопасность, живучесть и безотказность. Очевидно, что безотказность на уровне абсолютно бесперебойного электроснабжения всех районов мегаполисов обеспечить невозможно. Поэтому отдельные кратковременные погашения части электроприемников неизбежны из-за коротких замыканий и других случайных отказов энергооборудования. От таких отказов электроприемники высокой категории должны иметь индивидуальную защиту и резервирование.

Основные проблемы энергоснабжения городов связаны с живучестью и безопасностью. Под живучестью понимается способность системы энергоснабжения противостоять массовым отключениям потребителей на большой территории и на длительное время. Актуальным является также и безопасность, характеризующаяся экологической, социальной и техногенной защищенностью населения и окружающей среды.

Для России проблема электроснабжения больших городов имеет особую значимость, поскольку часть ее территории находится в суровых климатических зонах. Пиковые нагрузки приходятся на зимний период, когда выживание людей и функционирование промышленных предприятий определяется электро- и теплоснабжением. Следует особо отметить, что и теплоснабжение населенных пунктов также зависит от электроснабжения, поскольку осуществляется от большого количества электродвигателей. Причем котельные на твердом топливе также зависят от снабжения их электричеством.

По мнению некоторых специалистов, рассматриваемая проблема до 2030 года может трансформироваться в связи с тем, что в России «...рост душевой обеспеченности жильем и автомобилями, дальнейший прогресс информационных технологий, расширяющих возможность работы на дому, и наличие свободных земель изменит тип расселения людей. Их концентрация в крупных городах сменится коттеджным расселением на больших окрестных территориях с размещением в прежних городах способами точечной застройки преимущественно госучреждений, офисов, компаний, гостиниц, культурных и финансовых организаций. В РФ на основе современных городов-миллионников сложится до десятка таких агломераций. Наряду с этим появятся города с населением 100—200 тыс. чел. в районах размещения новой индустрии, но исчезнут многие старые мелкие города и поселки городского типа (ПГТ)». Следует заметить, что концепция рассредоточенной застройки городов была принята еще в советское время и интенсивно реализуется в новых условиях.

Поэтому проблема надежного энергоснабжения современных крупных городов, а также мегаполисов в перспективе требует повышенного внимания. Должны быть разработаны и реализованы специальные меры в области надежности систем их энергоснабжения, которые будут адекватны возможной тяжести последствий от нарушения энергоснабжения систем жизнеобеспечения. Учитывая природно-климатические условия России, достаточное разнообразие регионов в экономическом, социальном и энергетическом плане, такие требования должны быть значительно более жесткими в сравнении с зарубежными, которые к тому же, как показывает практика, имеют существенные изъяны. На стадии планирования допустимых режимов следует принимать во внимание более тяжелые расчетные возмущения (потеря подстанции, электростанции, кабельного коллектора и т.п.).

Высокая плотность застройки, стесненные условия для прокладки ЛЭП и выбора площадок под подстанции, повышенные архитектурно-эстетические требования диктуют необходимость применения особых схем и оборудования систем электроснабжения (закрытых подстанций, многоцепных воздушных линий, кабельных линий высокого и сверхвысокого напряжения и т.п.).

Требования к построению электрических сетей жилых зданий

Схема сети должна обеспечивать правильное функционирование как сети в целом, так и отдельных ее звеньев в нормальном и аварийном режимах и, в частности, гарантировать надлежащий уровень напряжения на зажимах электроприемников. При этом, конечно, имеется в виду, что качественные параметры электроэнергии, зависящие от энергосистемы, поддерживаются последней в должных пределах.

Надежность электроснабжения. Большое влияние на схему распределения энергии в здании оказывают требования к надежности электроснабжения. Эти требования регламентированы ПУЭ, согласно которым все электроприемники подразделяются в отношении обеспечения надежности электроснабжения на три категории.

Решения схем, выбранных по условиям надежности и другим факторам, могут быть неоднозначны и, более того, как правило, они многовариантны. Поэтому важным критерием выбора той или иной схемы является ее экономичность как по затратам денежных средств на сооружение и эксплуатацию, так и по расходу цветного металла.

Удобство эксплуатации. Помимо экономичности, должно уделяться достаточное внимание удобствам эксплуатации, наглядности схемы и ее простоте. Иногда эти требования превалируют над требованиями экономичности. Отсюда вытекает необходимость удобного расположения вводно-распределительного устройства здания, обеспечивающего наиболее простые ввод питающих линий и прокладку распределительной сети, а также безопасность обслуживания. Схема сети должна строиться таким образом, чтобы поврежденный участок сети легко обнаруживался и заменялся, и чтобы при этом отключалось по возможности небольшое количество потребителей.

Конструктивные особенности здания оказывают известное влияние на построение схемы. В тех случаях, когда в здание встраиваются различные предприятия и учреждения, схема сети усложняется в связи с необходимостью комплексного питания потребителей как собственно жилой части здания, так и встроенных помещений. При этом схема должна отвечать требованиям надежности электроснабжения всех потребителей. Таким образом, рационально построенная схема электрической сети жилого здания является синтезом комплекса факторов, определяющих ее параметры. Многолетняя практика проектирования и строительства выработала некоторые типичные решения элементов схем, которые излагаются ниже. Целесообразно рассмотреть вначале отдельные элементы схемы, а затем перейти к комплексным схемам сетей зданий различной этажности.

Внутридомовые схемы электрической сети.

По принципу построения схемы сети разделяются на разомкнутые и замкнутые.

Разомкнутая сеть состоит из разветвленных линий к электроприемникам или их группам и получает питание с одной стороны. Она применяется при построении схем электроснабжения жилых зданий повсеместно. Это объясняется ее простотой, отсутствием серьезных затруднений в устройстве защиты от перегрузки и коротких замыканий и обеспечения ее избирательного действия, наглядностью схемы и удобствами эксплуатации. Простейший пример схемы разомкнутой питающей сети квартир одной секции жилого дома представлен на рисунке 1.

Однако разомкнутая сеть обладает и некоторыми недостатками, которые заключаются в том, что при аварии в любой точке сети питание всех потребителей за аварийным участком прекращается. В разомкнутой сети поддержание необходимого уровня напряжения на зажимах электроприемников в различное время суток без специальных устройств затруднительно. По этим причинам разомкнутые сети не всегда являются экономически оптимальными, что особенно сказывается при высоких уровнях нагрузок и большом числе квартир. Отмеченные недостатки устраняются при переходе к замкнутым сетям.

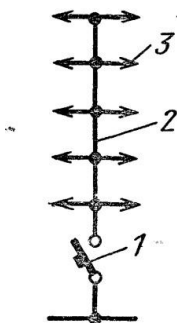


Рис. 1. Схема разомкнутой питающей сети секции жилого дома
1 – автоматический выключатель; 2 – стояк; 3 – ввод в квартиру

Замкнутая сеть может иметь один, два и более источников питания, действующих одновременно. Пример схемы простейшей замкнутой сети для секции жилого дома представлен на рис. 2.

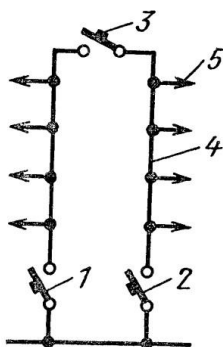


Рис. 2. Схема замкнутой питающей сети жилого дома
1,2 – автоматический выключатель; 3 – автоматический выключатель (слабая связь); 4 – стояк; 5 – ввод в квартиру

Преимуществом замкнутой сети является то, что при изменениях нагрузки в любой точке сети автоматически меняется токораспределение в ветвях, всегда являясь оптимальным. Таким образом, в замкнутой сети идет непрерывный процесс выравнивания напряжения на зажимах электроприемников, позволяющий улучшить качество электроэнергии в известных пределах без значительных затрат цветного металла. При разомкнутой сети обычно достигнуть оптимума при тех же затратах на сеть не удастся.

Несмотря на указанные преимущества, замкнутые сети пока в жилых зданиях не получили большого распространения, что в известной мере объясняется затруднениями в устройстве селективной защиты на базе выпускаемых аппаратов (автоматы и предохранители) для сетей низкого напряжения. Кроме того, в подобных сетях возрастают токи короткого замыкания, что может создать трудности в выборе аппаратуры. За рубежом замкнутые сети получили некоторое распространение в крупных жилых комплексах со встроенными предприятиями обслуживания магазинами и зрелищными предприятиями. В такие здания обычно вводятся линии высокого напряжения, питающие встроенные трансформаторные подстанции.

Распределительная часть ВРУ. К распределительной части ВРУ относятся линии питания квартир, силовых потребителей и аварийного освещения, сети освещения лестничных клеток и других общедомовых помещений, встроенных предприятий и учреждений.

На всех отходящих линиях устанавливаются аппараты защиты, предохранители или автоматические выключатели. Применение автоматических выключателей следует считать предпочтительным, поскольку они надежнее предохранителей, плавкие вставки которых после первого же расплавления часто заменяют кустарными некалиброванными вставками. Автоматические выключатели создают дополнительное удобство в эксплуатации, выполняя, кроме защитных, также функции коммутационных аппаратов. Это тем более важно, что при применении плавких предохранителей для экономии средств и сокращения габаритов ВРУ коммутационные аппараты в них не устанавливают, что является серьезным недостатком таких вводно-распределительных устройств.

Принципы построения схем внутридомовых питающих линий

Построение схем питающих линий квартир целесообразно начать со стояков, то есть с вертикальных участков этих линий. Прежде всего рассматриваются число и местоположение стояков.

Количество стояков секции дома определяется числом присоединенных квартир, архитектурно-планировочным решением и строительными конструкциями, а также экономическими соображениями.

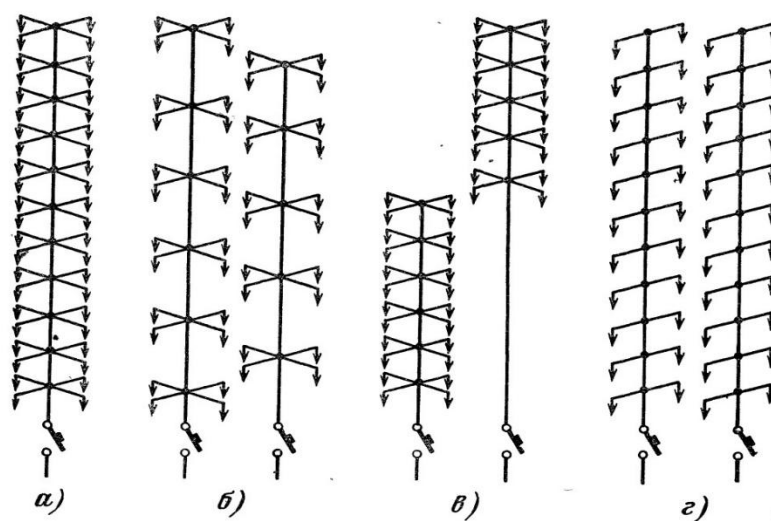


Рис. 3. Схемы стояков

- а) один стояк; б) два стояка с питанием квартир через этаж
 в) два стояка, один на большее количество квартир в нижней части здания,
 другой на меньшее количество квартир верхней части здания
 г) два стояка с питанием половины квартир на этаже каждым стояком

В наиболее благоприятных условиях прокладывается один стояк (рис. 3, а). Здесь имеется в виду здание высотой до 16 этажей при числе квартир на этаже три-четыре. При числе присоединенных квартир на стояк более 70—80, несмотря на некоторые экономические преимущества одного стояка, из соображений надежности желательно прокладывать два стояка с присоединением квартир: через этаж (рис. 3 б); большей доли квартир нижней части здания к одному стояку и остальных квартир верхней части здания к другому стояку (рис. 3, в); половины квартир каждого этажа к обоим стоякам (рис. 3 г). Такая система применяется при часто встречающейся планировке лестничных клеток с примыкающими «карманами», из которых имеются входы в две квартиры.

Стояки, как правило, следует размещать на лестничных клетках, где располагаются этажные электрошкафы с аппаратами защиты и приборами учета электроэнергии, расходуемой в квартирах. Такое решение, получившее в настоящее время большое распространение, предпочтительно по сравнению с установкой щитков в передних квартирах, при которых отнимается место в сравнительно небольших передних и требуется установка на ответвлениях этажных щитков с аппаратами защиты. Прокладка стояков непосредственно в квартирах (получившая некоторое распространение в прошлом) ввиду явных эксплуатационных неудобств ПУЭ не рекомендуется. При размещении этажных электрошкафов на расстоянии не более 3 м от стояка этажные щитки на ответвлениях могут не устанавливаться.

Число стояков, питающих квартиры, присоединяемые к одной питающей линии, ПУЭ не ограничивают. Однако для удобства выполнения ремонтных работ в домах высотой более пяти этажей и при двух и более стояках, присоединенных к одной питающей линии, стояки должны иметь отключающие аппараты. Для повышения надежности электроснабжения целесообразно в этих случаях устанавливать на ответвлении к стояку автоматический выключатель. Таким образом, практически исключается отключение большого числа квартир, присоединенных к питающей линии, идущей от ВРУ, при коротком замыкании на одном из стояков. Обычно

отключающие и защитные аппараты устанавливаются в электрошкафу первого этажа, т. е. в точке, ближайшей к месту ответвления. Установка отключающих и защитных аппаратов на стояках в домах высотой до пяти этажей не требуется.

Выбор оптимальных схем питающих электросетей жилых зданий

Основная и наиболее трудная задача состоит в выборе схемы распределения электроэнергии, которая многовариантна и требует при решении трудоемких расчетов. Стремление к упрощению вычислений и сравнительная оценка только двух-трех вариантов сети не дает гарантии оптимальности выбранных параметров (числа линий, их сечений, числа и габаритов вводных устройств в доме, их размещения и т. д.). Правильное и полное решение такой задачи требует применения ЭВМ.

Для многосекционных домов рассматривались варианты схем с различным числом и местоположением ВРУ (рис. 4) и с одним ВРУ и различным числом питающих линий (рис. 5).

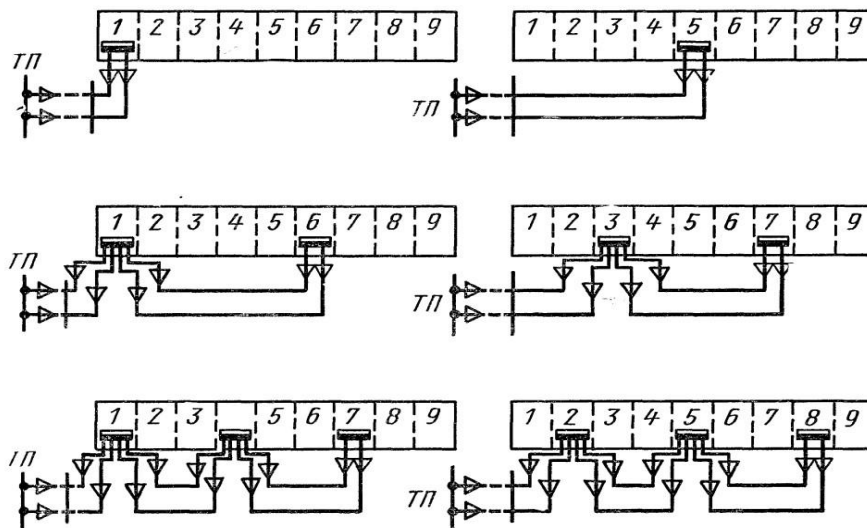


Рис. 4. Варианты питания жилого дома при различном размещении ВРУ
1-9 – номера секций

Сравнение технико-экономических показателей и выбор оптимального варианта схемы производились по минимуму расчетных затрат, приведенных к началу эксплуатации сети (нулевой год). В приведенных затратах учитывались капиталовложения и ежегодные эксплуатационные расходы для рассматриваемого расчетного периода.

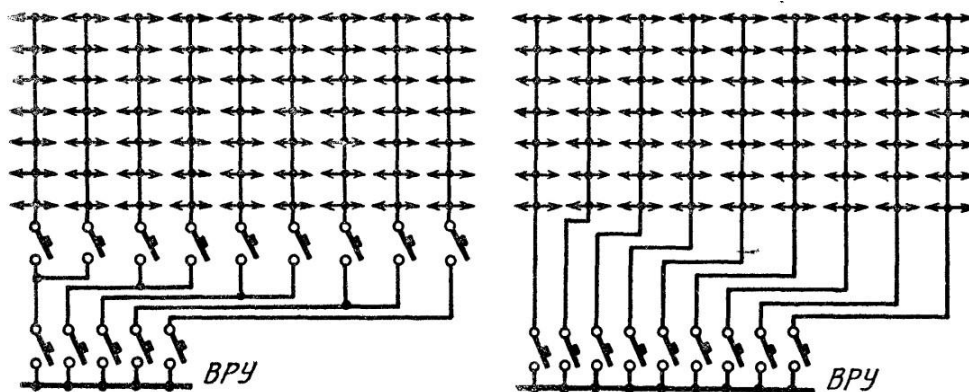


Рис. 5. Схемы питающих линий многосекционных жилых домов с одним ВРУ

Внутридомовые сети характеризуются значительным сроком службы. Потребность в их реконструкции в течение первых 10 - 15 лет эксплуатации, как правило, может возникнуть при высоких темпах ежегодного прироста нагрузок (7 - 8 %), которые на практике пока не встречались.

Сравнение параметров сети, выбранных с учетом влияния экономических факторов, с полученными на основании только технических параметров (нагрев, потери напряжения) показало, что в последнем случае годовые приведенные затраты часто оказываются выше оптимальных на 20 - 30 %. Следовательно, учет экономических факторов вполне оправдан.

Для многосекционных домов по четыре квартиры на каждом этаже в секции оптимальными являются схемы одиночных стояков (рис. 1); наибольших затрат требуют схемы спаренных стояков (рис. 3, г).

Для 4-8-секционных домов высотой до 20 этажей затраты на ВРУ составляют 7 - 20 % суммарных затрат на питающую сеть (кабели, ВРУ, горизонтальные и вертикальные питающие линии). Расчеты показали, что в жилых домах следует устанавливать одно ВРУ и лишь в домах выше 25 этажей с числом секций более восьми может быть целесообразна установка двух ВРУ. Установлено также, что ВРУ целесообразно располагать в секции, ближайшей к подстанции. При установке ВРУ в средней секции, как обычно принято при расстоянии до ТП 100 - 200 м и прокладке питающего кабеля вдоль длинной стороны дома, суммарные затраты для питающей сети возрастают в различных вариантах на 9 - 16 %.

Технико-экономические показатели отходящих от ВРУ горизонтальных питающих линий в основном зависят от их числа, нагрузок и сечений.

Учитывая снижение коэффициента спроса по мере увеличения числа квартир, присоединенных к одной линии, оптимальное число питающих линий оказывается в пределах одной-двух как для газифицированных домов, так и для домов с электроплитами. Однако при выборе числа магистральных линий следует руководствоваться не только экономическими соображениями, но и соображениями надежности. Естественно, что в подобных случаях приходится выбирать число питающих линий больше наивыгоднейшего.

Выводы

1. На современном этапе требуется существенное повышение надежности электроснабжения крупных городов в связи с массовой многоэтажной застройкой как

административных, так и жилых районов города, возрастающей электрификацией бытовой и коммунальной сфер, ростом категоричности электроприемников.

2. Анализируя современные тенденции развития коммунально-бытовых и производственных процессов в городах, следует обратить внимание на то, что надежность их электроснабжения должна рассматриваться как комплексное свойство, состоящее из таких актуальных для городов свойств, как безопасность, живучесть и безотказность.

3. Высокая плотность застройки, стесненные условия для прокладки ЛЭП и выбора площадок под подстанции, повышенные архитектурно-эстетические требования диктуют необходимость применения особых схем и оборудования систем электроснабжения (закрытых подстанций, многоцепных воздушных линий, кабельных линий высокого и сверхвысокого напряжения и т.п.).

4. Применение автоматических выключателей на всех отходящих линиях, следует считать предпочтительным, поскольку они надежнее предохранителей, плавкие вставки которых после первого же расплавления часто заменяют кустарными некалиброванными вставками. Автоматические выключатели создают дополнительное удобство в эксплуатации, выполняя, кроме защитных, также функции коммутационных аппаратов. Это тем более важно, что при применении плавких предохранителей для экономии средств и сокращения габаритов ВРУ коммутационные аппараты в них не устанавливаются, что является серьезным недостатком таких вводно-распределительных устройств.

5. Для повышения надежности электроснабжения целесообразно устанавливать на ответвлении к стояку автоматический выключатель. Таким образом, практически исключается отключение большого числа квартир, присоединенных к питающей линии, идущей от ВРУ, при коротком замыкании на одном из стояков. Обычно отключающие и защитные аппараты устанавливаются в электрошкафу первого этажа, т.е. в точке, ближайшей к месту ответвления. Установка отключающих и защитных аппаратов на стояках в домах высотой до пяти этажей не требуется.

Список использованных источников

1. Куро Ж. Современные технологии повышения качества электроэнергии при ее передаче и распределении // Новости электротехники. 2005.
2. Шидловский А.К., Кузнецов В.Г. Повышение качества энергии в электрических сетях. Киев: Наукова думка, 1985.
3. Железко Ю.С. Влияние потребителя на качество электроэнергии в сети и технические условия на его присоединение // Промышленная энергетика. 1991. № 8.
4. Электрические системы. Электрические сети: учеб. для электроэнергет. специальностей вузов / В. А. Веников [и др.]; под ред. В. А. Веникова, В. А. Строева. – М.: Высш. шк., 1998.
5. Козлов, В.А. Электроснабжение городов / В. А. Козлов. – Л.: Энергоатомиздат, 1988.
6. Шахнин, В.А. Электроснабжение технических объектов, зданий и сооружений: учеб. пособие / В. А. Шахнин. – Владимир: Аркаим, 2014.

УДК 007.2

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ЭНЕРГОПРЕДПРИЯТИЯХ

А.С. Наумко, Ю.А. Майорова

Разработка и введение технологий цифровых технологий в настоящее время является одним из активно развивающихся течений в формировании интеллектуальной энергетики. Данный факт обусловлен заинтересованностью энергетических компаний в повышении производительности работы электросетевого комплекса.

Введение

В настоящее время существуют всевозможные подходы и концепции создания цифровых технологий. Различают централизованный и децентрализованный подход построения цифровых систем управления. Новые подходы цифровизации электроэнергетики и экономики обязаны способствовать повышению надежности, устойчивости электроснабжения, уменьшению объема его технического обслуживания и затрат на эксплуатацию.

При этом ключевой задачей введения цифровых технологий является оптимизация процесса строительства и закупки электросетевого оборудования, приводящая к снижению операционных и капитальных затрат в целом.

Цель работы

Целью данной работы является анализ применения различных датчиков и технологий на энергопредприятиях для выявления наиболее эффективных решений по модернизации и оптимизации технологического процесса.

Информационные датчики

Широкий диапазон применений датчиков существует, и возможен для использования в линиях электропередач и подстанциях. Возможно, что один тип датчика может использоваться к многократным приложениям. Рассмотрим основные области применения сенсорных технологий.

Безопасность. Применение датчиков для линий электропередачи или компонентов подстанции в системе непрерывного контроля состояний оборудования дает информацию что тот или иной компонент находится под неизбежным риском отказа.

Развертывание обслуживающего персонала. Если состояние компонента или системы находится в опасности, персонал может быть развернут, чтобы обратиться или к неизбежному отключению электричества или наоборот предотвратить отключение электричества.

Обслуживание, основанное на техническом состоянии. Знание текущего состояния оборудования позволяет начать обслуживание в подходящее время вместо того, чтобы положиться на обслуживание в сроки, установленные регламентом,

которое, возможно, не только экономически невыгодно, но, в некоторых случаях, может быть менее надежным.

Максимизация использования актива. Для повышения эффективности использования активов необходима непрерывная оценка состояния составляющих линий электропередачи и подстанций под влиянием ряда факторов, таких как окружающие климатические условия, предыдущая история нагрузки и конфигурация оборудования.

Вероятностная оценка степени риска. Увеличенное использование энергосистемы возможно, если анализы последствий аварийных нарушений режима были выполнены, используя вероятностный, а не используемый в настоящее время детерминированный метод. Важный фактор в вероятностных методах – знание состояния оборудования и угроз, которым они подвергаются. У чувствительных элементов есть потенциал, чтобы обеспечить некоторые из недостающих данных для этих методов.

Датчики на подстанциях и линиях электропередач

Виртуальный щит управления и контроля. Программный комплекс для объединения виртуальных данных управления и контрольной проверки оборудования из широкого диапазона источников, включая множество датчиков, рабочих данных устройств и других важных параметров. База данных «щита управления» будет также включать пределы диапазона работы оборудования, полученные из технической документации, данные по отказам, условия окружающей среды и т.д.

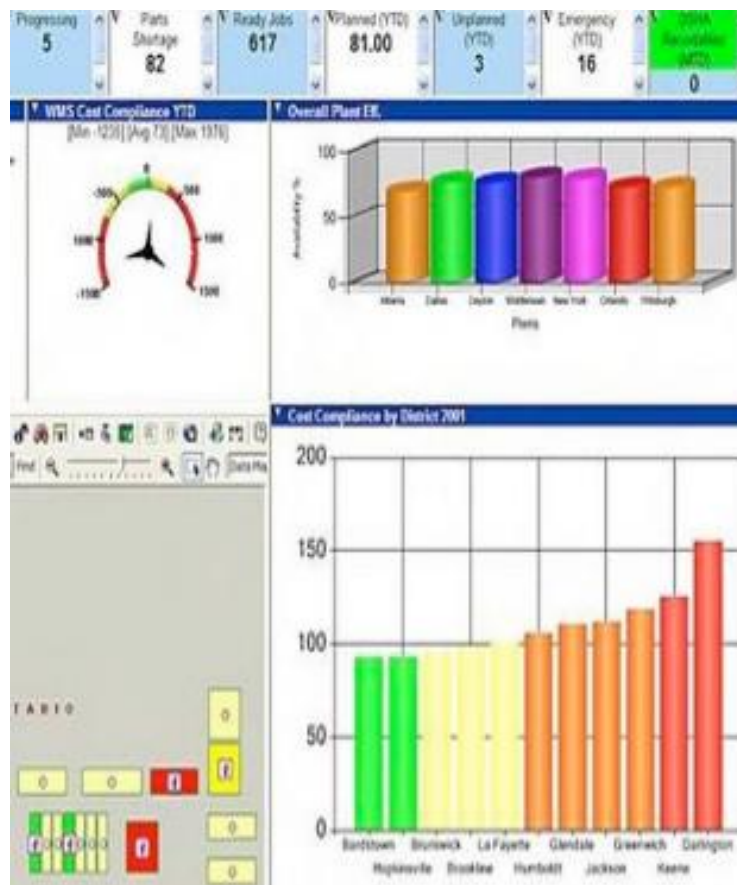


Рис. 1. Виртуальный щит контроля

Онлайн инфракрасная система наблюдения (OnlineInfrared). Автоматизированная инфракрасная термографическая камера, работающая на подстанциях в режиме online.

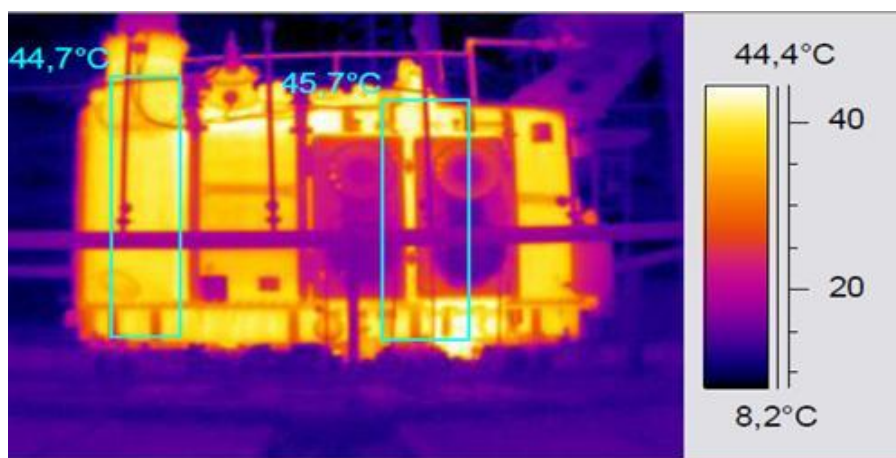


Рис. 2. Онлайн инфракрасная система наблюдения

MIS (Металл-диэлектрик-полупроводник) датчик газа в масляной изоляции трансформатора (MIS Gas Sensor). Маленький и дешевый чувствительный элемент для анализа содержания водорода в масле. Версия датчика ацетилена в настоящее время разрабатывается.

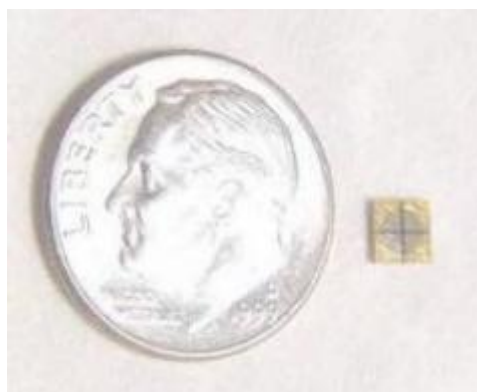


Рис. 3. Датчик газа

Акустический оптоволоконный датчик (Acoustics Fiber Optic). Данная технология позволит измерять внутренние частичные разряды, используя волоконную оптику, установленную в областях высокого риска трансформатора.

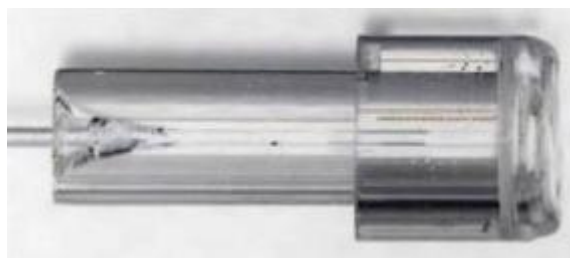


Рис. 4. Акустический датчик

RF-температурный датчик и датчик тока отпрессованного соединителя (RF Temperature and Current Sensor). Этот чувствительный элемент записывает температуру и ток на соединителе и строит гистограммы, чтобы дать показания о сокращении срока службы, а также дать понять, является ли соединитель высокорискованным.



Рис. 5. Температурный датчик

Выводы

Применение различных датчиков способствует улучшению контроля технологического процесса, а также снижению риска аварийности. Для достижения большей эффективности использование одного датчика может быть недостаточным. Если свести все датчики в единый щит контроля, то получится многофункциональная мониторинговая система, позволяющая точно и быстро определять неисправности оборудования и возможность быстрого осуществления ремонта, что позволит сократить затраты.

Список использованных источников

1. Валеев, И.М. Общая электроэнергетика: учеб. пособие // И.М. Валеев, В.Г. Макаров. – Казань: Изд-во КНИТУ, 2017, 220 с.
2. Валеев, И.М. Современные аспекты развития энергетики: учеб. пособие / И.М. Валеев. – Казань: КГЭУ, 2011 – 401 с.
3. Абдуллазянов, Э.Ю. «Умные» электрические сети: учебное пособие / Э.Ю. Абдуллазянов, И.М. Валеев, Д.К. Зарипов. – Казань: КГЭУ, 2013. – 131 с.
4. Кобец, Б.Б. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid / Б.Б. Кобец, И.О. Волкова. – М.: Энергия, 2010. – 208 с.

Научное издание

**Современные проблемы энергетики
и экологии**

*Материалы докладов и сообщений
заочной студенческой научно-практической конференции
26 мая 2022 года*

Технический редактор
В.В. Чебоксаров

Изд. № 123/2022. Объем 25,5 п.л. Усл. печ. л. 23,71. Уч.-изд. л. 24,99.
РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»